

VI-2-4 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性に関する説明書

VI-2-4-1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分及び重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載する。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所		
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	燃料プール	S	無	VI-2-4-2-1	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-4-2-1	
		キャスク置場	S	無	VI-2-4-2-1	—	—	—	
		使用済燃料貯蔵ラック	S	有	VI-2-4-2-2	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-4-2-2	
		制御棒・破損燃料貯蔵ラック	S	有	VI-2-4-2-3	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-4-2-3	
		燃料プール水位・温度 (S A)	C	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-2-4	
		燃料プール水位 (S A)	—	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-2-5	
	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール冷却系	燃料プール冷却系熱交換器	B	—	—	常設耐震／防止	—	VI-2-4-3-1-1
			燃料プール冷却ポンプ	B	—	—	常設耐震／防止	—	VI-2-4-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/3)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール冷却系	燃料プール	—	—	—	常設耐震／防止	—	VI-2-4-2-1
			主配管	S	有	VI-2-4-3-1-3	常設耐震／防止	無	VI-2-4-3-1-3
			主配管	B	—	—	常設耐震／防止	—	VI-2-4-3-1-3
			主配管	—	—	—	常設耐震／防止	—	VI-2-4-3-1-3
			主配管	S	有	VI-2-5-4-1-4	—	—	—
	ス 燃 プ レ プ イ ル 系	燃料プール	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-2-1	
		主配管	—	—	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-3-2-1	

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	その他	燃料プール監視 カメラ (SA)	—	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-4-1
		燃料プール監視 カメラ用冷却設備	—	—	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-4-2

注記* : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備,
「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

VI-2-4-2 使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-2-1 燃料プール（キャスク置場を含む）の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 応力解析による評価方法	10
3.1 評価対象部位及び評価方針	10
3.2 荷重及び荷重の組合せ	12
3.2.1 荷重	12
3.2.2 荷重の組合せ	21
3.3 許容限界	22
3.4 解析モデル及び諸元	24
3.4.1 モデル化の基本方針	24
3.4.2 解析諸元	26
3.5 評価方法	27
3.5.1 応力解析方法	27
3.5.2 断面の評価方法	32
4. 評価結果	40
4.1 S d 地震時	40
4.2 S s 地震時	40
別紙 1 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（燃料プール及びキャスク置場）	

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、燃料プール及びキャスク置場の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、応力解析による評価により行う。

燃料プール及びキャスク置場は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、燃料プールは、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

燃料プール及びキャスク置場は原子炉建物の一部を構成している。燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の設置位置を図2-1に示す。

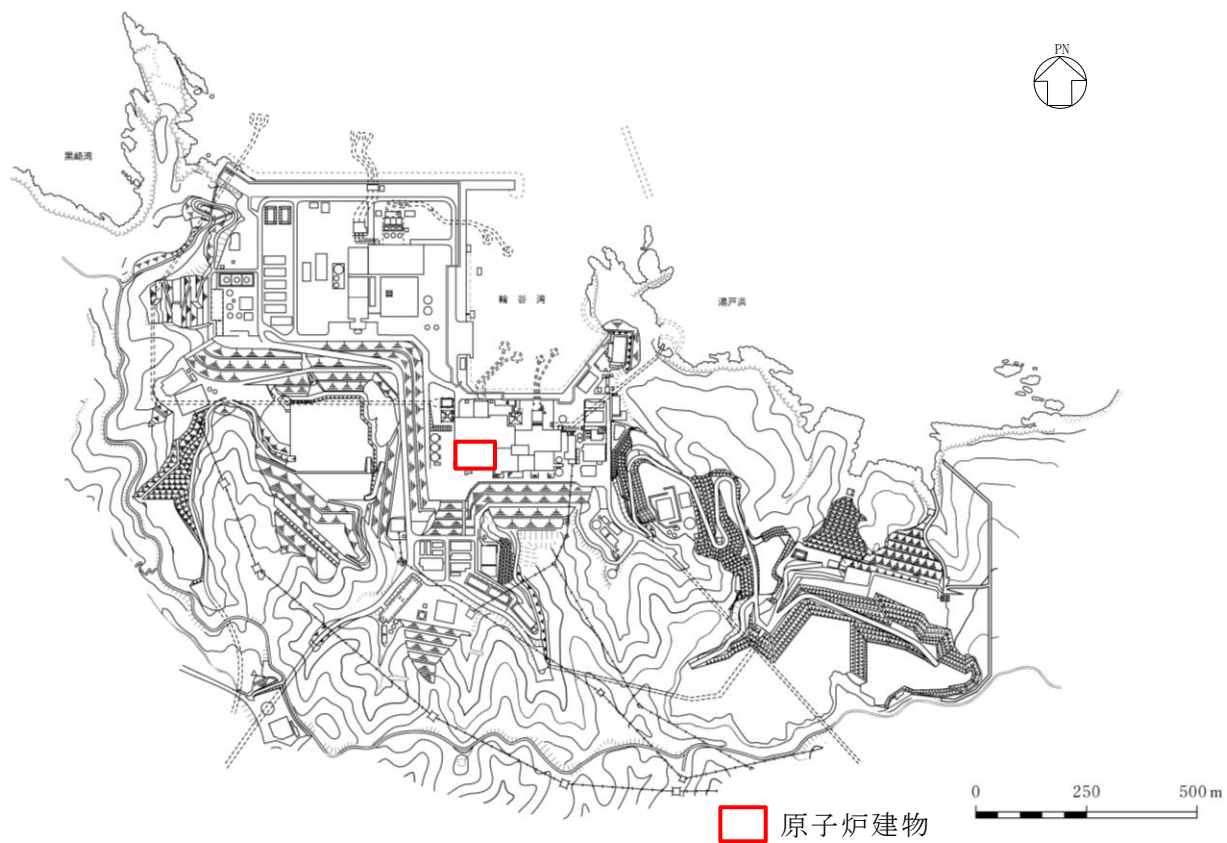


図2-1 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の設置位置

2.2 構造概要

燃料プール及びキャスク置場は原子炉建物の燃料取替階（EL 42.8m*）付近に位置する鉄筋コンクリート構造物で、使用済燃料、制御棒及び使用済燃料輸送容器が収容される。

燃料プール内には、収容される機器の遮蔽及び冷却のため常時水が張られている。

燃料プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐとともに、保守、点検についても考慮されている。なお、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 -1987」という。）に基づき、鋼製ライナは耐漏洩機能を、鉄筋コンクリート部分は支持機能を有する。

また、原子炉ウェルをはさんで燃料プールの反対側には、燃料交換時に蒸気乾燥器と気水分離器を仮置きする蒸気乾燥器・気水分離器ピットがある。（以下、燃料プール、キャスク置場、原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットのすべてを示す場合は、これを「プール部」という。）

燃料プールの大きさは、内面寸法で平面 14.00m×13.50m、深さ 8.90m～11.97m、主要な壁厚 2.00m、底面スラブ厚 2.03m であり、キャスク置場の平面寸法は 3.80m×3.80m、壁厚 0.60m で、底面スラブ及び壁の一面はそれぞれ燃料プール底面及び壁面と共有する。

燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に、燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図及び概略断面図を図 2-4 に示す。

注記*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

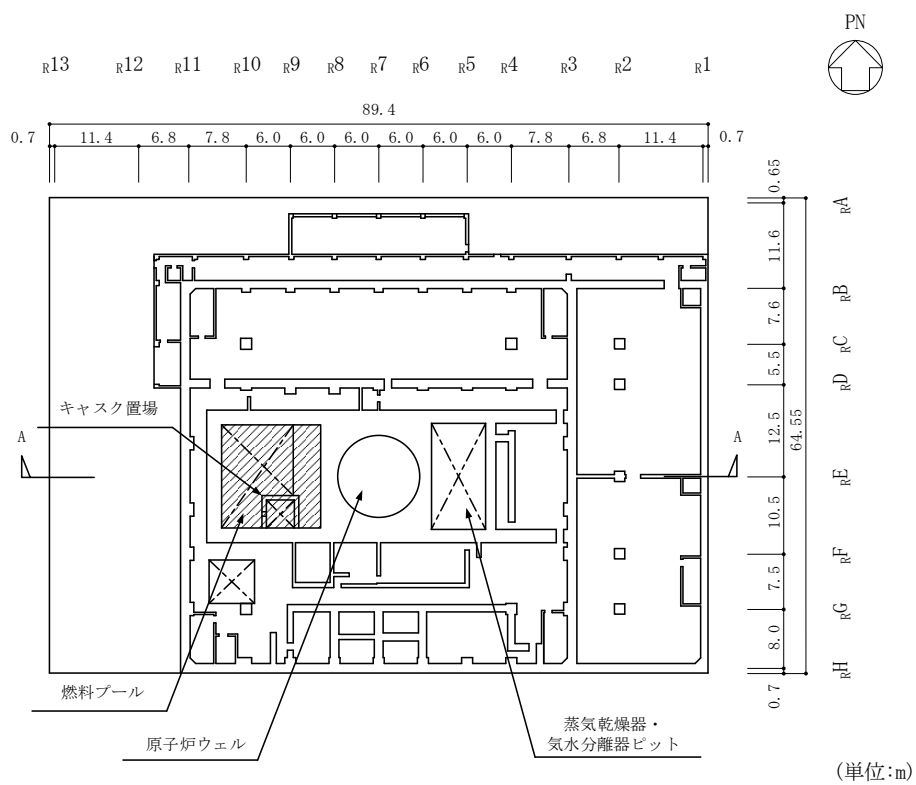


図 2-2 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図
(EL 34.8m)

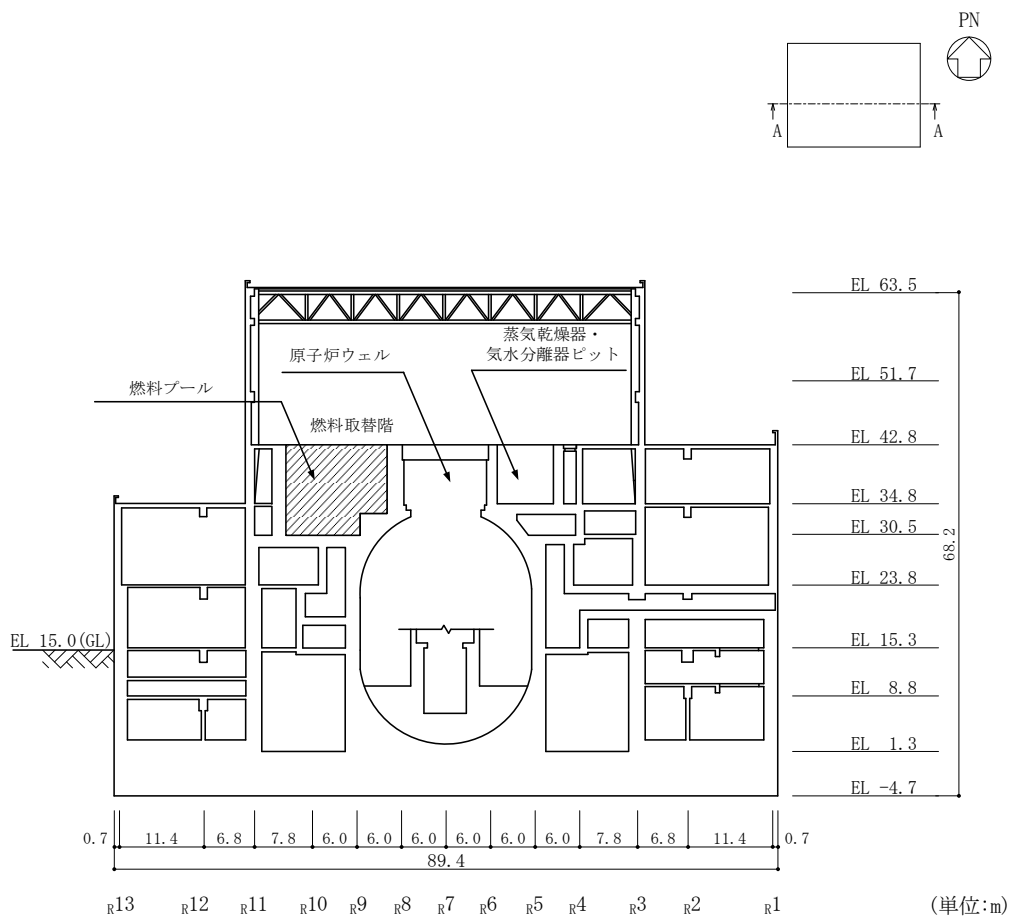
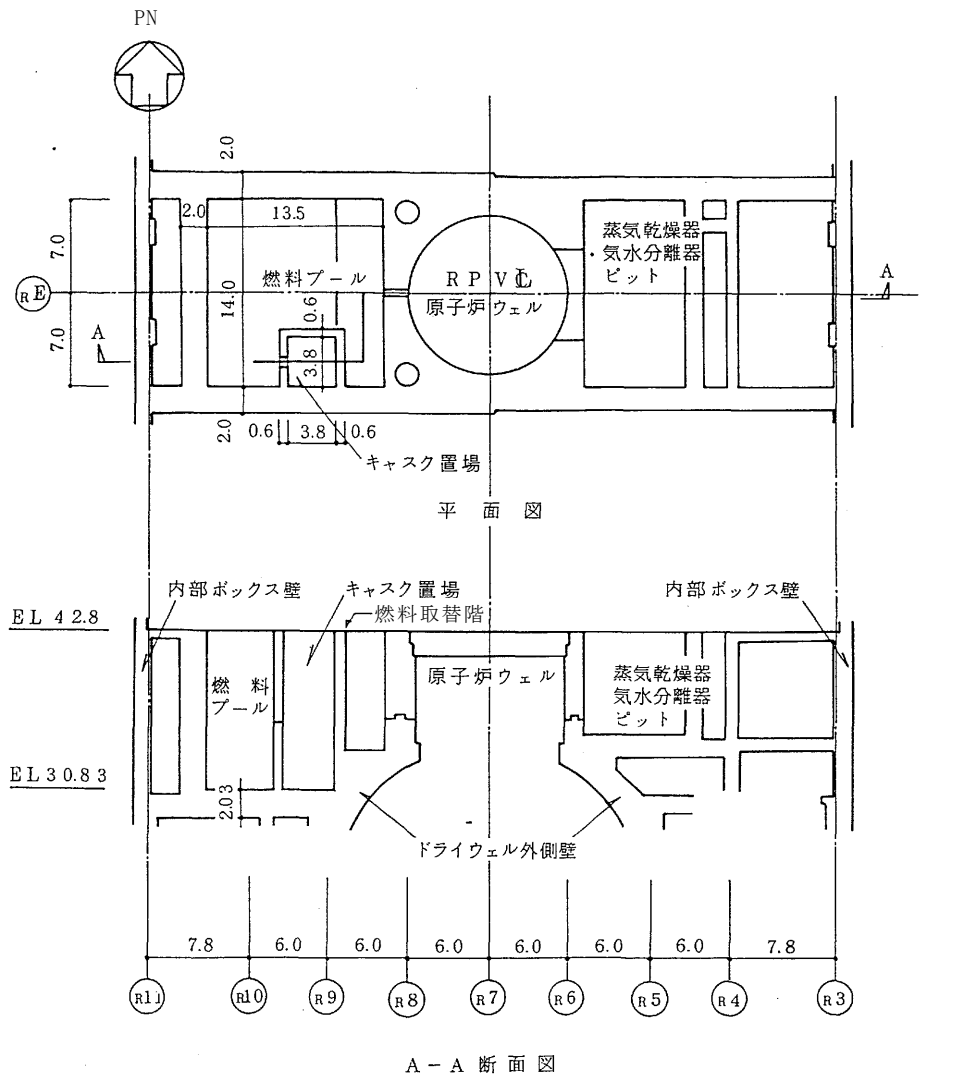


図 2-3 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略断面図 (A-A断面)



(単位:m)

図 2-4 燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図及び概略断面図

2.3 評価方針

燃料プール及びキャスク置場は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、燃料プールは、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

燃料プール及びキャスク置場の設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力（以下「 S_d 地震時」という。）に対する評価及び基準地震動 S_s による地震力（以下「 S_s 地震時」という。）に対する評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。

燃料プール及びキャスク置場の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、 S_d 地震時及び S_s 地震時の荷重の組合せに分類し、応力解析による評価において断面の評価を行うことで、燃料プール及びキャスク置場の地震時の構造強度の確認を行う。

なお、燃料プール及びキャスク置場の地震時の構造強度の確認には、地震応答解析による評価においてせん断ひずみ及び保有水平耐力の評価が必要であるが、燃料プール及びキャスク置場が原子炉建物の一部であることを踏まえ、原子炉建物全体としての評価結果をVI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」に示すこととする。評価にあたっては、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」による材料物性の不確かさを考慮する。表2-1に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

また、燃料プールの重大事故等対処施設としての評価においては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、 S_s 地震時に対する評価を行う。

ここで、燃料プールでは、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、温度の条件が異なるが、コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下は認められず、剛性低下は認められるが、その影響は小さいと考えられる（別紙1「鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響（燃料プール及びキャスク置場）」参照）こと、また、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」（以下「CCV規格」という。）では要素内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないこととされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

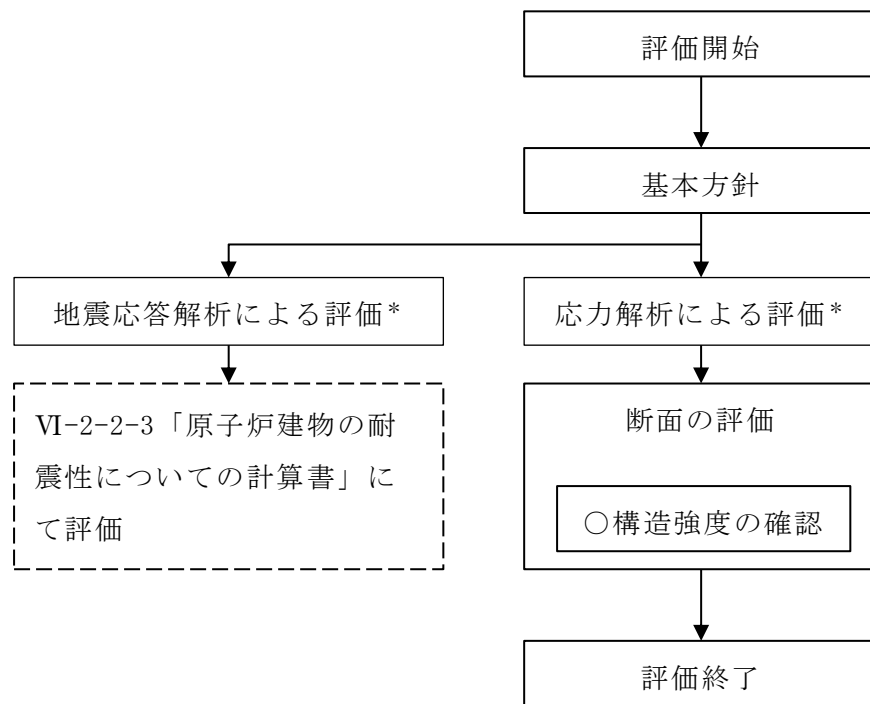
燃料プール及びキャスク置場の評価フローを図2-5に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース 2 (地盤物性 + σ)	設計基準強度	標準地盤 + σ (+10%, +20%) *	
ケース 3 (地盤物性 - σ)	設計基準強度	標準地盤 - σ (-10%, -20%) *	
ケース 4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

注記* : VI-2-1-3 「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤の S 波速度 V_s 及び P 波速度 V_p の不確かさを設定する。

S2 補 VI-2-4-2-1 R1



注記* : VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-5 燃料プール及びキャスク置場の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

燃料プール及びキャスク置場の応力解析による評価対象部位は、燃料プール及びキャスク置場を構成する壁及び底面スラブとし、3次元FEMモデルを用いた応力解析により評価を行う。3次元FEMモデルを用いた応力解析にあたっては、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」、昭和60年12月25日付け60資庁第11431号にて認可された工事計画のIV-2-5-3「燃料プール（キャスク置場を含む）の耐震性についての計算書」及び平成14年3月26日付け平成13・12・13原第4号にて認可された工事計画の「I 工事計画書」（以下「既工認」という。）による荷重を用いて、荷重の組合せを行う。

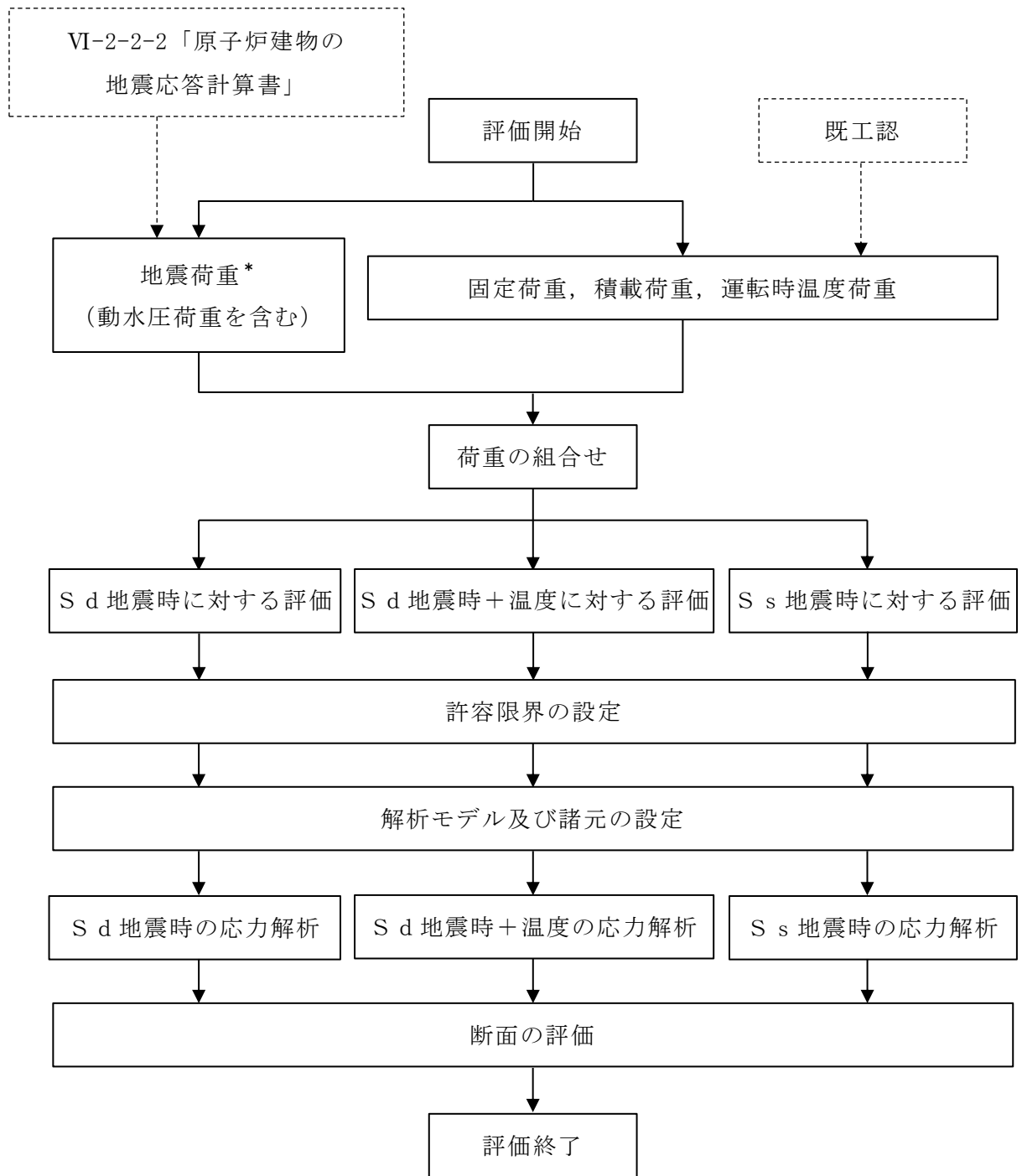
S_d地震時及びS_s地震時の荷重の組合せに対しては、以下の(1)及び(2)の方針に基づき断面の評価を行う。また、応力解析による評価フローを図3-1に示す。

(1) S_d地震時に対する評価

S_d地震時に対する評価は、燃料プール及びキャスク置場について、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が、「CCV規格」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

(2) S_s地震時に対する評価

S_s地震時に対する評価は、燃料プール及びキャスク置場について、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力及びひずみが、「CCV規格」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 応力解析による評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

3.2.1 荷重

(1) 固定荷重、積載荷重及び運転時温度荷重

固定荷重、積載荷重及び運転時温度荷重は、既工認に基づき、次のものを考慮する。

- ・鉄筋コンクリート構造体の自重・・・24kN/m³
- ・燃料プールに格納される使用済燃料及びその他の機器重量
・・・152kN/m²
- ・燃料プールの内容水による静水圧（水面を EL 42.53m（水深 11.7m）とする。）・・・115kN/m²
- ・運転時温度荷重

運転時において、プール部に生じる温度変化による荷重及びプール部の内部と外部との温度差によって生じる荷重で、内外表面の温度を表 3-1 のとおり設定する。

表 3-1 運転時内外表面温度

(単位：℃)

	季節	位置	燃料プール	
			壁	底面スラブ
運転時	夏	内面	52.0	52.0
		外面	43.0	43.0
	冬	内面	52.0	52.0
		外面	18.0	18.0

(2) 地震荷重

a. S_d 地震荷重

水平地震力は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び地震層せん断力係数 $3.0 \cdot C_i$ より算定される静的地震力より設定する。

鉛直地震力は、鉛直震度として設定する。鉛直震度は、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される鉛直震度及び静的震度を基準とし、静的震度は、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮し、高さ方向に一定として求めた鉛直震度より設定する。

弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮して設定する。

S_d 地震荷重を表 3-2～表 3-4 に示す。

b. S_s 地震荷重

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び鉛直震度より設定する。

基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮して設定する。

S_s 地震荷重を表 3-5～表 3-7 に示す。

表 3-2 S d 地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

EL (m)	せん断力 ($\times 10^3$ kN)	
	S d	静的地震力
42.8 34.8	36.8	30.2
34.8 30.5	56.6	31.2

(b) E W 方向

EL (m)	せん断力 ($\times 10^3$ kN)	
	S d	静的地震力
42.8 34.8	69.8	49.2
34.8 30.5	19.2	11.3

表 3-3 S d 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

EL (m)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)	
	S d	静的地震力
42.8	0.00	0.00
34.8	29.4	24.2
34.8	29.4	24.2
30.5	53.7	37.6

(b) E W 方向

EL (m)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)	
	S d	静的地震力
42.8	28.7	19.9
34.8	27.2	19.5
34.8	16.3	3.73
30.5	18.9	1.14
回転ばね*	61.9	43.1

注記* : プール壁がドライウェル外側壁の回転変形を拘束する影響を考慮した回転ばね。

表 3-4 S d 地震荷重 (鉛直震度)

EL (m)	鉛直震度	
	S d	静的地震力
42.8 34.8	0.68	0.24
34.8 30.5	0.63	0.24

表 3-5 S s 地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

EL (m)	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
42.8	74.9
34.8	
34.8	78.9
30.5	

(b) E W 方向

EL (m)	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
42.8	84.0
34.8	
34.8	31.8
30.5	

表 3-6 S s 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

EL (m)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)
	S s
42.8	0.00
34.8	59.9
34.8	59.9
30.5	91.9

(b) E W 方向

EL (m)	曲げモーメント (×10 ⁴ kN・m)
	S s
42.8	38.0
34.8	36.0
34.8	38.0
30.5	38.6
回転ばね*	86.3

注記* : プール壁がドライウェル外側壁の回転変形を拘束する影響を考慮した回転ばね。

表 3-7 S s 地震荷重 (鉛直震度)

EL (m)	鉛直震度
	S s
42.8 34.8	1.28
34.8 30.5	1.15

c. 地震時動水圧荷重

燃料プールに作用する地震時動水圧荷重は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会) 」における Housner 理論に基づき、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に示す弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s による応答解析結果から衝撃圧及び揺動圧を算定する。地震時動水圧荷重を表 3-8 に示す。

表 3-8 地震時動水圧荷重

(単位 : kN/m²)

S d 地震時動水圧荷重*1		S s 地震時動水圧荷重*2	
NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向

注記*1 : S d 地震荷重と同時に作用するものとする。

*2 : S s 地震荷重と同時に作用するものとする。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-9 に示す。

表 3-9 荷重の組合せ

外力の状態	荷重 番号	荷重の組合せ
S _d 地震時*	1	G + P + T + S _d
S _s 地震時	2	G + P + S _s

注記* : 運転時温度荷重がない場合も考慮する。

G : 固定荷重

P : 積載荷重

T : 運転時温度荷重

S_d, S_s : 地震荷重 (地震時動水圧荷重を含む)

3.3 許容限界

応力解析による評価における燃料プール及びキャスク置場の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限の方針に基づき、表3-10及び表3-11のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表3-12及び表3-13に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表3-14に示す。

表3-10 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	外力の状態	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	S d 地震時	壁及び底面スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅲの許容値
		S s 地震時	壁及び底面スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値

表3-11 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	外力の状態	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	S s 地震時	壁及び底面スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「CCV規格」に基づく荷重状態Ⅳの許容値

表 3-12 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	設計基準強度 $F_c = 23.5$			
	応力状態1* ¹		応力状態2* ²	
	圧縮	せん断	圧縮	せん断
S d 地震時	15.6	1.08	17.6	1.08
S s 地震時	15.6* ³	1.08	—	—

注記*1：「応力状態 1」とは、各荷重状態において温度荷重により生じる応力を除いた応力が生じている状態をいう。

*2：「応力状態 2」とは、各荷重状態において温度荷重による応力が生じている状態をいう。

*3：軸力の検討に用いる許容圧縮応力度を示す。

表 3-13 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

外力の状態	引張及び圧縮	せん断
	SD35 (SD345 相当)	SD35 (SD345 相当)
S d 地震時	345	345

表 3-14 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

外力の状態	コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
S s 地震時	0.003	0.005

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

応力解析モデルは、燃料プールのほか、原子炉ウェル及び蒸気乾燥器・気水分離器ピットを一体としたモデルである。応力解析における評価対象部位は、燃料プール及びキャスク置場の壁及び底面スラブであるが、各部の荷重伝達を考慮するために周辺部を含むモデルを用いることとした。なお、プール部は東西軸に対して、ほぼ対称であるため、南側半分をモデル化する。解析モデル概要図を図3-2に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、プール部についてはシェル要素とする。使用する要素は四辺形及び三角形で、この要素は均質等方性材料によるシェル要素である。各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。また、プール壁に取り付く燃料取替階（EL 42.8m）の床スラブについては、はり要素として剛性を考慮する。

解析モデルの節点数は587、要素数は570である。

(3) 境界条件

a. 水平地震力作用時及び温度荷重時以外

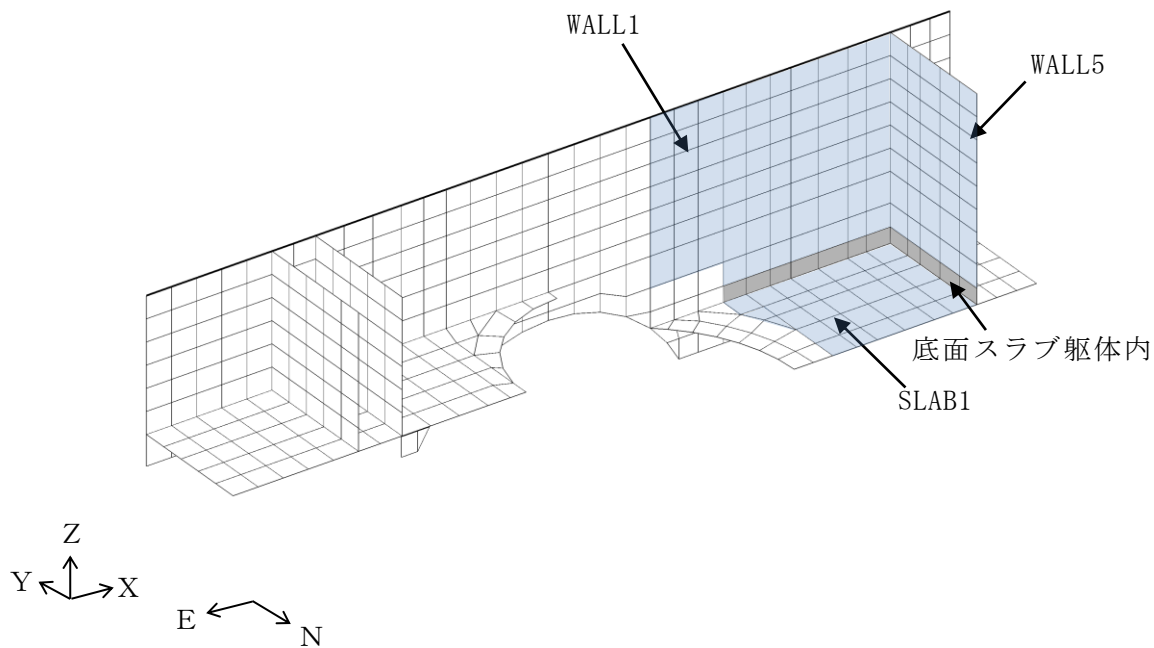
応力解析モデルのドライウェル外側壁との接続部について鉛直方向変位及び回転を拘束し、内部ボックス壁下端について鉛直方向変位を拘束する。

b. 水平地震力作用時

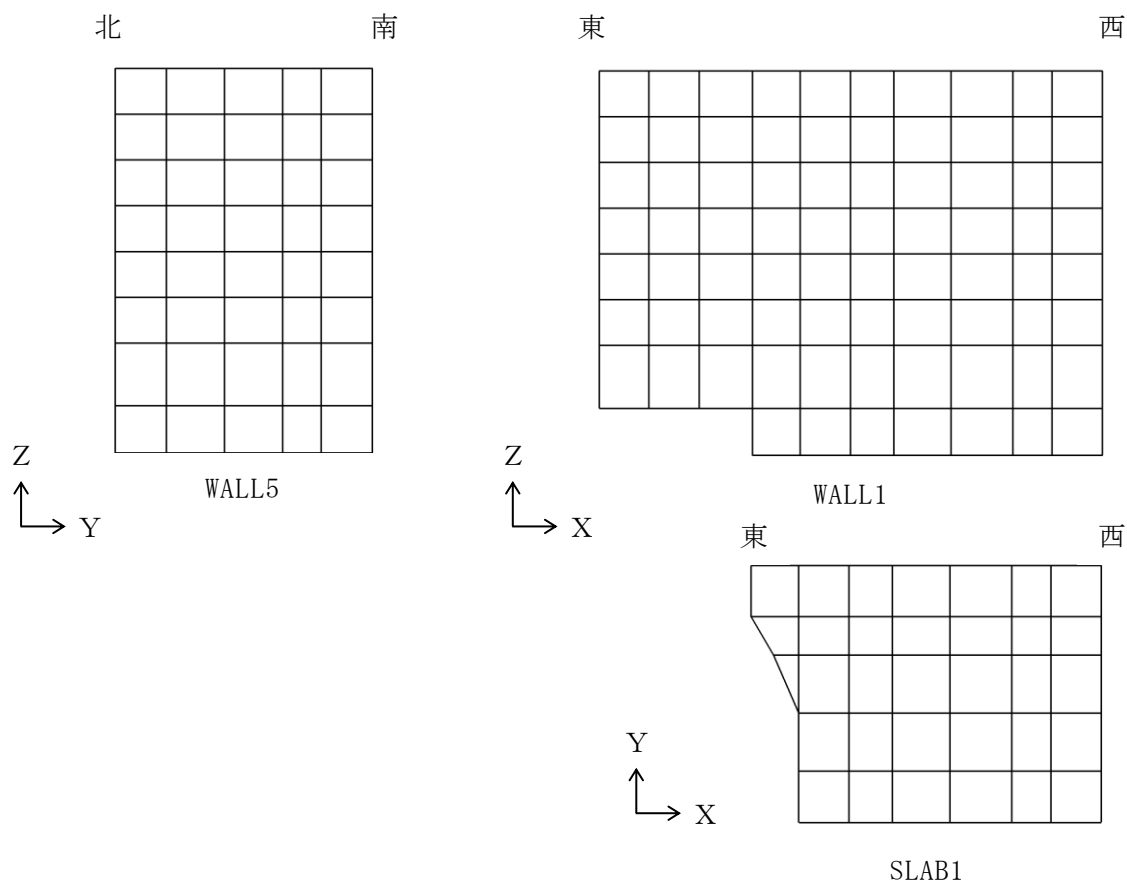
応力解析モデルのドライウェル外側壁との接続部を固定とし、内部ボックス壁端部にはプール部と周辺構造物との間で生じる荷重の伝達を考慮し、鉛直方向の外力を与える。

c. 温度荷重時

応力解析モデルの内部ボックス壁下端について鉛直方向変位を拘束する。原子炉ウェルの脚部には温度荷重によりドライウェル外側壁に生じる変位を与える。



(a) 全体鳥瞰図



(b) 燃料プール要素分割図

図 3-2 解析モデル概要図

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-15 及び表 3-16 に示す。

表 3-15 コンクリートの物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν
23.5	2.25×10^4	0.2

表 3-16 鉄筋の物性値

鉄筋の種類	ヤング係数 E (N/mm^2)
SD35 (SD345 相当)	2.05×10^5

3.5 評価方法

3.5.1 応力解析方法

燃料プール及びキャスク置場について、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

それぞれの外力の状態の応力は、次の荷重による応力を組み合わせて求める。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
T	: 運転時温度荷重
S _d _{SN}	: S→N方向 S _d 地震荷重 (S _d 地震時動水圧荷重を含む)
S _d _{WE}	: W→E方向 S _d 地震荷重 (S _d 地震時動水圧荷重を含む)
S _d _{UD}	: 鉛直方向 (下向き) S _d 地震荷重
S _s _{SN}	: S→N方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時動水圧荷重を含む)
S _s _{WE}	: W→E方向 S _s 地震荷重 (S _s 地震時動水圧荷重を含む)
S _s _{UD}	: 鉛直方向 (下向き) S _s 地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-17 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会) 」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 3-17(1) 荷重の組合せケース

外力の状態	ケースNo.	荷重の組合せ
S d 地震時	1-1	$G + P + [T] + 1.0 S d_{SN} + 0.4 S d_{UD}$
	1-2	$G + P + [T] - 1.0 S d_{SN} + 0.4 S d_{UD}$
	1-3	$G + P + [T] - 1.0 S d_{WE} + 0.4 S d_{UD}$
	1-4	$G + P + [T] + 1.0 S d_{WE} + 0.4 S d_{UD}$
	1-5	$G + P + [T] + 1.0 S d_{SN} - 0.4 S d_{UD}$
	1-6	$G + P + [T] - 1.0 S d_{SN} - 0.4 S d_{UD}$
	1-7	$G + P + [T] - 1.0 S d_{WE} - 0.4 S d_{UD}$
	1-8	$G + P + [T] + 1.0 S d_{WE} - 0.4 S d_{UD}$
	1-9	$G + P + [T] + 0.4 S d_{SN} + 1.0 S d_{UD}$
	1-10	$G + P + [T] - 0.4 S d_{SN} + 1.0 S d_{UD}$
	1-11	$G + P + [T] - 0.4 S d_{WE} + 1.0 S d_{UD}$
	1-12	$G + P + [T] + 0.4 S d_{WE} + 1.0 S d_{UD}$
	1-13	$G + P + [T] + 0.4 S d_{SN} - 1.0 S d_{UD}$
	1-14	$G + P + [T] - 0.4 S d_{SN} - 1.0 S d_{UD}$
	1-15	$G + P + [T] - 0.4 S d_{WE} - 1.0 S d_{UD}$
	1-16	$G + P + [T] + 0.4 S d_{WE} - 1.0 S d_{UD}$

注：[]は応力状態 2 に対する荷重を示す。

表 3-17(2) 荷重の組合せケース

外力の状態	ケースNo.	荷重の組合せ
S s 地震時	2-1	$G + P + 1.0 S_{SN} + 0.4 S_{UD}$
	2-2	$G + P - 1.0 S_{SN} + 0.4 S_{UD}$
	2-3	$G + P - 1.0 S_{WE} + 0.4 S_{UD}$
	2-4	$G + P + 1.0 S_{WE} + 0.4 S_{UD}$
	2-5	$G + P + 1.0 S_{SN} - 0.4 S_{UD}$
	2-6	$G + P - 1.0 S_{SN} - 0.4 S_{UD}$
	2-7	$G + P - 1.0 S_{WE} - 0.4 S_{UD}$
	2-8	$G + P + 1.0 S_{WE} - 0.4 S_{UD}$
	2-9	$G + P + 0.4 S_{SN} + 1.0 S_{UD}$
	2-10	$G + P - 0.4 S_{SN} + 1.0 S_{UD}$
	2-11	$G + P - 0.4 S_{WE} + 1.0 S_{UD}$
	2-12	$G + P + 0.4 S_{WE} + 1.0 S_{UD}$
	2-13	$G + P + 0.4 S_{SN} - 1.0 S_{UD}$
	2-14	$G + P - 0.4 S_{SN} - 1.0 S_{UD}$
	2-15	$G + P - 0.4 S_{WE} - 1.0 S_{UD}$
	2-16	$G + P + 0.4 S_{WE} - 1.0 S_{UD}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

水平地震力については、燃料プール及びキャスク置場の位置する階のせん断力及び曲げモーメントを各床レベルに対応した節点に離散化して節点荷重として入力する。

鉛直地震力については、モデル上の各節点における鉛直震度により支配面積に応じた節点荷重として入力する。

b. 運転時温度荷重

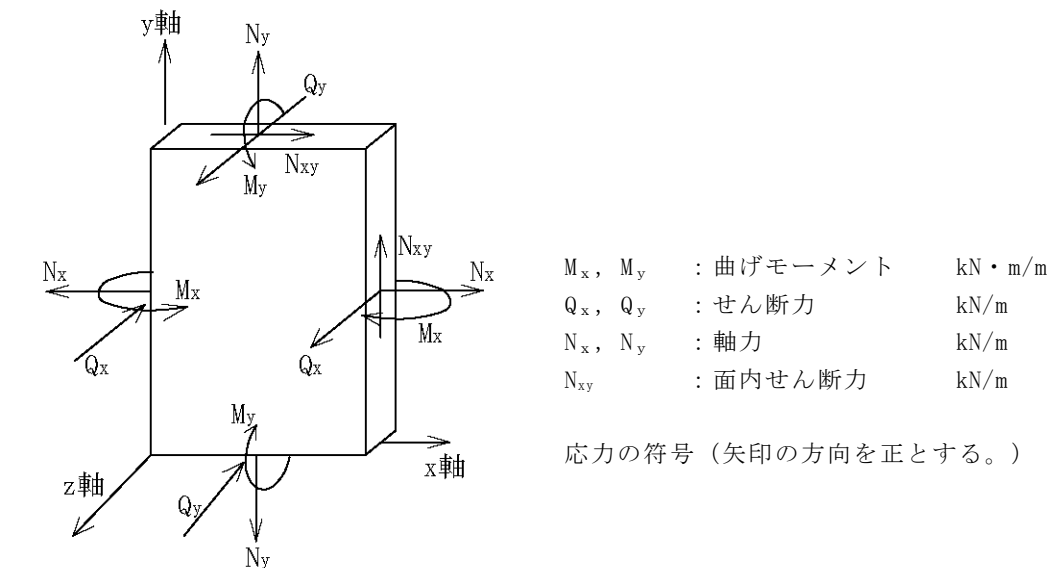
S d 地震時における熱応力については、「CCV規格」に基づき、部材の剛性を一律に低減する一律低減法により評価する。

c. 地震荷重及び温度荷重以外の荷重

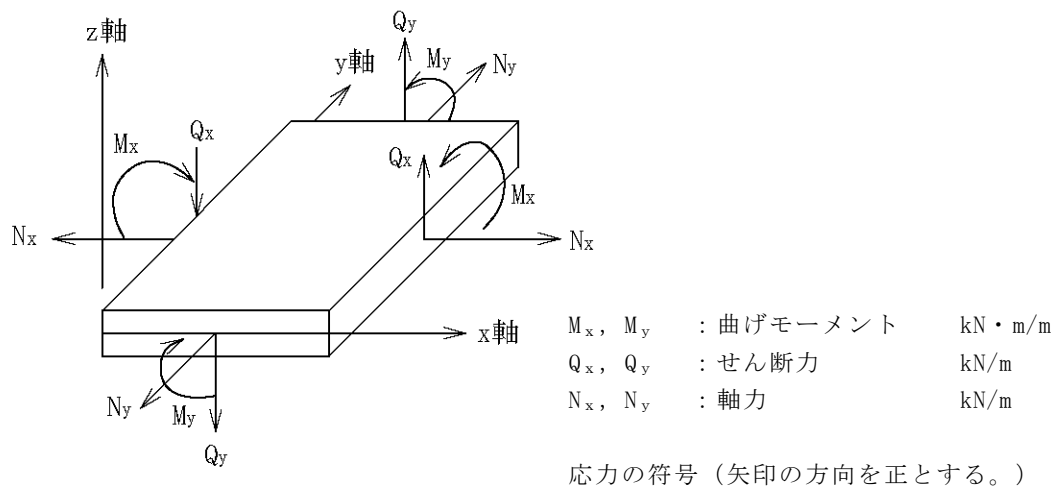
地震荷重及び温度荷重以外の荷重については、モデル上の各節点又は各要素に、集中荷重又は分布荷重として入力する。

3.5.2 断面の評価方法

燃料プール及びキャスク置場の断面の評価に用いる応力は、3次元FEMモデルを用いた応力解析により得られた各荷重による応力（軸力、曲げモーメント及びせん断力）とする。壁及び底面スラブの断面力成分を図3-3に示す。



(a) 壁



(b) 底面スラブ

図3-3 壁及び底面スラブの断面力成分

(1) S d 地震時

a. 壁

軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断力並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する断面の評価方法

各断面は、子午線方向及び円周方向各々について、膜力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。この場合、膜力は同時に作用する面内せん断力の影響を考慮して、「CCV規格」の CVE-3511-1 及び CVE-3511-2 に示す等価膜力として評価する。

膜力と面内せん断力の関係図を図 3-4 に示す。

等価膜力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度については、表 3-12 及び表 3-13 に示す許容応力度を超えないことを確認する。

$$N_{\phi}^* = N_{\phi} \pm |N_{\phi\theta}| \cdots \cdots \cdots \text{(CVE-3511-1)}$$

$$N_{\theta}^* = N_{\theta} \pm |N_{\phi\theta}| \cdots \cdots \cdots \text{(CVE-3511-2)}$$

ここで、

N_{ϕ}^* , N_{θ}^* : ϕ , θ 方向の等価膜力

N_{ϕ} , N_{θ} : ϕ , θ 方向の膜力

$N_{\phi\theta}$: 面内せん断力

(ϕ 方向は子午線方向, θ 方向は円周方向とする)

上記のうち、「膜力」は「軸力」に読み替えることとする。また、「子午線方向」は「縦方向」に、「円周方向」は「横方向」にそれぞれ読み替えることとする。

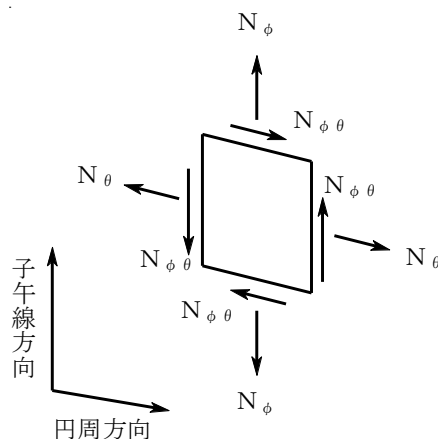


図3-4 膜力と面内せん断力の関係図

(b) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3512.1に準拠して行う。

面内せん断応力度が、CVE-3512.2-1及びCVE-3512.2-2より計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値の0.75倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_u = 0.5 \left\{ (p_{t\phi} \cdot f_y - \sigma_{0\phi}) + (p_{t\theta} \cdot f_y - \sigma_{0\theta}) \right\} \dots \text{(CVE-3512.2-1)}$$

$$\tau_u = 1.10 \sqrt{F_c} \dots \dots \dots \text{(CVE-3512.2-2)}$$

ここで、

- τ_u : 終局面内せん断応力度 (N/mm²)
- $p_{t\phi}$: 子午線方向主筋の鉄筋比
- $p_{t\theta}$: 円周方向主筋の鉄筋比
- $\sigma_{0\phi}$: 外力により生じる子午線方向の膜応力度 (N/mm²) (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)
- $\sigma_{0\theta}$: 外力により生じる円周方向の膜応力度 (N/mm²) (引張の場合のみを考慮し、符号を正とする)
- f_y : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、表3-13に示す値 (N/mm²)
- F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

上記のうち、「子午線方向主筋」は「縦方向主筋」に、「円周方向主筋」は「横方向主筋」にそれぞれ読み替えることとする。また、「子午線方向の膜応力度」は「縦方向の軸応力度」に、「円周方向の膜応力度」は「横方向の軸応力度」にそれぞれ読み替えることとする。

(c) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3513.1に準拠して行う。

面外せん断応力度が、CVE-3513.2-1及びCVE-3513.2-2より計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値の0.75倍の値を超えないことを確認する。

$$\tau_R = \Phi \left\{ 0.1(p_t \cdot f_y - \sigma_0) + 0.5 \cdot p_w \cdot f_y + 0.235 \sqrt{F_c} \right\} \quad (\text{CVE-3513.2-1})$$

$$\tau_R = 1.10 \sqrt{F_c} \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-2})$$

ここで、

τ_R : 終局面外せん断応力度 (N/mm²)

p_t : 主筋の鉄筋比

σ_0 : 外力による膜応力度 (N/mm²) (引張の符号を正とする)

p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であって、次の計算式により計算した値

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-3})$$

a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm²)

b : 断面の幅 (mm)

x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

Φ : 低減係数であり、次の計算式により計算した値
(1を超える場合は1, 0.58未満の場合は0.58とする)

$$\Phi = 1 / \sqrt{M / (Q \cdot d)} \quad \dots\dots\dots (\text{CVE-3513.2-4})$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_y : 鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度であり、表3-13に示す値 (N/mm²)

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

上記のうち、「外力による膜応力度」は「外力による軸応力度」に読み替えることとする。

b. 底面スラブ

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

各断面は、軸力及び曲げモーメントを受ける鉄筋コンクリート造長方形仮想柱として算定する。

軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度については、表3-12及び表3-13に示す許容応力度を超えないことを確認する。

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3522に準拠して行う。

面外せん断力が、CVE-3522-1又はCVE-3522-2より計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot c f_s \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-1)$$

ここで、

- Q_A : 許容面外せん断力 (N)
- b : 断面の幅 (mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)
- $c f_s$: コンクリートの許容せん断応力度で、表3-12に示すS d地震時の値 (N/mm²)

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot c f_s + 0.5 \cdot w f_t (p_w - 0.002) \} \dots\dots\dots (CVE-3522-2)$$

ここで、

- p_w : 面外せん断力に対する補強筋の鉄筋比であり、次の計算式により計算した値 (0.002以上とし、0.012を超える場合は0.012として計算する)

$$p_w = a_w / (b \cdot x) \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-3)$$

- a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm²)
- x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)
- $w f_t$: 面外せん断力に対する補強筋の許容引張応力度であり、表3-13に示す値 (N/mm²)
- α : 割増し係数であり、次の計算式により計算した値

(2を超える場合は2、1未満の場合は1とする。また、引張軸力が2N/mm²を超える場合は1とする)

$$\alpha = \frac{4}{M/(Q \cdot d) + 1} \quad \dots\dots\dots (CVE-3522-4)$$

- M : 曲げモーメント (N・mm)
- Q : せん断力 (N)
- d : 断面の有効せい (mm)

(2) S s 地震時

a. 壁

軸力，曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ，軸力による圧縮応力度，面内せん断力並びに面外せん断力を算定し，「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力，曲げモーメント及び面内せん断力に対する断面の評価方法

軸力，曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみは，「CCV規格」の CVE-3511.2 に準拠して，表 3-14 に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(b) 軸力に対する断面の評価方法

軸力による圧縮応力度については，CVE-3511.3 に準拠してコンクリートの設計基準強度の 2/3 倍を超えないことを確認する。

(c) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，「CCV規格」の CVE-3512.2 に準拠して行う。

面内せん断応力度が，CVE-3512.2-1 及び CVE-3512.2-2 より計算した終局面内せん断応力度のいずれか小さい方の値を超えないことを確認する。このとき，鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度 f_y は，表 3-13 に示す S d 地震時の値とする。

(d) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，「CCV規格」の CVE-3513.2 に準拠して行う。

面外せん断応力度が，CVE-3513.2-1 及び CVE-3513.2-2 より計算した終局面外せん断応力度のいずれか小さい方の値を超えないことを確認する。このとき，鉄筋の許容引張応力度及び許容圧縮応力度 f_y は，表 3-13 に示す S d 地震時の値とする。

b. 底面スラブ

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力を算定し、「CCV規格」に準拠して設定した各許容値を超えないことを確認する。

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、「CCV規格」の CVE-3521.2 に準拠して、表 3-14 に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」の CVE-3522 に準拠して行う。

面外せん断力が、CVE-3522-1 又は CVE-3522-2 より計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

4. 評価結果

「3.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図4-1に、配筋一覧を表4-1に示す。

4.1 S d地震時

断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図4-2に、評価結果を表4-2に示す。

S d地震時において、壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による引張応力度及び圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。また、底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる引張応力度及び圧縮応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

4.2 S s地震時

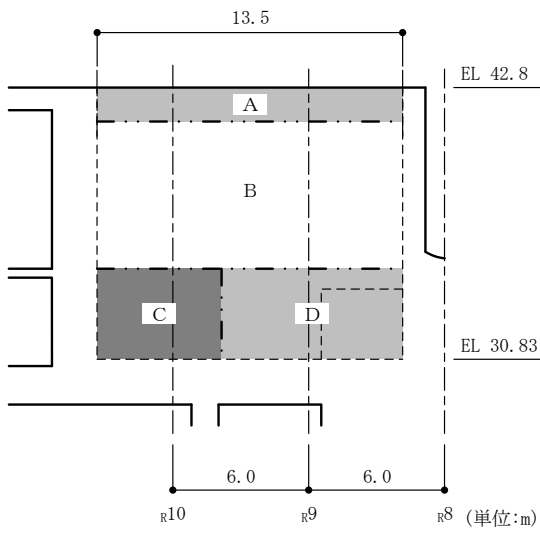
断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

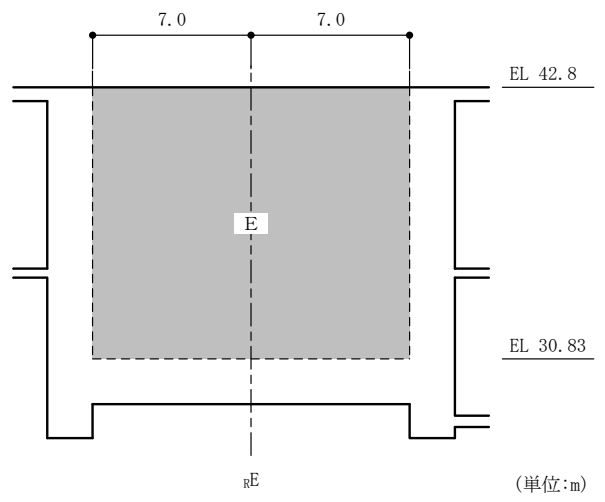
底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図4-3に、評価結果を表4-3に示す。

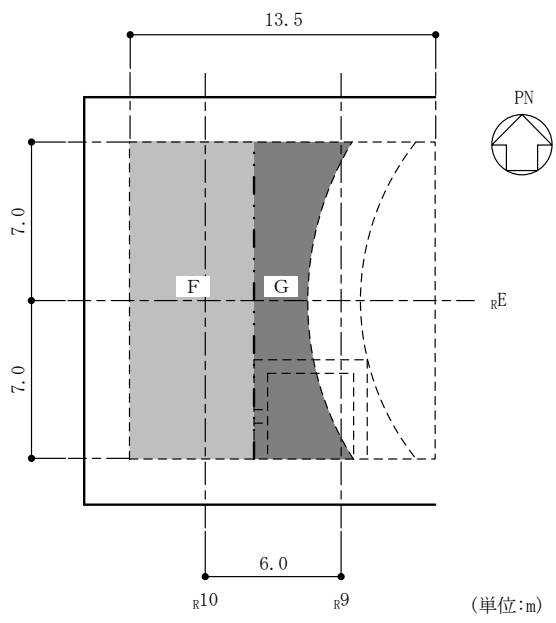
S s地震時において、壁については、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。また、底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



南側壁

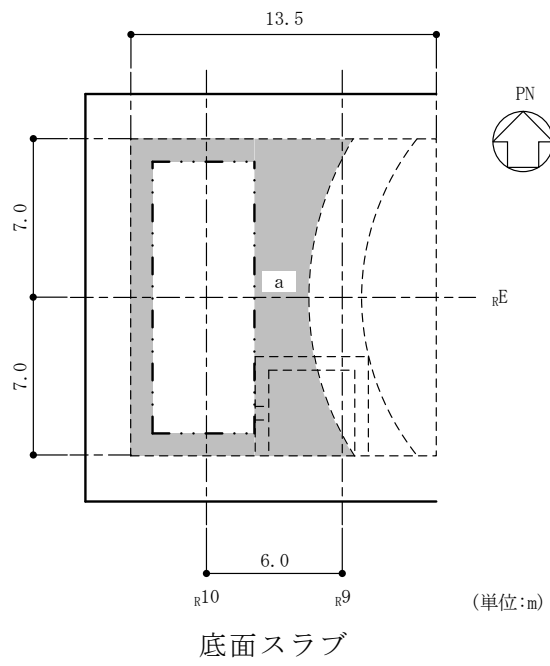


西側壁



底面スラブ

(a) 主筋
図 4-1(1) 配筋領域図



(b) せん断補強筋

図 4-1(2) 配筋領域図

表 4-1 配筋一覧

(a) 南側壁主筋

領域	タテ方向	ヨコ方向
A	(内側) D38@200 + D38@400 (外側) 3-D38@200	(内側) 2-D38@200 (外側) 3-D38@200
B	(内側) D38@200 + D38@400 (外側) 2-D38@200	(内側) 2-D38@200 (外側) 2-D38@200 + D38@400
C	(内側) 2-D38@200 (外側) 2-D38@200	(内側) 2-D38@200 (外側) 2-D38@200 + D38@400
D	(内側) 2-D38@200 (外側) 2-D38@200 + D38@400	(内側) 2-D38@200 (外側) 2-D38@200 + D38@400

(b) 西側壁主筋

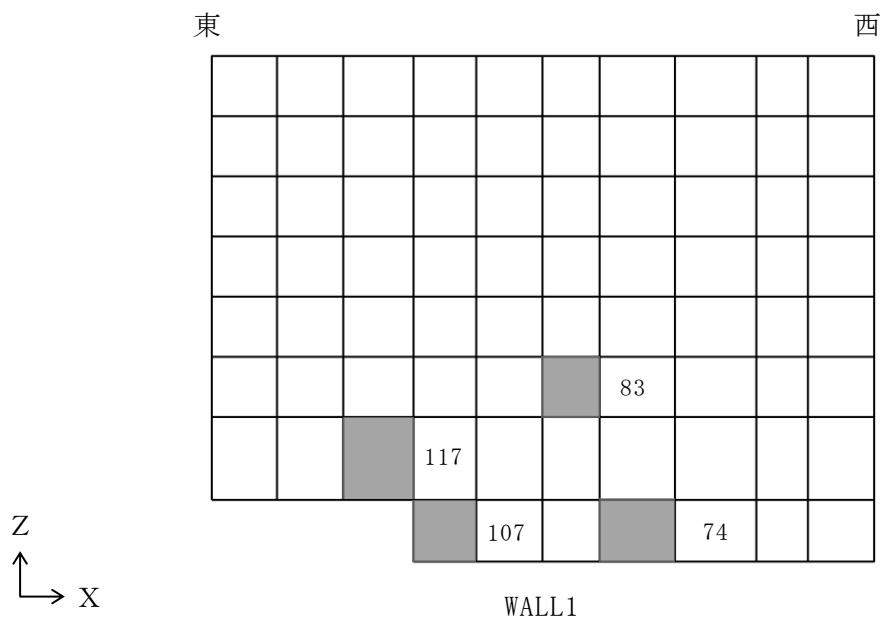
領域	タテ方向	ヨコ方向
E	(内側) D38@200 + D38@400 (外側) D38@200 + D38@400	(内側) D38@200 + D38@400 (外側) D38@200 + D38@400

(c) 底面スラブ主筋

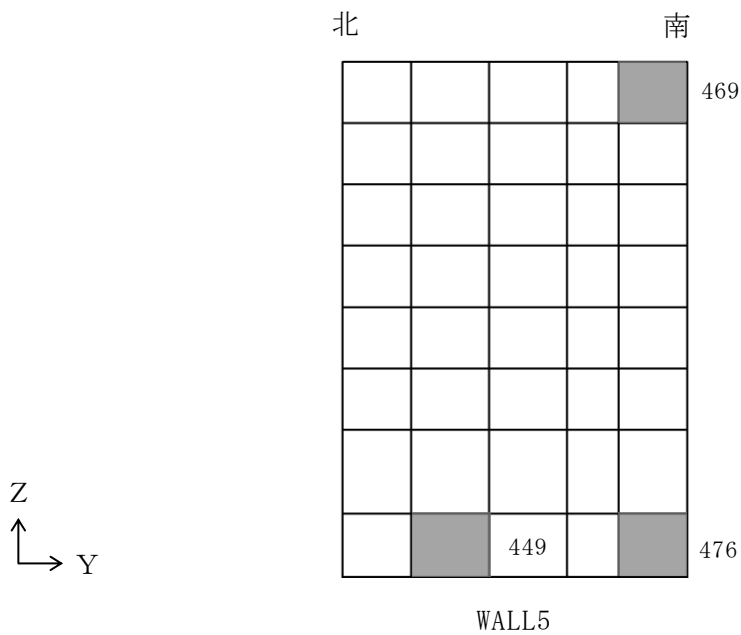
領域	N S 方向	E W 方向
F	(上ば筋) D38@200 + D38@400 (下ば筋) 2-D38@200	(上ば筋) 2-D38@200 (下ば筋) 2-D38@200 + D38@400
G	(上ば筋) D38@200 + D38@400 (下ば筋) 2-D38@200 + D38@400	(上ば筋) 2-D38@200 (下ば筋) 2-D38@200 + D38@400

(d) 底面スラブせん断補強筋

領域	配筋
a	D19@400 × 200

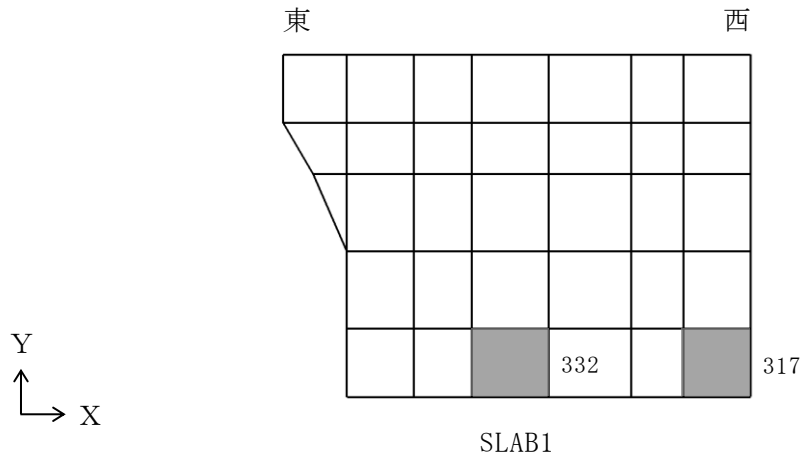


(a) 南側壁



(b) 西側壁

図 4-2(1) 選定した要素の位置 S d 地震時

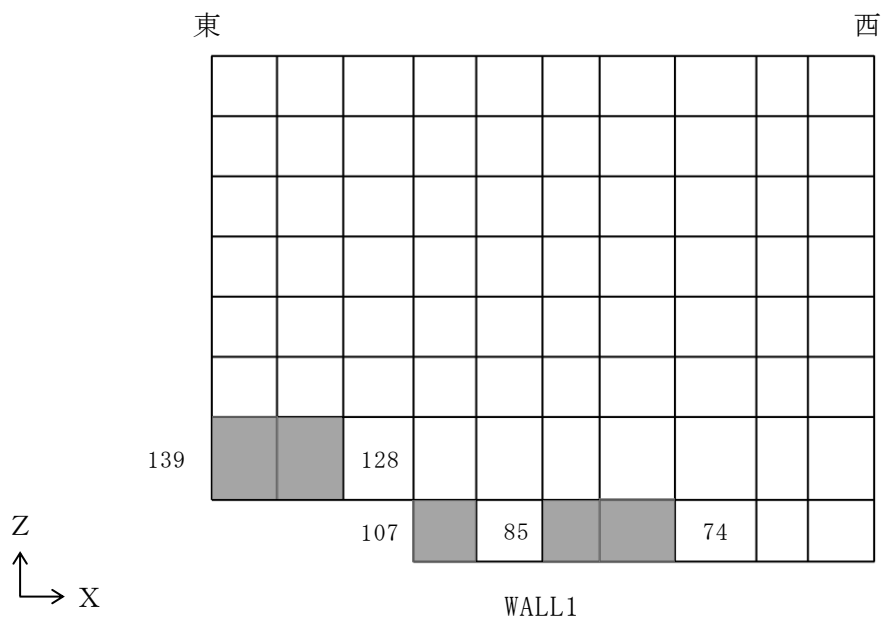


(c) 底面スラブ

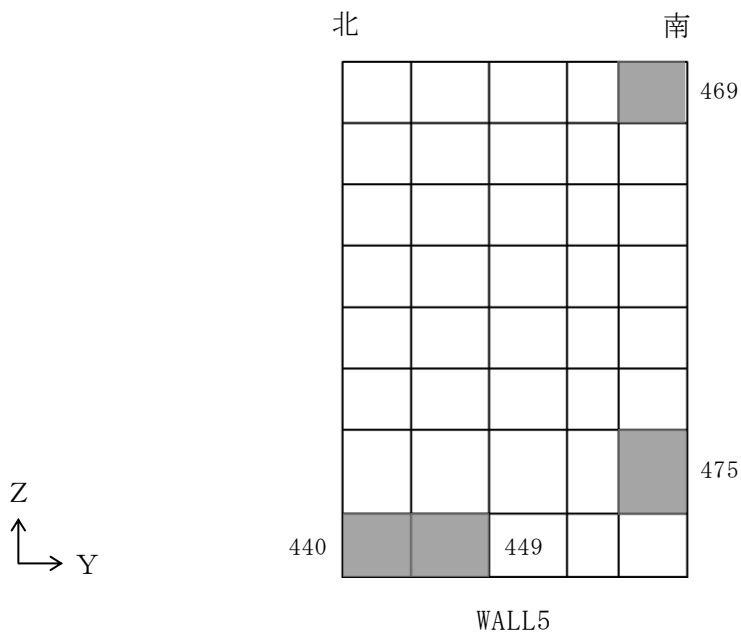
図 4-2(2) 選定した要素の位置 S d 地震時

表 4-2 評価結果 S d 地震時

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
南側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	117	1-4	4.59	17.6
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	鉛直	83	1-12	216	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	107	1-4	2.10	3.29
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	74	1-9	0.405	1.09
西側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	449	1-11	3.27	15.6
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	水平	469	1-1	310	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	—	476	1-10	1.04	2.31
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	水平	469	1-3	0.656	1.06
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	E W	332	1-11	9.74	17.6
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	E W	332	1-11	259	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	E W	317	1-11	1.48	2.16

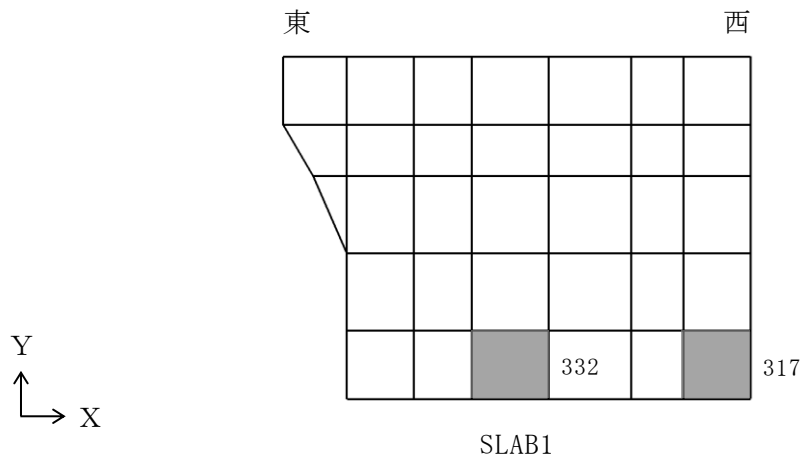


(a) 南側壁



(b) 西側壁

図 4-3(1) 選定した要素の位置 S s 地震時



(c) 底面スラブ

図 4-3(2) 選定した要素の位置 S s 地震時

表 4-3 評価結果 S s 地震時

部位	評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
南側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	128	2-12	0.170	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	85	2-10	1.40	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	139	2-4	3.31	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	107	2-12	2.37	4.39
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	74	2-9	0.550	1.42
西側壁	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	449	2-11	0.261	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	449	2-11	1.68	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	469	2-6	1.38	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	—	475	2-9	1.31	3.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	440	2-11	0.694	1.22
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	E W	332	2-11	0.540	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	E W	332	2-11	1.54	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	E W	317	2-11	2.01	2.16

別紙 1 鉄筋コンクリート構造物の重大事故等時の高温による影響
(燃料プール及びキャスク置場)

目 次

1. 概要	1
2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査	1
2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性	1
2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性	2
3. 施設を構成する部材の構造特性	4
4. まとめ	4

1. 概要

原子炉建物の燃料貯蔵設備である燃料プール及びキャスク置場は、主要構造体を鉄筋コンクリート造の壁と床で構成する。燃料プール及びキャスク置場の冷却機能や注水機能を喪失する重大事故等時において、燃料プール及びキャスク置場の水温は高温状態が一定期間継続すると推定される。

よって、燃料プール及びキャスク置場について、既往の文献・規格等に基づき、高温時の健全性を確認する。

2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査

2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性

鉄筋コンクリートは、コンクリートと鉄筋で構成され、「構造材料の耐火性ガイドブック（（社）日本建築学会，2017 改訂）」（以下「耐火性ガイドブック」という。）によると、一般に、コンクリート・鉄筋は、温度の上昇と共に強度・剛性は劣化し、ひずみが大きくなる傾向にあるとされている。

コンクリートについては、セメント水和物及びその吸着水、水和物で構成される細孔内に存在する毛管水、毛管より大きな空隙に存在する自由水から成る多孔体である。一般的にコンクリートの温度が 70℃程度では、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じず、100℃以下では圧縮強度の低下は小さいとされる。また、コンクリートの温度が大気圧において 100℃を超すと自由水が脱水し始め、その温度作用時間が長期間になると結晶水も脱水し始める。コンクリート温度が 190℃付近では結晶水が解放され始め、更に高温になると脱水現象が著しくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとされる。

鉄筋については、「耐火性ガイドブック」によると、強度及び剛性は、おおむね 200℃から 300℃までは常温時の特性を保持するとされている。

2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性

燃料プール及びキャスク置場は、ステンレス鋼によりライニングされており、また、重大事故等時には、代替注水設備によりプール部への注水が行われるため、高温によるコンクリートからの水分逸散のないシール状態にある。それを踏まえ、シール状態で高温加熱を受けたコンクリートの文献収集を行った。高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献を表 2-1 に示す。

文献 No. 1 及び No. 2 では、加熱温度 175℃のコンクリートへの影響について検討されている。文献 No. 1 では、シール状態において強度は熱水反応により一様な変化は示さないとされており、加熱期間 91 日までは、おおむね加熱前と強度は同等と考えられる。アンシール状態では加熱期間 28 日までの低下率は 10%以内に収まるとされている。文献 No. 2 では、シール状態においては、加熱期間 91 日まで強度の低下は認められないとされている。

また、文献 No. 3～No. 7 では、加熱温度 110℃のコンクリートへの影響について検討されている。No. 4 では加熱期間 50 日について検討されており、強度低下は認められない。また、No. 3 では加熱期間 3.5 年間、No. 5～No. 7 では加熱期間 2 年間について検討され、いずれも強度の低下傾向は認められないとされている。

それぞれの加熱温度における剛性に着目すると、加熱温度 175℃において、アンシールの条件下では、加熱期間 1 日でも急激に低下する場合があるとされており、水分の逸散と高い相関があると考えられる。一方、シール状態では大きな低下はなく、加熱温度 110℃では加熱後ごく初期に剛性の変化は収束するとされている。

以上より、175℃程度までの高温環境ではコンクリート強度への影響は小さい。また、コンクリートの剛性については、高温環境による水分逸散の影響が大きく、シール状態においても剛性の低下の傾向は認められるが、加熱後ごく初期に収束するため影響はない。

表 2-1 高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献一覧

No.	文献名 (出典)	著者	試験条件		
			温度	加熱期間	水分
1	高温 (175℃) を受けたコンクリートの強度性状 (セメント・コンクリート No. 449, 1984 年 7 月)	川口 徹, 高橋久雄	175℃	1~91 日	シール アンシール
2	高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究 (日本建築学会構造系論文集 第 457 号, 1994 年 3 月)	長尾覚博, 中根 淳	40, 65, 110, 175, 300, 600℃	1~91 日 (40~175℃) 7 日 (300, 600℃)	シール アンシール
3	熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究 (第 48 回セメント技術大会講演集, 1994)	長尾覚博, 鈴木智巳, 田淵正昭	① 65, 90, 110℃ の一 定加熱 ② 20~110℃ のサイク ル加熱	① 1 日~3.5 年間 ② 1~120 サイクル (1 サイクル: 4 日)	シール アンシール
4	長期高温加熱がコンクリートの力学特性に及ぼす影響の検討 (日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010 年 9 月)	木場将雄, 山本知弘, 久野通也, 島本 龍, 一瀬賢一, 佐藤 立	① 20, 110℃ の一定加 熱 ② 20~110℃ のサイク ル加熱	① 50 日 ② 1~50 サイクル (1 サ イクル: 1 日, 110℃ の保持時間: 9 時間/ サイクル)	シール アンシール
5	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的 研究 (その 1 実験計画と結果概要) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	菌田 敏, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 池内俊之, 大池 武	① 20, 110, 180, 325℃ の一定加熱 ② 20~110℃, 20~ 180℃, 20~325℃ の サイクル加熱	① 1 日~24 ヶ月 ② 1~180 サイクル (1 サイクル: 72 時間, 高温保持時間: 24 時 間/サイクル)	シール アンシール
6	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的 研究 (その 2 普通コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	池内俊之, 長尾覚博, 北野剛人, 守屋正裕, 菌田 敏, 大池 武			
7	長期間加熱を受けたコンクリートの物性変化に関する実験的 研究 (その 3 耐熱コンクリートの力学特性試験結果) (日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), 1999 年 9 月)	大池 武, 池内俊之, 北野剛人, 長尾覚博, 菌田 敏, 守屋正裕			

3. 施設を構成する部材の構造特性

鉄筋コンクリート構造物における部材内の温度差及び拘束により発生する熱応力は、燃料プール及びキャスク置場の壁が周囲の壁，床に比べて厚く，さらに取り付く床が少ないため，拘束応力のレベルが低いことに加え，「CCV規格」では，自己拘束的な応力であることから，十分な塑性変形能力がある場合，終局耐力に影響しないこととされている。

以上を踏まえ，施設を構成する部材の構造特性については，高温時においても設計基準状態との相違は小さい。

4. まとめ

鉄筋コンクリート構造物の高温時の健全性について，既往の文献・規格等に基づき評価を行い，燃料プール及びキャスク置場の重大事故等時における高温状態に対しても，鉄筋コンクリート構造物の強度及び剛性への影響は小さいことを確認した。

VI-2-4-2 使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-2-2 使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	19
4.7 計算条件	25
4.8 応力の評価	25
5. 評価結果	26
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26
別添 解析モデルの寸法	39

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、使用済燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ラックは、たて置形で原子炉建物の燃料プール床に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトで固定されている。 共通ベースは基礎ボルトで燃料プール床に固定されている。</p>	<p>たて置きラック式 (ボロン添加ステンレス鋼製板構造) ラック本体の板部は、大板と幅狭板(小板)を交互に組み合わせた板構造となっている。</p>	<p>概略構造図</p> <p>Bから見る</p> <p>Aから見る</p> <p>アンカー部概略構造図</p> <p>(大板)</p> <p>使用済燃料貯蔵ラック</p> <p>板</p> <p>使用済燃料貯蔵ラック</p> <p>シートプレート</p> <p>ラックベース</p> <p>ラック取付ボルト</p> <p>基礎ボルト</p> <p>燃料プール床</p> <p>共通ベース</p> <p>機器用金物</p> <p>埋込ボルト</p> <p>ラックベース</p> <p>シートプレート</p> <p>(幅狭板 (小板))</p> <p>A</p> <p>アンカー部</p> <p>(ベース部断面)</p> <p>Aから見る</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図2-1に示す。

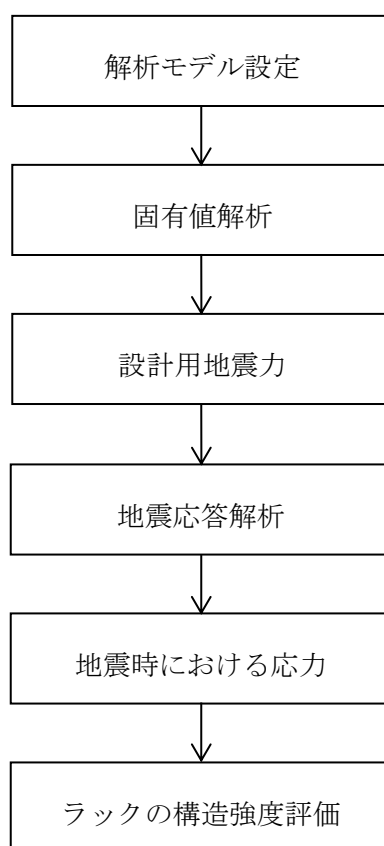


図2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _{a i}	ラックベース底部に働くせん断力* ¹	N
F _{b i}	共通ベース底部に働くせん断力* ¹	N
F _{c i}	143 体ラックベース底部に働くせん断力* ¹	N
F _{d i}	144 体ラックベース底部に働くせん断力* ¹	N
f _{j i}	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに働く引張力 (1 本当たり) * ¹ , * ²	N
f _{s m}	部材の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t m}	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受けるラック取付ボルト又は基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h	共通ベース高さ	mm
l _{g i}	ラックベース端から重心まで又は共通ベース端の支点部から重心までの距離* ¹	mm
l _{j i}	ラックベース端からラック取付ボルトまで又は共通ベース端の支点部から基礎ボルトまでの距離* ¹ , * ²	mm
M _{a i}	ラックベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{b i}	共通ベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{c i}	143 体ラックベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{d i}	144 体ラックベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{e i}	143 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm
M _{f i}	144 体ラックのせん断力による共通ベース底部の転倒モーメント* ¹	N・mm

記号	記号の説明	単位
M t i	ラック据付時の全体の転倒モーメント*1	N・mm
m a	使用済燃料貯蔵時のラック全質量	kg
m a t h	ラックの排除水質量*3	kg
m b	共通ベースの全質量	kg
m b t	共通ベースの質量	kg
m b t h	共通ベースの排除水質量*3	kg
m c	143 体ラックの全質量	kg
m c t	使用済燃料貯蔵時の 143 体ラックの質量	kg
m c t h	143 体ラックの排除水質量*3	kg
m d	144 体ラックの全質量	kg
m d t	使用済燃料貯蔵時の 144 体ラックの質量	kg
m d t h	144 体ラックの排除水質量*3	kg
m F	使用済燃料の質量	kg
m R	ラックの質量	kg
m t	ラック据付時の共通ベースの全質量	kg
m w	ラックに含まれる水の質量	kg
n	ラック取付ボルト又は基礎ボルトの全本数	—
n j i	ラック取付ボルト又は基礎ボルト各部の本数*1, *2	—
S u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
t	部材の板厚	mm
v	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ x, σ y	部材に生じる引張応力	MPa
σ f a	部材に生じる組合せ応力	MPa
τ b	ラック取付ボルト又は基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ x y	部材に生じるせん断応力	MPa

注記*1: F_{ai} , F_{bi} , F_{ci} , F_{di} , f_{ji} , l_{ji} , M_{ai} , M_{bi} , M_{ci} , M_{di} , M_{ei} , M_{fi} , M_{ti} 及び n_{ji} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i=N$: NS 方向

$i=E$: EW 方向

*2: f_{ji} , l_{ji} 及び n_{ji} の添字 j はボルトの列番号を示す。

*3: 排除水質量とは、機器が流体中にある場合に、機器が排除する流体の質量であり、ラック及び共通ベースの質量として考慮する、使用済燃料、ラック及び共通ベース自身、ラックに含まれる水が占める体積分の水に相当する質量を示す。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1: 設計上定める値が小数点以下第1位又は第2位の場合は、小数点以下第1位又は第2位表示とする。

*2: 絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3: 設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる板、シートプレート、ラックベース、ラック取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。なお、ラックの種類としては、貯蔵体数及び配列の異なる 100 体ラック、110 体ラック、120 体ラック、130 体ラック、132 体ラック、143 体ラック及び 144 体ラックがあるが、この中で許容応力に対する裕度が一番小さくなる 143 体ラックについて記載する。ラックの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ラックは、原子炉建物の燃料プールの底部(EL 30.83m)に置かれた共通ベース上に設置され、ラック取付ボルトにより固定されるものとする。
- (2) 地震応答解析時のラックの質量には、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量及びラック外形の付加質量*を考慮する。
- (3) 構造強度評価時のラックの質量は、使用済燃料の質量とラック自身の質量のほか、ラックに含まれる水の質量とする。また、更に精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
- (4) 地震力は、ラックに対して水平方向及び鉛直方向から作用させる。
ここで、水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S 法を適用する。
- (5) 構造概要図（143体ラック）を図4-1に、全体組立図（143, 144体ラック）を図4-2に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

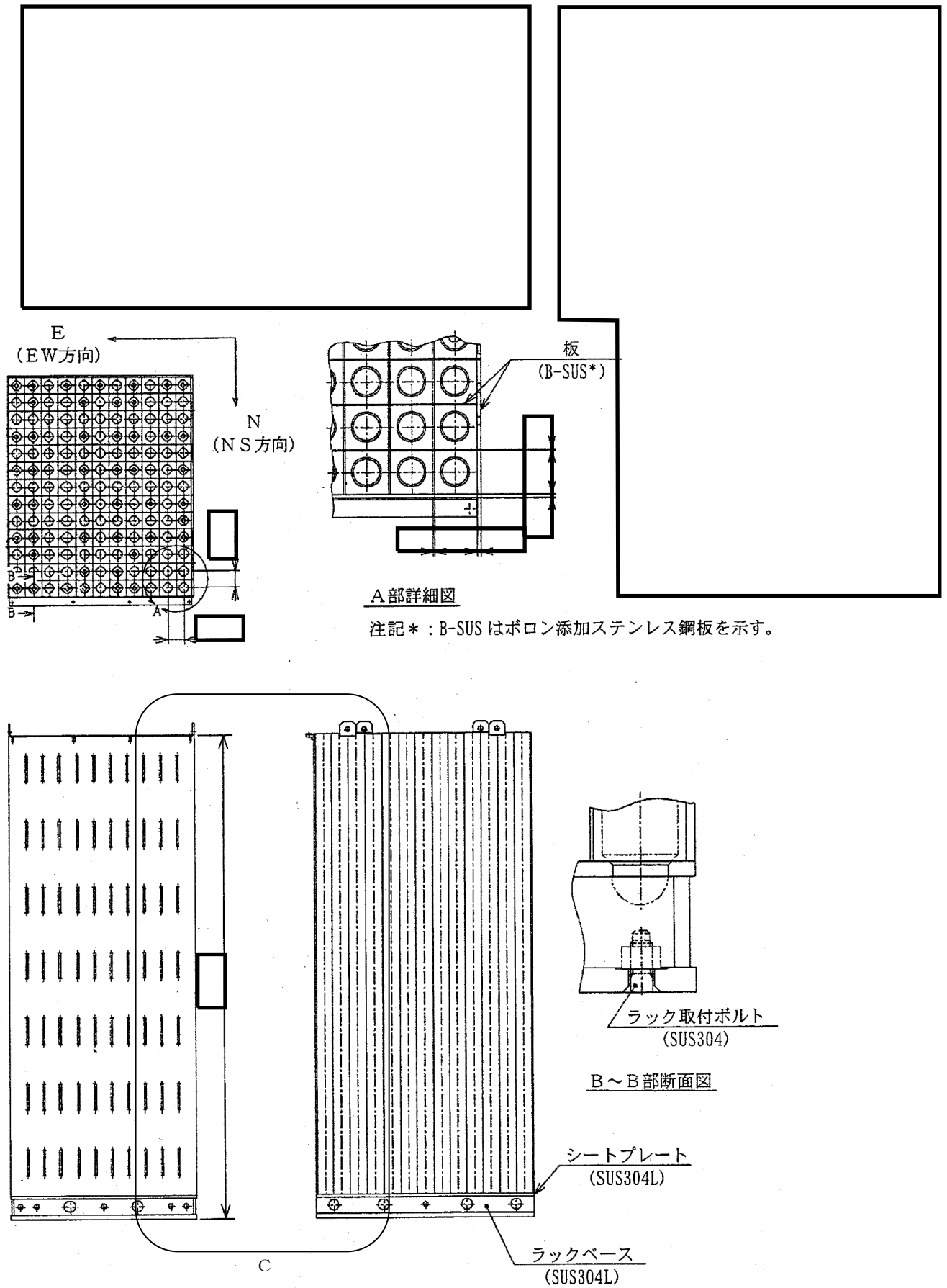


図4-1 構造概要図 (143体ラック) (単位: mm)

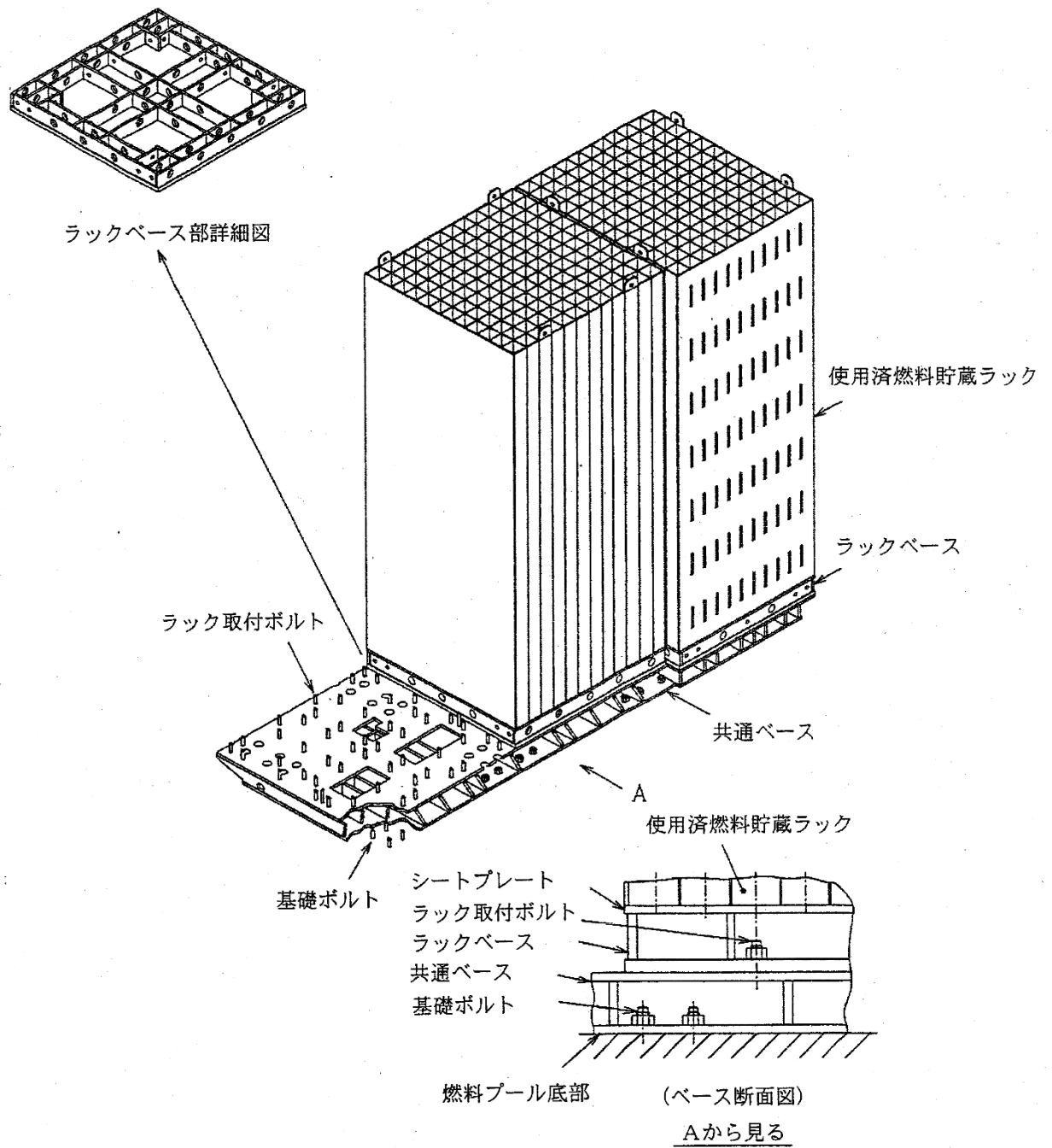


図 4-2 全体組立図 (143, 144 体ラック)

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

ラックの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料	使用済燃料	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
	貯蔵設備	貯蔵ラック			$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	使用済燃料 貯蔵ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張	せん断	引張	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
板	ボロン添加ステンレス鋼板	周囲環境温度	66	—	188 *	479 *	205 *
シートプレート ラックベース	SUS304L	周囲環境温度	66	—	160	443	175
ラック取付ボルト 基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	66	—	188	479	205

注記*：ボロン添加ステンレス鋼板のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
板	ボロン添加ステンレス鋼板	周囲環境温度	100	—	171 *	441 *	205 *
シートプレート ラックベース	SUS304L	周囲環境温度	100	—	145	408	175
ラック取付ボルト 基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	100	—	171	441	205

注記*：ボロン添加ステンレス鋼板のS_y、S_uの値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304の値を使用する。

4.3 解析モデル及び諸元

ラックの解析モデルを図4-3に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ラックはシェル要素を用いた有限要素モデルとする。
- (2) ラックはラックベース底部でラック取付ボルトを介し共通ベースに固定されている。共通ベースは剛構造であるため、解析モデルはラック単体をモデル化する。なお、ラック取付ボルト部は剛体として評価する。
- (3) ラックの質量には使用済燃料の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び付加質量を考慮し、これら使用済燃料、ラックに含まれる水の質量及び付加質量は板全長にわたって等分布に与える。
- (4) 本ラックに使用するボロン添加ステンレス鋼板のボロン添加量は wt% であり、ボロン添加ステンレス鋼板の縦弾性係数はボロン添加量の増加に従って漸増する傾向にあるため、縦弾性係数は固有周期が大きくなる側となるボロン添加量の下限の値を用いるものとする。また、前記のうちラックの幅狭板（小板）については、断続溶接による剛性の低下を精緻化するため、更に縦弾性係数の値を補正し解析モデルに反映する。
- (5) 固有値、荷重及び部材の応力は、解析コード「SAP-IV」を用いて求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

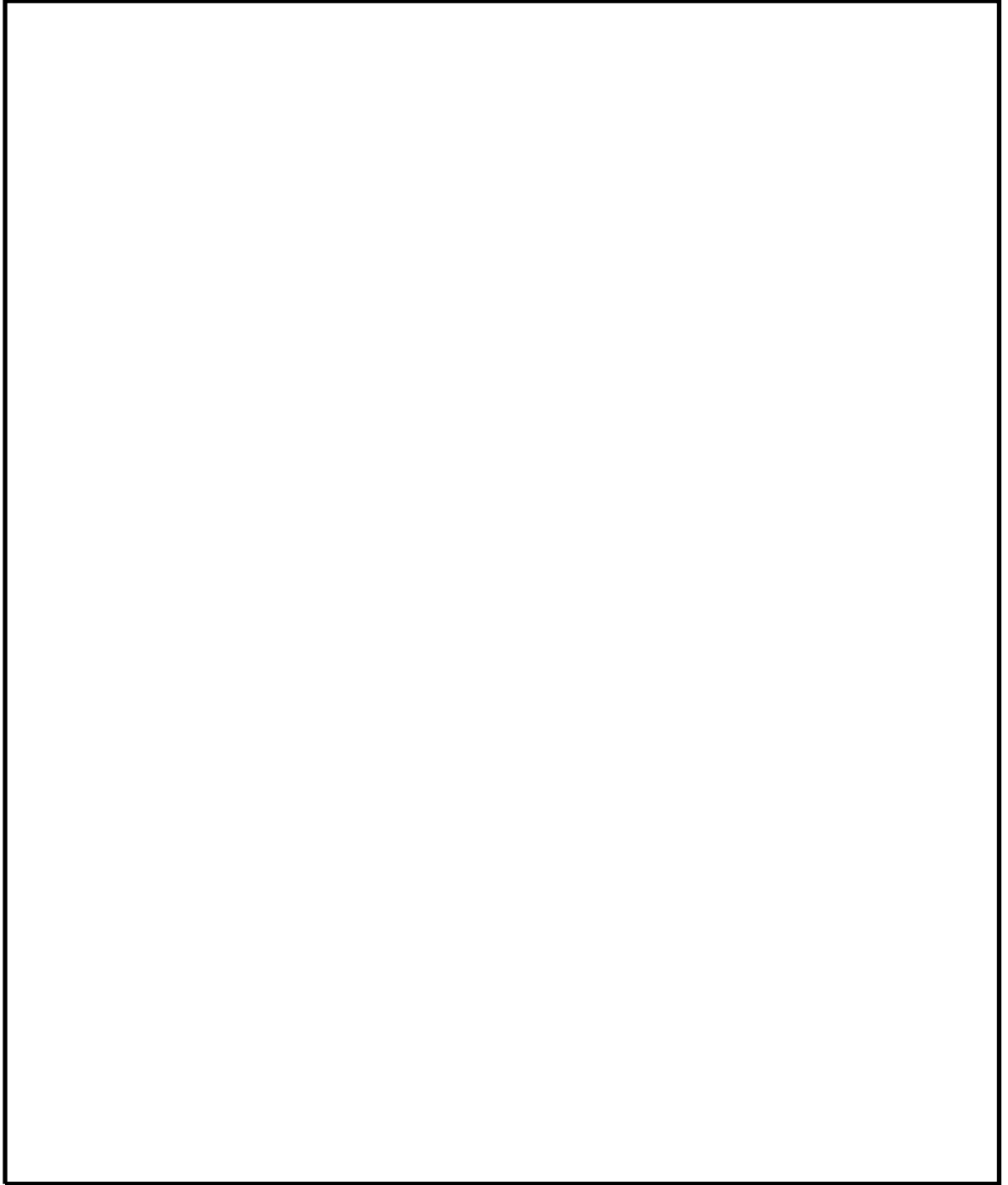


図 4-3 解析モデル (143 体ラック)

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-6、振動モード図を図4-4に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-6 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平				

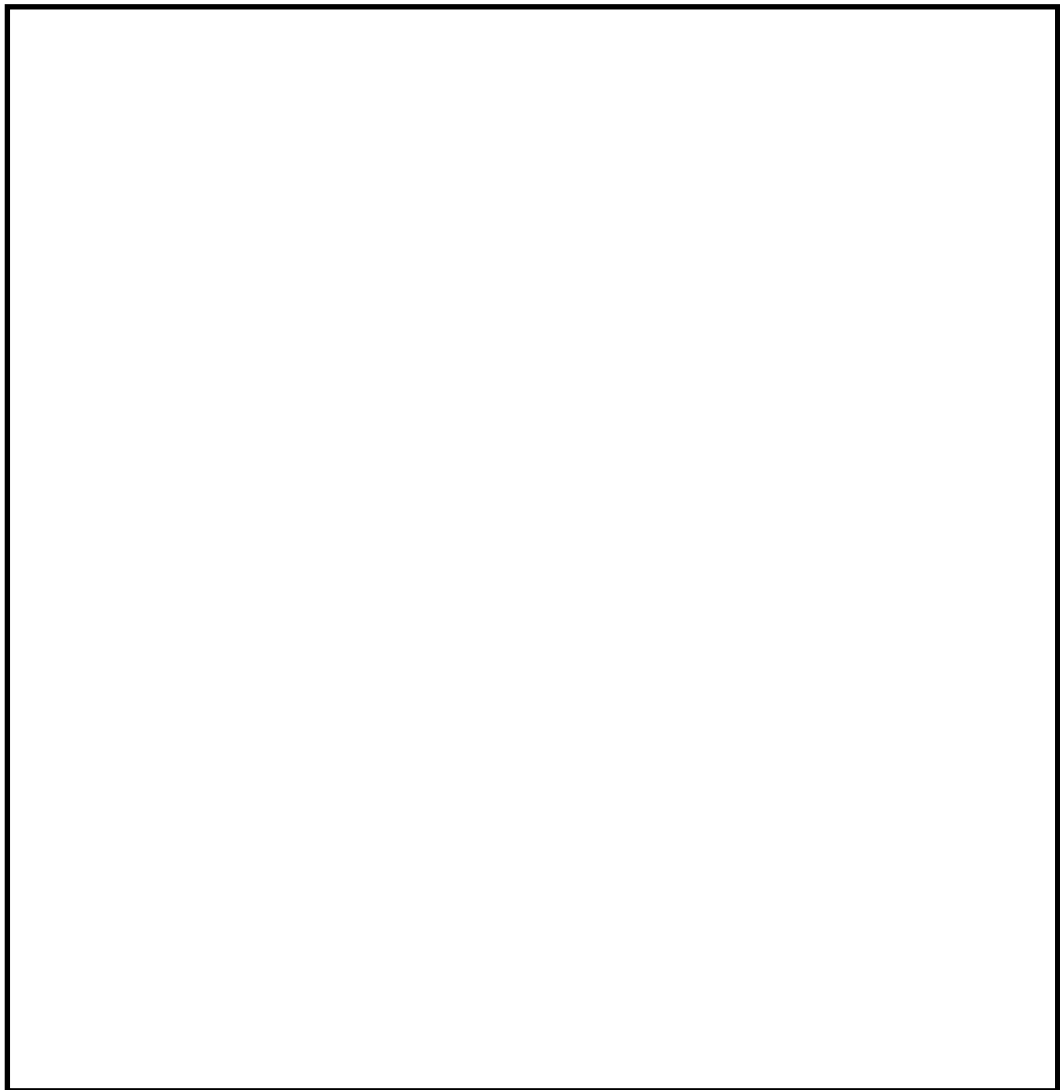


図 4-4 振動モード図 (1次モード 水平方向 s)

4.5 設計用地震力

使用済燃料貯蔵ラックの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-7に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-8に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
					NS 方向	EW 方向	
原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1})		0.05 以下	$C_H=0.99^{*2}$	$C_V=0.93^{*2}$	$C_H=1.73^{*3}$	$C_H=2.32^{*3}$	$C_V=1.73^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度。なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

表 4-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度
					NS 方向	EW 方向	
原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1})		0.05 以下	—	—	$C_H=1.73^{*2}$	$C_H=2.32^{*2}$	$C_V=1.73^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度。なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

4.6 計算方法

4.6.1 部材の応力

部材についての応力計算は、図4-3の解析モデルにて、板、シートプレート、ラックベースからなる系全体での応力計算を解析コード「SAP-IV」を使用して行い、引張応力、せん断応力を求め、本項に示す計算方法に従って組合せ応力を計算する。

解析コード内では、各部材の局所座標系及びせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y の働く向きを図4-5に示すように設定している。

各シェル部材の組合せ応力 σ_{fa} は、上述で計算したせん断応力 τ_{xy} 、引張応力 σ_x 、 σ_y を用いて(4.6.1)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1)$$

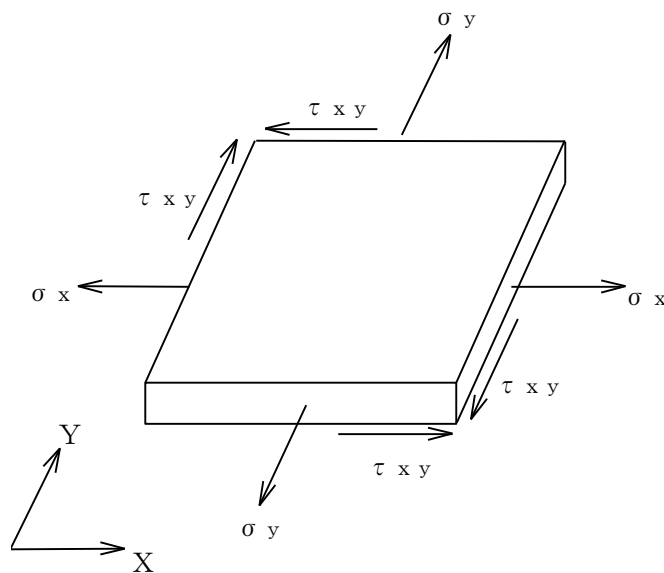


図4-5 部材の応力計算モデル

4.6.2 ボルトの応力

4.6.2.1 ラック取付ボルト

図4-3の解析モデルにて、ラックの系全体での荷重を計算機コード「SAP-IV」を使用して算出し、求められた地震時のラックに作用する転倒モーメント M_{ai} 及びラックベース底部に作用するせん断力 F_{ai} が、ラックに図4-6のように負荷されるものとしてラック取付ボルトの応力を求める。

ラック取付ボルトの荷重状態を図4-6に示す。

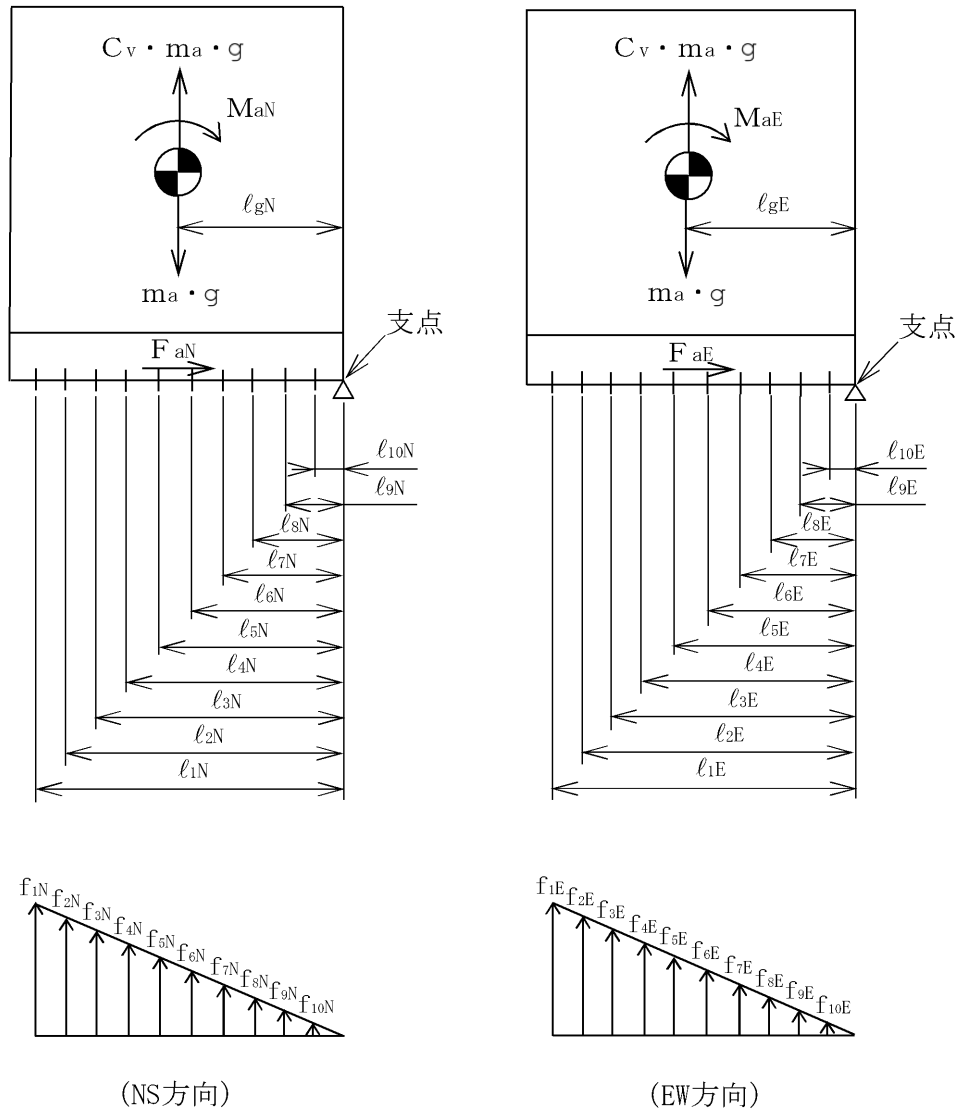


図4-6 ラック取付ボルトの荷重状態

ラックの全質量は、(4.6.2) 式より使用済燃料の質量、ラック自身の質量及びラックに含まれる水の質量の合計から排除水質量を減じて求める。

$$m_a = m_F + m_R + m_W - m_{ath} \quad \dots\dots\dots (4.6.2)$$

ここで、 m_{ath} は排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）を示す。

(1) 引張応力

図 4-6 において支点回りのモーメントの平衡によりラック取付ボルト 1 本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを (4.6.3) 式より求める。

$$f_{1i} = \frac{l_{1i} \cdot \left\{ \sqrt{M_{ai}^2 + (C_v \cdot m_a \cdot g \cdot l_{gi})^2} - m_a \cdot g \cdot l_{gi} \right\}}{n_{1i} \cdot l_{1i}^2 + n_{2i} \cdot l_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot l_{ji}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.3)$$

したがって、引張力 f_{1i} によりラック取付ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.4) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5) 式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (4.6.5)$$

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{ai} によりラック取付ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.6) 式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{ai}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.6)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5) 式による。

4.6.2.2 基礎ボルト

共通ベースの種類を表 4-9 に示す。この中で質量条件が大きく、応力が最も大きくなる 143 体ラック 1 台と 144 体ラック 2 台設置用について以下に示す。

本ケースのラック及び共通ベースに作用する水平方向の力は合計 48 本の共通ベース基礎ボルトで固定される。地震時に発生するラック据付時の全体の転倒モーメント M_{ti} 及び共通ベース底部に作用するせん断力 F_{bi} が、ラック及び共通ベース全体において図 4-7 のように負荷されるものとして基礎ボルトの応力を求める。

基礎ボルトの荷重状態を図 4-7 に示す。

表 4-9 共通ベースの種類と台数

共通ベースの種類別積載ラック台数	共通ベース台数
132 体ラック 2 台設置用	1
110 体ラック 2 台設置用	1
110 体ラック 1 台と 120 体ラック 1 台と 132 体ラック 1 台設置用	1
100 体ラック 1 台と 110 体ラック 1 台設置用	3
110 体ラック 1 台と 120 体ラック 2 台設置用	3
130 体ラック 1 台と 143 体ラック 1 台設置用	1
143 体ラック 1 台と 144 体ラック 2 台設置用	1
144 体ラック 2 台設置用	1

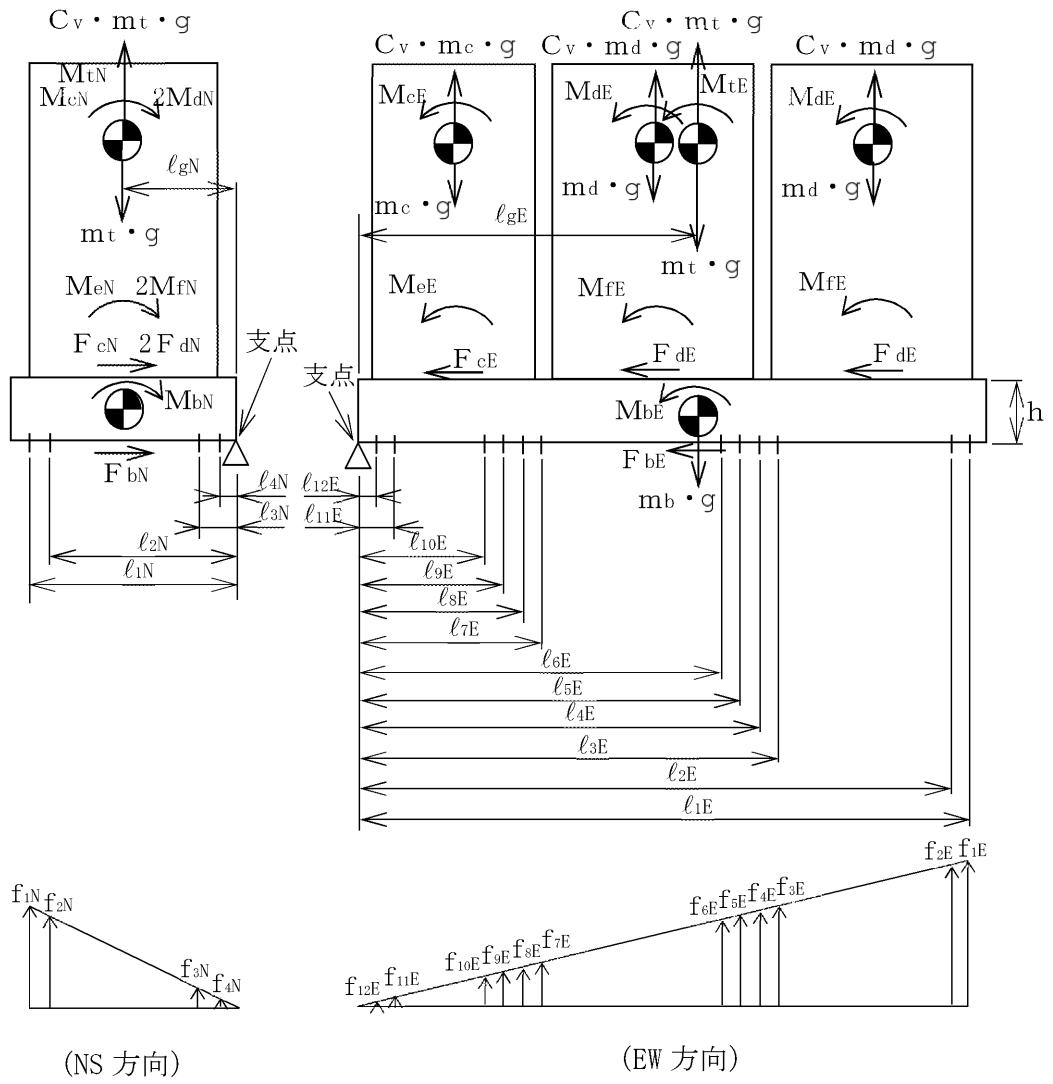


図 4-7 基礎ボルトの荷重状態

ラック据付時の共通ベースの全質量は、(4.6.7) 式より共通ベースの質量及び使用済燃料貯蔵時のラックの質量から排除水質量を減じた質量で求める。

$$m_t = m_b + m_c + 2 \cdot m_d \quad \dots\dots\dots (4.6.7)$$

ここで、

$$m_b = m_{bt} - m_{bth}$$

$$m_c = m_{ct} - m_{cth}$$

$$m_d = m_{dt} - m_{dth}$$

m_{bth} , m_{cth} , m_{dth} は排除水質量(水中に設置される機器が排除する水の質量)を示す。

(1) 引張応力

図4-7において支点回りのモーメントの平衡により基礎ボルト1本当たりの引張力 $f_{1i} \sim f_{ji}$ を求める。

$f_{1i} > f_{2i} > \dots > f_{ji}$ の関係にあるので f_{1i} のみを(4.6.8)式より求める。

$$f_{1i} = \frac{\ell_{1i} \cdot \{ \sqrt{M_{ti}^2 + (C_v \cdot m_t \cdot g \cdot \ell_{gi})^2} - m_t \cdot g \cdot \ell_{gi} \}}{n_{1i} \cdot \ell_{1i}^2 + n_{2i} \cdot \ell_{2i}^2 + \dots + n_{ji} \cdot \ell_{ji}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.8)$$

ここで、

$$M_{ti} = M_{bi} + M_{ci} + 2 \cdot M_{di} + M_{ei} + 2 \cdot M_{fi}$$

$$M_{bi} = C_H \cdot m_b \cdot g \cdot h / 2$$

$$M_{ei} = F_{ci} \cdot h$$

$$M_{fi} = F_{di} \cdot h$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(4.6.9)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.9)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5)式による。

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

(2) せん断応力

せん断力 F_{bi} により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(4.6.10)式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_{bi}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.10)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は、(4.6.5)式による。

4.7 計算条件

応力計算に用いる自重（ラック）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 部材の応力評価

4.6.1項で求めた各部材の引張応力 σ_x 、 σ_y 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

また、4.6.1項で求めた各部材のせん断応力 τ_{xy} が、許容せん断応力 f_{sm} 以下であること。

ただし、 f_{tm} 及び f_{sm} は下表による。

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S _s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

注：ボロン添加ステンレス鋼板の引張強さと降伏点（0.2%耐力）の値は、SUS304の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、F、F*値はSUS304の値を使用する。

4.8.2 ボルトの応力評価

4.6.2項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (4.8.1)$$

また、4.6.2項で求めたボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S _s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-4-2-2 R1

【使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s			最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
使用済燃料貯蔵ラック (143 体ラック)	S	原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1})		0.05 以下	C _H =0.99 ^{*2}	C _V =0.93 ^{*2}	C _H =1.73 ^{*3}	C _H =2.32 ^{*3}	C _V =1.73 ^{*3}	—	66

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度。なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

1.2 機器要目

1.2.1 機器諸元

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
板	ボロン添加 ステンレス鋼板			0.3
シートプレート	SUS304L		191000	0.3
ラックベース	SUS304L		191000	0.3

注記*1: ボロン添加量 wt% における実験値 (大板)

*2: ボロン添加量 wt% における実験値をもとに、断続溶接による剛性の低下を補正した値 (幅狭板 (小板))

1.2.2 板, シートプレート, ラックベース

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
板	ボロン添加 ステンレス鋼板	188 *	479 *	205 *	205	246
シートプレート	SUS304L	160	443	175	175	210
ラックベース	SUS304L	160	443	175	175	210

注記*: ボロン添加ステンレス鋼板の S_y, S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304 の値を使用する。

S2 補 VI-2-4-2-2 R1

1.2.3 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

ラック	m_a (kg)	$m_{a\ t\ h}$ (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{7N} (mm)	l_{8N} (mm)	l_{9N} (mm)	l_{10N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)
143体ラック						1962	1806	1650	1494	1338	1182	870	558	246	90	1650	1494	1338	1182	1026

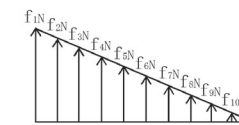
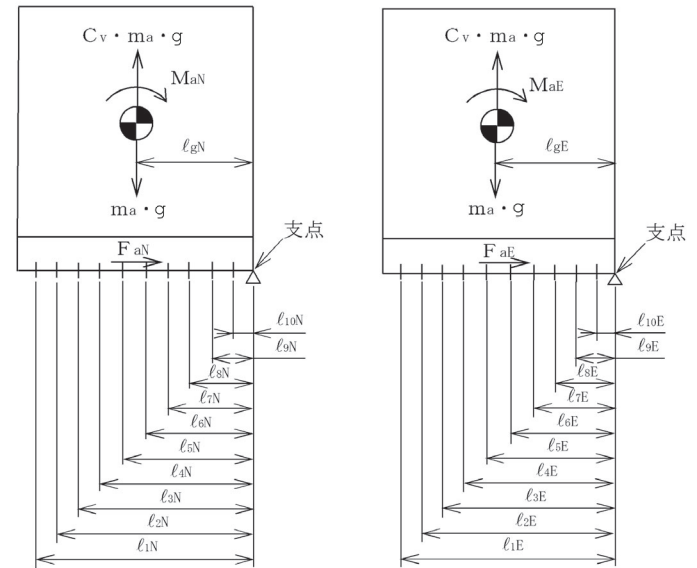
l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{9E} (mm)	l_{10E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{7N}	n_{8N}	n_{9N}	n_{10N}
870	714	558	246	90	1026	870	36 (M36)	1.018×10^3	47	6	2	2	6	1	6	6	7	4	7

n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}
6	2	2	6	7	1	7	2	8	6

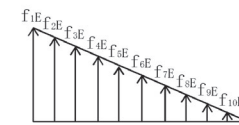
ラック取付 ボルト材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
SUS304	188	479	205	205	246

注記*：周囲環境温度(66℃)で算出

地震力の種類	F_{aN} (N)	F_{aE} (N)	M_{aN} (N・mm)	M_{aE} (N・mm)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	4.988×10^5	4.988×10^5	1.132×10^9	1.135×10^9
基準地震動 S_s	8.717×10^5	1.169×10^6	1.978×10^9	2.660×10^9



(NS方向)



(EW方向)

S2 補 VI-2-4-2-2 R1

1.2.4 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

	m_t (kg)	m_b (kg)	m_{bt} (kg)	m_{bth} (kg)	m_c (kg)	m_{ct} (kg)	m_{cth} (kg)	m_d (kg)	m_{dt} (kg)	m_{dth} (kg)	h (mm)	ℓ_{1N} (mm)	ℓ_{2N} (mm)	ℓ_{3N} (mm)	ℓ_{4N} (mm)	ℓ_{1E} (mm)	ℓ_{2E} (mm)	ℓ_{3E} (mm)	ℓ_{4E} (mm)	ℓ_{5E} (mm)	ℓ_{6E} (mm)	ℓ_{7E} (mm)	ℓ_{8E} (mm)	ℓ_{9E} (mm)
共通ベース											195	1538	1334	314	110	5218.25	5049.75	3870.25	3701.75	3429.25	3260.75	2081.25	1912.75	1640.25

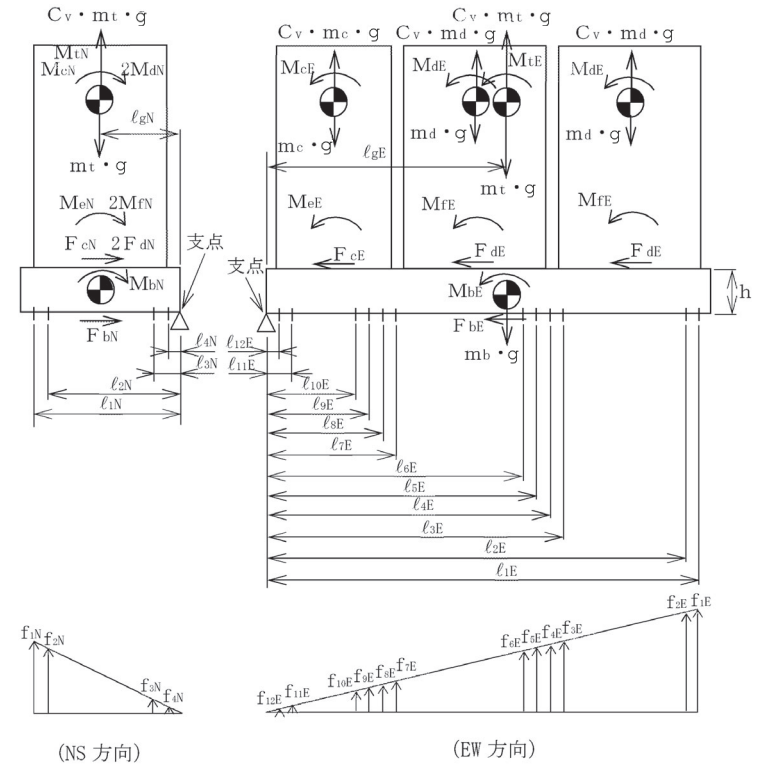
ℓ_{10E} (mm)	ℓ_{11E} (mm)	ℓ_{12E} (mm)	ℓ_{gN} (mm)	ℓ_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}	n_{11E}	n_{12E}	
1471.75	292.25	123.75	830.75	2705.25	39 (M39)	1.195×10^3	48	12	12	12	12	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

基礎ボルト材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304	188	479	205	205	246

注記*：周囲環境温度(66℃)で算出

地震力の種類	F_{bN} (N)	F_{bE} (N)	F_{cN} (N)	F_{cE} (N)	F_{dN} (N)	F_{dE} (N)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	1.553×10^6	1.553×10^6	4.988×10^5	4.988×10^5	5.024×10^5	5.024×10^5
基準地震動 S_s	2.713×10^6	3.639×10^6	8.717×10^5	1.169×10^6	8.779×10^5	1.177×10^6

M_{bN} (N・mm)	M_{bE} (N・mm)	M_{cN} (N・mm)	M_{cE} (N・mm)	M_{dN} (N・mm)	M_{dE} (N・mm)
4.798×10^6	4.798×10^6	1.132×10^9	1.135×10^9	1.140×10^9	1.142×10^9
8.385×10^6	1.124×10^7	1.978×10^9	2.660×10^9	1.991×10^9	2.675×10^9



1.3 計算数値

1.3.1 部材に生じる応力

(1) 板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
143 体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張 σ_x	13	5	28	11
		引張 σ_y	3	23	6	55
		せん断 τ_{xy}	24	33	50	72
		組合せ σ_{fa}	42	61	89	134

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
143 体ラック	SUS304L	引張 σ_x	6	8	11	17
		引張 σ_y	26	31	55	72
		せん断 τ_{xy}	3	5	6	11
		組合せ σ_{fa}	25	29	51	68

1.3.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
143 体ラック	SUS304	引張 σ_b	21	28	49	83
		せん断 τ_b	11	11	19	25

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
共通ベース	SUS304	引張 σ_b	66	11	141	67
		せん断 τ_b	27	27	48	64

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

ラック	方向	固有周期
143 体ラック	水平方向	
	鉛直方向	0.05 以下

1.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

本評価結果は、引張、せん断の個別応力が全て許容応力以下であることを確認した上で、組合せ応力が最大となるケースの引張、せん断、組合せ応力を記載する。

a. 板 (単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張	$\sigma_x = 5$	$f_{tm} = 205$	$\sigma_x = 11$	$f_{tm} = 246$
			$\sigma_y = 23$	$f_{tm} = 205$	$\sigma_y = 55$	$f_{tm} = 246$
		せん断	$\tau_{xy} = 33$	$f_{sm} = 118$	$\tau_{xy} = 72$	$f_{sm} = 142$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 61$	$f_{tm} = 205$	$\sigma_{fa} = 134$	$f_{tm} = 246$

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース (単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304L	引張	$\sigma_x = 8$	$f_{tm} = 175$	$\sigma_x = 17$	$f_{tm} = 210$
			$\sigma_y = 31$	$f_{tm} = 175$	$\sigma_y = 72$	$f_{tm} = 210$
		せん断	$\tau_{xy} = 5$	$f_{sm} = 101$	$\tau_{xy} = 11$	$f_{sm} = 121$
		組合せ	$\sigma_{fa} = 29$	$f_{tm} = 175$	$\sigma_{fa} = 68$	$f_{tm} = 210$

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304	引張	$\sigma_b = 28$	$f_{ts} = 153^*$	$\sigma_b = 83$	$f_{ts} = 184^*$
		せん断	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 25$	$f_{sb} = 142$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベース	SUS304	引張	$\sigma_b = 66$	$f_{ts} = 153^*$	$\sigma_b = 141$	$f_{ts} = 180^*$
		せん断	$\tau_b = 27$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 48$	$f_{sb} = 142$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

S2 補 VI-2-4-2-2 R1

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s			最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度		
							NS 方向	EW 方向			
使用済燃料貯蔵ラック (143 体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL 30.83 (EL 30.5 ^{*1})	<input type="text"/>	0.05 以下	—	—	C _H =1.73 ^{*2}	C _H =2.32 ^{*2}	C _V =1.73 ^{*2}	—	100

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

なお、水平方向設計震度は、評価の精緻化として個別の方向の震度を適用

2.2 機器要目

2.2.1 機器諸元

部材	材料	板厚 (mm)	縦弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν
板	ボロン添加 ステンレス鋼板	<input type="text"/>	<input type="text"/> ^{*1} <input type="text"/> ^{*2}	0.3
シートプレート	SUS304L	<input type="text"/>	191000	0.3
ラックベース	SUS304L	<input type="text"/>	191000	0.3

注記*1: ボロン添加量 wt% における実験値 (大板)

*2: ボロン添加量 wt% における実験値をもとに、断続溶接による剛性の低下を補正した値 (幅狭板 (小板))

2.2.2 板, シートプレート, ラックベース

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
板	ボロン添加 ステンレス鋼板	171 *	441 *	205 *	—	230
シートプレート	SUS304L	145	408	175	—	195
ラックベース	SUS304L	145	408	175	—	195

注記*: ボロン添加ステンレス鋼板の S_y, S_u の値は、SUS304 の規格値を上回っているが、安全側の評価とするため、SUS304 の値を使用する。

S2 補 VI-2-4-2-2 R1

2.2.3 ラック取付ボルトの応力評価に用いる要目

ラック	m_a (kg)	$m_{a \cdot t \cdot h}$ (kg)	m_F (kg)	m_R (kg)	m_w (kg)	l_{1N} (mm)	l_{2N} (mm)	l_{3N} (mm)	l_{4N} (mm)	l_{5N} (mm)	l_{6N} (mm)	l_{7N} (mm)	l_{8N} (mm)	l_{9N} (mm)	l_{10N} (mm)	l_{1E} (mm)	l_{2E} (mm)	l_{3E} (mm)	l_{4E} (mm)	l_{5E} (mm)
143体ラック						1962	1806	1650	1494	1338	1182	870	558	246	90	1650	1494	1338	1182	1026

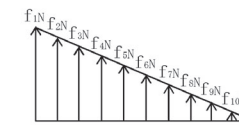
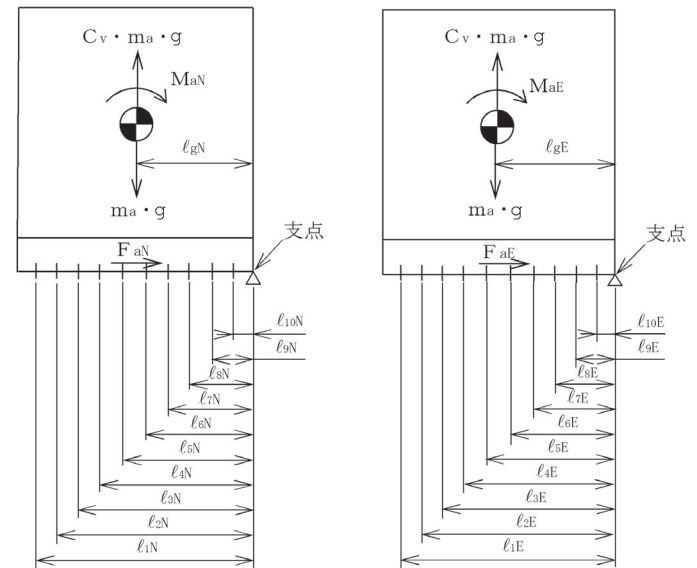
l_{6E} (mm)	l_{7E} (mm)	l_{8E} (mm)	l_{9E} (mm)	l_{10E} (mm)	l_{gN} (mm)	l_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{5N}	n_{6N}	n_{7N}	n_{8N}	n_{9N}	n_{10N}
870	714	558	246	90	1026	870	36 (M36)	1.018×10^3	47	6	2	2	6	1	6	6	7	4	7

n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}
6	2	2	6	7	1	7	2	8	6

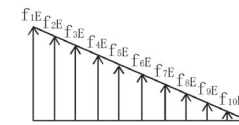
ラック取付 ボルト材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
SUS304	171	441	205	—	230

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出

地震力の種類	F_{aN} (N)	F_{aE} (N)	M_{aN} (N・mm)	M_{aE} (N・mm)
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—	—	—
基準地震動 S _s	8.717×10^5	1.169×10^6	1.978×10^9	2.660×10^9



(NS方向)



(EW方向)

S2 補 VI-2-4-2-2 R1

2.2.4 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

	m_t (kg)	m_b (kg)	m_{bt} (kg)	m_{bth} (kg)	m_c (kg)	m_{ct} (kg)	m_{cth} (kg)	m_d (kg)	m_{dt} (kg)	m_{dth} (kg)	h (mm)	ℓ_{1N} (mm)	ℓ_{2N} (mm)	ℓ_{3N} (mm)	ℓ_{4N} (mm)	ℓ_{1E} (mm)	ℓ_{2E} (mm)	ℓ_{3E} (mm)	ℓ_{4E} (mm)	ℓ_{5E} (mm)	ℓ_{6E} (mm)	ℓ_{7E} (mm)	ℓ_{8E} (mm)	ℓ_{9E} (mm)
共通ベース											195	1538	1334	314	110	5218.25	5049.75	3870.25	3701.75	3429.25	3260.75	2081.25	1912.75	1640.25

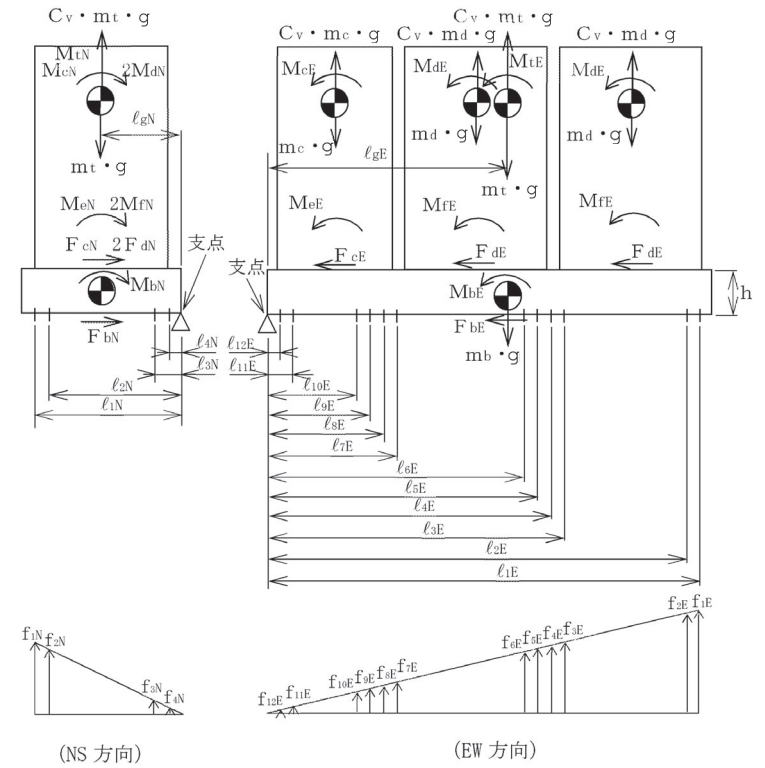
ℓ_{10E} (mm)	ℓ_{11E} (mm)	ℓ_{12E} (mm)	ℓ_{gN} (mm)	ℓ_{gE} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	n	n_{1N}	n_{2N}	n_{3N}	n_{4N}	n_{1E}	n_{2E}	n_{3E}	n_{4E}	n_{5E}	n_{6E}	n_{7E}	n_{8E}	n_{9E}	n_{10E}	n_{11E}	n_{12E}	
1471.75	292.25	123.75	830.75	2705.25	39 (M39)	1.195×10^3	48	12	12	12	12	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

基礎ボルト 材料	S_y^* (MPa)	S_u^* (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
SUS304	171	441	205	—	230

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出

地震力の種類	F_{bN} (N)	F_{bE} (N)	F_{cN} (N)	F_{cE} (N)	F_{dN} (N)	F_{dE} (N)
弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	—	—	—	—	—	—
基準地震動 S_s	2.713×10^6	3.639×10^6	8.717×10^5	1.169×10^6	8.779×10^5	1.177×10^6

M_{bN} (N・mm)	M_{bE} (N・mm)	M_{cN} (N・mm)	M_{cE} (N・mm)	M_{dN} (N・mm)	M_{dE} (N・mm)
—	—	—	—	—	—
8.385×10^6	1.124×10^7	1.978×10^9	2.660×10^9	1.991×10^9	2.675×10^9



2.3 計算数値

2.3.1 部材に生じる応力

(1) 板

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
143 体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張 σ_x	—	—	28	11
		引張 σ_y	—	—	6	55
		せん断 τ_{xy}	—	—	50	72
		組合せ σ_{fa}	—	—	89	134

(2) シートプレート及びラックベース

(単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
143 体ラック	SUS304L	引張 σ_x	—	—	11	17
		引張 σ_y	—	—	55	72
		せん断 τ_{xy}	—	—	6	11
		組合せ σ_{fa}	—	—	51	68

2.3.2 ラック取付ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
143 体ラック	SUS304	引張 σ_b	—	—	49	83
		せん断 τ_b	—	—	19	25

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			NS 方向	EW 方向	NS 方向	EW 方向
共通ベース	SUS304	引張 σ_b	—	—	141	67
		せん断 τ_b	—	—	48	64

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

ラック	方向	固有周期
143 体ラック	水平方向	
	鉛直方向	0.05 以下

2.4.2 応力

(1) 部材に生じる応力

本評価結果は、引張、せん断の個別応力が全て許容応力以下であることを確認した上で、組合せ応力が最大となるケースの引張、せん断、組合せ応力を記載する。

a. 板 (単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	ボロン添加 ステンレス 鋼板	引張	—	—	$\sigma_x = 11$	$f_{tm} = 230$
			—	—	$\sigma_y = 55$	$f_{tm} = 230$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 72$	$f_{sm} = 132$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 134$	$f_{tm} = 230$

すべて許容応力以下である。

b. シートプレート及びラックベース (単位：MPa)

ラック	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304L	引張	—	—	$\sigma_x = 17$	$f_{tm} = 195$
			—	—	$\sigma_y = 72$	$f_{tm} = 195$
		せん断	—	—	$\tau_{xy} = 11$	$f_{sm} = 112$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 68$	$f_{tm} = 195$

すべて許容応力以下である。

(2) ラック取付ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

ラック取付 ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
143 体ラック	SUS304	引張	—	—	$\sigma_b = 83$	$f_{ts} = 172^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 25$	$f_{sb} = 132$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

(3) 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

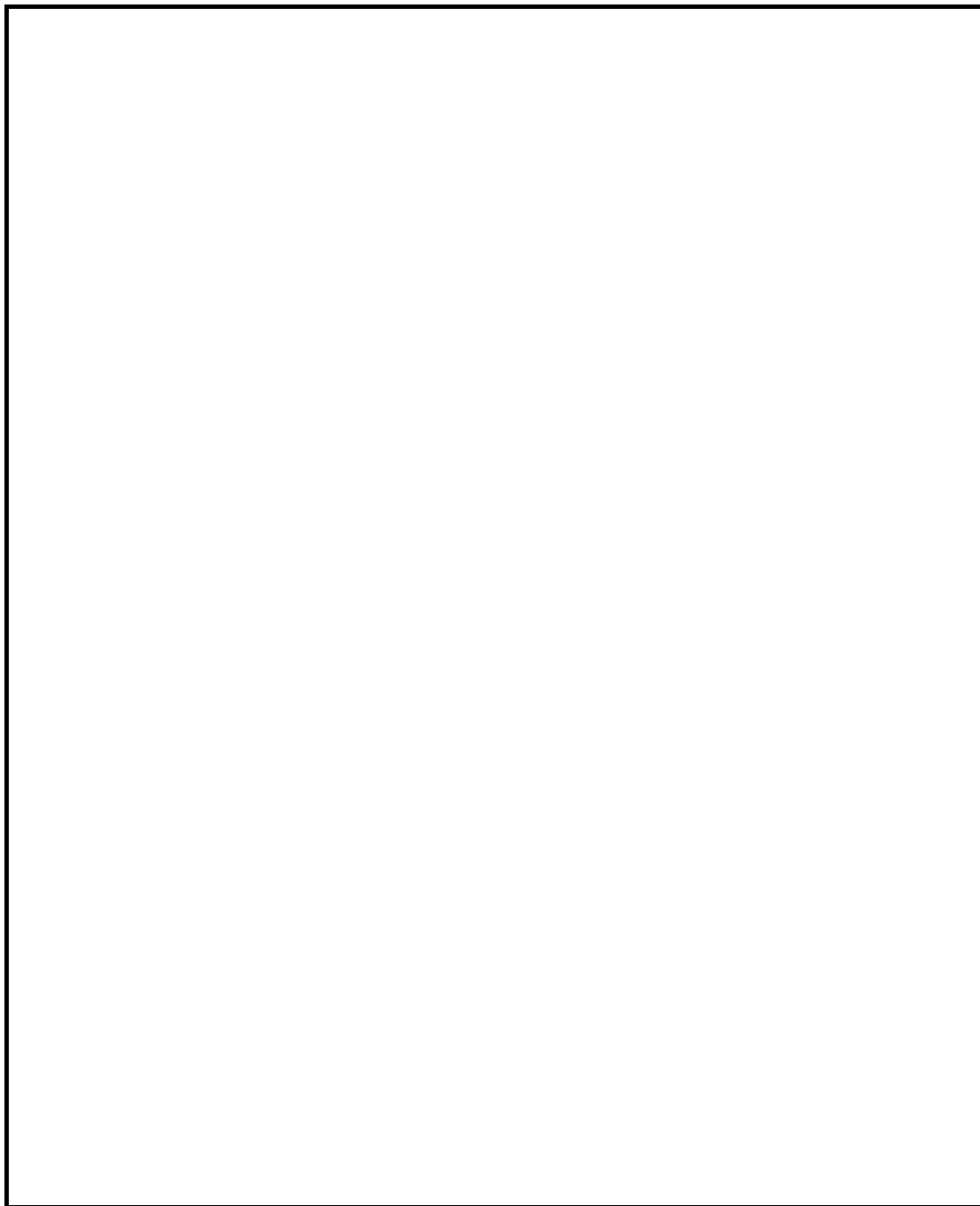
基礎ボルト	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベース	SUS304	引張	—	—	$\sigma_b = 141$	$f_{ts} = 164^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 48$	$f_{sb} = 132$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

別添 解析モデルの寸法

S2 補 VI-2-4-2-2 R1E



付図1 解析モデルの寸法 (143体ラック)

VI-2-4-2-3 制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.3 設計用地震力	17
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	25
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ラックは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ラックの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ラックは、原子炉建物の燃料プールの底部に基礎ボルトで固定し、さらにラックの短辺方向は壁に基礎ボルトで固定したサポートで支持される。</p>	<p>たて置ラック式（ステンレス鋼製）ラック部材の組立ては、パイプとベースはパイプを1本ごとに順次パイプの外周を、パイプ間はパイプ同士を溶接にて接合している。破損燃料格納容器は、最大10体をラック内に挿入できる。</p>	<p>(平面図)</p> <p>(正面図)</p> <p>(側面図) (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ラックの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すラックの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

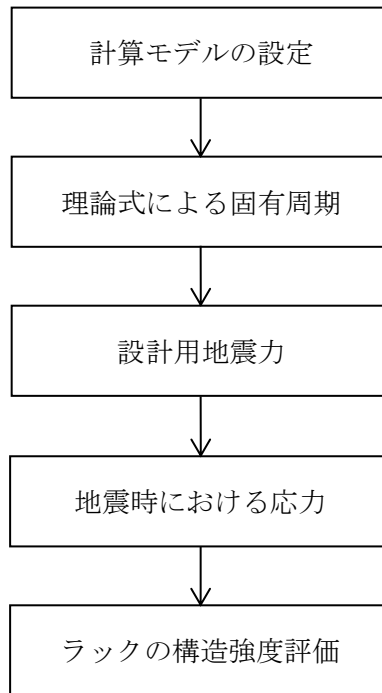


図 2-1 ラックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	ラックの断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _p	サポートの断面積	mm ²
A _{p x} , A _{p z}	サポートのせん断断面積	mm ²
A _{s i} * ¹	ラックのせん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _a	ラックに働く軸力	N
F _i * ¹	ラックに働くせん断力	N
F _{y B}	ベース底部からラック重心位置までに働くせん断力	N
F _{y G}	ラック重心位置からサポート位置までに働くせん断力	N
F _{y i} * ¹	サポート部に働く軸力	N
F _{x i} , F _{z i} * ¹	サポート部に働くせん断力	N
f _{1 i} , f _{2 i} * ¹	底部基礎ボルトに働く引張力 (1本当たり)	N
f _{s m}	部材の許容せん断応力	MPa
f _{s b}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{t m}	部材の許容引張応力	MPa
f _{t o}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₁	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (応力評価時に使用)	mm
h ₂	破損燃料貯蔵時のラック重心からサポートまでの高さ (応力評価時に使用)	mm
h ₃	サポート高さ	mm
h _{x 1}	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (X方向の固有周期計算時に使用)	mm
h _{y 1}	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (Y方向の固有周期計算時に使用)	mm
h _{y 2}	破損燃料貯蔵時のラック重心からサポートまでの高さ (Y方向の固有周期計算時に使用)	mm
h _{z 1}	破損燃料貯蔵時のラック重心高さ (Z方向の固有周期計算時に使用)	mm
I _x	ラックの断面二次モーメント (X軸回り)	mm ⁴
I _y	ラックの断面二次モーメント (Y軸回り)	mm ⁴

記号	記号の説明	単位
K_i^{*1}	ラックのばね定数	N/mm
K_z	ラックのばね定数 (Z方向の固有周期計算時に使用)	N/mm
l	サポート取付部からサポート重心までの水平距離	mm
$l_{g_i}^{*1}$	ベース端からラック重心までの距離	mm
l_1, l_2, l_3, l_4	サポート部基礎ボルトの中心からプレート先端までの距離	mm
l_{1i}, l_{2i}^{*1}	ベース端から底部基礎ボルトまでの距離	mm
l_s	サポート中心からラックによるサポート反力発生点までの距離	mm
M_i^{*1}	ラックの転倒モーメント	N・mm
M_{XB}	ベース底部の転倒モーメント	N・mm
M_{XG}	ラック重心位置の転倒モーメント	N・mm
M_{xi}, M_{zi}^{*1}	サポート部に働くモーメント	N・mm
m	破損燃料貯蔵時のラックの全質量 (応力評価時に使用)	kg
m_a	破損燃料貯蔵時のラックの全質量 (固有周期計算時に使用)	kg
m_c	破損燃料格納容器の質量	kg
m_F	破損燃料の質量	kg
m_R	ラックの質量	kg
m_s	サポートの全質量	kg
m_{sa}	サポートの質量	kg
m_{sth}	サポートの排除水質量 ^{*2}	kg
m_{th}	ラックの排除水質量 ^{*2}	kg
m_{vi}^{*1}	ラックの付加質量 ^{*3}	kg
m_{vz}	ラックの付加質量 ^{*3} (Z方向)	kg
m_w	ラックに含まれる水の質量	kg
N_{pm}	M_{xi}, M_{zi} により生じる基礎ボルト1本当たりの最大引張力	N
n	底部及びサポート部基礎ボルトの全本数	—
n_{1i}, n_{2i}^{*1}	各部の底部基礎ボルトの本数	—
R	ラックによるサポート反力	N
R_B	ベース底部の反力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
T_i^{*1}	固有周期	s
T_z	固有周期 (Z方向)	s
Z_x	ラックの断面係数 (X軸回り)	mm ³
Z_y	ラックの断面係数 (Y軸回り)	mm ³
Z_{px}, Z_{pz}	サポートの断面係数	mm ³
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{ft}	部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	部材に生じるせん断応力	MPa

注記*1: A_{si} , F_i , F_{yi} , F_{xi} , F_{zi} , f_{1i} , f_{2i} , K_i , l_{gi} , l_{1i} , l_{2i} , M_i , M_{xi} , M_{zi} , m_{vi} , n_{1i} , n_{2i} 及び T_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = x$: X方向 (長辺方向)

$i = y$: Y方向 (短辺方向)

*2: 排除水質量とは、機器が流体中にある場合に、機器が排除する流体の質量であり、ラックの質量として考慮する、貯蔵物、ラック自身、ラックに含まれる水が占める体積分の水に相当する質量を示す。

*3: 付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ラックの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるラック、サポート部材及び基礎ボルトについて実施する。ラックの耐震評価部位については、図3-1の構造概要図に示す。ただし、破損燃料格納容器はラックに挿入されているだけであるため、ラックの耐震評価の計算に見込むが評価部位とはしない。

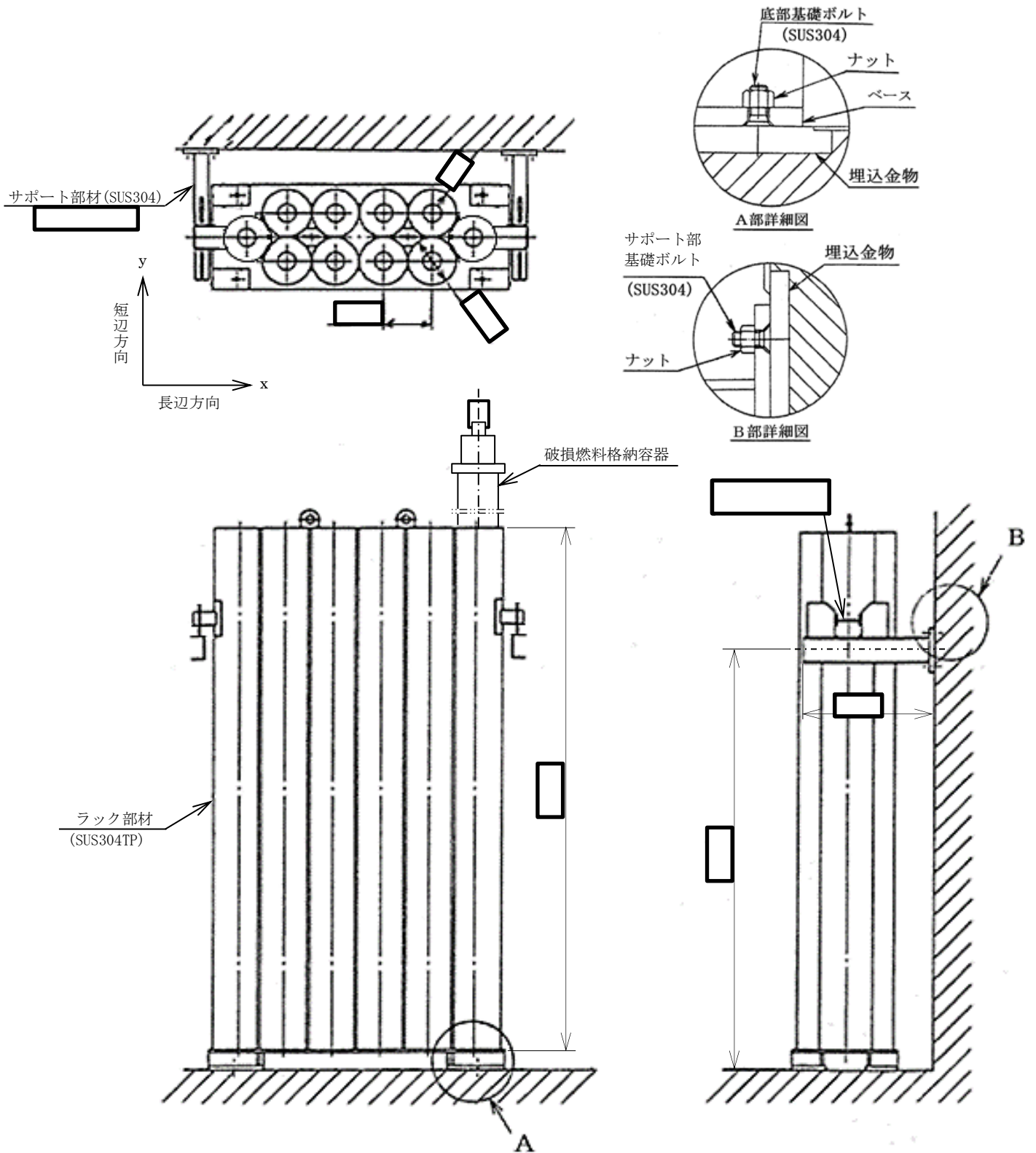


図 3-1 構造概要図 (単位: mm)

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

- (1) ラックの質量は、破損燃料と破損燃料格納容器 10 体の質量、ラック自身の質量、ラックに含まれる水の質量及び付加質量を考慮した値とする。なお、付加質量は形状によって決まり、ラックは軸方向により断面形状が異なるため、付加質量及び重心位置は軸方向ごとに評価する。
- (2) ラックは、ベース底部で基礎ボルトを介し床に完全固定とする。
- (3) 変形モードは、曲げたわみとせん断たわみの合成とする。
- (4) ラックは、Y方向の振動に対してサポートにより支持されるものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 本ラックは、各部材をすべて溶接にて接合されており、一体の構造物とみなして、上述より図 4-1 に示すようなラックの重心位置での 1 質点系の計算モデルと考える。
- (7) 図 4-1 に示す 1 質点系の計算モデルの固有周期は、(4.1.1)及び(4.1.2)式より求める。

$$T_i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_a + m_{v i}}{1000 \cdot K_i}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

(i = x : X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))

$$T_z = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_a + m_{v z}}{1000 \cdot K_z}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ただし、ラックのばね定数は、(4.1.3)、(4.1.4)及び(4.1.5)式より求める。

$$K_x = \frac{1}{\frac{h_{x1}^3}{3 \cdot E \cdot I_y} + \frac{h_{x1}}{A_{sx} \cdot G}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$K_y = \frac{1}{\frac{h_{y2}^2 \cdot h_{y1}^3 \cdot (4 \cdot h_{y2} + 3 \cdot h_{y1})}{12 \cdot E \cdot I_x \cdot h_3^3} + \frac{h_{y2} \cdot h_{y1}}{A_{sy} \cdot G \cdot h_3}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$K_z = \frac{A \cdot E}{h_{z1}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

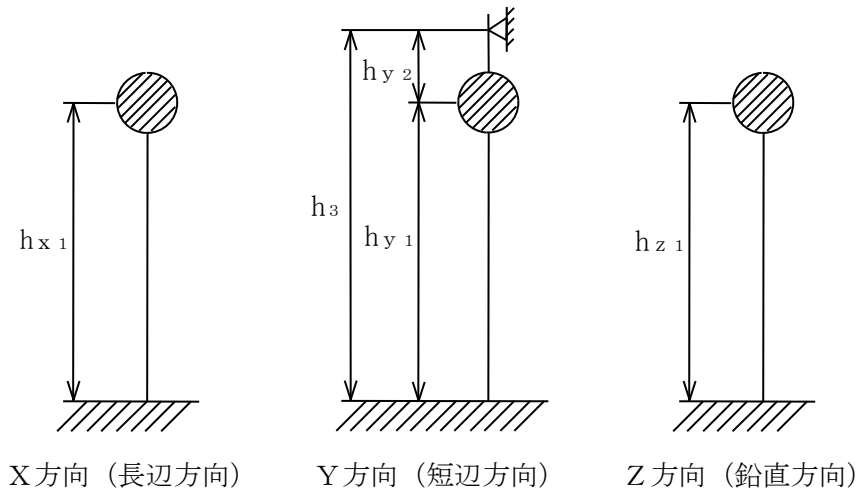


図 4-1 計算モデル

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表4-1に示す。計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

	固有周期
X方向 (長辺方向)	□
Y方向 (短辺方向)	
Z方向 (鉛直方向)	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) ラックは、原子炉建物の燃料プールの底部 (EL 30.83m) に基礎ボルトで固定し、更に壁からのサポートで支持されるものとする。
- (2) ラックの質量は、破損燃料と破損燃料格納容器 10 体の質量、ラック自身の質量及びラックに含まれる水の質量とする。また、更に精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
- (3) 地震力は、ラックに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
ここで水平方向地震力は、ラックの長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。

また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、部材は絶対値和、基礎ボルトは S R S S 法を適用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

ラックの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ラックの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒・破損燃料 貯蔵ラック	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設 及び貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	制御棒・破損燃料 貯蔵ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^*$ ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} （ボルト等以外）		許容限界 ^{*1, *2} （ボルト等）	
	一次応力		一次応力	
	引張	せん断	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ラック	SUS304TP	周囲環境温度	66	—	188	479	205
サポート	SUS304	周囲環境温度	66	—	188	479	205
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	66	—	188	479	205

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ラック	SUS304TP	周囲環境温度	100	—	171	441	205
サポート	SUS304	周囲環境温度	100	—	171	441	205
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	100	—	171	441	205

5.3 設計用地震力

制御棒・破損燃料貯蔵ラックの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 30.83 (EL 34.8*1)	□		$C_H=1.06^{*2}$	$C_V=0.96^{*2}$	$C_H=2.32^{*3}$	$C_V=1.79^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 30.83 (EL 34.8*1)	□		—	—	$C_H=2.32^{*2}$	$C_V=1.79^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 ラック部材の応力

部材の荷重状態を図5-1に示す。なお、部材の荷重状態は下端固定，サポート支持としており，重心位置に集中荷重が作用すると想定する。

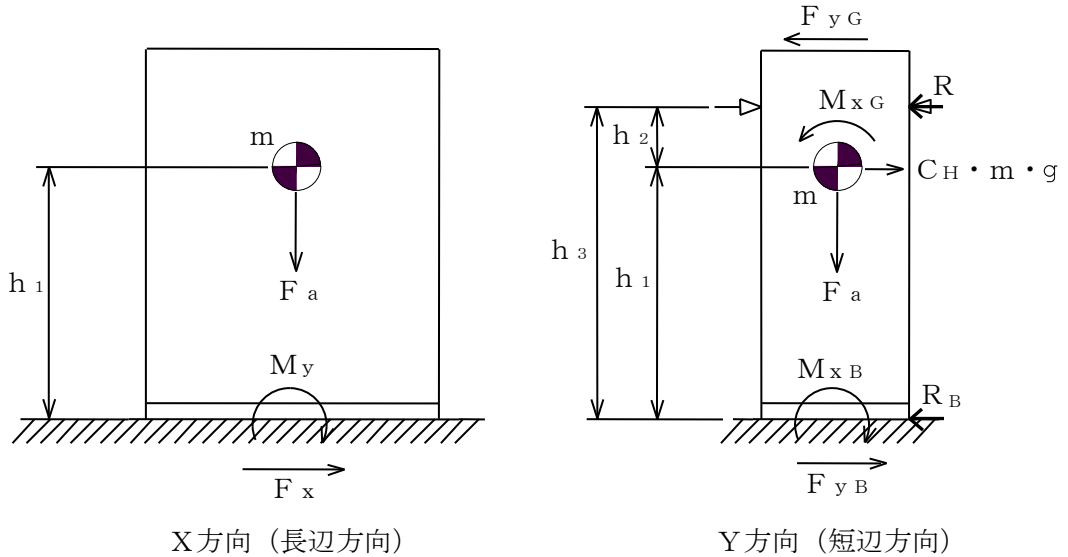


図5-1 荷重状態

ラックの全質量は，(5.4.1)式より破損燃料と破損燃料格納容器10体の質量，ラック自身の質量及びラックに含まれる水の質量の合計から排除水質量を減じて求める。

$$m = m_c + m_F + m_R + m_w - m_{th} \quad \dots \dots \dots (5.4.1)$$

ここで， m_{th} は排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）を示す。

(1) せん断応力

せん断力 F_i により，部材に生じるせん断応力 τ_f は，(5.4.2)式より求める。

$$\tau_f = \frac{F_i}{A_{s_i}} \quad \dots \dots \dots (5.4.2)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向)， y : Y方向 (短辺方向))

ここで，ラックに働くせん断力 F_i は，(5.4.3)，(5.4.4)，(5.4.5)及び(5.4.6)式より求める。

$$F_x = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.3)$$

$$F_y = \text{Max}(F_{yB}, F_{yG}) \quad \dots \dots \dots (5.4.4)$$

ラックの地震荷重は重心位置への集中荷重とすることから， $F_{yB} = R_B$ ， $F_{yG} = R$ となるため，以下のとおりとなる。

$$F_{yB} = R_B = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot h_3^3} \cdot (2 \cdot h_2^2 + 6 \cdot h_1 \cdot h_2 + 3 \cdot h_1^2) \quad \dots \dots \dots (5.4.5)$$

$$F_{yG} = R = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_1^2}{2 \cdot h_3^3} \cdot (3 \cdot h_2 + 2 \cdot h_1) \quad \dots \dots \dots (5.4.6)$$

(2) 引張応力

軸力 F_a 及び転倒モーメント M_i により部材に生じる引張応力 σ_{ft} は、(5.4.7)及び(5.4.8)式より求める。

$$\sigma_{ft} = \frac{F_a}{A} + \frac{M_y}{Z_y} \dots\dots\dots (5.4.7)$$

$$\sigma_{ft} = \frac{F_a}{A} + \frac{M_x}{Z_x} \dots\dots\dots (5.4.8)$$

ここで、ラックに働く軸力 F_a 及びラックの転倒モーメント M_i は、(5.4.9), (5.4.10), (5.4.11), (5.4.12)及び(5.4.13)式より求める。

$$F_a = (1 + C_v) \cdot m \cdot g \dots\dots\dots (5.4.9)$$

$$M_x = \text{Max}(M_{xB}, M_{xG}) \dots\dots\dots (5.4.10)$$

$$\begin{aligned} M_{xB} &= C_H \cdot m \cdot g \cdot h_1 - R \cdot h_3 \\ &= \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_1 \cdot h_2}{2 \cdot h_3^2} \cdot (2 \cdot h_2 + h_1) \dots\dots\dots (5.4.11) \end{aligned}$$

$$M_{xG} = R \cdot h_2 = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h_2 \cdot h_1^2}{2 \cdot h_3^3} \cdot (3 \cdot h_2 + 2 \cdot h_1) \dots\dots (5.4.12)$$

$$M_y = F_x \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.13)$$

(3) 組合せ応力

部材に生じる組合せ応力 σ_{fa} は、(5.4.14)式より求める。

$$\sigma_{fa} = \sqrt{\sigma_{ft}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \dots\dots\dots (5.4.14)$$

5.4.2 底部基礎ボルトの応力

基礎ボルトの荷重状態を図5-2に示す。

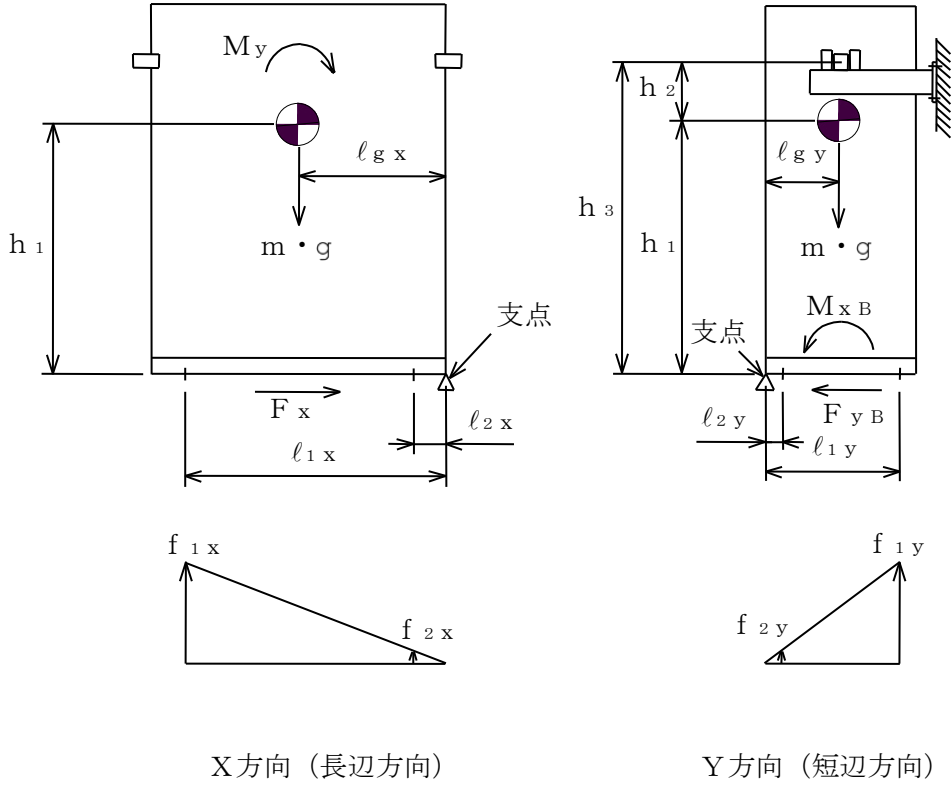


図5-2 荷重状態

(1) せん断応力

ベース底部に働くせん断力 F_x 又は F_{yB} により、基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は、(5.4.15)及び(5.4.16)式より求める。

$$\tau_b = \frac{F_x}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.15)$$

$$\tau_b = \frac{F_{yB}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.16)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は(5.4.17)式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.17)$$

(2) 引張応力

図 5-2 荷重状態において支点回りのモーメントの平衡により基礎ボルト 1 本当たりの引張力 f_{1i} , f_{2i} を求める。

$f_{1i} > f_{2i}$ の関係にあるので f_{1i} のみを (5.4.18) 及び (5.4.19) 式より求める。

$$f_{1x} = \frac{\ell_{1x} \cdot \{\sqrt{M_y^2 + (C_V \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gx})^2} - m \cdot g \cdot \ell_{gx}\}}{n_{1x} \cdot \ell_{1x}^2 + n_{2x} \cdot \ell_{2x}^2} \dots\dots\dots (5.4.18)$$

$$f_{1y} = \frac{\ell_{1y} \cdot \{\sqrt{M_{xB}^2 + (C_V \cdot m \cdot g \cdot \ell_{gy})^2} - m \cdot g \cdot \ell_{gy}\}}{n_{1y} \cdot \ell_{1y}^2 + n_{2y} \cdot \ell_{2y}^2} \dots\dots\dots (5.4.19)$$

したがって、引張力 f_{1i} により基礎ボルトに生じる引張応力 σ_b は、(5.4.20) 式より求める。

$$\sigma_b = \frac{f_{1i}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.20)$$

($i = x$: X 方向 (長辺方向), y : Y 方向 (短辺方向))

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は、(5.4.17) 式による。

ただし、 f_{1i} の値が負となった場合は、引張力が生じないので以後の引張応力の計算は省略する。

5.4.3 サポート部材の応力

サポート部材にかかる荷重状態を図 5-3 に示す。

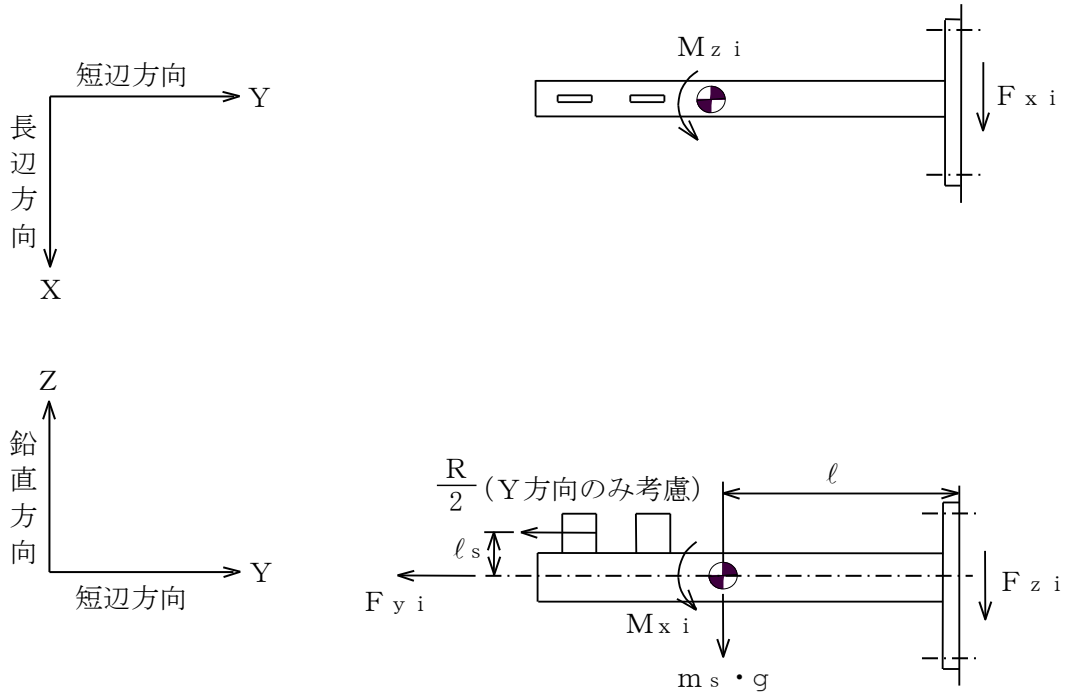


図 5-3 荷重状態

サポートの全質量は、(5.4.21)式よりサポートの質量から排除水質量を減じて求める。

$$m_s = m_{sa} - m_{sth} \quad \dots\dots\dots (5.4.21)$$

ここで、 m_{sth} は排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）を示す。

(1) せん断応力

せん断力 F_{xi} 、 F_{zi} により部材に生じるせん断応力 τ_f は、(5.4.22)式より求める。

$$\tau_f = \sqrt{\left(\frac{F_{xi}}{A_{px}}\right)^2 + \left(\frac{F_{zi}}{A_{pz}}\right)^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.22)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))

ここで、サポート部に働くせん断力は、(5.4.23)、(5.4.24)及び(5.4.25)式より求める。

$$F_{xx} = C_H \cdot m_s \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.23)$$

$$F_{xy} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.24)$$

$$F_{zi} = (1 + C_v) \cdot m_s \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.25)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))

(2) 引張応力

軸力 $F_{y i}$ 及び曲げモーメント $M_{x i}$, $M_{z i}$ により部材に生じる引張応力 $\sigma_{f t}$ は,
(5.4.26)式より求める。

$$\sigma_{f t} = \frac{F_{y i}}{A_p} + \frac{M_{x i}}{Z_{p x}} + \frac{M_{z i}}{Z_{p z}} \quad \dots\dots\dots (5.4.26)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向), y : Y方向 (短辺方向))

ここで, サポート部に働く軸力及びモーメントは, (5.4.27), (5.4.28), (5.4.29),
(5.4.30), (5.4.31)及び(5.4.32)式より求める。

$$F_{y x} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.27)$$

$$F_{y y} = \frac{R}{2} + C_H \cdot m_s \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.28)$$

$$M_{x x} = (1 + C_V) \cdot m_s \cdot g \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (5.4.29)$$

$$M_{x y} = (1 + C_V) \cdot m_s \cdot g \cdot \ell + \frac{R}{2} \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (5.4.30)$$

$$M_{z x} = C_H \cdot m_s \cdot g \cdot \ell \quad \dots\dots\dots (5.4.31)$$

$$M_{z y} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.32)$$

(3) 組合せ応力

組合せ応力 $\sigma_{f a}$ は, (5.4.33)式より求める。

$$\sigma_{f a} = \sqrt{\sigma_{f t}^2 + 3 \cdot \tau_f^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.33)$$

5.4.4 サポート部基礎ボルトの応力

基礎ボルトに作用する引張力 $F_{y i}$ ，せん断力 $F_{x i}$ ， $F_{z i}$ 及び曲げモーメント $M_{x i}$ ， $M_{z i}$ の荷重状態を図5-4に示す。

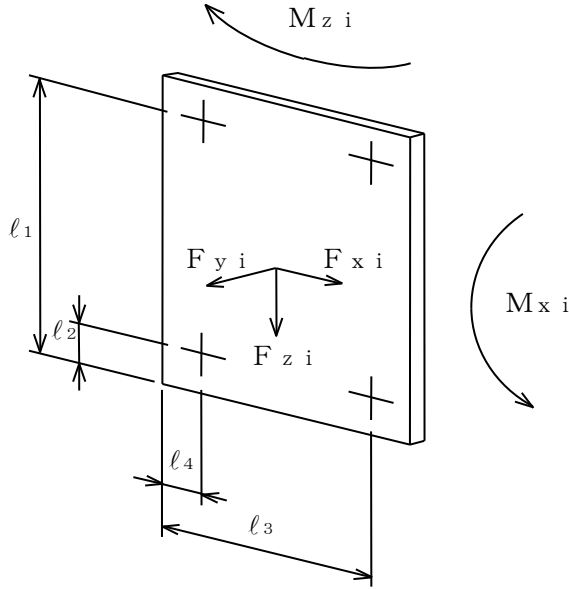


図5-4 荷重状態

(1) せん断応力

せん断力 $F_{x i}$ ， $F_{z i}$ により基礎ボルトに生じるせん断応力 τ_b は，(5.4.34)式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_{x i}^2 + F_{z i}^2}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.34)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向)， y : Y方向 (短辺方向))

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は，(5.4.17)式による。

(2) 引張応力

曲げモーメント $M_{x i}$ ， $M_{z i}$ により生じる基礎ボルト1本当たりの最大引張力 $N_{p m}$ 及び軸力 $F_{y i}$ により生じる基礎ボルトの引張応力 σ_b は，(5.4.35)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_{p m}}{A_b} + \frac{F_{y i}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.35)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向)， y : Y方向 (短辺方向))

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は，(5.4.17)式による。

また，基礎ボルト1本当たりの最大引張力は(5.4.36)式より求める。

$$N_{p m} = \sqrt{\left[\frac{l_1 \cdot M_{x i}}{2 \cdot (l_1^2 + l_2^2)} \right]^2 + \left[\frac{l_3 \cdot M_{z i}}{2 \cdot (l_3^2 + l_4^2)} \right]^2} \dots\dots\dots (5.4.36)$$

($i = x$: X方向 (長辺方向)， y : Y方向 (短辺方向))

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 部材の応力評価

5.4.1 項及び5.4.3 項で求めた各部材の引張応力 σ_{ft} 及び組合せ応力 σ_{fa} が、許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

また、5.4.1 項及び5.4.3 項で求めた各部材のせん断応力 τ_f が、許容せん断応力 f_{sm} 以下であること。ただし、 f_{tm} 及び f_{sm} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重 との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.2 基礎ボルトの応力評価

5.4.2 項及び5.4.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.6.1)$$

また、5.4.2 項及び5.4.4 項で求めた基礎ボルトのせん断応力 τ_b が、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重 との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

ラックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ラックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
制御棒・破損燃料 貯蔵ラック	S	原子炉建物 EL 30.83 (EL 34.8 ^{*1})			$C_H=1.06^{*2}$	$C_V=0.96^{*2}$	$C_H=2.32^{*3}$	$C_V=1.79^{*3}$	—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 固有周期の計算に用いる要目

m _a (kg)	m _c (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	m _{v x} (kg)	m _{v y} (kg)	m _{v z} (kg)	A (mm ²)	A _{s x} (mm ²)	A _{s y} (mm ²)	I _x (mm ⁴)	I _y (mm ⁴)
								3.547×10^4	1.773×10^4	1.773×10^4	8.491×10^8	5.924×10^9

E (MPa)	G (MPa)	h _{x 1} (mm)	h _{y 1} (mm)	h _{z 1} (mm)	h _{y 2} (mm)	h ₃ (mm)
192000	73800	2144	1913	2298	625	2538

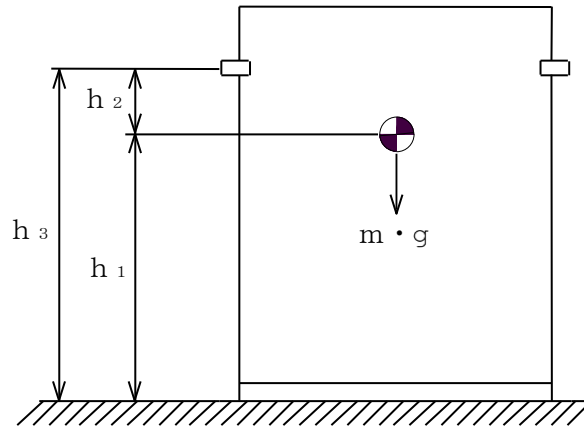
1.2.2 部材の応力評価に用いる要目

m (kg)	m _c (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	m _{t h} (kg)	m _s (kg)	m _{s a} (kg)	m _{s t h} (kg)	A (mm ²)	A _{s x} (mm ²)	A _{s y} (mm ²)
[Redacted]									3.547 × 10 ⁴	1.773 × 10 ⁴	1.773 × 10 ⁴

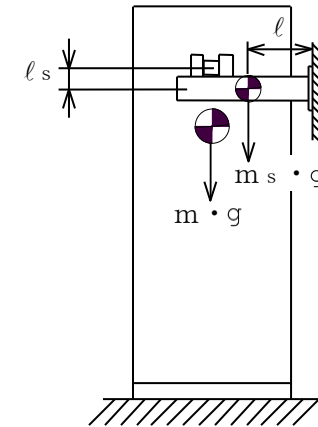
A _p (mm ²)	A _{p x} (mm ²)	A _{p z} (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _{p x} (mm ³)	Z _{p z} (mm ³)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	l _s (mm)	l (mm)
1.728 × 10 ³	642.4	768.9	3.110 × 10 ⁶	7.571 × 10 ⁶	7.976 × 10 ⁴	1.735 × 10 ⁴	2187	351	2538	175	286

	材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
ラック	SUS304TP	188	479	205	205	246
サポート	SUS304					

注記*：周囲環境温度(66℃)で算出



X方向 (長辺方向)



Y方向 (短辺方向)

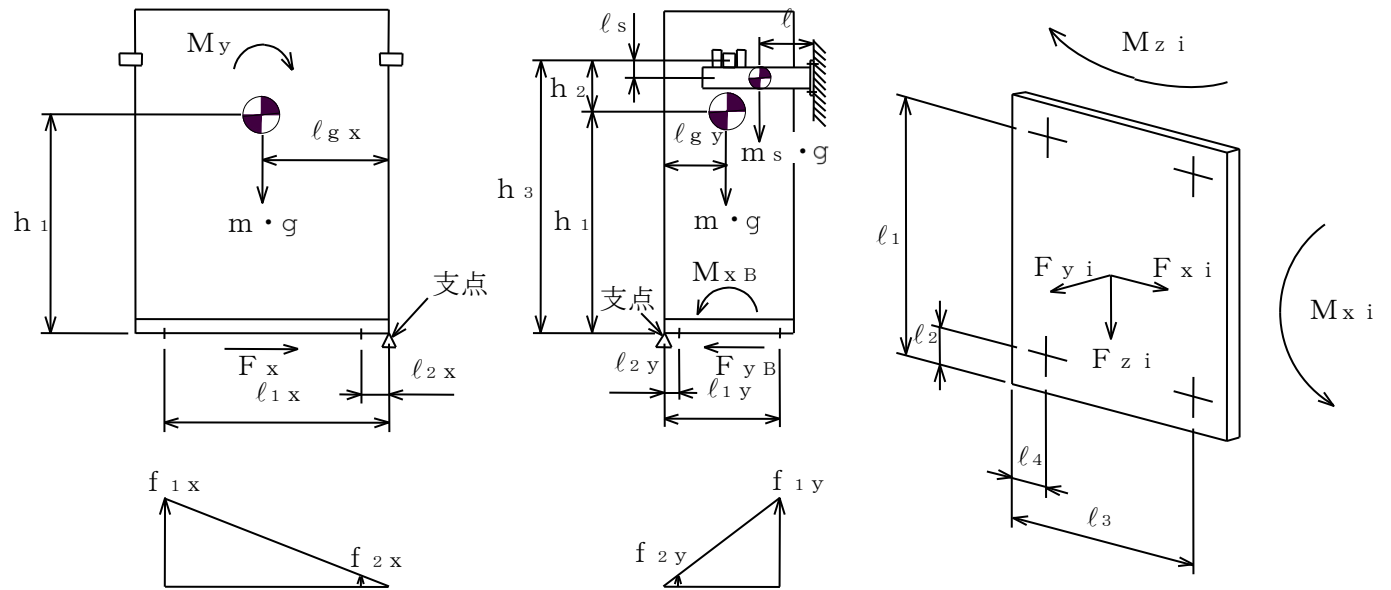
1.2.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m (kg)	m _s (kg)	d (mm)		A _b (mm ²)		l _{1x} (mm)	l _{2x} (mm)	l _{1y} (mm)	l _{2y} (mm)
		底部基礎ボルト	サポート部基礎ボルト	底部基礎ボルト	サポート部基礎ボルト				
		24 (M24)	16 (M16)	452.4	201.1	1470	150	540	60

l (mm)	l _s (mm)	l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l _{gx} (mm)	l _{gy} (mm)	n	n _{1x}	n _{2x}	n _{1y}	n _{2y}
286	175	265	35	265	35	810	300	4	2	2	2	2

基礎ボルト材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
SUS304	188	479	205	205	246

注記*：周囲環境温度(66℃)で算出



X方向 (長辺方向)

Y方向 (短辺方向)

1.3 計算数値

1.3.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
ラック	引張 σ_{ft}	16	7	33	13
	せん断 τ_f	3	2	6	5
	組合せ σ_{fa}	17	8	35	15
サポート	引張 σ_{ft}	7	54	14	115
	せん断 τ_f	1	1	2	1
	組合せ σ_{fa}	8	54	14	115

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎 ボルト	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
底部	引張 σ_b	54	4	146	33
	せん断 τ_b	26	6	56	12
サポート部	引張 σ_b	2	55	3	118
	せん断 τ_b	1	1	2	1

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向 (X方向)	$T_x =$ <input type="text"/>
水平方向 (Y方向)	$T_y =$ <input type="text"/>
鉛直方向 (Z方向)	$T_z =$ <input type="text"/>

1.4.2 部材に生じる応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック	SUS304TP	引張	$\sigma_{ft}=16$	$f_{tm}=205$	$\sigma_{ft}=33$	$f_{tm}=246$
		せん断	$\tau_f=3$	$f_{sm}=118$	$\tau_f=6$	$f_{sm}=142$
		組合せ	$\sigma_{fa}=17$	$f_{tm}=205$	$\sigma_{fa}=35$	$f_{tm}=246$
サポート	SUS304	引張	$\sigma_{ft}=54$	$f_{tm}=205$	$\sigma_{ft}=115$	$f_{tm}=246$
		せん断	$\tau_f=1$	$f_{sm}=118$	$\tau_f=1$	$f_{sm}=142$
		組合せ	$\sigma_{fa}=54$	$f_{tm}=205$	$\sigma_{fa}=115$	$f_{tm}=246$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
底部	SUS304	引張	$\sigma_b=54$	$f_{ts}=153^*$	$\sigma_b=146$	$f_{ts}=168^*$
		せん断	$\tau_b=26$	$f_{sb}=118$	$\tau_b=56$	$f_{sb}=142$
サポート部		引張	$\sigma_b=55$	$f_{ts}=153^*$	$\sigma_b=118$	$f_{ts}=184^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=118$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=142$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

【制御棒・破損燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
制御棒・破損燃料 貯蔵ラック	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 30.83 (EL 34.8 ^{*1})			—	—	C _H =2.32 ^{*2}	C _V =1.79 ^{*2}	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

2.2.1 固有周期の計算に用いる要目

m _a (kg)	m _c (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	m _{v x} (kg)	m _{v y} (kg)	m _{v z} (kg)	A (mm ²)	A _{s x} (mm ²)	A _{s y} (mm ²)	I _x (mm ⁴)	I _y (mm ⁴)
								3.547×10 ⁴	1.773×10 ⁴	1.773×10 ⁴	8.491×10 ⁸	5.924×10 ⁹

E (MPa)	G (MPa)	h _{x 1} (mm)	h _{y 1} (mm)	h _{z 1} (mm)	h _{y 2} (mm)	h ₃ (mm)
192000	73800	2144	1913	2298	625	2538

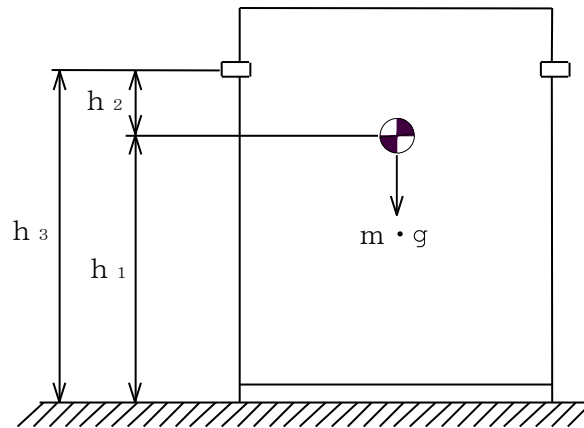
2.2.2 部材の応力評価に用いる要目

m (kg)	m _c (kg)	m _F (kg)	m _R (kg)	m _w (kg)	m _{t h} (kg)	m _s (kg)	m _{s a} (kg)	m _{s t h} (kg)	A (mm ²)	A _{s x} (mm ²)	A _{s y} (mm ²)
									3.547×10 ⁴	1.773×10 ⁴	1.773×10 ⁴

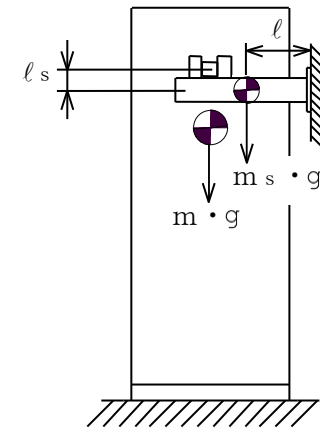
A _p (mm ²)	A _{p x} (mm ²)	A _{p z} (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _y (mm ³)	Z _{p x} (mm ³)	Z _{p z} (mm ³)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	l _s (mm)	l (mm)
1.728×10 ³	642.4	768.9	3.110×10 ⁶	7.571×10 ⁶	7.976×10 ⁴	1.735×10 ⁴	2187	351	2538	175	286

	材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
ラック	SUS304TP	171	441	205	—	230
サポート	SUS304					

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出



X方向 (長辺方向)



Y方向 (短辺方向)

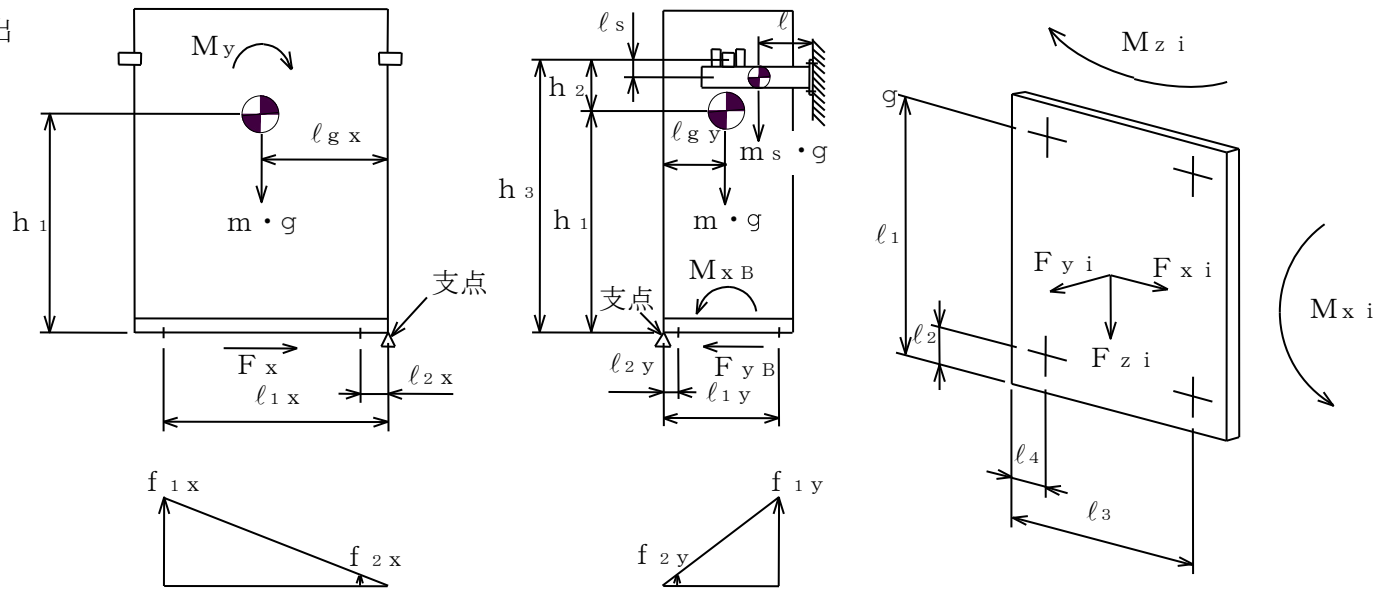
2.2.3 基礎ボルトの応力評価に用いる要目

m (kg)	m _s (kg)	d (mm)		A _b (mm ²)		ℓ _{1x} (mm)	ℓ _{2x} (mm)	ℓ _{1y} (mm)	ℓ _{2y} (mm)
		底部基礎ボルト	サポート部基礎ボルト	底部基礎ボルト	サポート部基礎ボルト				
		24 (M24)	16 (M16)	452.4	201.1	1470	150	540	60

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ _{gx} (mm)	ℓ _{gy} (mm)	n	n _{1x}	n _{2x}	n _{1y}	n _{2y}
286	175	265	35	265	35	810	300	4	2	2	2	2

基礎ボルト材料	S _y * (MPa)	S _u * (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
SUS304	171	441	205	—	230

注記*：周囲環境温度(100℃)で算出



X方向 (長辺方向)

Y方向 (短辺方向)

2.3 計算数値

2.3.1 部材に生じる応力

(単位：MPa)

部材	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
ラック	引張 σ_{ft}	—	—	33	13
	せん断 τ_f	—	—	6	5
	組合せ σ_{fa}	—	—	35	15
サポート	引張 σ_{ft}	—	—	14	115
	せん断 τ_f	—	—	2	1
	組合せ σ_{fa}	—	—	14	115

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

基礎 ボルト	応力の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
底部	引張 σ_b	—	—	146	33
	せん断 τ_b	—	—	56	12
サポート部	引張 σ_b	—	—	3	118
	せん断 τ_b	—	—	2	1

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向 (X方向)	$T_x =$
水平方向 (Y方向)	$T_y =$
鉛直方向 (Z方向)	$T_z =$

2.4.2 部材に生じる応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック	SUS304TP	引張	—	—	$\sigma_{ft} = 33$	$f_{tm} = 230$
		せん断	—	—	$\tau_f = 6$	$f_{sm} = 132$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 35$	$f_{tm} = 230$
サポート	SUS304	引張	—	—	$\sigma_{ft} = 115$	$f_{tm} = 230$
		せん断	—	—	$\tau_f = 1$	$f_{sm} = 132$
		組合せ	—	—	$\sigma_{fa} = 115$	$f_{tm} = 230$

すべて許容応力以下である。

2.4.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位：MPa)

基礎ボルト	材料	応力の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
底部	SUS304	引張	—	—	$\sigma_b = 146$	$f_{ts} = 151^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 56$	$f_{sb} = 132$
サポート部		引張	—	—	$\sigma_b = 118$	$f_{ts} = 172^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 132$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-4-2-4 燃料プール水位・温度（S A）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	4
2.3 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	9
4.1 固有値解析方法	9
4.2 解析モデル及び諸元	10
4.3 固有値解析結果	12
5. 構造強度評価	23
5.1 構造強度評価方法	23
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	23
5.3 設計用地震力	27
5.4 計算方法	29
5.5 計算条件	37
5.6 応力の評価	37
6. 機能維持評価	40
6.1 電氣的機能維持評価方法	40
7. 評価結果	41
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	41

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、燃料プール水位・温度（S A）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

燃料プール水位・温度（S A）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール水位・温度（S A）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画 (1/2)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>検出器は、7個の熱電対で構成されており、熱電対は保護管に内蔵され、圧縮継手により架構に固定する。保護管は、保護管固定金具を介して架構に溶接にて固定する。</p> <p>架構は、基礎ボルトにより床面に設置され、水中サポートブロックを壁面のワークテーブルフックに引掛けて設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>架構 (角形鋼)</p> <p>(床面)</p> <p>水中サポート</p> <p>架構 (角形鋼)</p> <p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p>	<p>架構基礎部 (3か所)</p> <p>架構 (角形鋼)</p> <p>(平面図)</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>架構基礎部詳細 (3箇所)</p> <p>熱電対</p> <p>圧縮継手</p> <p>架構 (角形鋼)</p> <p>保護管</p> <p>保護管固定金具</p> <p>溶接</p> <p>(壁面)</p> <p>検出器固定部詳細</p> <p>水中サポート</p> <p>水中サポートブロック</p> <p>C-C矢視図</p> <p>架構 (角形鋼)</p> <p>保護管</p> <p>保護管固定金具</p> <p>架構 (角形鋼)</p> <p>保護管固定金具</p> <p>(壁面)</p> <p>A-A矢視図</p> <p>水中サポート部詳細</p> <p>水中サポート</p> <p>水中サポートブロック</p> <p>B-B矢視図</p> <p>埋込金物</p> <p>ワークテーブルフック</p> <p>(単位：mm)</p>

表 2-1 構造計画 (2/2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
		<p>The diagram illustrates a vertical structure with the following components labeled from top to bottom:</p> <ul style="list-style-type: none"> 熱電対 (Thermocouple) 圧縮継手 (Compression joint) 保護管固定金具 (Protective pipe clamp) 保護管 (Protective pipe) Two horizontal truss structures (架構) made of angle steel (角形鋼) at the top. Multiple vertical truss structures (架構) made of angle steel (角形鋼) along the main shaft. Water support block (水中サポートブロック) truss structure. Work table hook (ワークテーブルフック) attached to a truss structure. Another water support block (水中サポートブロック) truss structure. Bottom truss structure (架構) made of angle steel (角形鋼). <p>The diagram is labeled as a perspective view (鳥瞰図) at the bottom right.</p>

2.2 評価方針

燃料プール水位・温度（S A）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す燃料プール水位・温度（S A）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、燃料プール水位・温度（S A）の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

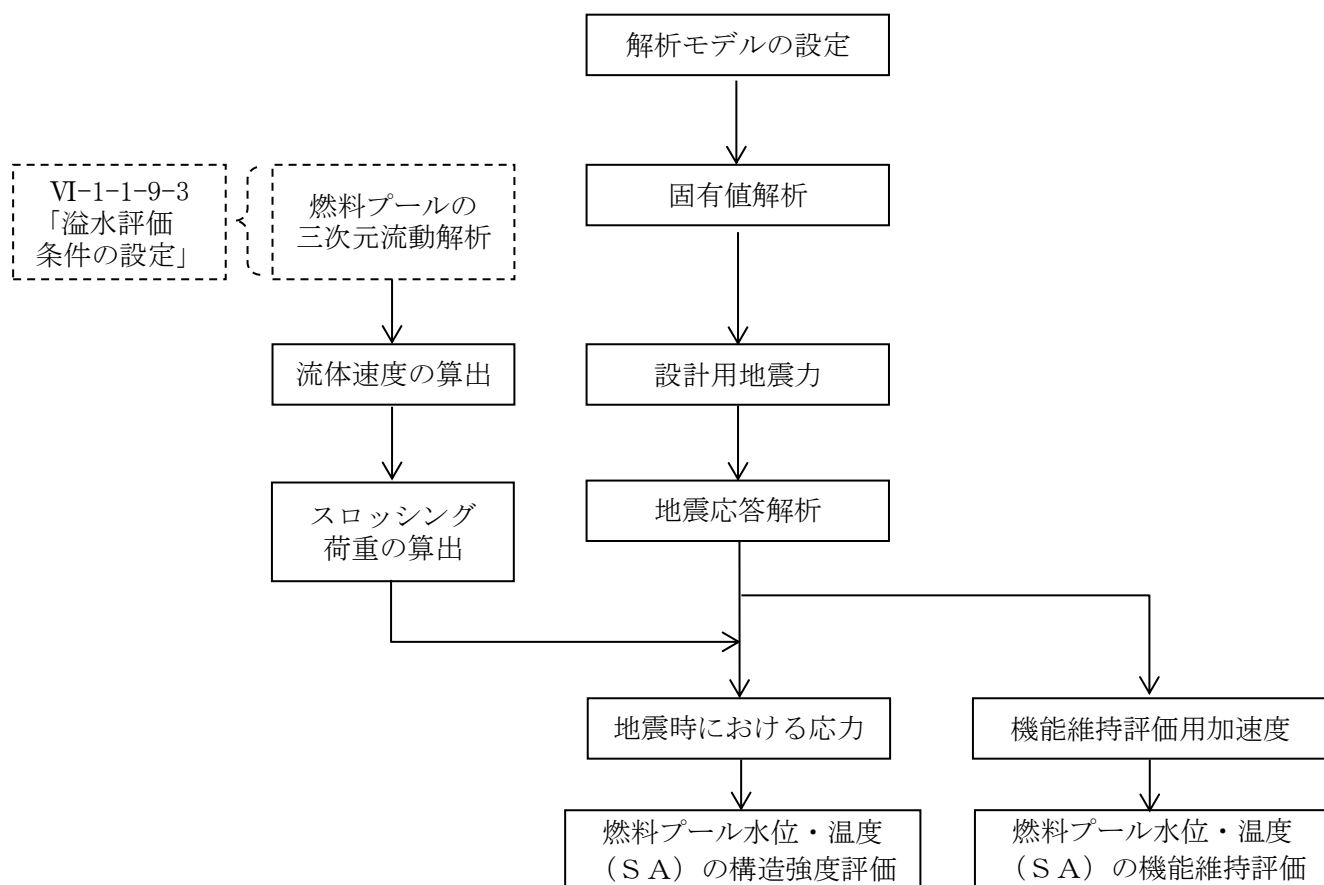


図 2-1 燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_m	架構の断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_h	ワークテーブルフック付け根部の断面積	mm^2
$A_{h s i}^*$	ワークテーブルフックのせん断断面積	mm^2
A_s	スロッシングにおける架構の投影面積	mm^2
b	ワークテーブルフックの断面幅	mm
C_d	架構の抗力係数	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_s	スロッシングにより架構に生じる抗力	N
F_x	ワークテーブルフック部に作用する力 (X方向)	N
F_y	ワークテーブルフック部に作用する力 (Y方向)	N
F_z	ワークテーブルフック部に作用する力 (Z方向)	N
$f_{b m}$	架構の許容曲げ応力	MPa
$f_{c m}$	架構の許容圧縮応力	MPa
$f_{s b}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{s m}$	架構及びワークテーブルフックの許容せん断応力	MPa
$f_{t m}$	架構及びワークテーブルフックの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_i^*	ワークテーブルフックの断面高さ	mm
I	架構の断面2次モーメント	mm^4
i	座屈軸についての断面2次半径	mm
ℓ_k	圧縮材の座屈長さ	mm
L	材長	mm
L_B	ワークテーブルフック付け根部の応力計算に用いる距離 (F_z に対する)	mm
L_C	ワークテーブルフック付け根部の応力計算に用いる距離 (F_y に対する)	mm

記号	記号の説明	単位
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力 (1本当たり)	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
V	スロッシングによる流体速度	m/s
W	検出器の荷重	N
Z_p	架構の断面におけるねじり断面係数	mm ³
Z_x	架構の断面における x 軸方向の断面係数	mm ³
Z_y	架構の断面における y 軸方向の断面係数	mm ³
Z_{hy}	ワークテーブルフック付け根部の断面における y 軸方向の断面 係数	mm ³
Z_{hz}	ワークテーブルフック付け根部の断面における z 軸方向の断面 係数	mm ³
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
σ_{bx}	架構に生じる x 方向の曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる y 方向の曲げ応力	MPa
σ_{ht}	ワークテーブルフックに生じる引張応力	MPa
σ_{ha}	ワークテーブルフックに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{t(c)}$	架構に生じる軸応力	MPa
τ_h	ワークテーブルフックに生じるせん断応力	MPa
τ_x	架構に生じる x 方向のせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じる y 方向のせん断応力	MPa
τ_p	架構に生じるねじり応力	MPa
ρ	水の密度	kg/m ³
ρ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
ρ_m	架構に生じる組合せ応力	MPa
ρ_s	架構に生じるせん断応力	MPa
$\rho_{t(c)}$	架構に生じる引張 (圧縮) 応力	MPa
ν	ポアソン比	—
ν_c	圧縮材の座屈安全率	—
Λ	限界細長比	—
λ	圧縮材の細長比	—

注記* : A_{hs_i} 及び h_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: ワークテーブルフック付け根部

$i = 2$: ワークテーブルフック先端部

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2, *3}
力	N	有効数字 5 桁目 ^{*3}	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2, *3}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字 4 桁以下となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、架構（保護管含む）及びワークテーブルフックについて実施する。なお、架構（角形鋼）及び保護管の耐震評価を実施し、架構（角形鋼）の方が厳しい結果となるため、架構（角形鋼）について評価結果を記載する。燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

燃料プール水位・温度（S A）の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 燃料プール水位・温度（S A）は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルにより固有周期を算出する。

4.2 解析モデル及び諸元

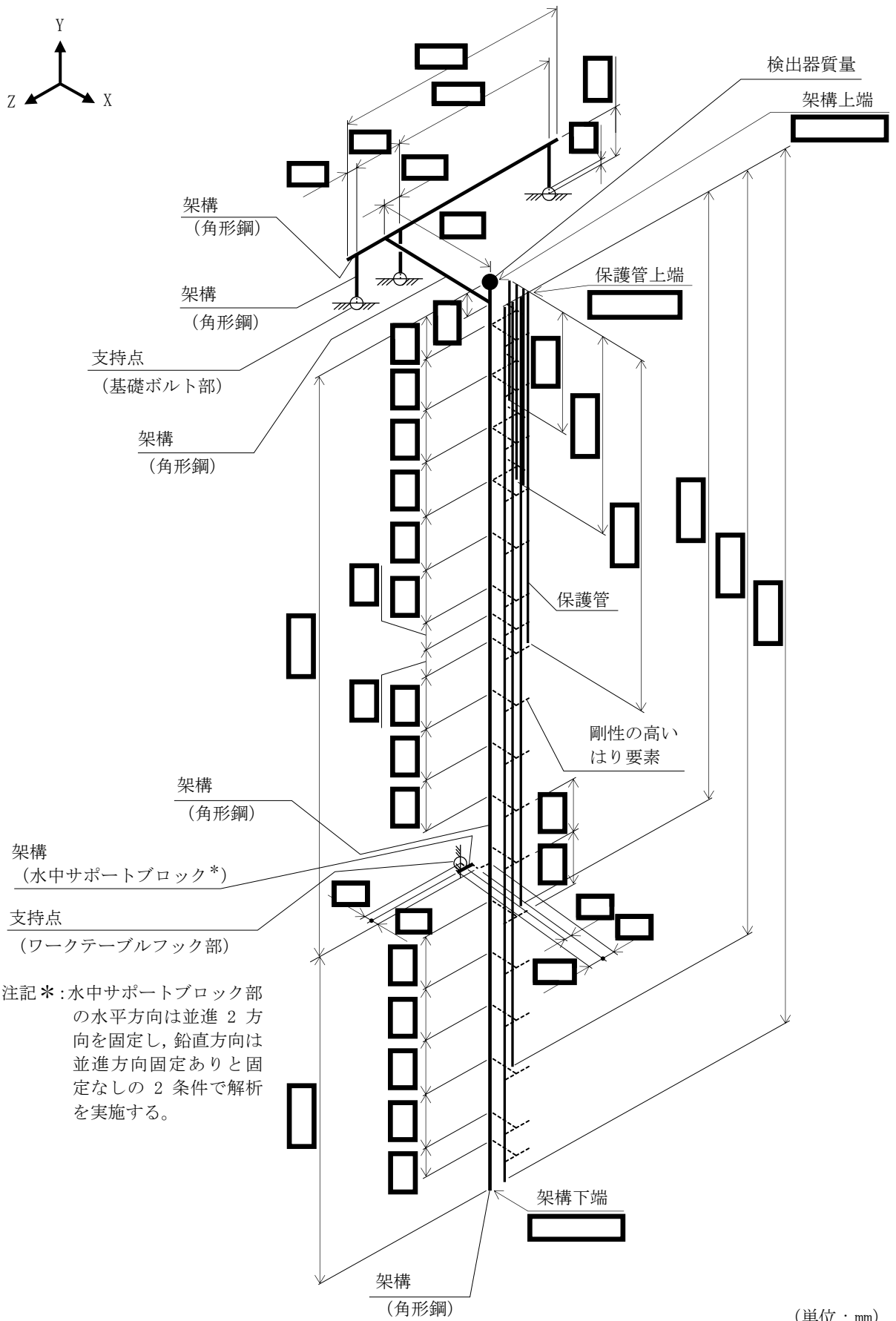
燃料プール水位・温度（S A）の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料プール水位・温度（S A）（L/TE216-1, 2, 3, 4, 5, 6, TE216-4）の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 燃料プール水位・温度（S A）の架構（角形鋼，水中サポートブロック）及び保護管は、はりモデルにてモデル化する。
- (2) 燃料プール水位・温度（S A）の架構（角形鋼）及び保護管の質量は、架構（角形鋼）及び保護管自身の質量のほか、内包水の質量及び水の付加質量^{*1}を考慮する。水の付加質量は水平方向及び鉛直方向に付加する。水平方向に付加する水の付加質量については、軸直角方向の断面形状及び寸法より算出し、を設定する。
- (3) 燃料プール水位・温度（S A）の架構（角形鋼）及び保護管の質量は、はり要素に等分布に付加し、内包水の質量及び水の付加質量^{*1}による荷重は、特定長さに区切った区間分の荷重を集中荷重として架構（角形鋼）及び保護管に設定する。
- (4) 燃料プール水位・温度（S A）の検出器の荷重は、架構の検出器固定部に設定する。
- (5) 燃料プール水位・温度（S A）の検出器は、架構の検出器固定部の他、外部サポートにも支持する構造であるが、検出器の荷重は計算条件が厳しくなる架構の検出器固定部に作用させる。
- (6) 燃料プール水位・温度（S A）の架構（水中サポートブロック）の質量は、重心に集中荷重として設定する。
- (7) 拘束条件として、基礎部の並進 3 方向及び回転 3 方向を固定する。また、水中サポートブロック部の水平方向は並進 2 方向を固定し、鉛直方向は並進方向固定ありと固定なしの 2 条件で解析を実施する^{*2}。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (8) 架構（角形鋼）と保護管及び架構（水中サポートブロック）と架構（角形鋼）は、剛性の高いはり要素で接続し、並進 3 方向及び回転 3 方向拘束条件にて結合する。
- (9) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (10) 解析コードは、「NSAFE」を使用し、固有値、荷重及び応力を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

注記*1：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

*2：解析条件として鉛直方向の並進方向の拘束ありと拘束なしの 2 条件で評価を行うことで実機固定条件（下向き並進方向のみ固定）を模擬する。



注記*：水中サポートブロック部の水平方向は並進 2 方向を固定し、鉛直方向は並進方向固定ありと固定なしの 2 条件で解析を実施する。

図 4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表 4-1, 表 4-2, 振動モード図を図 4-2~図 4-11 に示す。固有周期は, 0.05 秒を超えており, 柔構造であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果 (鉛直方向の並進方向拘束あり)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			X 方向	Z 方向	
1 次	水平		-0.007	0.081	-0.043
2 次	水平		0.136	-0.014	0.017
3 次	水平		0.105	0.525	0.023
4 次	水平		-0.526	0.064	0.005
5 次	鉛直		-0.010	-0.084	0.131

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-2 固有値解析結果 (鉛直方向の並進方向拘束なし)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			X 方向	Z 方向	
1 次	鉛直		-0.038	0.053	0.089
2 次	鉛直		-0.029	-0.062	0.085
3 次	水平		0.442	0.038	0.310
4 次	水平		-0.004	-0.528	0.018
5 次	鉛直		0.340	0.015	-0.512

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

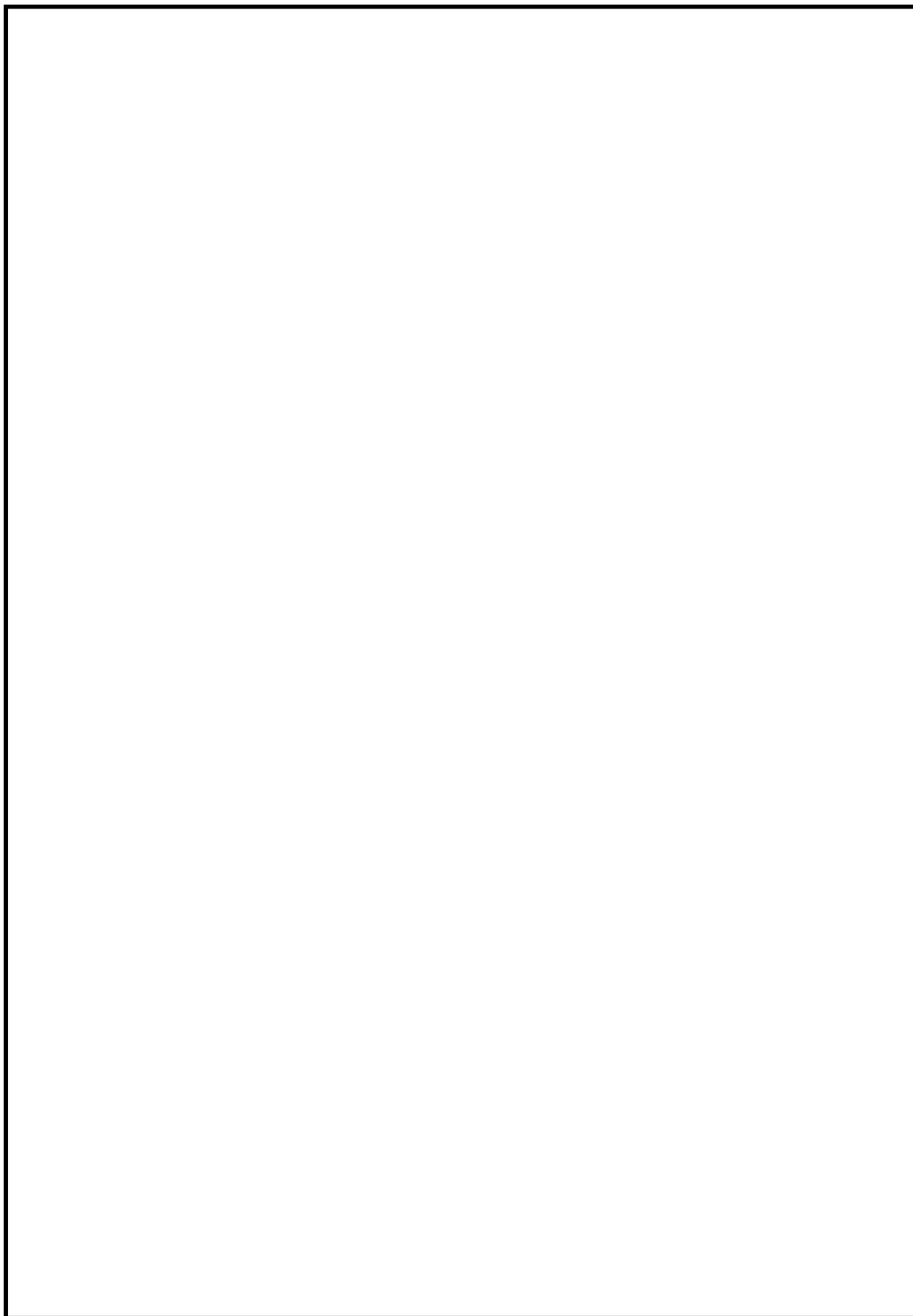


図 4-2 振動モード図 (1 次モード 水平方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束あり)

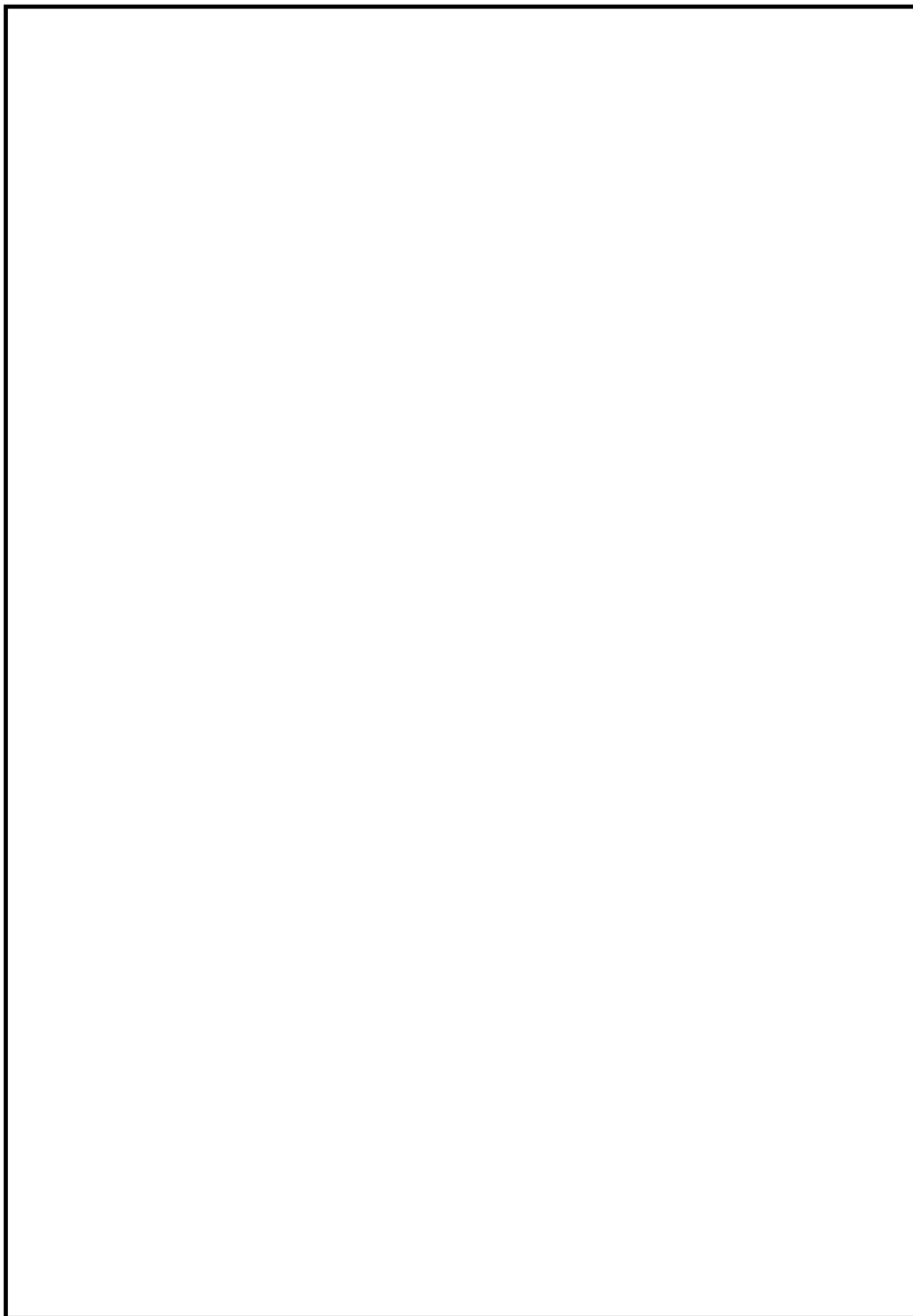


図 4-3 振動モード図 (2 次モード 水平方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束あり)

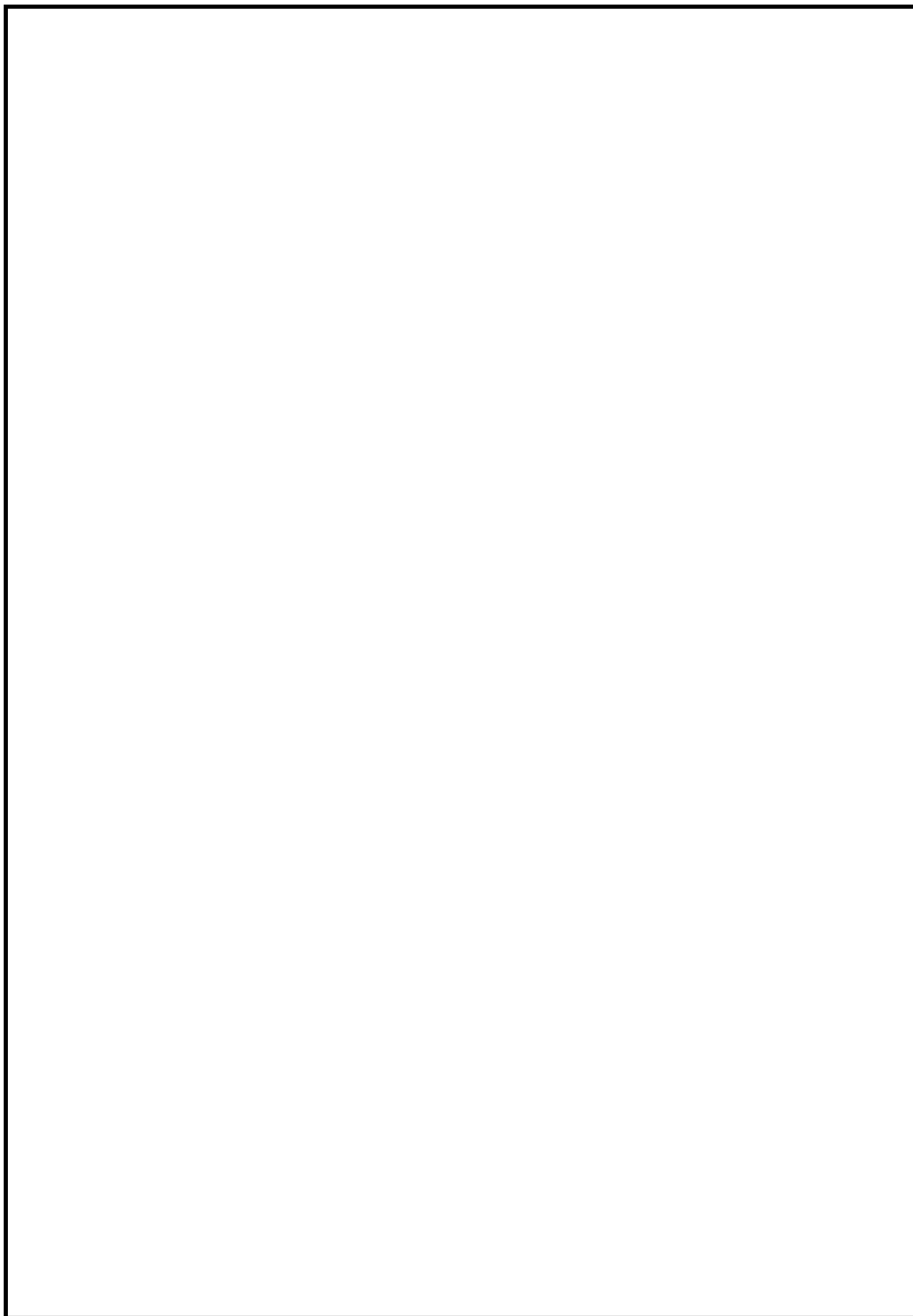


図 4-4 振動モード図 (3 次モード 水平方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束あり)

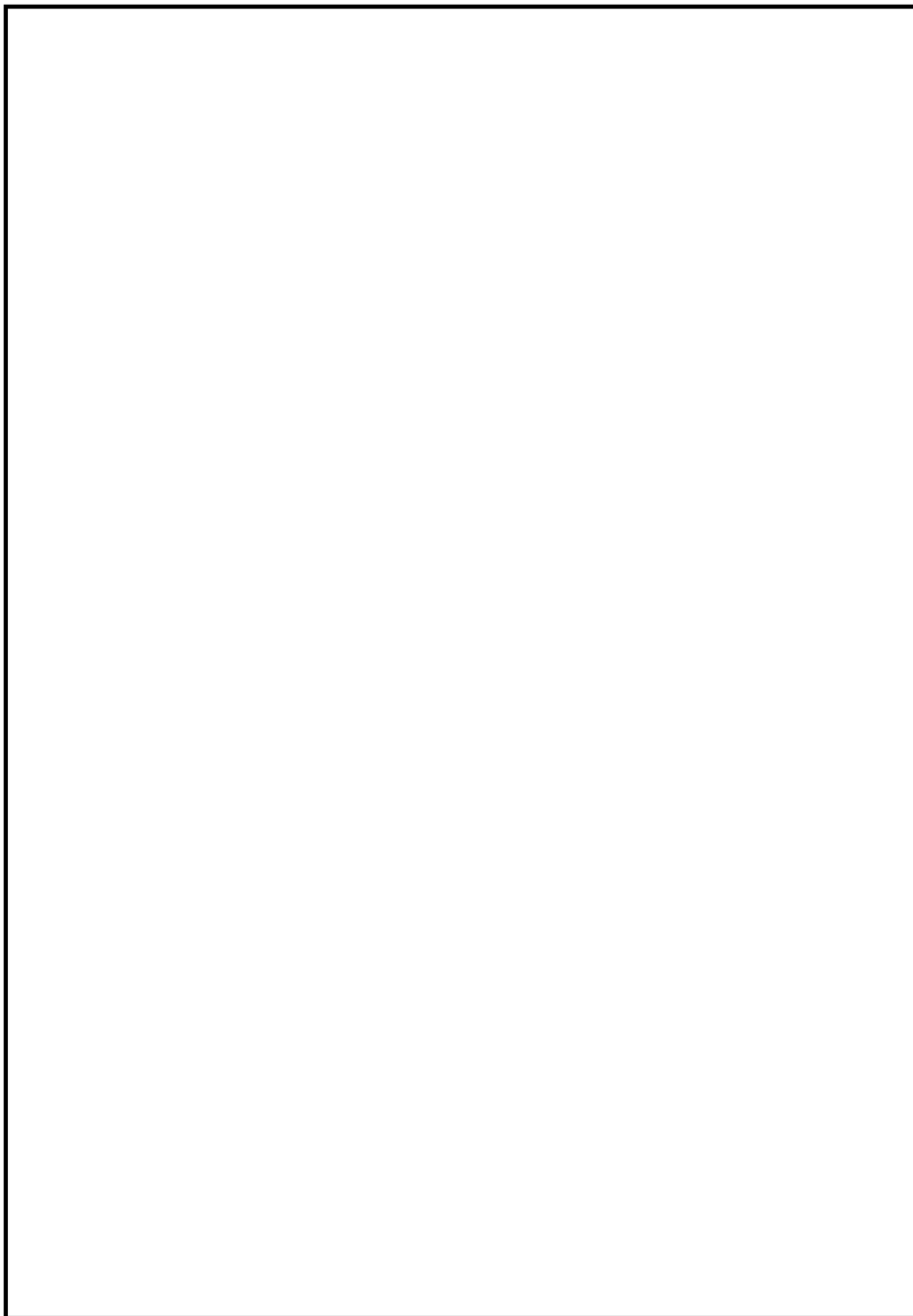


図 4-5 振動モード図 (4 次モード 水平方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束あり)

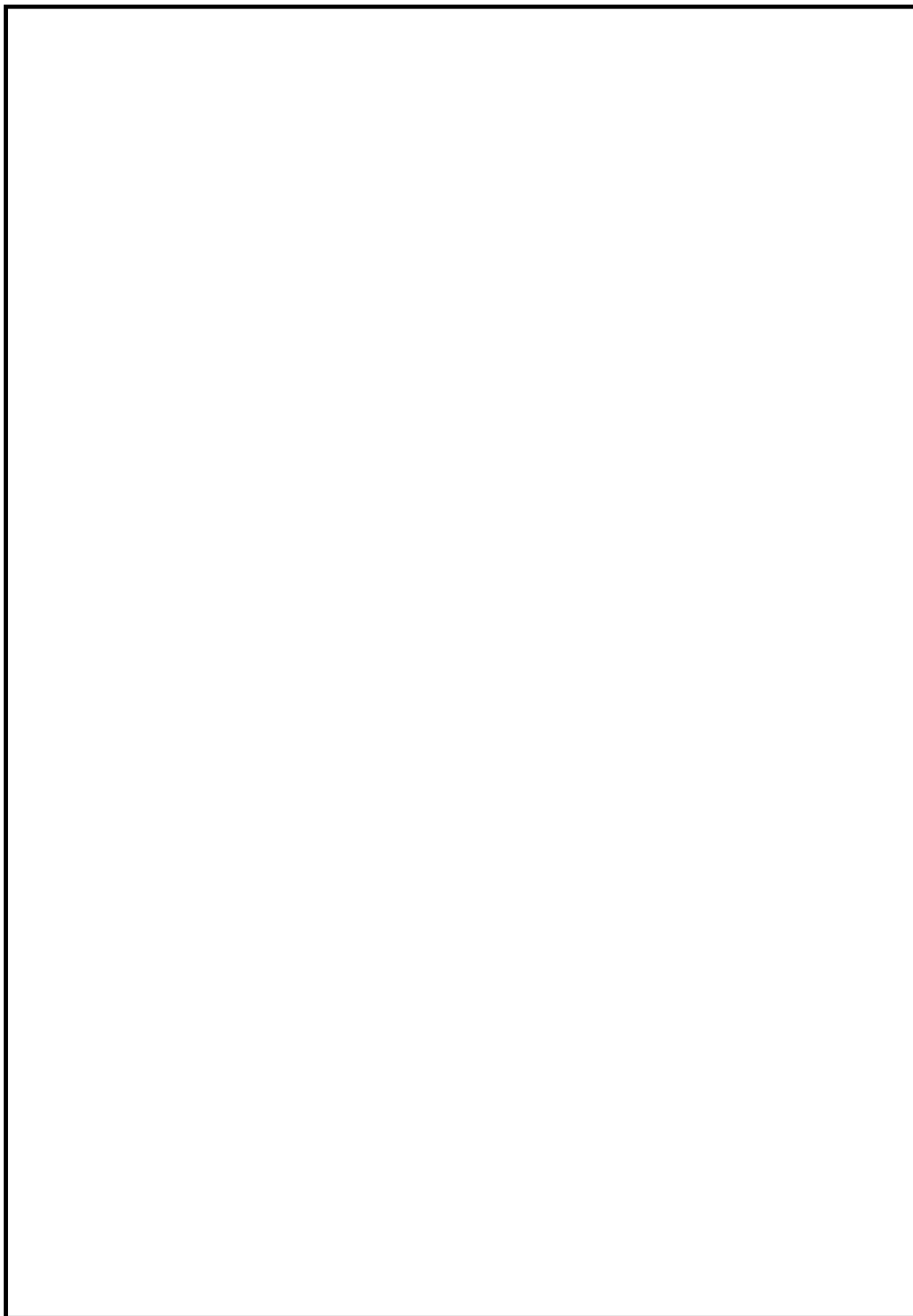


図 4-6 振動モード図 (5 次モード 鉛直方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束あり)

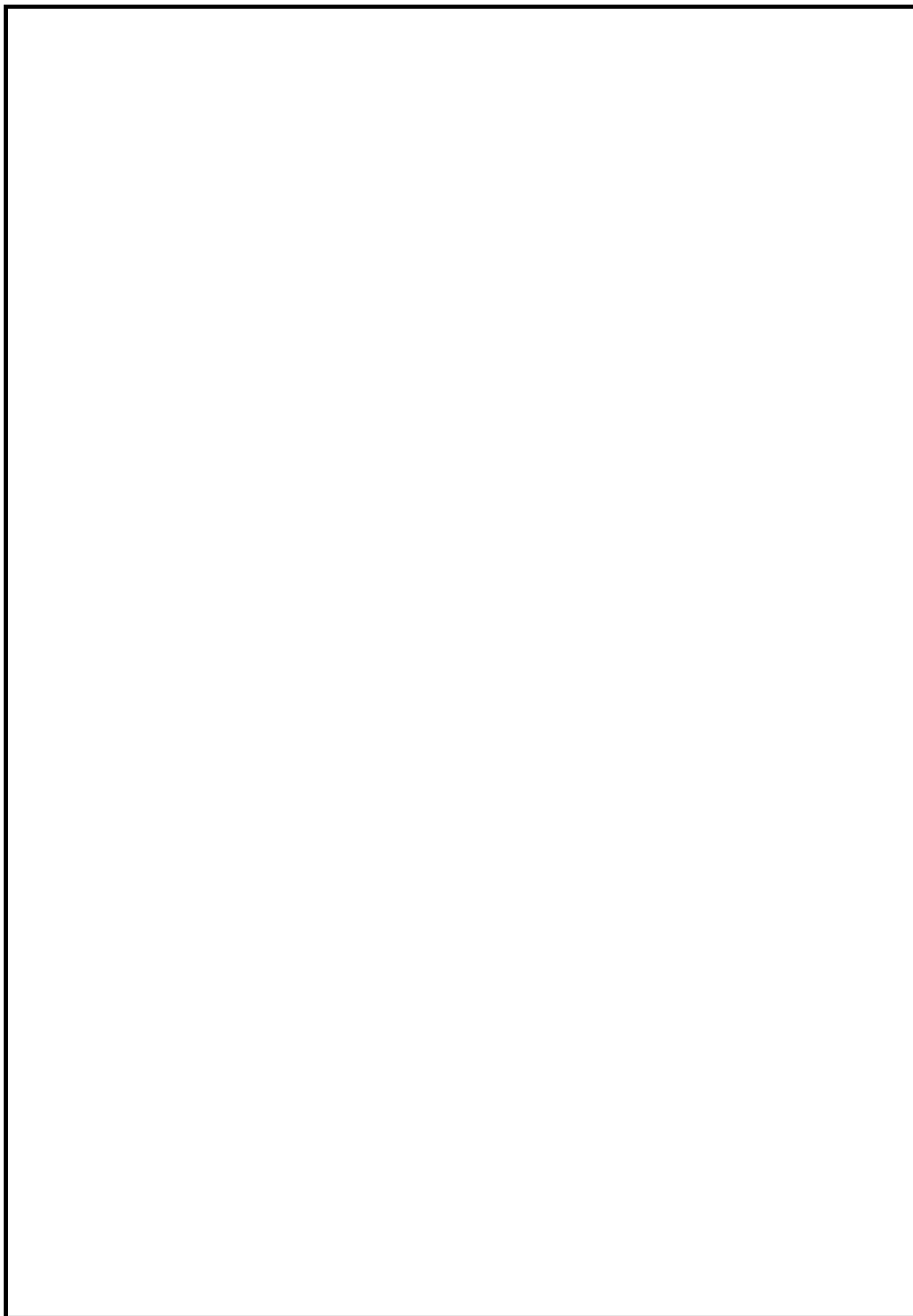


図 4-7 振動モード図 (1 次モード 鉛直方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束なし)

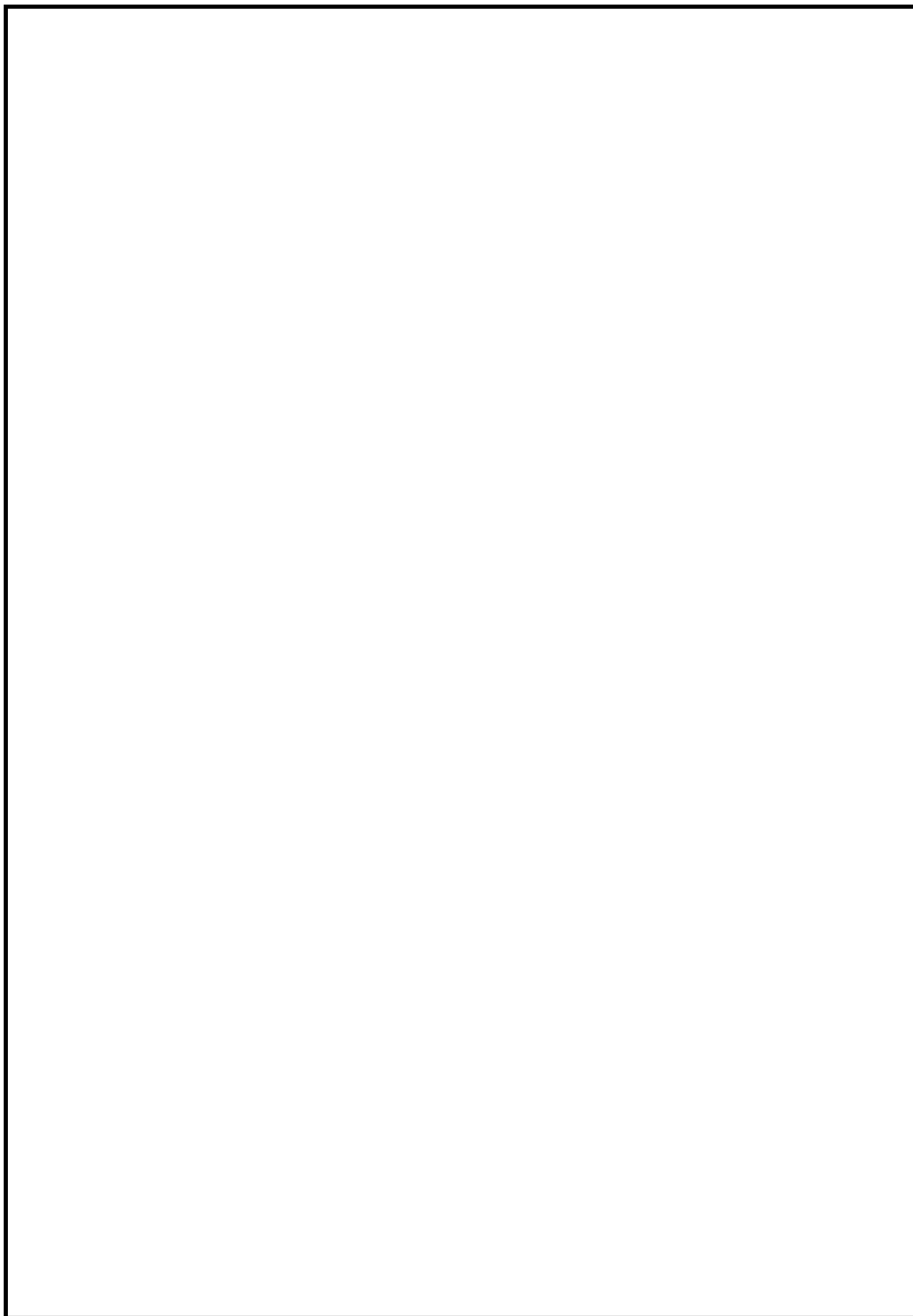


図 4-8 振動モード図 (2 次モード 鉛直方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束なし)

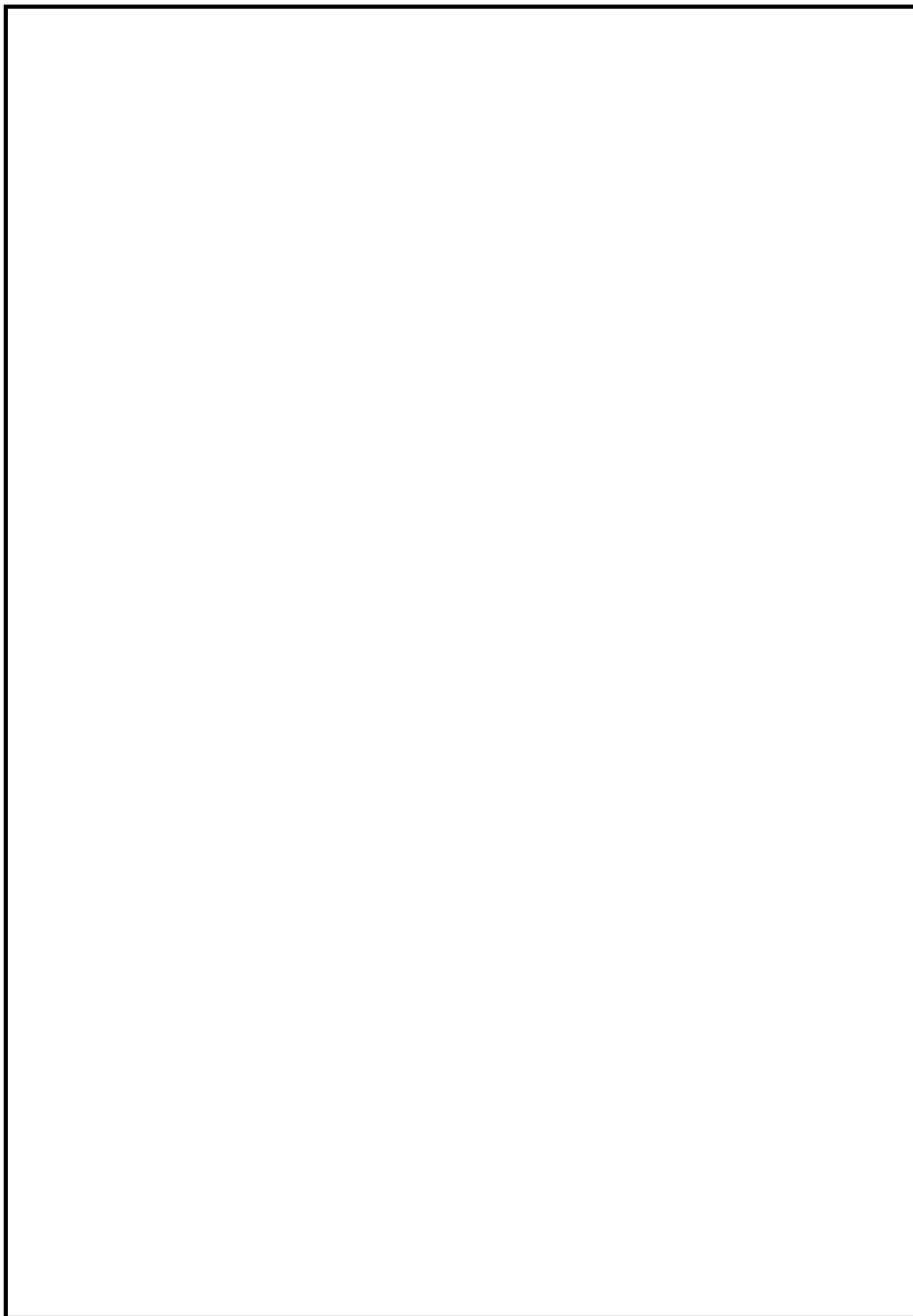


図 4-9 振動モード図 (3 次モード 水平方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束なし)

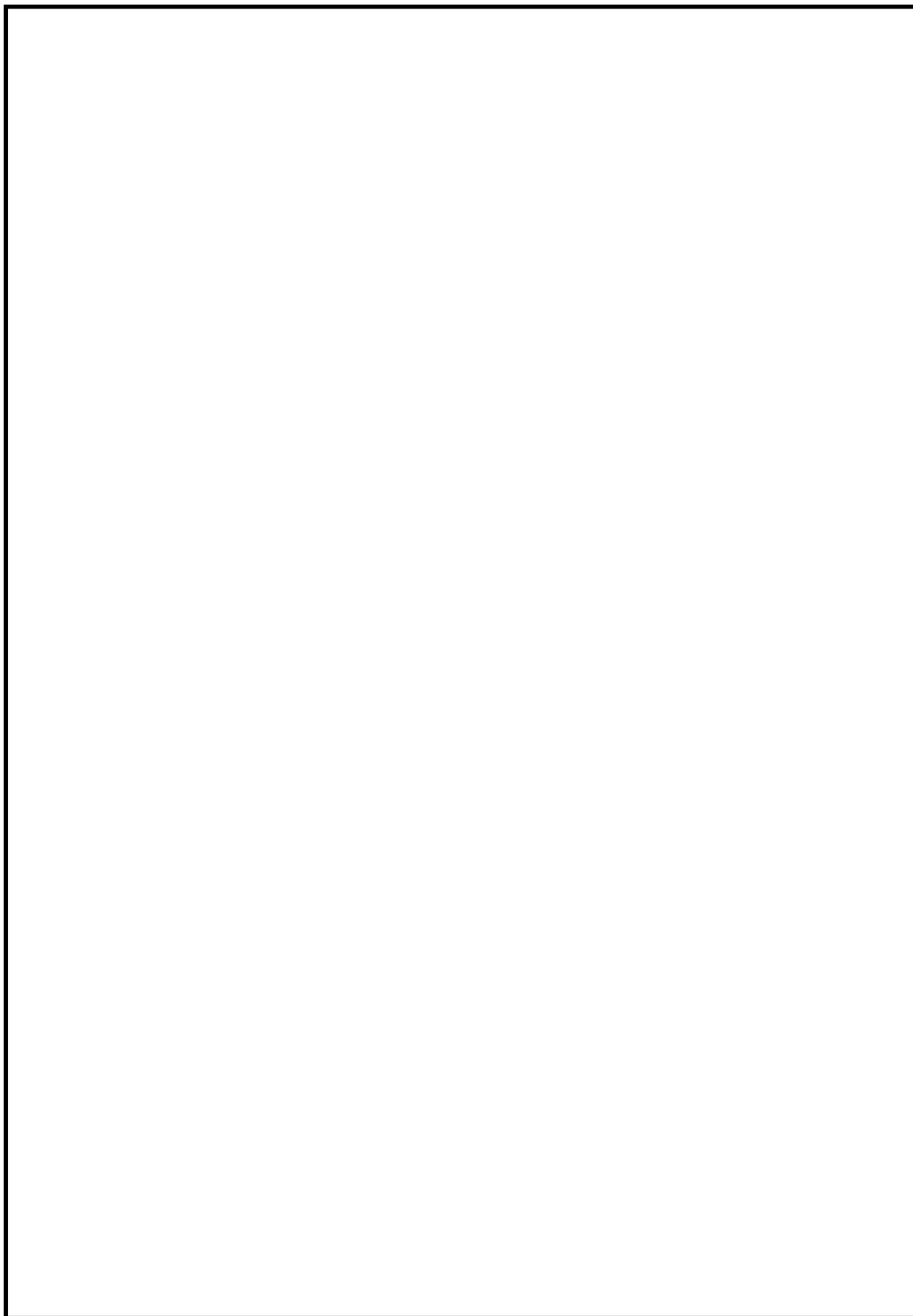


図 4-10 振動モード図 (4 次モード 水平方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束なし)

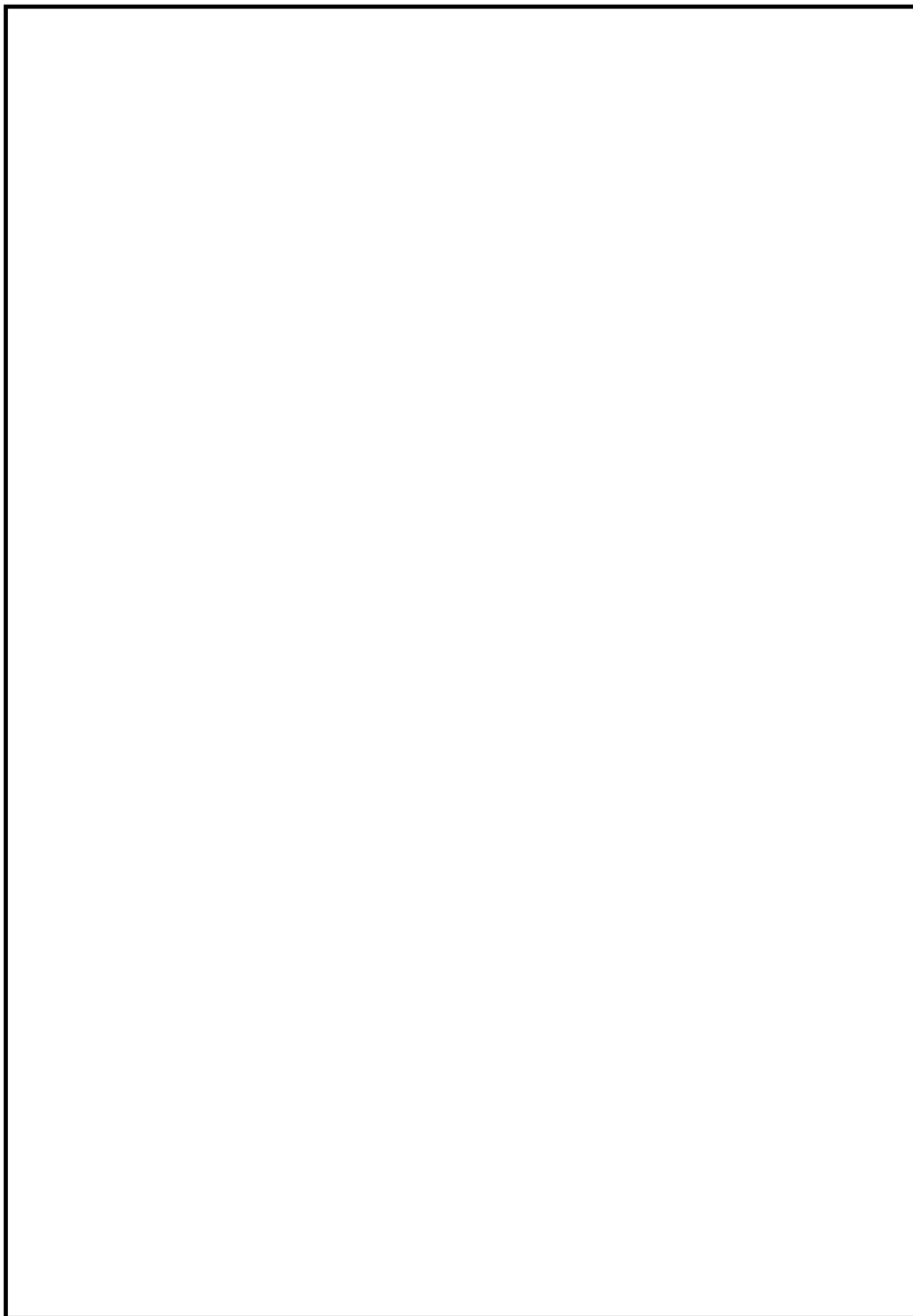


図 4-11 振動モード図 (5 次モード 鉛直方向 \square s) (鉛直方向の並進方向拘束なし)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(10)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 解析はスペクトルモーダル法にて実施し、固有値解析と同じ解析モデルを使用する。
- (2) 燃料プール水位・温度（S A）の質量は、検出器の質量、内包水の質量及び水の付加質量のほか、更に精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
- (3) 地震力は、燃料プール水位・温度（S A）に対して、水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の組合せには、絶対値和を適用する。
- (4) スロッシング荷重は、燃料プール水位・温度（S A）に対して、水平方向から作用させる。
- (5) スロッシング荷重は、特定長さに区切った区間分の荷重を集中荷重として設定する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール水位・温度（S A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

燃料プール水位・温度（S A）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール水位・温度（S A）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	燃料プール水位・温度（SA）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3, *4	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)						

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径≤16mm)	周囲環境温度	100	221	373	-
架構 (角形鋼, 水中サポートブロック)	SUS304TP, SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205
ワークテーブルフック	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205

5.3 設計用地震力

燃料プール水位・温度（S A）の設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-4、表 5-5 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）（鉛直方向の並進方向拘束あり）

据付場所及び 床面高さ (m)		原子炉建物 EL 42.8 ^{*1}					
固有周期 (s)		水平： ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次		—	—	—	27.69	27.69	—
2 次		—	—	—	13.96	13.96	—
3 次		—	—	—	15.88	15.88	—
4 次		—	—	—	21.61	21.61	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	—	—	3.42	3.42	2.46
静的震度 ^{*7}		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：応答水平震度は設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度，応答鉛直震度は設計用震度 II（基準地震動 S s）

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*7： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 5-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）（鉛直方向の並進方向拘束なし）

据付場所及び 床面高さ (m)		原子炉建物 EL 42.8 ^{*1}					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> ^{*2} 鉛直 : <input type="text"/> ^{*3}					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : 1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*4}	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	—	—	30.57	30.57	4.21
2 次		—	—	—	26.05	26.05	4.63
3 次		—	—	—	14.93	14.93	19.67
4 次		—	—	—	16.00	16.00	17.57
動的震度 ^{*6, *7}		—	—	—	3.42	3.42	2.46
静的震度 ^{*8}		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：3 次固有周期について記載

*3：1 次固有周期について記載

*4：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：応答水平震度は設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度，応答鉛直震度は設計用震度 II（基準地震動 S_s）

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8：3.6・C_i及び 1.2・C_vより定めた震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

- (1) 地震力及びスロッシング力に対してそれぞれ三次元はりモデルによる個別解析を実施し、地震力及びスロッシング力による応力を絶対値和することにより、図4-1に示す解析モデルに生じる応力を算出する。
- (2) スロッシングにおける応力の算出においては、VI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」2.3「地震起因による溢水」に示す基準地震動 S_s ($S_s - D$)による燃料プールの三次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。
- (3) スロッシングにより架構に生じる抗力は、燃料プールの流体速度時刻歴データから架構設置位置における高さレベルごとの水平方向の最大流体速度を用いて算出する。
- (4) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数 C_d は機械工学便覧 日本機械学会編(2007)より架構が正方形形状であるため2.0とする。なお、抗力の算出においては、流体速度時刻歴データより燃料プール内の架構設置位置における高さレベルごとの流体速度の最大値 V を抽出し、以下の式を用いて抗力 F_s を算出する。流体速度時刻歴データは架構に対し支配的となる水平方向のデータを適用する。

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2$$

- (5) 高さレベルごとに算出した抗力により架構に生じる動水圧荷重を付加し、図4-1に示す解析モデルに生じる応力を算出する。

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる地震力及びスロッシング力に対する解析から基礎ボルト1本当たりの発生力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

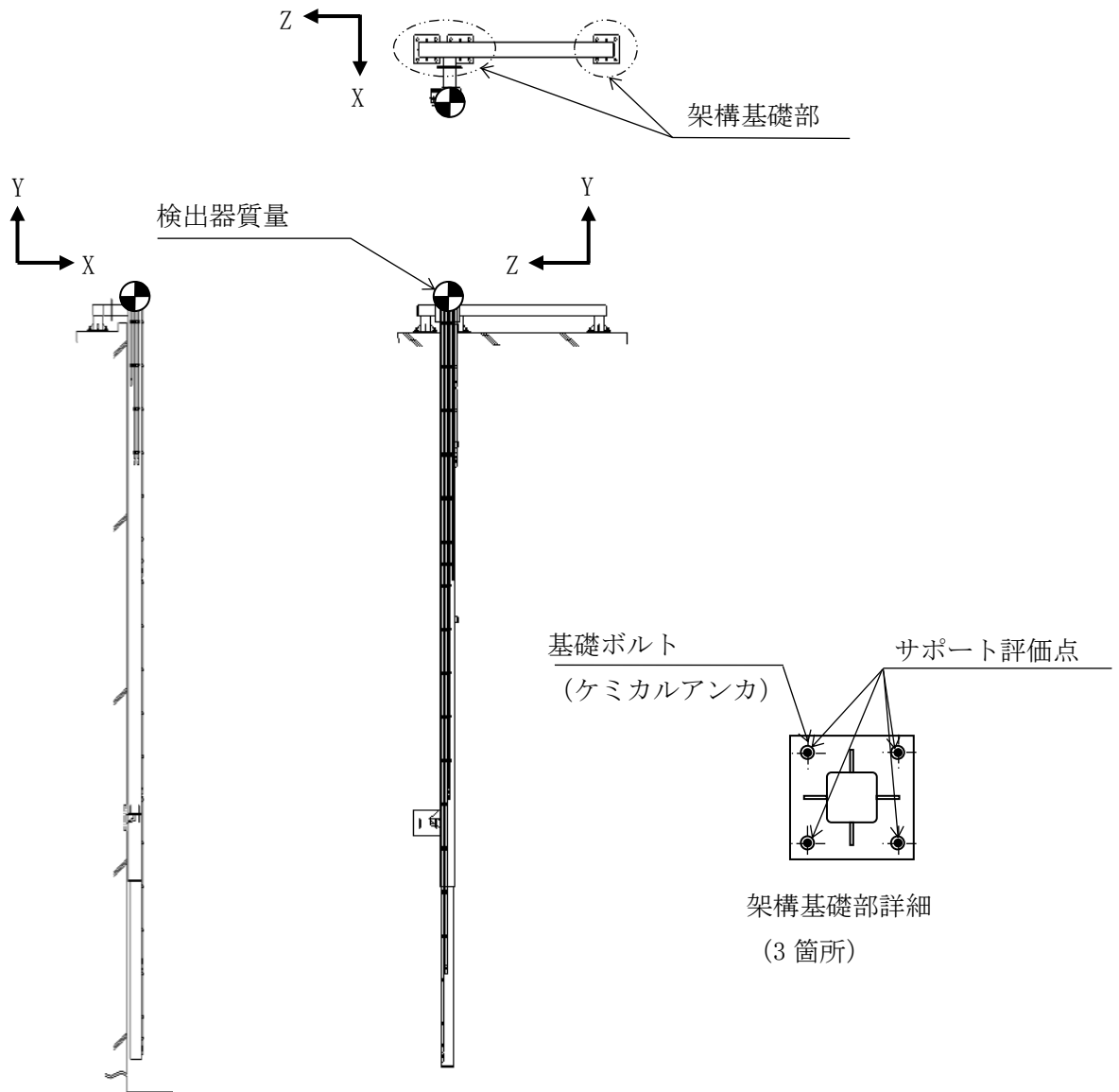


図 5-1 構造概要 (基礎ボルト)

個別解析によって得られた基礎ボルト部の評価点の最大発生力を表 5-6 に示す。

表 5-6 基礎ボルト (1 本当たり) 発生反力

対象部位	ケース	反力(N)	
		F _b	Q _b
基礎ボルト	地震力		
	スロッシング		
	地震力+スロッシング		

(1) 引張応力

基礎ボルト (1本当たり) に対する引張応力は、下式により計算する。

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト (1本当たり) に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

5.4.1.2 架構の応力

架構の応力は、三次元はりモデルによる地震力及びスロッシング力に対する解析から各節点に生じる応力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

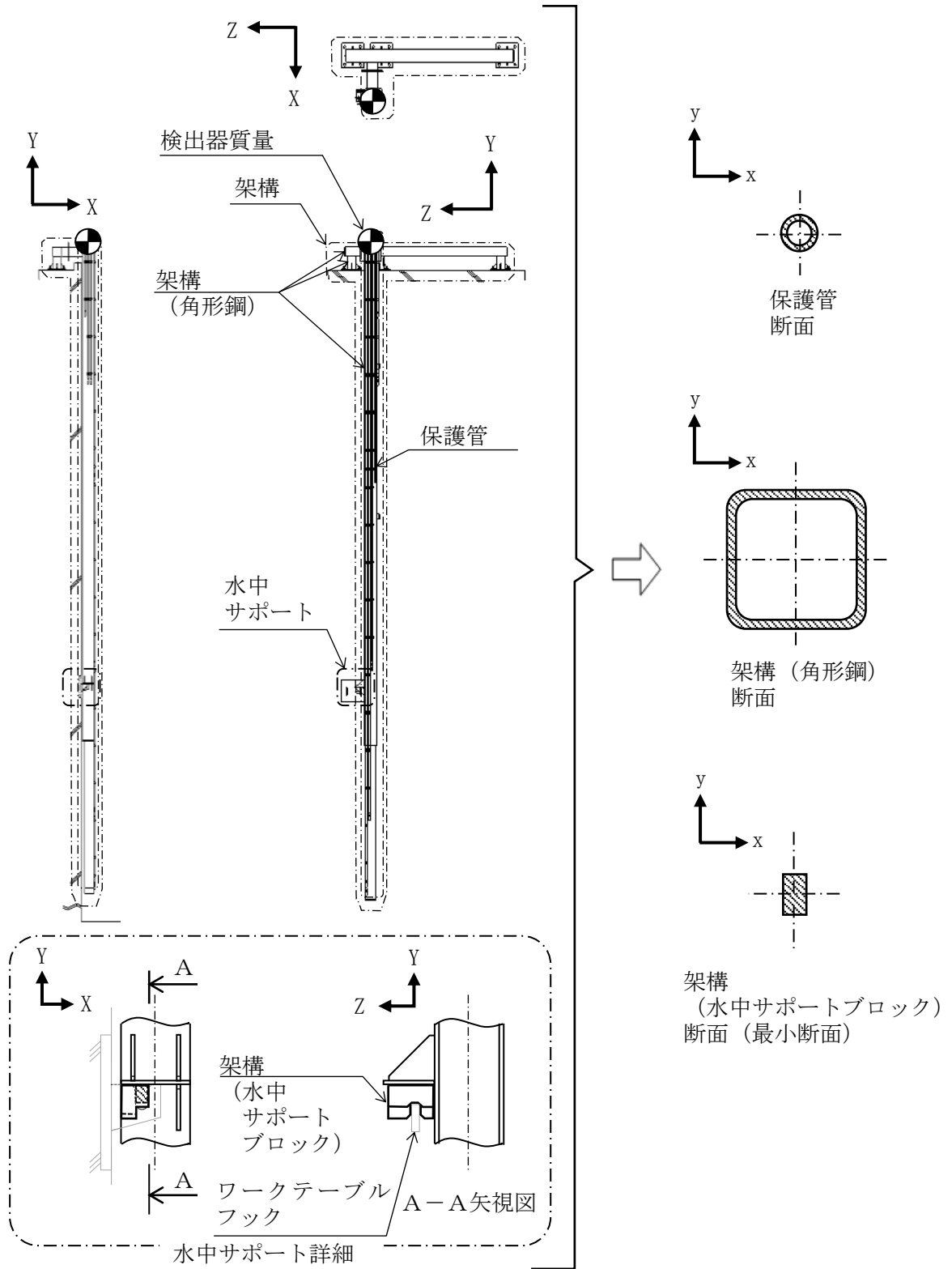


図5-2 構造概要 (架構)

組合せ応力が最大となる架構の評価点の最大発生応力を表 5-7 に示す。

表 5-7 発生応力

(単位：MPa)

対象部位	ケース	引張 (圧縮)	せん断		ねじり	曲げ	
		$\sigma_{t(c)}$	τ_x	τ_y	τ_p	σ_{bx}	σ_{by}
架構 (角形鋼)	地震力						
	スロッシング						
	地震力+スロッシング						
架構 (水中サポー トブロック)	地震力						
	スロッシング						
	地震力+スロッシング						

注記*：負の値は圧縮応力を示す。

(1) 引張 (圧縮) 応力

架構に対する引張 (圧縮) 応力は、下式により計算する。

引張 (圧縮) 応力 ($\rho_{t(c)}$)

$$\rho_{t(c)} = |\sigma_{t(c)}| \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

(2) せん断応力

架構に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断応力 (ρ_s)

$$\rho_s = \text{MAX} (\tau_x + \tau_p, \tau_y + \tau_p) \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(3) 曲げ応力

架構に対する曲げ応力は、下式により計算する。

曲げ応力 (ρ_b)

$$\rho_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(4) 組合せ応力

架構に対する組合せ応力は、下式により計算する。

組合せ応力 (ρ_m)

$$\rho_m = \sqrt{(\rho_{t(c)} + \rho_b)^2 + 3\rho_s^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

5.4.1.3 ワークテーブルフックの応力

ワークテーブルフックの応力は、三次元はりモデルによる地震力及びスロッシング力に対する架構の解析からワークテーブルフック部に生じる反力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

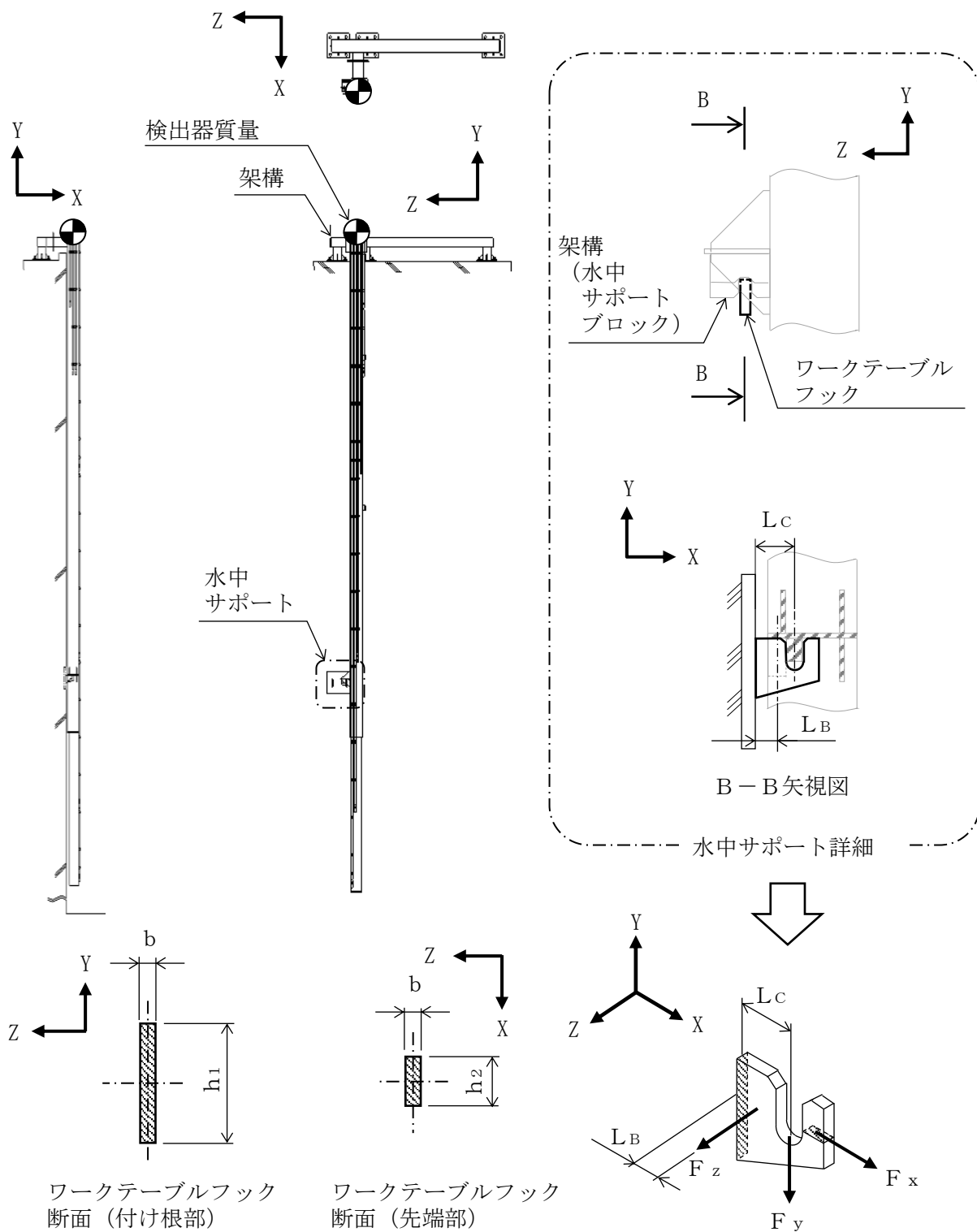


図5-3 構造概要 (ワークテーブルフック)

解析によって得られたワークテーブルフック部の評価点の最大反力を表 5-8, 表 5-9 に示す。

表 5-8 ワークテーブルフック評価点反力 (付け根部評価用)

対象部位	ケース	反力(N)		
		F _x	F _y	F _z
ワークテーブルフック	地震力 +スロッシング			

表 5-9 ワークテーブルフック評価点反力 (先端部評価用)

対象部位	ケース	反力(N)		
		F _x	F _y	F _z
ワークテーブルフック	地震力 +スロッシング			

(1) 引張応力

ワークテーブルフックに対する引張応力は、下式により計算する。

引張応力 (σ_{ht}) (付け根部)

$$\sigma_{ht} = \frac{F_x}{A_h} + \frac{F_z \cdot L_B}{Z_{hy}} + \frac{F_y \cdot L_C}{Z_{hz}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

ここで、A_hはワークテーブルフック付け根部の断面積、Z_{hy}、Z_{hz}はワークテーブルフック付け根部の断面係数を示す。

(2) せん断応力

ワークテーブルフックに対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断応力 (τ_h) (付け根部)

$$\tau_h = \sqrt{\left(\frac{F_y}{A_{hs1}}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_{hs1}}\right)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

せん断応力 (τ_h) (先端部)

$$\tau_h = \frac{F_x}{A_{hs2}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

ここで、A_{hs1}はワークテーブルフック付け根部のせん断断面積、A_{hs2}はワークテーブルフック先端部のせん断断面積を示す。

(3) 組合せ応力

ワークテーブルフックの組合せ応力は、下式により計算する。

組合せ応力 (σ_{ha}) (付け根部)

$$\sigma_{ha} = \sqrt{\sigma_{ht}^2 + 3 \cdot \tau_h^2} \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルト，架構及びワークテーブルフックの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【燃料プール水位・温度（S A）（L/TE216-1，2，3，4，5，6，TE216-4）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし， f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は，せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし， f_{sb} は下表による。

f_{to}	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合 $\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.2 架構の応力評価

5.4.1.2項で求めた架構の引張（圧縮）応力 $\rho_t(c)$ ，せん断応力 ρ_s ，曲げ応力 ρ_b 及び組合せ応力 ρ_m は，架構の許容引張応力 f_{tm} ，許容圧縮応力 f_{cm} ，許容せん断応力 f_{sm} ，許容曲げ応力 f_{bm} 及び許容組合せ応力 f_{tm} 以下であること。ただし， f_{tm} ， f_{cm} ， f_{sm} 及び f_{bm} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_{cm}	$\left(1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right) \frac{F^*}{\nu_c} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし， ℓ_k ， Λ ， λ ， ν_c ， i は次式より求める。

$$\nu_c = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots\dots\dots (5.6.2.2)$$

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (5.6.2.3)$$

$$\ell_k = 2.1 \cdot L \dots\dots\dots (5.6.2.4)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_m}} \dots\dots\dots (5.6.2.5)$$

5.6.3 ワークテーブルフックの応力評価

5.4.1.3項で求めたワークテーブルフックの引張応力 σ_{ht} 、せん断応力 τ_h 、組合せ応力 σ_{ha} は、ワークテーブルフックの許容引張応力 f_{tm} 、許容せん断応力 f_{sm} 、許容組合せ応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} 、 f_{sm} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容組合せ応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール水位・温度（S A）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又は地震応答解析で評価した検出器に生じる最大の応答加速度のいずれか大きい値とする。

燃料プール水位・温度（S A）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器又は当該検出器と類似の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-1)	水平	
	鉛直	
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-2)	水平	
	鉛直	
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-3)	水平	
	鉛直	
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-4)	水平	
	鉛直	
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-5)	水平	
	鉛直	
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-6)	水平	
	鉛直	
燃料プール水位・温度（S A） (TE216-4)	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール水位・温度（S A）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-4-2-4 R1

【燃料プール水位・温度（S A）（L/TE216-1, 2, 3, 4, 5, 6, TE216-4）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件（鉛直方向の並進方向拘束あり）

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-1, 2, 3, 4, 5, 6, TE216-4)	常設／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 42.8*1	□	0.05 以下	—	—	$C_H=3.42^{*2}$ 又は*3	$C_V=2.46^{*2}$ 又は*3	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：応答水平震度は設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度，応答鉛直震度は設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*3：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 設計条件（鉛直方向の並進方向拘束なし）

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール水位・温度（S A） (L/TE216-1, 2, 3, 4, 5, 6, TE216-4)	常設／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 42.8*1	□	□	—	—	$C_H=3.42^{*2}$ 又は*3	$C_V=2.46^{*2}$ 又は*3	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：応答水平震度は設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度，応答鉛直震度は設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*3：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.3 機器要目

部材	W (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト				221 (径≤16mm)	373 (径≤16mm)	—	261

部材	A _m (mm ²)	I (mm ⁴)	L (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
架構 (角形鋼)				171	441	205	—	205
架構 (水中サポート ブロック)	1.120×10 ³	1.493×10 ⁵	100	171	441	205	—	205

部材	A _h (mm ²)	A _{h s 1} (mm ²)	A _{h s 2} (mm ²)	b (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	Z _{h z} (mm ³)	Z _{h y} (mm ³)	L _B (mm)	L _C (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
ワークテーブル フック	1.200×10 ³	800	200	12	100	25	2.000×10 ⁴	2.400×10 ³	36.5	66	171	441	205	—	205

1.4 計算数値

1.4.1 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—		—	

1.4.2 架構の発生応力

(単位：MPa)

部材	引張 (圧縮)	せん断		ねじり	曲げ	
	$\sigma_{t(c)}$	τ_x	τ_y	τ_p	σ_{bx}	σ_{by}
架構 (角形鋼)						
架構 (水中サポート ブロック)						

注記*：負の値は圧縮応力を示す。

1.4.3 ワークテーブルフックに作用する力 (付け根部評価用)

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ワークテーブル フック	—		—		—	

1.4.4 ワークテーブルフックに作用する力 (先端部評価用)

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ワークテーブル フック	—		—	—	—	—

S2 補 VI-2-4-2-4 R1

1.5 結論

1.5.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 12$	$f_{ts} = 156^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 120$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

1.5.2 架構の応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
架構 (角形鋼)	SUS304TP	圧縮	—	—	$\rho_{t(c)} = 11$	$f_{cm} = 120$
		せん断	—	—	$\rho_s = 22$	$f_{sm} = 118$
		曲げ	—	—	$\rho_b = 120$	$f_{bm} = 205$
		組合せ	—	—	$\rho_m = 135$	$f_{tm} = 205$
架構 (水中サポートブロック)	SUS304	圧縮	—	—	$\rho_{t(c)} = 2$	$f_{cm} = 201$
		せん断	—	—	$\rho_s = 22$	$f_{sm} = 118$
		曲げ	—	—	$\rho_b = 154$	$f_{bm} = 205$
		組合せ	—	—	$\rho_m = 160$	$f_{tm} = 205$

すべて許容応力以下である。

S2 補 VI-2-4-2-4 R1

1.5.3 ワークテーブルフック（付け根部）の応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ワークテーブルフック （付け根部）	SUS304	引張	—	—	$\sigma_{ht}=129$	$f_{tm}=205$
		せん断	—	—	$\tau_h = 10$	$f_{sm}=118$
		組合せ	—	—	$\sigma_{ha}=130$	$f_{tm}=205$

すべて許容応力以下である。

1.5.4 ワークテーブルフック（先端部）の応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ワークテーブルフック （先端部）	SUS304	せん断	—	—	$\tau_h=83$	$f_{sm}=118$

すべて許容応力以下である。

1.5.6 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8m/s^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-1)	水平方向	7.25	
	鉛直方向	3.07	
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-2)	水平方向	7.25	
	鉛直方向	3.07	
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-3)	水平方向	7.25	
	鉛直方向	3.07	
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-4)	水平方向	7.25	
	鉛直方向	3.07	
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-5)	水平方向	7.25	
	鉛直方向	3.07	
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-6)	水平方向	7.25	
	鉛直方向	3.07	
燃料プール水位・温度 (S A) (TE216-4)	水平方向	7.25	
	鉛直方向	3.07	

注記* : 設計用震度 I (基準地震動 S s) により定まる評価部位における応答加速度であり、全ての検出器取付位置のうち最大となる位置の応答加速度の値を各々の検出器の評価に対して共通で適用する。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

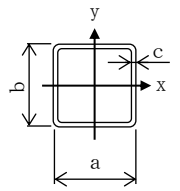
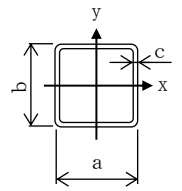
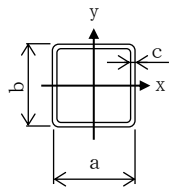
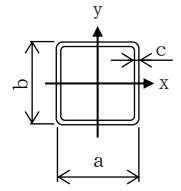
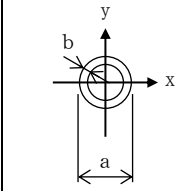
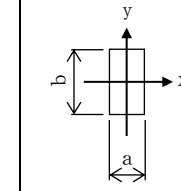
1.6 その他の機器要目

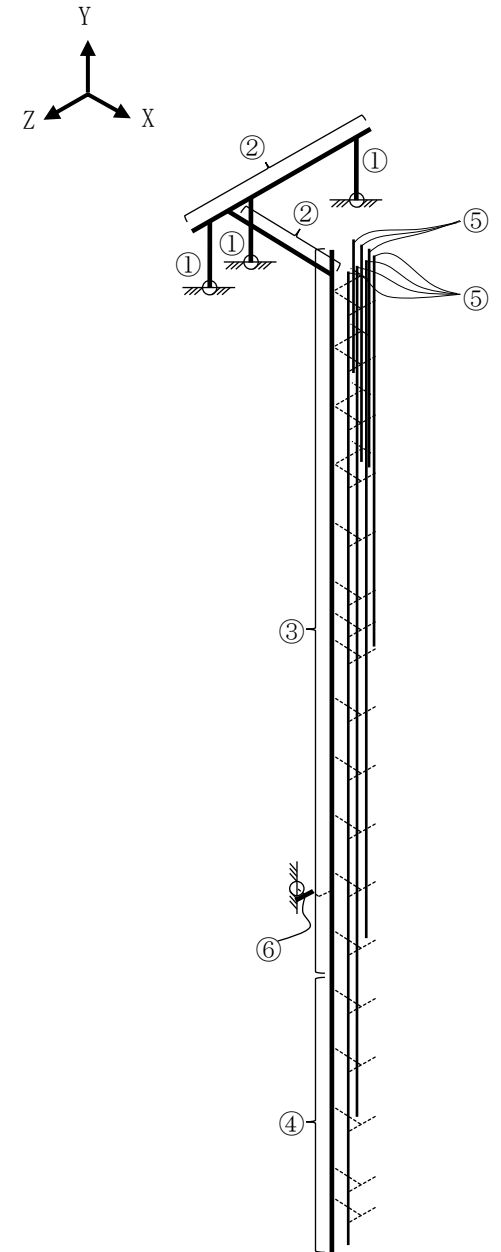
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	100
縦弾性係数	E	MPa	190000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

S2 補 VI-2-4-2-4 R1E

(2) 断面性状

部材	サポート鋼材				保護管	水中サポートブロック
要素	①	②	③	④	⑤	⑥
材質	SUS304TP	SUS304TP	SUS304TP	SUS304TP	SUS304TP	SUS304
A_m (mm ²)						
Z_x (mm ³)						
Z_y (mm ³)						
Z_p (mm ³)						
断面形状 (mm)	 (a × b × c)	 (a × b × c)	 (a × b × c)	 (a × b × c)	 (a × b)	 (a × b)



VI-2-4-2-5 燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元	11
4.4 検出器保護管の固有周期	13
4.5 検出器保護管の設計用地震力	14
4.6 検出器保護管の計算方法	15
4.7 検出器保護管の計算条件	16
4.8 検出器保護管の応力の評価	16
5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価	17
5.1 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価方法	17
5.2 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力	17
5.3 検出器架台の解析モデル及び諸元	19
5.4 検出器架台の固有周期	20
5.5 検出器架台の設計用地震力	21
5.6 検出器架台の計算方法	22
5.7 検出器架台の計算条件	26
5.8 検出器架台の応力の評価	26
6. 機能維持評価	27
6.1 電氣的機能維持評価方法	27
7. 評価結果	28
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、燃料プール水位（S A）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

燃料プール水位（S A）は、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール水位（S A）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器保護管は、<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> を検出器架台梁先端の <input type="checkbox"/> に接続する。</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p>また、検出器架台は、取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは、基礎ボルトにより基礎（床面）に設置する。</p>	<p>ガイドパルス式水位検出器（検出器保護管は検出器架台に固定する構造）</p>	

2.2 評価方針

燃料プール水位（S A）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す燃料プール水位（S A）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、検出器保護管については「4.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元」及び「4.4 検出器保護管の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内であることを、「4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。検出器架台については「5.3 検出器架台の解析モデル及び諸元」及び「5.4 検出器架台の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内であることを、「5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、燃料プール水位（S A）は、電気信号を伝搬する機能のみであり、検出器保護管が変形・破損しなければ、その機能を維持できる。よって、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の電気的機能維持の方針に基づき、検出器保護管が解析による最大発生応力が許容応力以下にあることにより、機能維持を満足することを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

燃料プール水位（S A）の耐震評価フローを図2-1に示す。

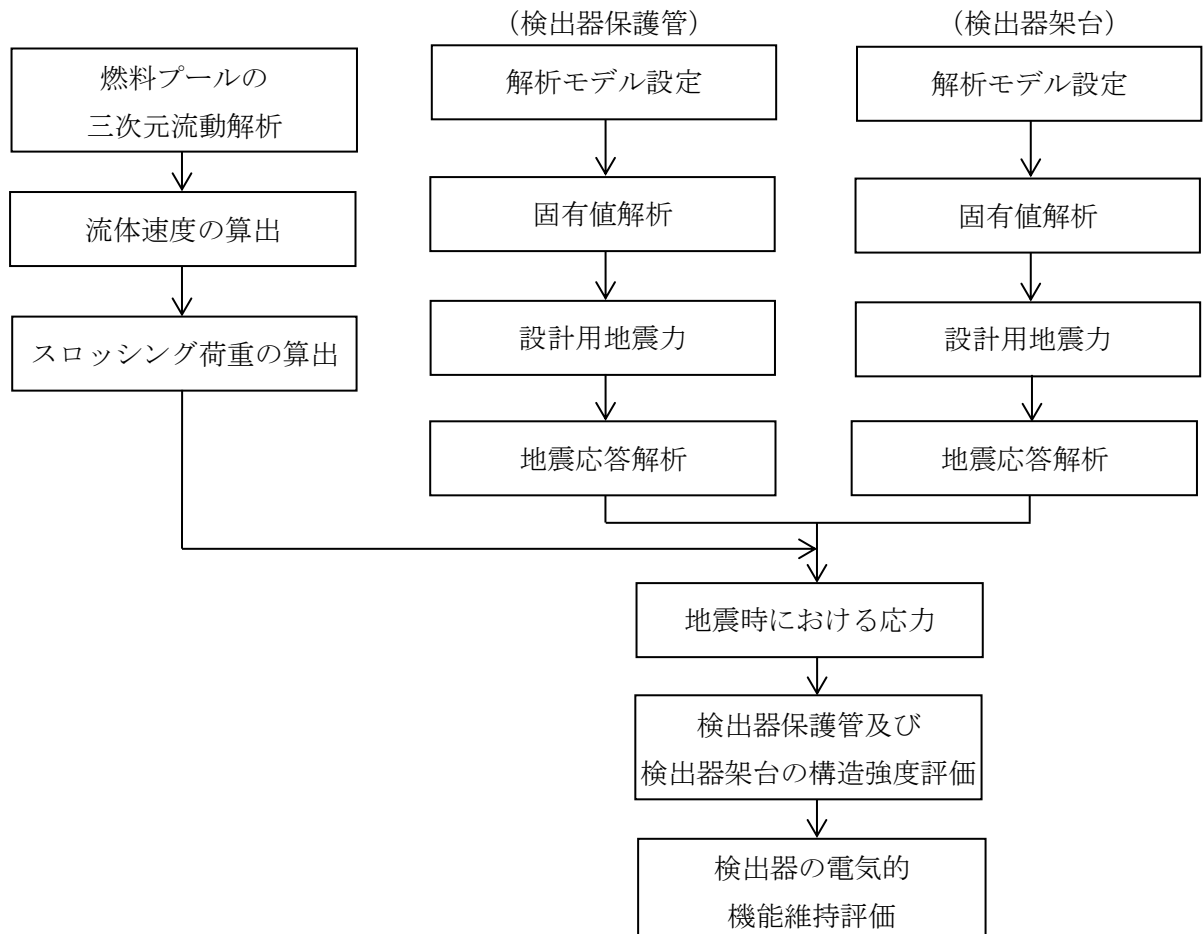


図2-1 燃料プール水位（S A）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	配管（検出器保護管）外半径	mm
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A_p	検出器保護管の軸断面積	mm ²
A_s	スロッシングにおける検出器保護管の投影面積	mm ²
C_d	検出器保護管の抗力係数	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_1	基礎ボルトの呼び径	mm
d_o	検出器保護管外径	mm
d_i	検出器保護管内径	mm
d_r	検出器芯棒外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格SSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_s	スロッシングにより検出器保護管に生じる抗力	N
F_x	検出器保護管取付部における水平方向荷重	N
F_{x1}	地震力における水平方向荷重	N
F_{x11}	地震力におけるX方向荷重	N
F_{x12}	地震力におけるY方向荷重	N
F_{x2}	スロッシングにおける水平方向荷重	N
F_{x21}	スロッシングにおけるX方向荷重	N
F_{x22}	スロッシングにおけるY方向荷重	N
F_y	検出器保護管取付部における鉛直方向荷重	N
F_{xB}	検出器保護管取付部に作用する力（水平方向）	N
F_{yB}	検出器保護管取付部に作用する力（鉛直方向）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h_1	検出器架台の据付面から重心までの距離	mm
h_2	検出器保護管取付部から検出器架台の重心までの鉛直方向距離	mm
l_{11}	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1	mm
l_{12}	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1	mm
l_{21}	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*2	mm
l_{22}	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*2	mm
l_b	検出器保護管取付部中心から重心までの水平方向距離	mm
l_p	検出器保護管長さ	mm
M_x	検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント (X軸回り)	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_z	検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント (Z軸回り)	N・mm
m_{b1}	検出器架台質量	kg
m_{b2}	検出器架台梁質量	kg
m_p	検出器保護管質量	kg
m_w	検出器保護管内包水質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t	検出器保護管の厚さ	mm
V	スロッシングによる流速	m/s
γ	低減係数	—
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_p	検出器保護管に生じる曲げ応力	MPa
σ_{p1}	地震力における曲げ応力	MPa
σ_{p11}	地震力における軸応力	MPa
σ_{p12}	地震力における組合せ応力	MPa
σ_{p2}	スロッシングにおける曲げ応力	MPa
σ_{p3}	自重における軸応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ρ	水の密度	kg/m ³
ρ_0	検出器保護管材の密度	kg/m ³
ν	ポアソン比	—
X	NS方向	—
Y	鉛直方向	—
Z	EW方向	—

注記*1：図5-3参照

*2：図5-2参照

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第1位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

燃料プール水位（S A）の耐震評価は、検出器保護管の [] を考慮し、検出器保護管と検出器架台についてそれぞれ評価を行う。検出器保護管については、「4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価」に示す条件に基づき評価を実施する。また、検出器架台については、「5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて評価を実施する。燃料プール水位（S A）の耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価

4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震応答解析時の検出器保護管の質量には、検出器保護管自身の質量のほか、検出器保護管に含まれる水の質量及び検出器保護管外形の付加質量*を考慮する。また、精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
- (2) 地震力は、検出器保護管に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) スロッシング荷重は、検出器保護管に対して水平方向から作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

注記*：付加質量とは、機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量をいう。

4.2 検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 検出器保護管の許容応力

検出器保護管の評価に用いる許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

4.2.3 検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件

検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵設備	燃料プール水位（SA）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3, *4	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)
	一次応力
	引張
IV_{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$
V_{AS} (V_{AS} として IV_{AS} の 許容限界を用いる。)	

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S_y^* (MPa)	S_u (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)
検出器保護管		周囲環境温度	171	—	—

注記*：検出器の電氣的機能維持を考慮し，検出器保護管に生じる応力が弾性範囲内となるように， S_y を応力評価の許容値とする。

4.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元

検出器保護管の解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料プール水位（SA）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 検出器保護管は、三次元はり要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件は、検出器保護管上端の取付部で、
，検出器保護管中間部及び下部サポート点で
とする。
- (3) 検出器保護管質量は、検出器保護管自身の質量，検出器保護管に含まれる水の質量及び付加質量を考慮
- (4) 解析コードは、「ANSYS」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

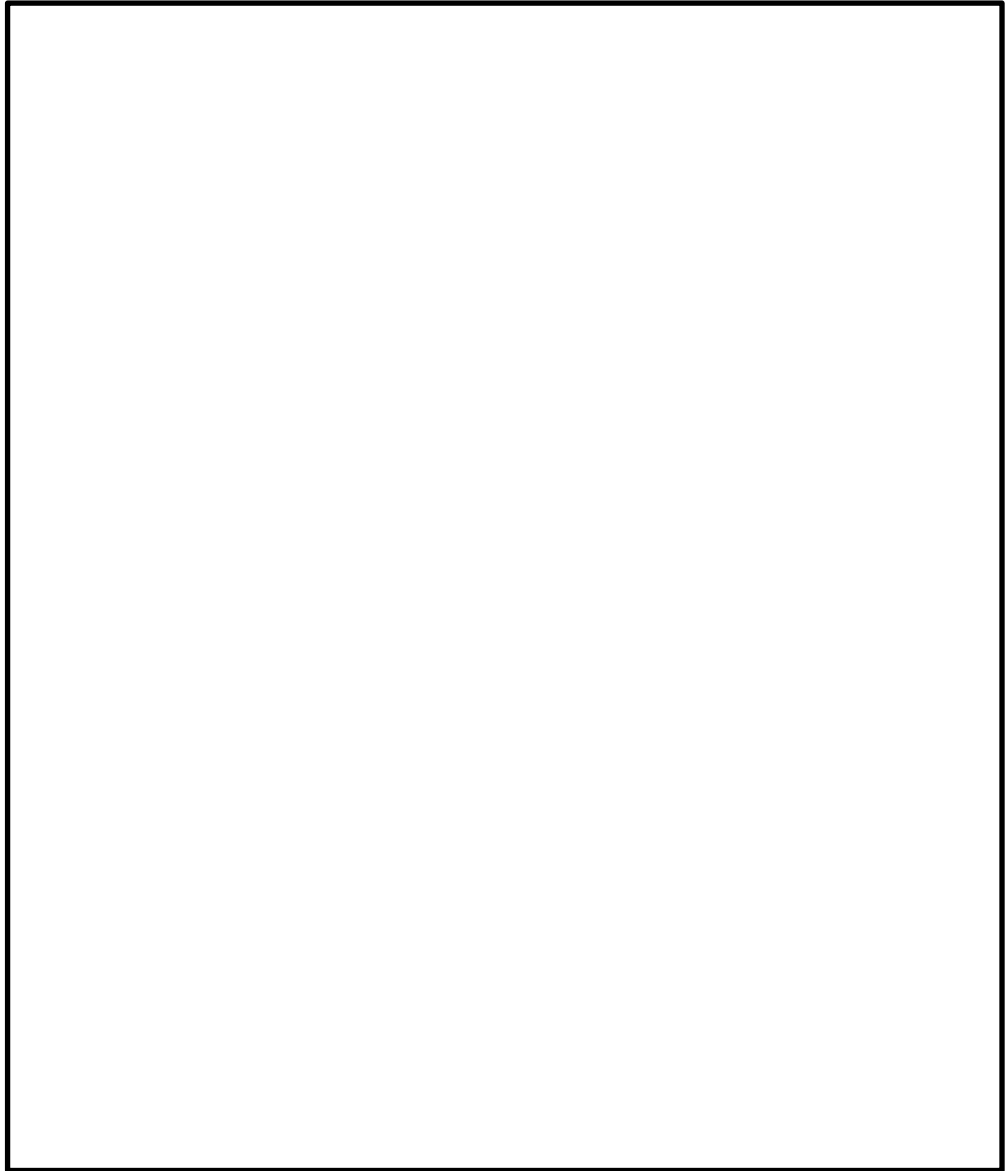


図4-1 検出器保護管の解析モデル

4.4 検出器保護管の固有周期

検出器保護管の固有値解析の結果を表 4-4、振動モード図を図 4-2 に示す。水平方向の固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表4-4 検出器保護管の固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向 刺激係数*
			X方向	Z方向	
1次					
2次					
3次					
4次					

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

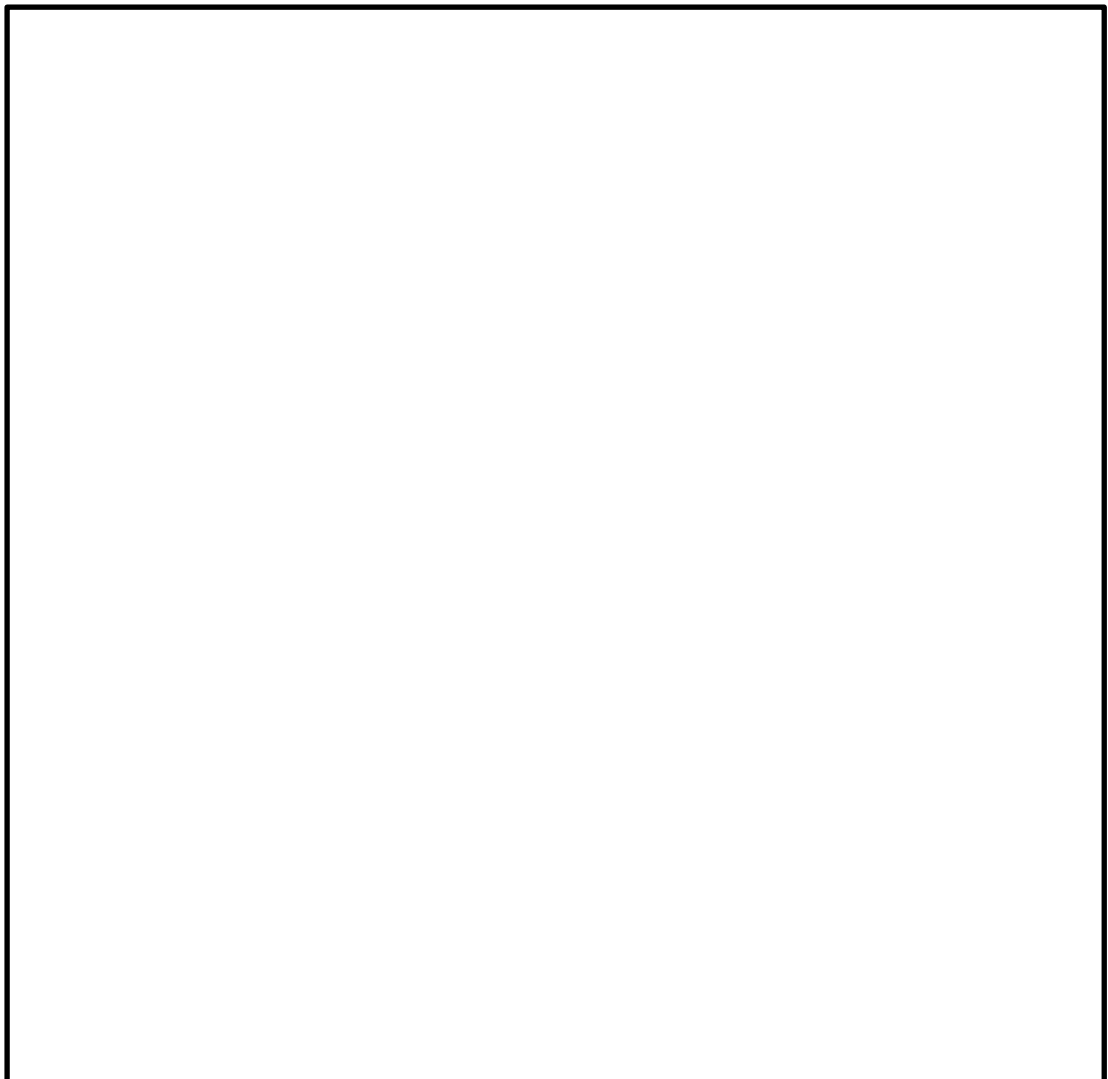


図4-2 検出器振動モード図

4.5 検出器保護管の設計用地震力

燃料プール水位（S A）の設計用地震力のうち重大事故等対処施設の評価に用いるものを表4-5に示す。

「基準地震動S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-5 検出器の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所及び床面高さ(m)		原子炉建物 EL 42.80* ¹					
固有周期(s)		水平：□* ² 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度* ⁴		応答鉛直 震度* ⁴
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次		—	—	—			
2 次		—	—	—			
3 次		—	—	—			
4 次		—	—	—			
動的震度* ⁵ , * ⁶		—		—			

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

4.6 検出器保護管の計算方法

4.6.1 地震力における応力の算出

- (1) 図4-1に示す解析モデルによりスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) スペクトルモーダル解析によりX及びZ方向における各節点の曲げモーメントを算出する。また、X及びZ方向の曲げモーメントは、ベクトル和にて組み合わせる。
- (3) 組み合わせた曲げモーメントを用いて、検出器保護管の水平方向に発生する曲げ応力を算出する。算出結果を表4-6に示す。

表4-6 地震力における曲げ応力

曲げ応力 σ_{p1} (MPa)

- (4) 地震力及び自重により検出器保護管のY方向に発生する軸応力を静的解析により算出する。
- (5) 水平方向の曲げ応力にY方向の軸応力を絶対値和することにより組み合わせる。

4.6.2 スロッシングにおける応力の算出

- (1) スロッシングにおける応力の算出においては、VI-1-1-9-3「溢水評価条件の設定」に示す基準地震動 S_s ($S_s - D$)による燃料プールの三次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データより、水平方向における水深ごとの最大流速を用い、検出器保護管に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数 C_d は機械工学便覧 日本機械学会編(2007)より検出器保護管が円柱形状であるため1.2とする。

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2$$

- (4) 算出されたスロッシングによるX及びZ方向の曲げモーメントはベクトル和にて組み合わせる。
- (5) 組み合わせた曲げモーメントを用いて、検出器保護管に発生する曲げ応力を算出する。曲げ応力の算出結果を表4-7示す。

表4-7 スロッシングにおける曲げ応力

スロッシングにおける曲げ応力 σ_{p2} (MPa)

4.6.3 地震力及びスロッシングによる応力の算出

地震力及びスロッシングによる発生応力を絶対値和することにより、燃料プール水位（S A）検出器保護管に生じる曲げ応力を算出する。算出結果を表4-8に示す。

表4-8 検出器保護管に生じる曲げ応力

曲げ応力 σ_p (MPa)

4.7 検出器保護管の計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 検出器保護管の応力の評価

検出器の電氣的機能維持を考慮し、4.6.3項で求めた検出器保護管に生じる応力が、表4-2に示す許容応力 $1.5 \cdot ft^*$ よりも保守的で、弾性範囲内となる使用材料の設計降伏点 S_y 以下であることを確認する。

5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価

5.1 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 固有値解析は三次元FEMモデルによる評価を実施し、基礎ボルトの耐震計算は1質点系による評価を実施する。
- (2) 地震力は、水平方向及び鉛直方向から作用させる。
- (3) 検出器架台の質量は、重心に集中させる。
- (4) 検出器架台の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心を設定する。
- (5) 検出器架台の転倒方向は、図5-2及び図5-3に示す左右方向及び前後方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう）を記載する。
- (6) 「4.6 検出器保護管の計算方法」に示す検出器保護管の解析により得られた検出器保護管取付部における荷重を、基礎ボルトの応力計算において組み合わせて評価する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

5.2.2 検出器架台の許容応力

検出器架台の評価に用いる許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-1に示す。

5.2.3 検出器架台の使用材料の許容応力評価条件

検出器架台の使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

表 5-1 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の
応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-2 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F [*] (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	176	476	205	205

5.3 検出器架台の解析モデル及び諸元

検出器架台の固有値解析モデルを図5-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【燃料プール水位（SA）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 燃料プール水位（SA）検出器架台は、三次元はり要素及びシェル要素でモデル化する。
- (2) 拘束条件として、基礎ボルト位置をXYZ方向並進及び回転を固定とする。
- (3) 解析コードは、「STAAD. Pro」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

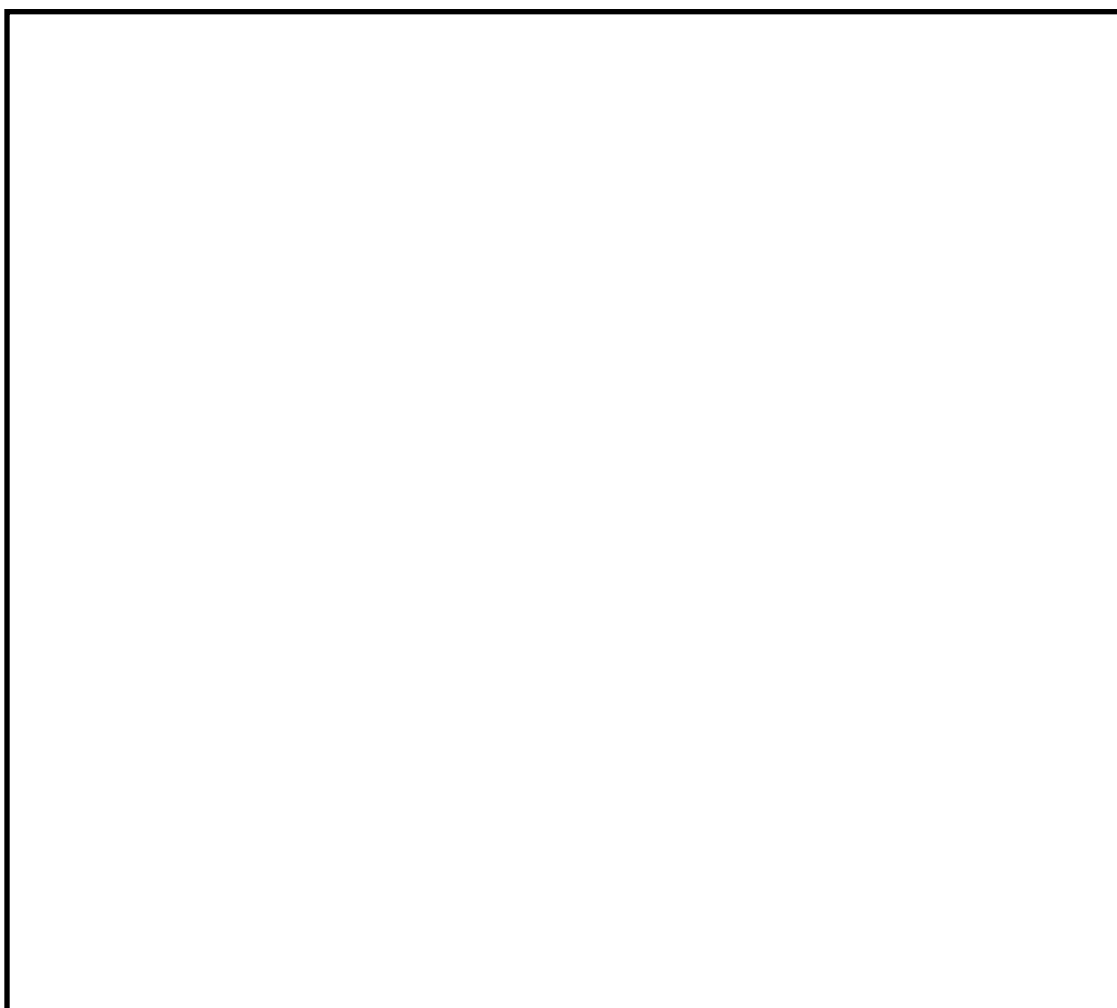


図5-1 検出器架台の解析モデル

5.4 検出器架台の固有周期

検出器架台の固有値解析の結果を表5-3に示す。

1次モードは[]方向に卓越し、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。また、[]方向は2次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表5-3 検出器架台の固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次		
2次		

5.5 検出器架台の設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 検出器架台の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 42.80* ¹	0.05 以下	0.05 以下	—	—		

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

5.6 検出器架台の計算方法

5.6.1 地震力における応力の算出

- (1) 検出器保護管の地震応答解析により得られた検出器保護管取付部におけるX及びZ方向の荷重を用いる。
- (2) 地震力及びスロッシングにおける []
 [] 水平方向荷重を算出する。算出結果を表5-5及び表5-6に示す。

表5-5 地震力における水平方向荷重

X方向荷重 F_{x11} (N)	Z方向荷重 F_{x12} (N)	水平方向荷重 F_{x1} (N)
[]		

表5-6 スロッシングにおける水平方向荷重

X方向荷重 F_{x21} (N)	Z方向荷重 F_{x22} (N)	水平方向荷重 F_{x2} (N)
[]		

- (3) 地震力における水平方向荷重及びスロッシングにおける水平方向荷重の []
 [] することにより，検出器保護管取付部における水平方向荷重を算出する
- (4) 検出器保護管は []
 []
 []
 [] 算出する。検出器保護管取付部における荷重の算出結果を表5-7に示す。

表5-7 検出器保護管取付部における荷重

水平方向荷重 F_x (N)	鉛直方向荷重 F_y (N)
[]	

5.6.2 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-2及び図5-3で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力 (F_b)

左右方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{21} + M_x}{n_f \cdot (\ell_{21} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

前後方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{12} + M_z}{n_f \cdot (\ell_{11} + \ell_{12})} \dots\dots\dots (5.6.2.2)$$

ここで、水平及び鉛直方向の検出器保護管取付部に作用する力F_{xB}及びF_{yB}は次式で求める。

$$F_{xB} = C_H \cdot g \cdot m_{b2} + F_x \dots\dots\dots (5.6.2.3)$$

$$F_{yB} = (C_V - 1) \cdot g \cdot m_{b2} + F_y \dots\dots\dots (5.6.2.4)$$

また、検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用するX軸及びZ軸周りのモーメントM_x及びM_zは次式で求める。

$$M_x = F_{yB} \cdot \ell_{21} + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.6.2.5)$$

$$M_z = F_{yB} \cdot (\ell_b + \ell_{12}) + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.6.2.6)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.6.2.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式で求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.6.2.8)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力 (Q_b)

$$Q_b = m_{b1} \cdot g \cdot C_H + F_{xB} \dots\dots\dots (5.6.2.9)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.6.2.10)$$

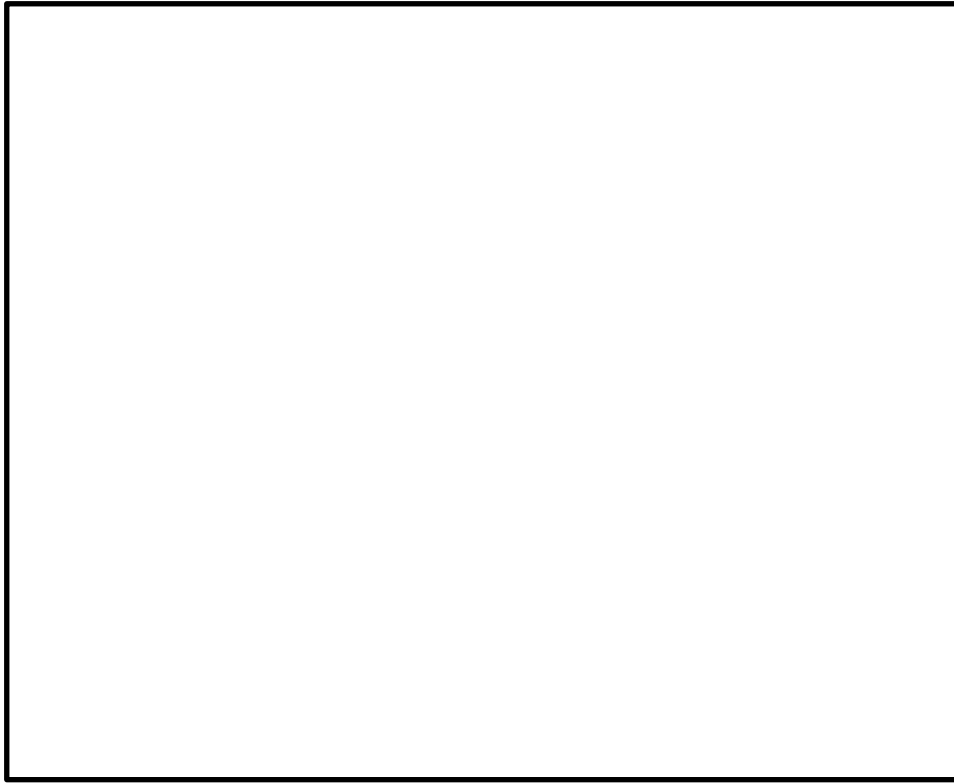


図 5-2 計算モデル (左右方向転倒)

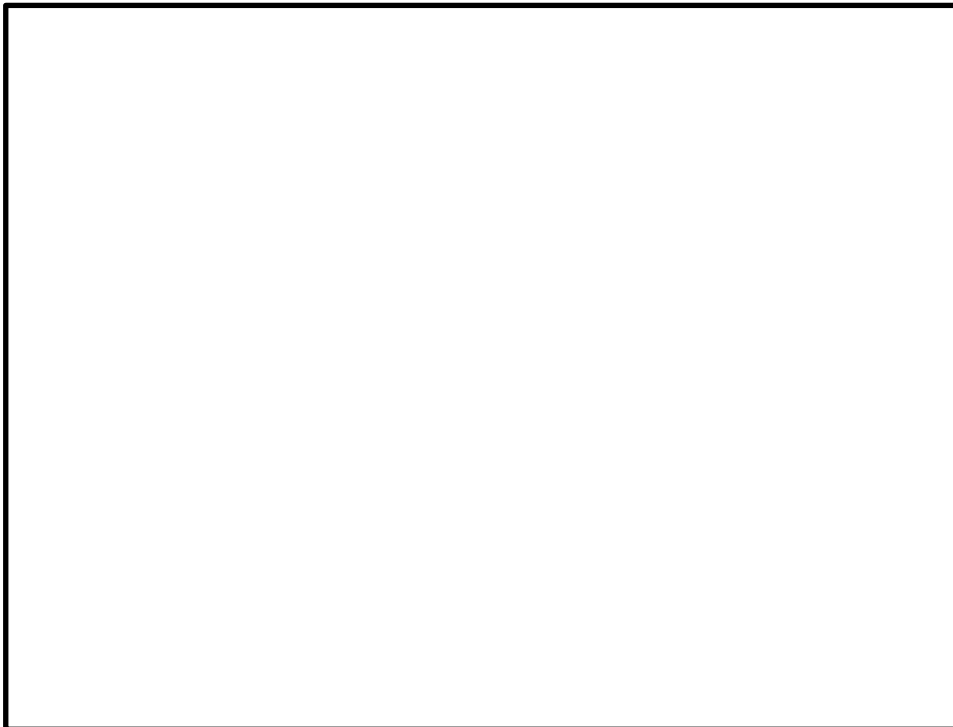


図 5-3 計算モデル (前後方向転倒)

5.7 検出器架台の計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

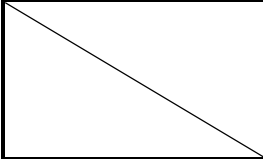
5.8 検出器架台の応力の評価

5.8.1 基礎ボルトの応力評価

5.6.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は、次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.8.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール水位（S A）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

燃料プール水位（S A）は、電氣信号を伝搬する機能のみであり、検出器保護管が変形・破損しなければ、その機能を維持できる。したがって、燃料プール水位（S A）の機能維持評価は、検出器保護管に生じる応力が、弾性範囲内となる使用材料の設計降伏点 S_y 以下であることの確認により行う。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール水位（S A）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

構造強度評価の結果をもって評価に代える。

【燃料プール水位（SA）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 検出器保護管

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール水位 (SA)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL 42.80*1	—	—			

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.1.2 機器要目

部材	材料	m _p (kg)	m _w (kg)	d _o (mm)	d _i (mm)	d _r (mm)	ℓ _p (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν
検出器保護管								171	—	—	—		0.3

1.1.3 固有周期

モード	固有周期	卓越方向
1次		
2次		
3次		
4次		

1.1.4 計算数値

(単位：MPa)

1.1.4.1 検出器保護管に生じる応力

方向	地震による曲げ応力	地震による軸応力	スロッシングによる曲げ応力	自重による軸応力	検出器保護管に生じる曲げ応力	検出器保護管に生じる組合せ応力
X方向						
Y方向						
Z方向						
水平方向						
3方向						

1.2 検出器架台

1.2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール水位 (S A)	常設/防止 常設/緩和	□ EL 42.80*1	0.05 以下	0.05 以下	—	—			

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2.2 機器要目

m_{b1} (kg)	m_{b2} (kg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	l_{11}^* (mm)	l_{12}^* (mm)	l_{21}^* (mm)	l_{22}^* (mm)	l_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f
											1

注記*: 前後左右方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト		176	476	—	205	—	前後方向

部材	材料	T (°C)	E (MPa)	ν
検出器架台				0.3

1.2.3 計算数値

1.2.3.1 検出器保護管取付部における荷重 (単位：N)

方向	地震における荷重	スロッシングにおける荷重	検出器保護管取付部 における荷重
X方向			
Z方向			
水平方向			
鉛直方向			

1.2.3.2 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	F_{xB}		F_{yB}		F_b		Q_b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—		—		—		—	

1.2.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント (単位：N・mm)

部 材	M_x		M_z	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—		—	

1.3 結論

1.3.1 燃料プール水位（S A）の応力

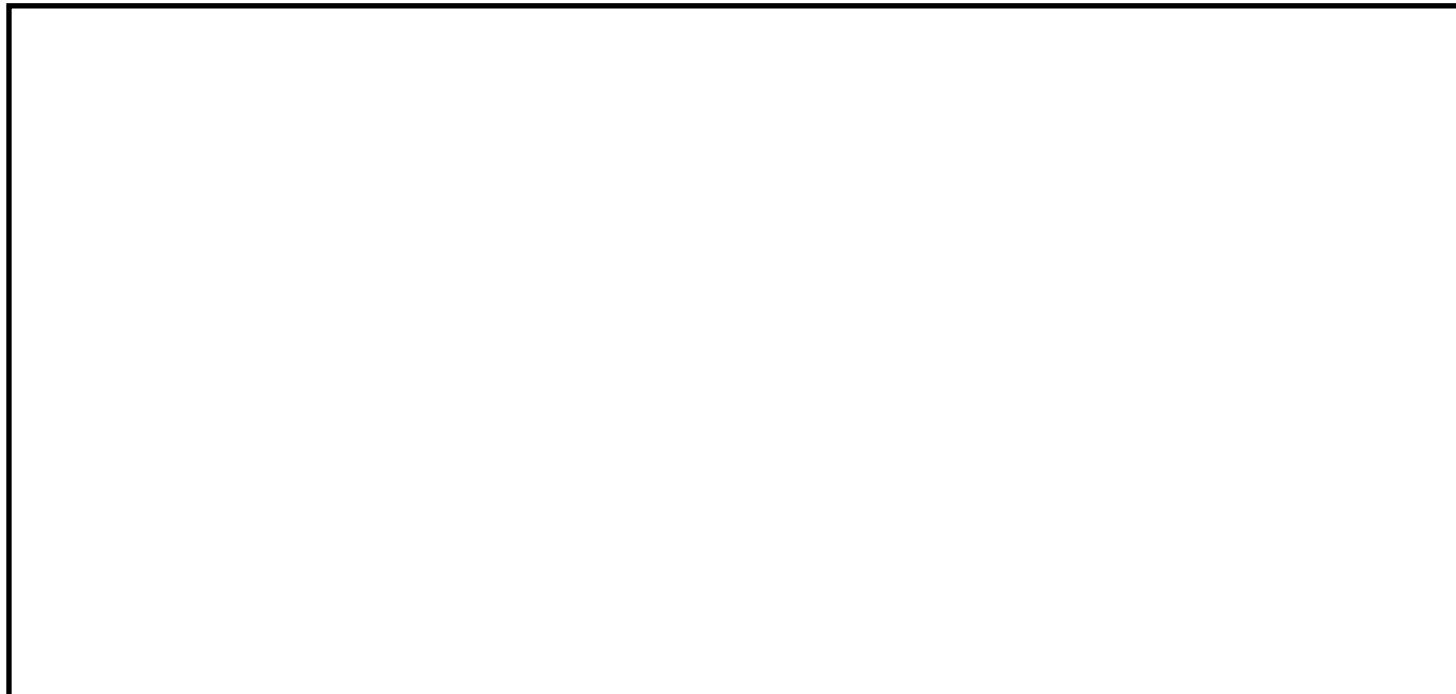
（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
検出器保護管		曲げ	—	—		
		組合せ	—	—		
基礎ボルト		引張	—	—		
		せん断	—	—		

注記*1: $f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

*2: 検出器の電氣的機能維持を考慮し、検出器保護管に生じる応力が弾性範囲内となるように、 S_y を応力評価の許容値とする。

すべて許容値応力以下である。



VI-2-4-3 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1 燃料プール冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.3 計算条件	3
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、燃料プール冷却系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

燃料プール冷却系熱交換器は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、燃料プール冷却系熱交換器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却系熱交換器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を当板を介して 2 個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置 U 字管式 (水室側に鏡板、胴側に平板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平（長手方向）	
水平（横方向）	
鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却系熱交換器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を用いる。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

燃料プール冷却系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 及び表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵槽冷却 浄化設備	燃料プール冷却系熱交換器	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

⚡ 注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界* ¹			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IVAS	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	<p style="text-align: right;">*2</p> 基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)				

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界 を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	100				
胴	SM41A*1 (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	100	—	221	373	—
脚	SM41A*1 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	最高使用温度	100	—	212	373	—
基礎ボルト	SS41*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—

注記 *1 : SM400A 相当

*2 : SS400 相当

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却系熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却系 熱交換器	常設耐震/防止	原子炉建物 EL 34.8*1			—	—	C _H =2.07*2	C _V =2.39*2	1.37	100	100

注記*1：基準床レベルを示す。

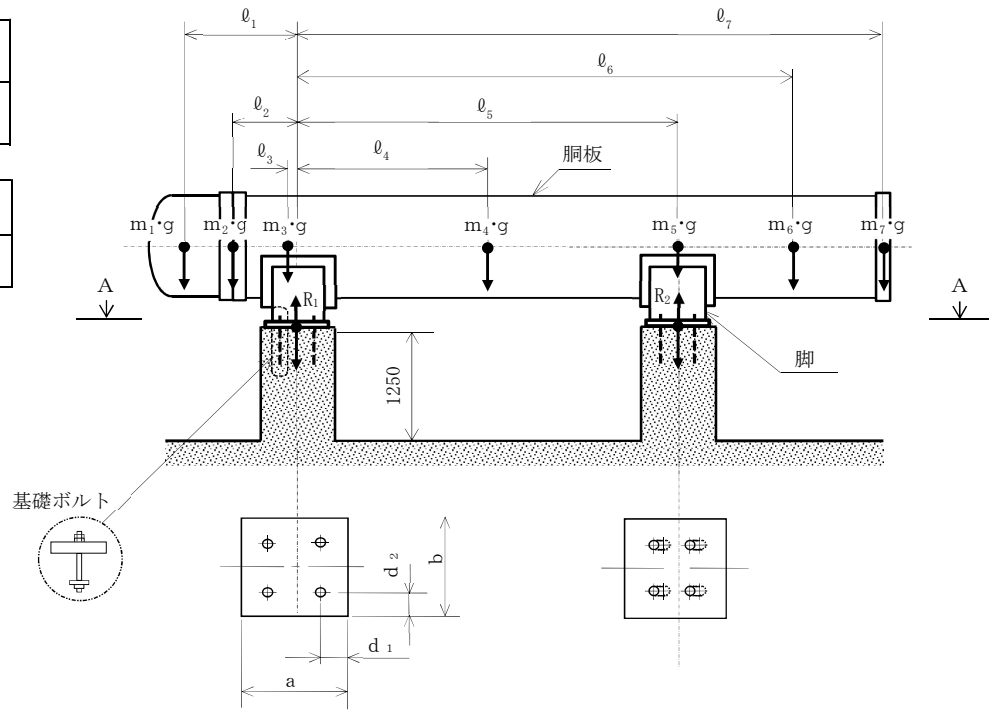
*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
-700	-450	0	1350	2700	3520	4040

M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
4.564×10 ⁶	7.506×10 ⁶	2.085×10 ⁴	2.312×10 ⁴



A～A矢視図

(単位：mm)

S2 補 VI-2-4-3-1-1 R1

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
			650	9.0	18.0*1	2700	345	550	0.379	90

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)
275	200	1.156×10 ⁹	1.147×10 ⁹	4.205×10 ⁶	5.734×10 ⁶	2.211	1.299

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
4.500×10 ⁴	198000*3	76200*3	2.000×10 ⁴	2.750×10 ⁴	1.481×10 ⁴	2.037×10 ⁴

K_{11} *2	K_{12} *2	K_{21} *2	K_{22} *2	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	450	600	30 (M30)	706.9	115	75

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
221*3 (厚さ≤16mm)	373*3 (厚さ≤16mm)	212*3 (16mm<厚さ≤40mm)	373*3 (16mm<厚さ≤40mm)	254	212*4 (16mm<径≤40mm)	373*4 (16mm<径≤40mm)	254

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=9$	—	$\sigma_{x 2}=9$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=20$	—	$\sigma_{x 6}=20$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=5$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\ell}=55$		$\sigma_{0c}=54$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=9$	—	$\sigma_{x 2}=9$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=20$	—	$\sigma_{x 6}=20$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=7$	$\sigma_{x 3}=7$	$\sigma_{\phi 3}=7$	$\sigma_{x 3}=7$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=13$ $\sigma_{\phi 412}=4$ $\sigma_{\phi 41}=17$	$\sigma_{x 411}=7$ $\sigma_{x 412}=4$ $\sigma_{x 41}=16$	$\sigma_{\phi 51}=10$	$\sigma_{x 51}=25$
		せん断	—	—	—	$\tau_{\ell}=13$	$\tau_{c}=5$		
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\ell}=95$		$\sigma_{1c}=88$		

(3) 一次+二次応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} = 20$	—	$\sigma_{x 6} = 20$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} = 17$ $\sigma_{\phi 72} = 60$	$\sigma_{x 71} = 17$ $\sigma_{x 72} = 33$	$\sigma_{\phi 71} = 17$ $\sigma_{\phi 72} = 60$	$\sigma_{x 71} = 17$ $\sigma_{x 72} = 33$	
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} = 17$	$\sigma_{x 41} = 16$	$\sigma_{\phi 51} = 10$	$\sigma_{x 51} = 25$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} = 16$ $\sigma_{\phi 422} = 15$	$\sigma_{x 421} = 30$ $\sigma_{x 422} = 8$	$\sigma_{\phi 52} = 70$	$\sigma_{x 52} = 35$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42} = 30$	$\sigma_{x 42} = 37$		
せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell} = 13$	—	$\tau_c = 5$	—	
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell} = 203$	—	$\sigma_{2c} = 223$	—	

12

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 1$	$\sigma_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 4$	$\sigma_{s3} = 7$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 7$	$\tau_{s3} = 3$
組合せ応力	—	—	—	$\sigma_{s\ell} = 12$	$\sigma_{sc} = 9$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 54$	$\sigma_{b2} = 55$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 35$	$\tau_{b2} = 18$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM41A*1 (厚さ ≤ 16mm)	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 55$	$S_a = 223$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 95$	$S_a = 334$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 223$	$S_a = 442$
脚	SM41A*1 (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 12$	$f_{tm} = 254$
基礎ボルト	SS41*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	引張	—	—	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 190^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 35$	$f_{sb} = 146$

注記*1: SM400A 相当

*2: SS400 相当

*3: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	5
3.1 構造強度評価方法	5
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 計算条件	5
4. 機能維持評価	9
4.1 基本方針	9
4.2 ポンプの動的機能維持評価	10
4.3 原動機の動的機能維持評価	19
5. 評価結果	31
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	31

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、燃料プール冷却ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

燃料プール冷却ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、燃料プール冷却ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。また、燃料プール冷却ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の横形単段遠心式ポンプであり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却ポンプの構造計画を表2-1～表2-3に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (横形単段遠心式ポンプ)</p>	<p>(平面図)</p> <p>ポンプ</p> <p>ポンプ取付ボルト</p> <p>880</p> <p>基礎ボルト</p> <p>基礎</p> <p>2453</p> <p>(全体図)</p> <p>軸継手</p> <p>原動機</p> <p>原動機取付ボルト</p> <p>ポンプベース</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプのケーシング内のロータは軸に取り付けられ、軸は軸受に支持される。</p>	<p>ターボ形 (横形単段遠心式ポンプ)</p>	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(ポンプ構造図)</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-3 構造計画 (その 3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機の軸 (回転子) は軸受に支持され, 軸受及び固定子はモータフレームに支持される。端子箱は端子箱取付ボルトでモータフレームに固定する。</p>	<p>誘導電動機 (横形ころがり軸受電動機)</p>	<div style="text-align: center;"> <p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(原動機構造図)</p> <p>(単位 : mm)</p> </div>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

燃料プール冷却ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料貯 蔵槽冷却浄化 設備	燃料プール冷却ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		685	847	—
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度		685	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		194	373	—

注記* : SS400 相当

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

燃料プール冷却ポンプ及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の横形単段遠心式ポンプ及び横形ころがり軸受電動機であり、表4-1に示すとおり機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

詳細評価に用いる応答加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

表4-1 機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段 遠心式ポンプ	水平	2.63	1.4
		鉛直	2.08	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	2.63	4.7
		鉛直	2.08	1.0

4.2 ポンプの動的機能維持評価

燃料プール冷却ポンプは、地震後機能維持が要求される設備であるが、ポンプの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の横形ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）
- c. 基礎ボルト
- d. ポンプ取付ボルト
- e. 軸受
- f. メカニカルシール
- g. ケーシング吐出配管
- h. 軸継手

このうち「b. 摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）」については既往研究*において地震時の健全性が確認されているため評価を省略する。「c. 基礎ボルト」及び「d. ポンプ取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。「g. ケーシング吐出配管」については、ケーシング部に接続される配管側の評価に代表されることから評価を省略する。「h. 軸継手」については、駆動側・被駆動側ともに水平地震力及び運転時により発生するスラスト荷重は軸受で負担するため有意な応力が発生しないことから評価を省略する。以上より、本計算書においては、軸、軸受及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

注記*：原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 機器耐力その1（横形ポンプ、電気品）（平成14～16年度）（独立行政法人原子力安全基盤機構）

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態ⅢASに準拠し設定する。また、軸受については、メーカ規定の軸受の定格荷重を評価基準値として設定する。メカニカルシールについては、シール回転環の変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値を表4-2に示す。

表4-2 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
軸			MPa	262
軸受	軸継手側	—	N	
	羽根車側	—	N	
メカニカルシール		—	mm	

4.2.3 記号の説明

燃料プール冷却ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-3 に示す。

表 4-3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_s	軸の断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ポンプ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_b	軸の直径 (羽根車側軸受部)	mm
D_c	軸の直径 (羽根車部)	mm
D_s	軸の直径	mm
E_s	軸の縦弾性係数	MPa
F_{PB1}	軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F_{PB1}'	軸継手側軸受の静等価荷重	N
F_{PB2}	羽根車側軸受のラジアル荷重	N
F_{PB2}'	羽根車側軸受の静等価荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H_P	予想最大両振幅	μm
I_b	軸の断面二次モーメント (羽根車側軸受部)	mm^4
I_c	軸の断面二次モーメント (羽根車部)	mm^4
i_b	等分布荷重による羽根車側軸受部の傾斜	rad
i_{c1}	等分布荷重による羽根車部軸段付部の傾斜	rad
i_{c2}	羽根車側軸端部荷重による羽根車部軸段付部の傾斜	rad
l_s	軸の長さ	mm
l_{s1}	羽根車側軸端から羽根車側軸受までの距離	mm
l_{s2}	軸継手側軸受から軸継手側軸端までの距離	mm
l_{s3}	軸受間の距離	mm
l_{s4}	羽根車側軸端から羽根車部軸段付部までの距離	mm
M_c	地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重による羽根車側軸受部での曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_{cp}	地震力を考慮した軸継手側軸端部荷重による軸継手側軸受部での曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_s	軸に作用する最大曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
M_{s1}	地震力を考慮した軸等分布荷重による羽根車側軸受部での曲げモーメント	N・mm
M_{s2}	地震力を考慮した軸等分布荷重による軸継手側軸受部での曲げモーメント	N・mm
m_c	羽根車の質量	kg
m_{cp}	軸継手の質量	kg
m_r	回転体の全質量	kg
m_s	軸の質量	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
P	原動機出力	kW
Q_s	回転体の全質量によるスラスト荷重	N
W_c	地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重	N
W_{cp}	地震力を考慮した軸継手側軸端部荷重	N
W_{ps}	地震力を考慮した軸荷重	N
W_s	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
Z_s	軸の断面係数	mm ³
Z_{sp}	軸の極断面係数	mm ³
δ	地震力を考慮した軸等分布荷重及び羽根車側軸端部荷重による変位量	mm
δ_w	地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重による変位量	mm
δ_{w1}	羽根車側軸端部荷重による羽根車部軸段付部のたわみ量	mm
δ_{w2}	傾斜 i_{c2} による羽根車側軸端部のたわみ量	mm
δ_{w3}	羽根車側軸端部荷重による羽根車側軸端部のたわみ量	mm
δ_w	地震力を考慮した軸等分布荷重による変位量	mm
δ_{w1}	傾斜 i_b による羽根車部軸段付部のたわみ量	mm
δ_{w2}	等分布荷重による羽根車部軸段付部のたわみ量	mm
δ_{w3}	傾斜 i_b 及び傾斜 i_{c1} による羽根車側軸端部のたわみ量	mm
δ_{w4}	等分布荷重による羽根車側軸端部のたわみ量	mm
π	円周率 (=3.141593)	—
σ_s	軸に生じる組合せ応力	MPa
σ_{s1}	軸に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
τ_p	ポンプの回転モーメントにより発生するねじり応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

図4-1に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

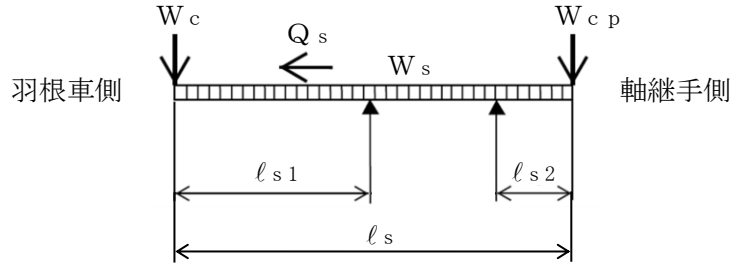


図4-1 軸の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.2.4.1)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.2.4.2)$$

軸の断面係数

$$Z_s = \frac{\pi \cdot D_s^3}{32} \dots\dots\dots (4.2.4.3)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重

$$W_s = \frac{m_s \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right)}{l_s} \dots\dots\dots (4.2.4.4)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重による羽根車側軸受部での曲げモーメント

$$M_{s1} = \frac{W_s \cdot l_{s1}^2}{2} \dots\dots\dots (4.2.4.5)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重

$$W_c = m_c \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.2.4.6)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重による羽根車側軸受部での曲げモーメント

$$M_{c} = W_{c} \cdot \ell_{s1} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重による軸継手側軸受部での曲げモーメント

$$M_{s2} = \frac{W_{s} \cdot \ell_{s2}^2}{2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.8)$$

地震力を考慮した軸継手側軸端部荷重

$$W_{cp} = m_{cp} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.9)$$

地震力を考慮した軸継手側軸端部荷重による軸継手側軸受部での曲げモーメント

$$M_{cp} = W_{cp} \cdot \ell_{s2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

軸に作用する最大曲げモーメント

$$M_s = \text{Max} (M_{s1} + M_c, M_{s2} + M_{cp}) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

回転体の全質量によるスラスト荷重

$$Q_s = m_r \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

軸の断面積

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot D_s^2 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.13)$$

軸に生じる引張応力及び曲げ応力

$$\sigma_{s1} = \frac{M_s}{Z_s} + \frac{Q_s}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.14)$$

軸の極断面係数

$$Z_{sp} = \frac{\pi \cdot D_s^3}{16} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.15)$$

ポンプの回転モーメントにより発生するねじり応力

$$\tau_p = \frac{M_P}{Z_{sp}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.16)$$

軸に生じる組合せ応力

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_{s1}^2 + 3 \cdot \tau_p^2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.17)$$

(2) 軸受

図4-2に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重について保守的にそれぞれの軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

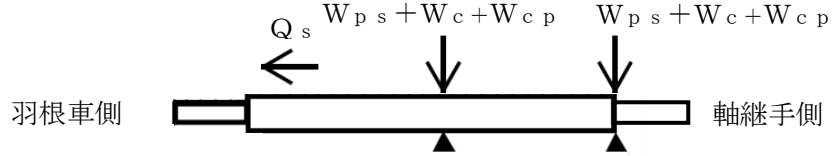


図4-2 軸受の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.2.4.18)$$

地震力を考慮した軸荷重

$$W_{ps} = m_s \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.2.4.19)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重

$$W_c = m_c \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.2.4.20)$$

地震力を考慮した軸継手側軸端部荷重

$$W_{cp} = m_{cp} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.2.4.21)$$

軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{PB1} = W_{ps} + W_c + W_{cp} \dots\dots\dots (4.2.4.22)$$

羽根車側軸受のラジアル荷重

$$F_{PB2} = W_{ps} + W_c + W_{cp} \dots\dots\dots (4.2.4.23)$$

回転体の全質量によるスラスト荷重

$$Q_s = m_r \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.2.4.24)$$

軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{PB1}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{PB1} + 0.5 \cdot Q_S, F_{PB1}) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.25)$$

羽根車側軸受の静等価荷重

$$F_{PB2}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{PB2} + 0.5 \cdot Q_S, F_{PB2}) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.26)$$

(3) メカニカルシール

図4-3に示す計算モデルにて、軸に生じる変位量を求め、メカニカルシール回転環の変位可能量以下であることを確認する。

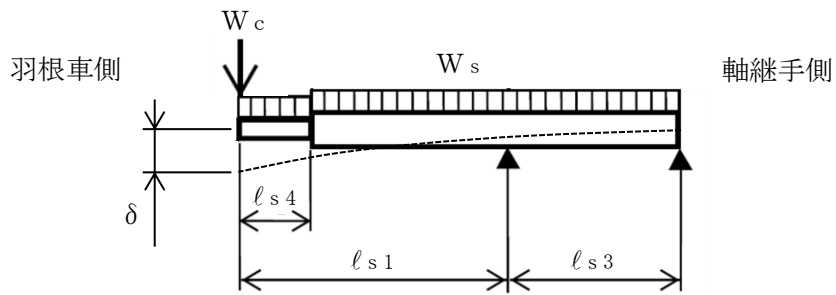


図4-3 メカニカルシールの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.27)$$

軸の断面二次モーメント (羽根車側軸受部)

$$I_b = \frac{\pi \cdot D_b^4}{64} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.28)$$

軸の断面二次モーメント (羽根車部)

$$I_c = \frac{\pi \cdot D_c^4}{64} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.29)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重

$$W_s = \frac{m_s \cdot g \cdot \sqrt{CH^2 + (CV+1)^2 + CP}}{l_s} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.30)$$

等分布荷重による羽根車側軸受部の傾斜

$$i_b = \frac{W_s}{24 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot (4 \cdot l_{s1}^2 \cdot l_{s3} - l_{s3}^3) \quad \dots \quad (4.2.4.31)$$

傾斜 i_b による羽根車部軸段付部のたわみ量

$$\delta_{w1} = i_b \cdot (l_{s1} - l_{s4}) \quad \dots \quad (4.2.4.32)$$

等分布荷重による羽根車部軸段付部のたわみ量

$$\delta_{w2} = \frac{W_s \cdot l_{s1}^4}{8 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot l_{s4}}{3 \cdot l_{s1}} + \frac{l_{s4}^4}{3 \cdot l_{s1}^4}\right) \quad \dots \quad (4.2.4.33)$$

等分布荷重による羽根車部軸段付部の傾斜

$$i_{c1} = \frac{W_s \cdot l_{s1}^3}{6 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(1 - \frac{l_{s4}^3}{l_{s1}^3}\right) \quad \dots \quad (4.2.4.34)$$

傾斜 i_b 及び傾斜 i_{c1} による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta_{w3} = (i_b + i_{c1}) \cdot l_{s4} \quad \dots \quad (4.2.4.35)$$

等分布荷重による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta_{w4} = \frac{W_s \cdot l_{s4}^4}{8 \cdot E_s \cdot I_c} \quad \dots \quad (4.2.4.36)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重による変位量

$$\delta_w = \delta_{w1} + \delta_{w2} + \delta_{w3} + \delta_{w4} \quad \dots \quad (4.2.4.37)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重

$$W_c = m_c \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \quad \dots \quad (4.2.4.38)$$

羽根車側軸端部荷重による羽根車部軸段付部のたわみ量

$$\delta_{w1} = \frac{W_c \cdot l_{s1}^3}{3 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(\frac{l_{s1} + l_{s3}}{l_{s1}} - \left(\frac{3}{2} + \frac{l_{s3}}{l_{s1}}\right) \cdot \frac{l_{s4}}{l_{s1}} + \frac{l_{s4}^3}{2 \cdot l_{s1}^3}\right) \quad \dots \quad (4.2.4.39)$$

羽根車側軸端部荷重による羽根車部軸段付部の傾斜

$$i_{c2} = \frac{W_c \cdot l_{s1}^2}{2 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot l_{s3}}{3 \cdot l_{s1}} - \frac{l_{s4}^2}{l_{s1}^2}\right) \quad \dots \quad (4.2.4.40)$$

傾斜 i_{c2} による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta w_2 = i_{c2} \cdot l_{s4} \dots\dots\dots (4.2.4.41)$$

羽根車側軸端部荷重による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta w_3 = \frac{W_c \cdot l_{s4}^3}{3 \cdot E_s \cdot I_c} \dots\dots\dots (4.2.4.42)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重による変位量

$$\delta w = \delta w_1 + \delta w_2 + \delta w_3 \dots\dots\dots (4.2.4.43)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重及び羽根車側軸端部荷重による変位量

$$\delta = \delta_w + \delta w \dots\dots\dots (4.2.4.44)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

燃料プール冷却ポンプ用原動機は、地震後機能維持が要求される設備であるが、原動機の動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 固定子
- b. 軸（回転子）
- c. 端子箱
- d. 軸受
- e. 固定子と回転子間のクリアランス
- f. モータフレーム
- g. 基礎ボルト
- h. 原動機取付ボルト
- i. 冷却ファン，クーラユニット

このうち「g. 基礎ボルト」及び「h. 原動機取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。「i. 冷却ファン，クーラユニット」については、冷却ファンは遠心直動式ファンであり、インペラ・ケーシング間の接触が回転機能の喪失に関わるが、原動機においては、同じ軸上に取り付けられている固定子と回転子のクリアランスの方が許容可能変位の観点より厳しいことから、当該クリアランスで回転機能維持の評価を代表するため、冷却ファンの評価を省略する。

以上より、本計算書においては、固定子，軸（回転子），端子箱，軸受，固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

端子箱及びモータフレームの許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。固定子及び軸（回転子）の許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また、軸受については、メーカー規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を評価基準値として設定する。
評価基準値を表4-4に示す。

表4-4 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子			MPa	104
軸（回転子）			MPa	265
端子箱	引張		MPa	174
	せん断		MPa	134
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム			MPa	232

4.3.3 記号の説明

燃料プール冷却ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表 4-5 に示す。

表 4-5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_k	キーの断面積	mm^2
A_{mf}	モータフレームの断面積	mm^2
A_{ms}	軸の断面積	mm^2
A_t	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
CH	水平方向設計震度	—
CP	ポンプ振動による震度	—
CV	鉛直方向設計震度	—
D_{ms}	軸の直径	mm
d_t	端子箱取付ボルトの呼び径	mm
E_{ms}	軸の縦弾性係数	MPa
F_1	回転子質量による荷重	N
F_2	軸継手質量による荷重	N
F_{B1}	軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F_{B1}'	軸継手側軸受の静等価荷重	N
F_{B2}	反軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F_{B2}'	反軸継手側軸受の静等価荷重	N
F_H	水平方向に発生する荷重	N
F_K	キーに発生する荷重の合計	N
F_M	原動機回転によりキーに発生する荷重	N
F_{ms}	軸（回転子）質量によるラジアル荷重	N
F_t	端子箱取付ボルト 1 本当たりの引張力（軸方向）	N
F_t	端子箱取付ボルト 1 本当たりの引張力（軸直角方向）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
HP	予想最大両振幅	μm
h_m	原動機取付面から重心までの距離	mm
h_t	端子箱取付面から重心までの距離	mm
I_{ms}	軸（回転子）の断面二次モーメント	mm^4
L_1	重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
L_2	端子箱取付ボルト間の距離	mm
L_B	軸受間の距離	mm
ℓ_{ms1}	反軸継手側軸受から軸受間距離の 1/2 までの距離	mm
ℓ_{ms2}	軸継手側軸受から軸受間距離の 1/2 までの距離	mm
MM	原動機回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
MP	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	原動機の質量（軸継手含む）	kg
m _a	回転子コア・アーム等の質量	kg
m _{c p}	軸継手の質量	kg
m _j	軸の質量	kg
m _k	固定子の質量	kg
m _{m r}	回転子の質量	kg
m _t	端子箱の質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n _t	端子箱取付ボルトの本数	—
n _{t f}	引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
Q _B	スラスト荷重	N
Q _{m s}	軸（回転子）質量によるスラスト荷重	N
Q _t	端子箱取付ボルトのせん断力	N
R	固定子の半径	mm
T _{m a}	原動機最大トルク（定格トルクに対する割合）	%
y	軸（回転子）の変位量	mm
Z _{m f}	モータフレームの断面係数	mm ³
Z _{m s}	軸の断面係数	mm ³
Z _{m s p}	軸の極断面係数	mm ³
π	円周率（=3.141593）	—
σ _{m f}	モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力	MPa
σ _{m f 1}	水平方向の荷重による曲げ応力（圧縮）	MPa
σ _{m f 2}	自重及び鉛直方向の荷重による圧縮応力	MPa
σ _{m f 3}	原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力	MPa
σ _{m s}	軸（回転子）に生じる組合せ応力	MPa
σ _{m s 1}	軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
σ _t	端子箱取付ボルトに発生する引張応力	MPa
τ _k	キーに発生するせん断応力	MPa
τ _{m f 1}	水平方向の荷重によるせん断応力	MPa
τ _{m m s}	原動機の回転モーメントにより発生するねじり応力	MPa
τ _t	端子箱取付ボルトに発生するせん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

図4-4に示す計算モデルにて、キーに生じるせん断力を算出し、キーに生じるせん断応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

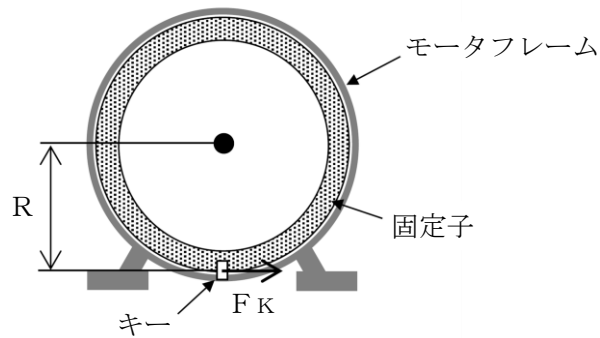


図4-4 固定子の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.1)$$

原動機回転により作用するモーメント

$$M_M = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \cdot \frac{T_{ma}}{100} \dots\dots\dots (4.3.4.2)$$

原動機回転によりキーに発生する荷重

$$F_M = \frac{M_M}{R} \dots\dots\dots (4.3.4.3)$$

水平方向に発生する荷重

$$F_H = m_k \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.4)$$

キーに発生する荷重の合計

$$F_K = F_M + F_H \dots\dots\dots (4.3.4.5)$$

キーに発生するせん断応力

$$\tau_k = \frac{F_K}{A_k} \dots\dots\dots (4.3.4.6)$$

(2) 軸（回転子）

図 4-5 に示す計算モデルにて，軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し，軸（回転子）に生じる組合せ応力を求め，許容応力以下であることを確認する。

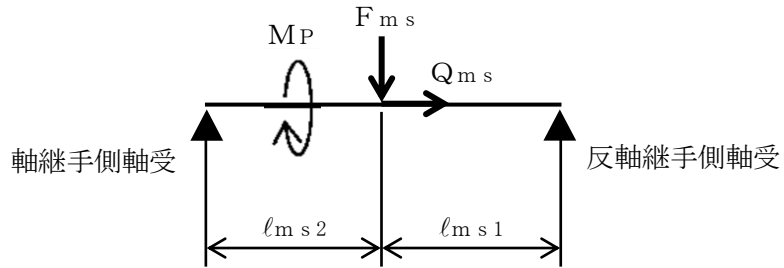


図 4-5 軸（回転子）の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.7)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.8)$$

軸の断面係数

$$Z_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{32} \dots\dots\dots (4.3.4.9)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.3.4.10)$$

軸（回転子）質量によるスラスト荷重

$$Q_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.11)$$

軸の極断面係数

$$Z_{msp} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{16} \dots\dots\dots (4.3.4.12)$$

原動機の回転モーメントにより発生するねじり応力

$$\tau_{mms} = \frac{M_P}{Z_{m s p}} \dots\dots\dots (4.3.4.13)$$

軸の断面積

$$A_{ms} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ms}^2 \dots\dots\dots (4.3.4.14)$$

軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力

$$\sigma_{ms1} = \frac{l_{ms1} \cdot l_{ms2}}{Z_{ms} \cdot (l_{ms1} + l_{ms2})} \cdot F_{ms} + \frac{Q_{ms}}{A_{ms}} \dots\dots\dots (4.3.4.15)$$

軸（回転子）に生じる組合せ応力

$$\sigma_{ms} = \sqrt{\sigma_{ms1}^2 + 3 \cdot \tau_{mms}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.16)$$

(3) 端子箱

図4-6に示す計算モデルにて、端子箱取付ボルトに生じる荷重を算出し、端子箱取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

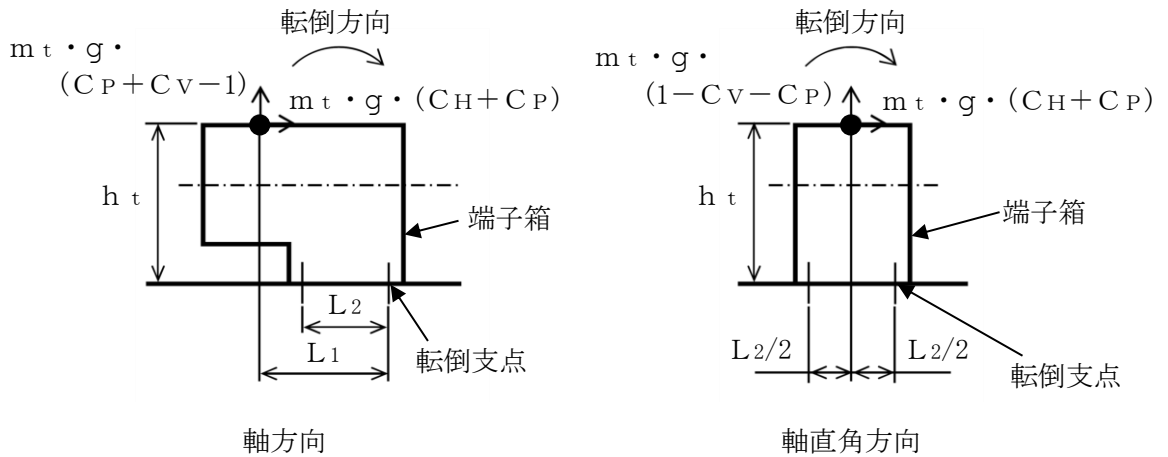


図4-6 端子箱の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.17)$$

端子箱取付ボルトの断面積

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2 \quad \dots\dots\dots (4.3.4.18)$$

端子箱取付ボルト1本当たりの引張力

軸方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t + m_t \cdot g \cdot (C_P + C_V - 1) \cdot L_1}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.19)$$

軸直角方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t - m_t \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \cdot \frac{L_2}{2}}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.20)$$

端子箱取付ボルトに発生する引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.21)$$

端子箱取付ボルトのせん断力

$$Q_t = m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.22)$$

端子箱取付ボルトに発生するせん断応力

$$\tau_t = \frac{Q_t}{n_t \cdot A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.23)$$

(4) 軸受

図4-7に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重について保守的にそれぞれの軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

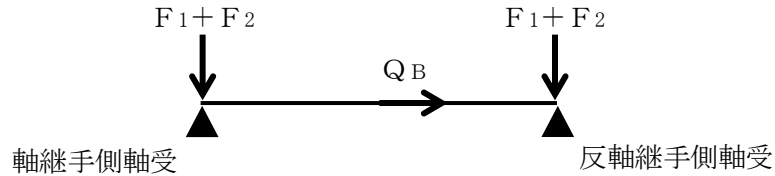


図4-7 軸受の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.24)$$

回転子質量による荷重

$$F_1 = m_{mr} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.25)$$

軸継手質量による荷重

$$F_2 = m_{cp} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.26)$$

軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B1} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.27)$$

反軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B2} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.28)$$

スラスト荷重

$$Q_B = (m_{mr} + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.29)$$

軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B1}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B1} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B1}) \dots\dots\dots (4.3.4.30)$$

反軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B2}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B2} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B2}) \dots\dots\dots (4.3.4.31)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

図4-8に示す計算モデルにて、軸（回転子）に生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

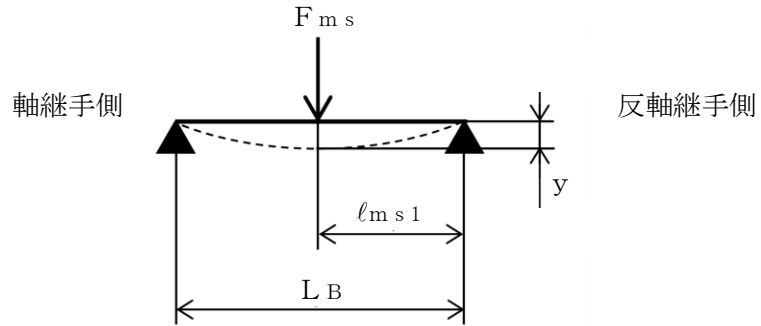


図4-8 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.32)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \sqrt{CH^2 + (CV+1)^2 + CP} \dots\dots\dots (4.3.4.33)$$

軸（回転子）の断面二次モーメント

$$I_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^4}{64} \dots\dots\dots (4.3.4.34)$$

軸（回転子）の変位量

$$y = \frac{F_{ms} \cdot \ell_{ms1} \cdot (L_B^2 - \ell_{ms1}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E_{ms} \cdot I_{ms} \cdot L_B} \dots\dots\dots (4.3.4.35)$$

(6) モータフレーム

図4-9に示す計算モデルにて、モータフレーム（脚部）に生じる応力を算出し、モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。なお、モータフレーム（脚部）の評価は、構造上厳しくなる軸直角方向について評価を実施する。

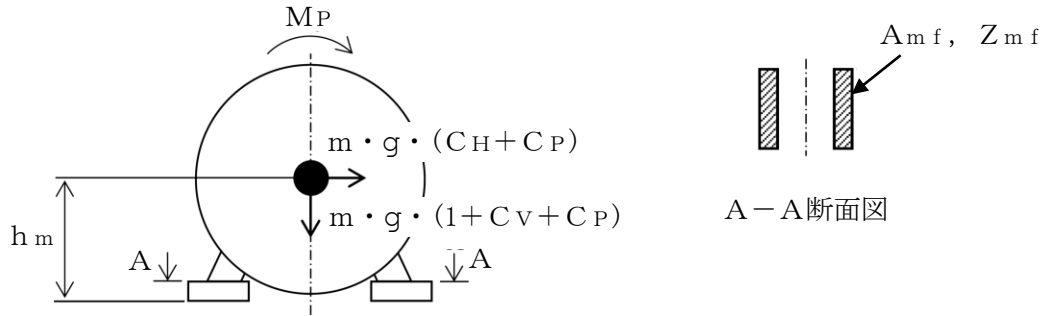


図4-9 モータフレームの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.36)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.37)$$

水平方向の荷重によるせん断応力

$$\tau_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.38)$$

水平方向の荷重による曲げ応力（圧縮）

$$\sigma_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_m}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.39)$$

自重及び鉛直方向の荷重による圧縮応力

$$\sigma_{mf2} = \frac{m \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.40)$$

原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力

$$\sigma_{mf3} = \frac{MP}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.41)$$

モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力

$$\sigma_{mf} = \sqrt{(\sigma_{mf1} + \sigma_{mf2} + \sigma_{mf3})^2 + 3 \cdot \tau_{mf1}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.42)$$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却ポンプ	常設耐震 /防止	原子炉建物 EL 30.5*1	—*2	—*2	—	—	C _H =3.61*3	C _V =2.23*3	C _P =0.29	—	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (ポンプ) (rpm)	N (原動機) (rpm)

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=28$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=22$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=40$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=33$	$f_{ts3}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=23$	$f_{sb3}=134$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	198	原子炉建物 EL 30.5*1	—*2	—*2	C _H =2.63*3	C _V =2.08*3	C _P =0.29	66	

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却ポンプ用 原動機	横形ころがり 軸受電動機	110	原子炉建物 EL 30.5*1	—*2	—*2	C _H =2.63*3	C _V =2.08*3	C _P =0.29	150	

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

1.2.2.1 横形単段遠心式ポンプの機器要目

(1) 軸

部材	m _r (kg)	m _s (kg)	m _{c p} (kg)	m _c (kg)	D _s (mm)	ℓ _s (mm)	ℓ _{s 1} (mm)	ℓ _{s 2} (mm)	N (rpm)	P (kW)
軸										110

(2) 軸受

部材	m _r (kg)	m _s (kg)	m _{c p} (kg)	m _c (kg)	N (rpm)
軸受					

(3) メカニカルシール

部材	m_s (kg)	m_c (kg)	D_b (mm)	D_c (mm)	l_s (mm)	l_{s1} (mm)	l_{s3} (mm)	l_{s4} (mm)	N (rpm)
メカニカルシール									

1.2.2.2 横形ころがり軸受電動機の機器要目

(1) 固定子

部材	A_k (mm ²)	m_k (kg)	N (rpm)	P (kW)	R (mm)	T _{m a} (%)
固定子	2240	397	3600	110	265	240

(2) 軸 (回転子)

部材	D_{ms} (mm)	l_{ms1} (mm)	l_{ms2} (mm)	m_a (kg)	m_{cp} (kg)	m_j (kg)	N (rpm)	P (kW)	Z_{ms} (mm ³)
軸 (回転子)	50	385.75	385.75	194	5.1	57	3600	110	1.227×10^4

(3) 端子箱

部材	A_t (mm ²)	h_t (mm)	L_1 (mm)	L_2^* (mm)	m_t (kg)	n_t	n_{tf}
端子箱	78.54	300	187	130	22	4	2
				130			

注記*：端子箱の機器要目における上段は軸直角方向に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向に対する評価時の要目を示す。

(4) 軸受

部材	m_{cp} (kg)	m_{mr} (kg)
軸受	5.1	251

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	D_{ms} (mm)	E_{ms} (MPa)	L_B (mm)	l_{ms1} (mm)
固定子と回転子間のクリアランス	50	193000	771.5	385.75

(6) モータフレーム

部材	A_{mf} (mm^2)	h_m (mm)	m (kg)	Z_{mf} (mm^3)
モータフレーム	15500	315	1055.1	2844312

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	2.63	1.4
	鉛直方向	2.08	1.0
原動機	水平方向	2.63	4.7
	鉛直方向	2.08	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度により定まる加速度

ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.2 横形単段遠心式ポンプの動的機能維持評価で評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価で評価する。

1.2.3.2 横形単段遠心式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト及びポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸	37	298

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側	1.553×10^3	
羽根車側	1.553×10^3	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.3 メカニカルシールの評価

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
メカニカルシール	0.11	

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	7	104

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸 (回転子) の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸 (回転子)	177	265

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位: MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
端子箱	引張	12	174
	せん断	2	134

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位: N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側	1.090×10^4	
反軸継手側	1.090×10^4	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

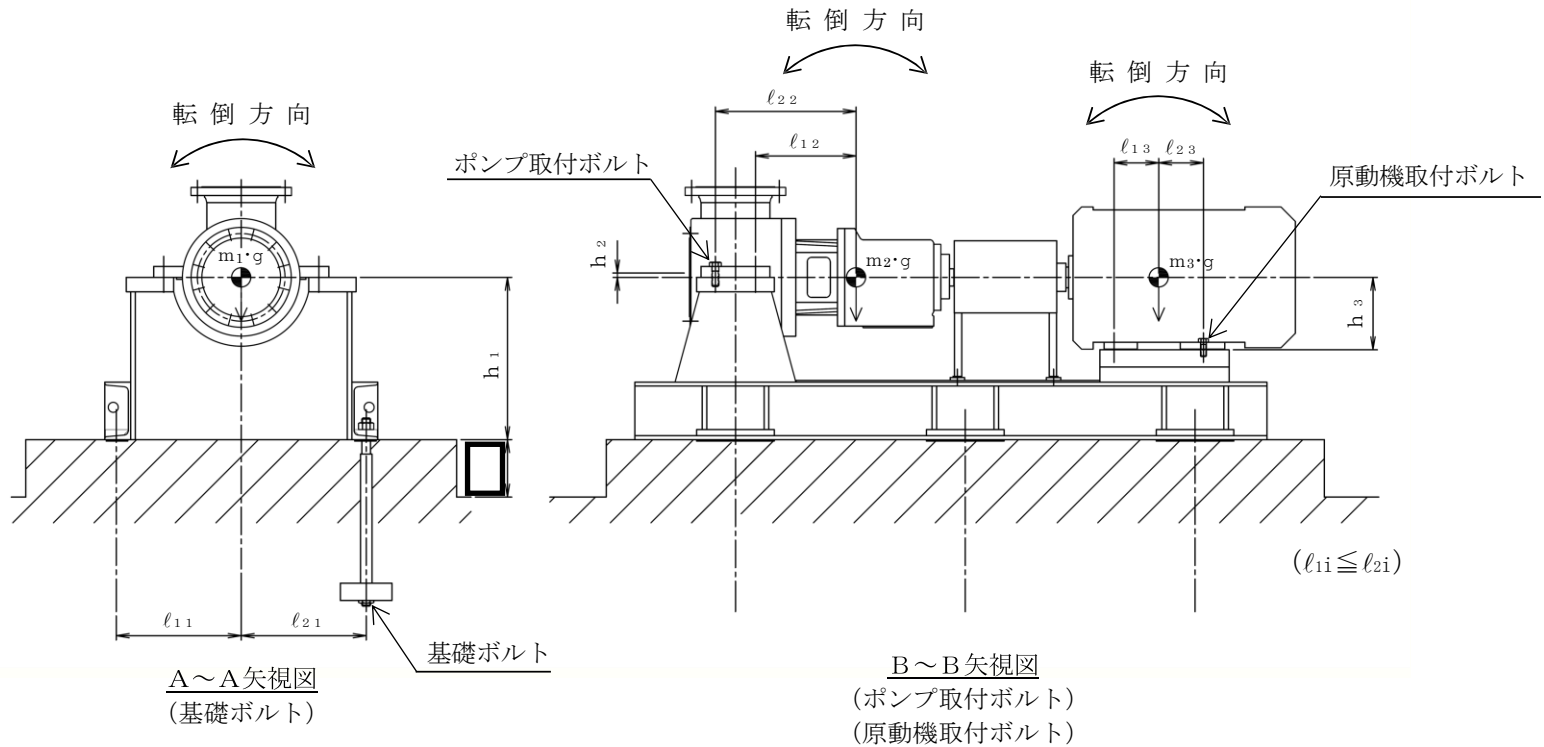
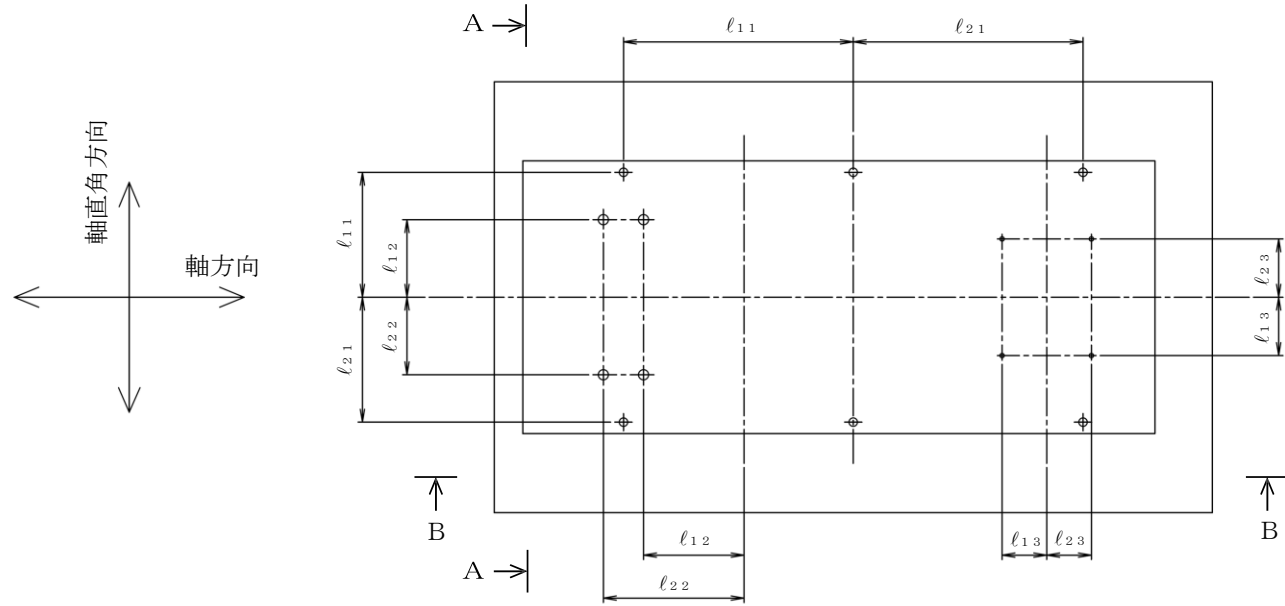
評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	1.77	

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
モータフレーム	7	232

すべて許容応力以下である。



VI-2-4-3-1-3 管の耐震性についての計算書
(燃料プール冷却系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	25
3.5 設計用地震力	26
4. 解析結果及び評価	27
4.1 固有周期及び設計震度	27
4.2 評価結果	39
4.2.1 管の応力評価結果	39
4.2.2 支持構造物評価結果	41
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	42
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	43

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、燃料プール冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






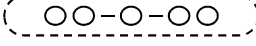

(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図



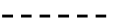


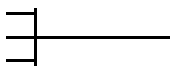
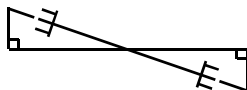
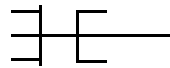
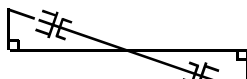

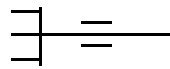
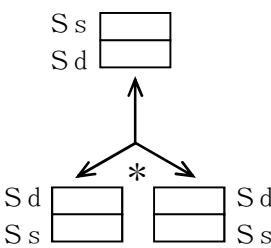
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

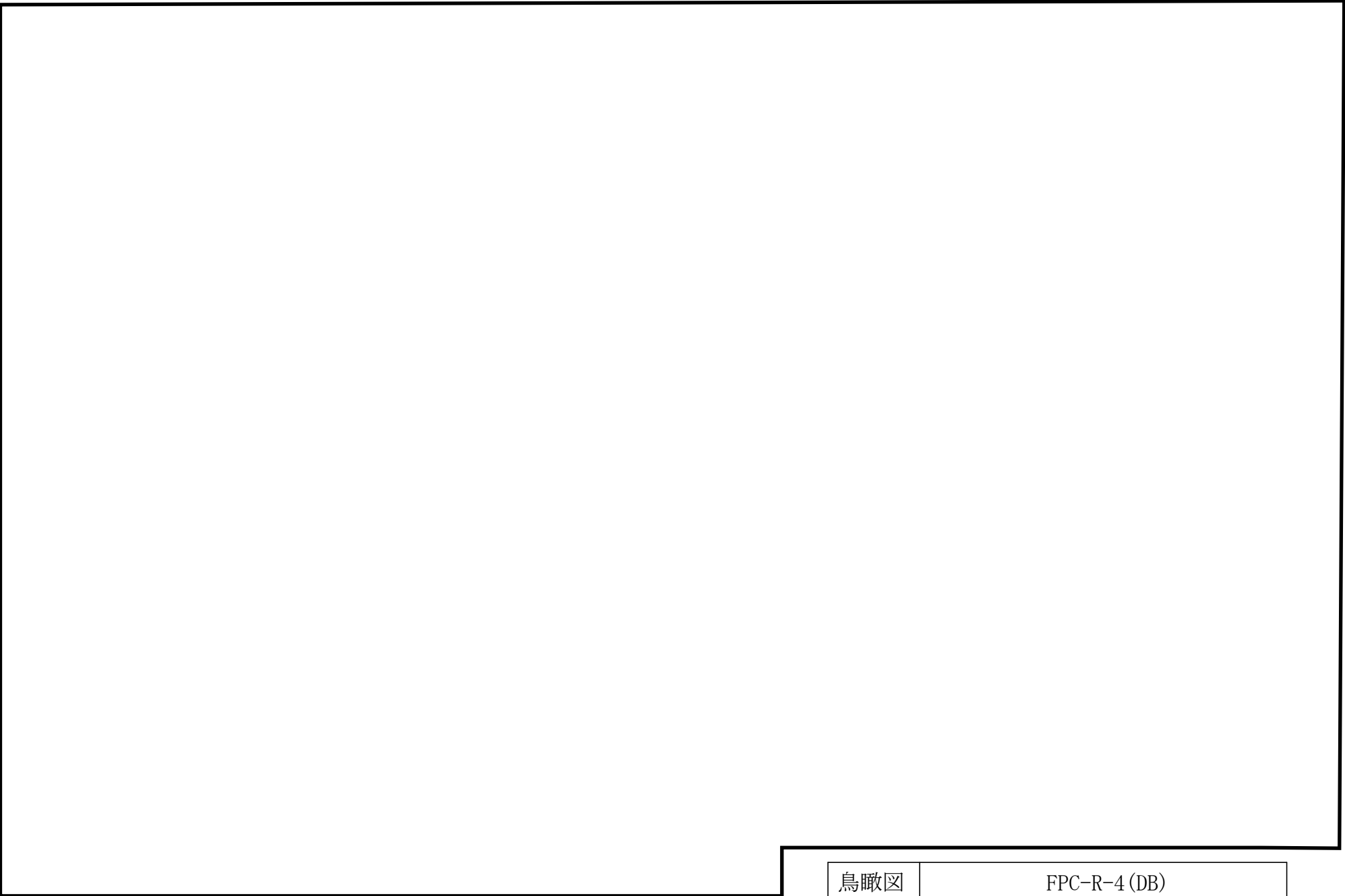
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

5



鳥瞰図

FPC-R-4 (DB)

9

鳥瞰図

FPC-R-4(SA)

7

鳥瞰図

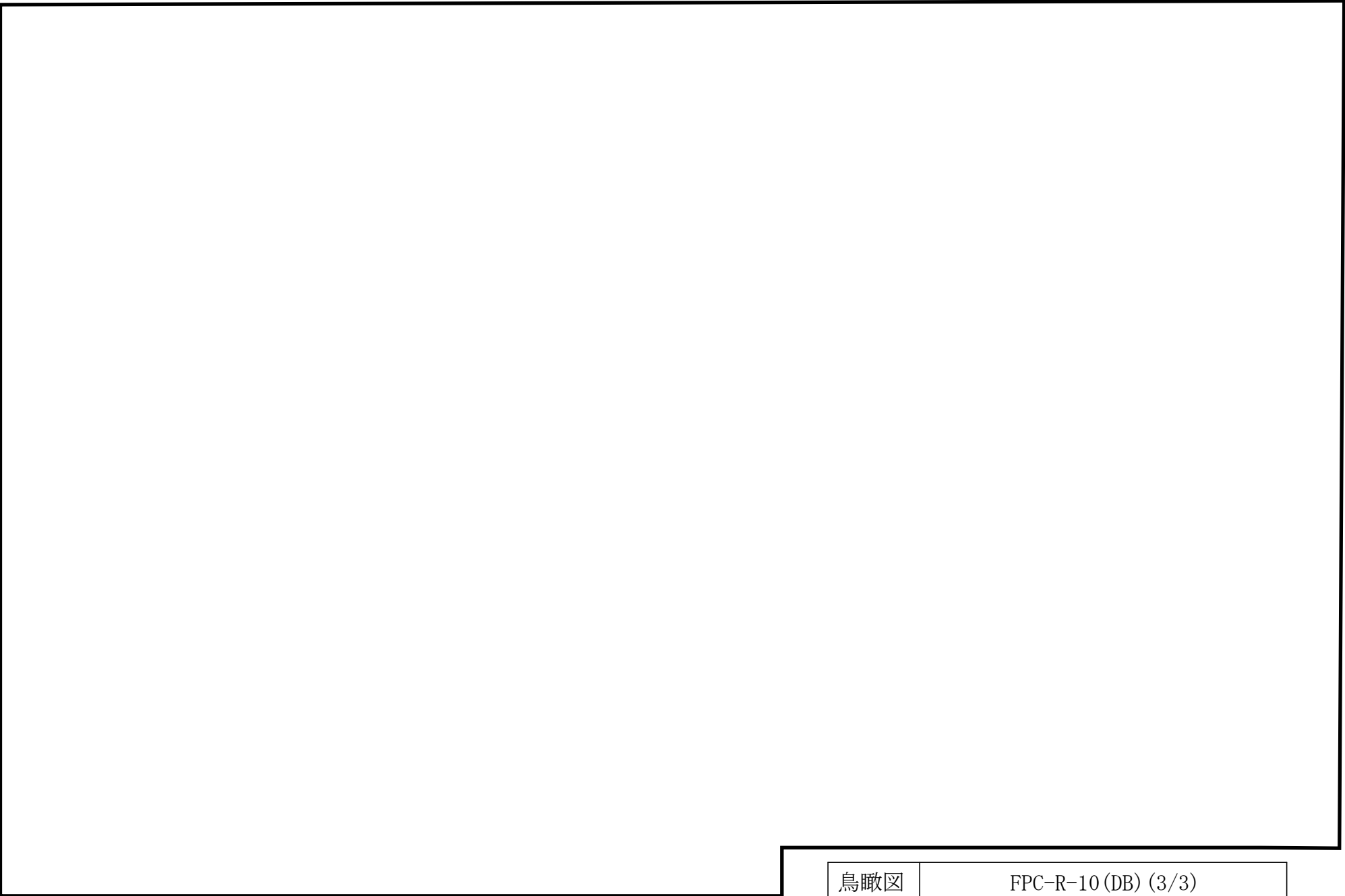
FPC-R-10 (DB) (1/3)

∞

鳥瞰図

FPC-R-10 (DB) (2/3)

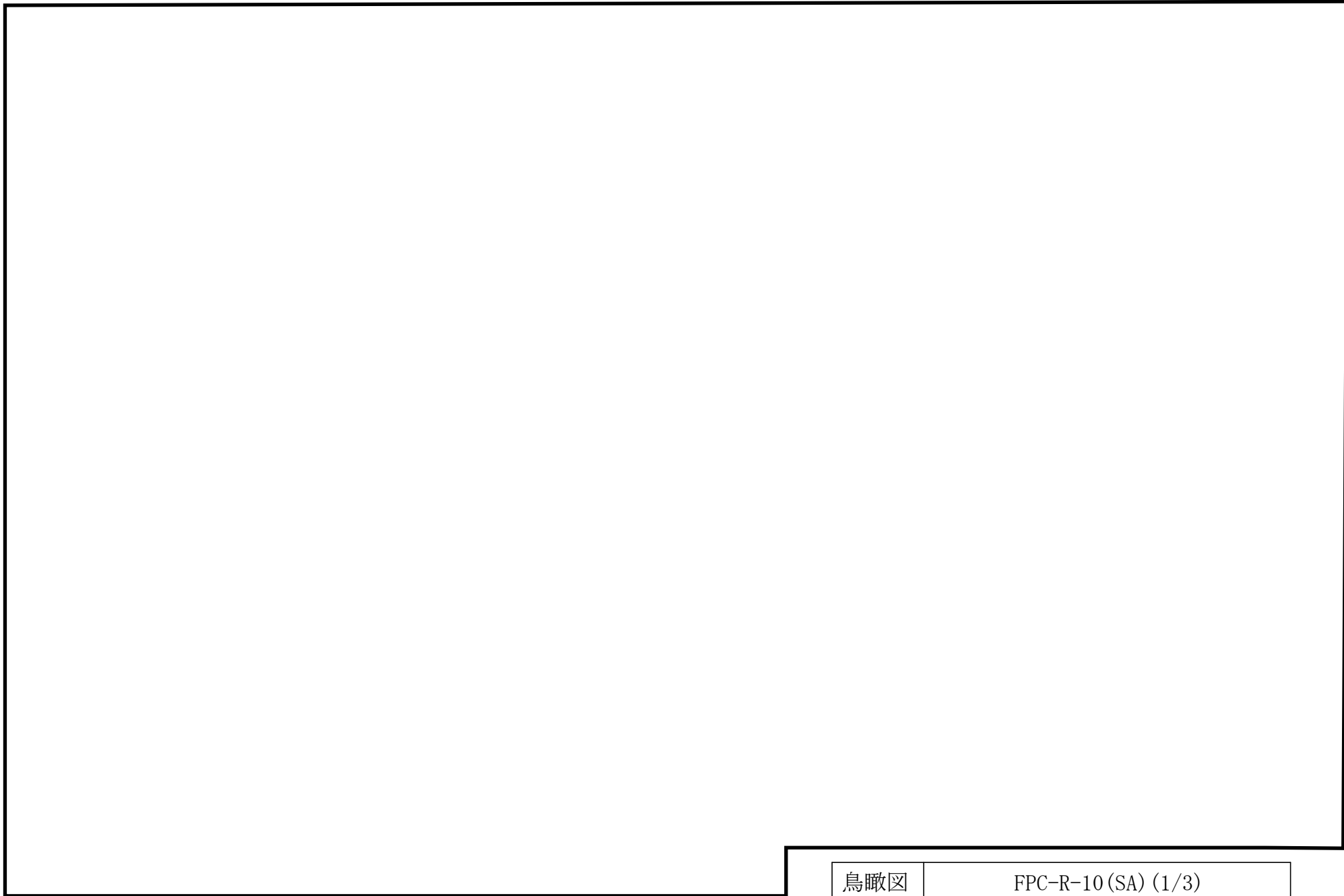
6



鳥瞰図

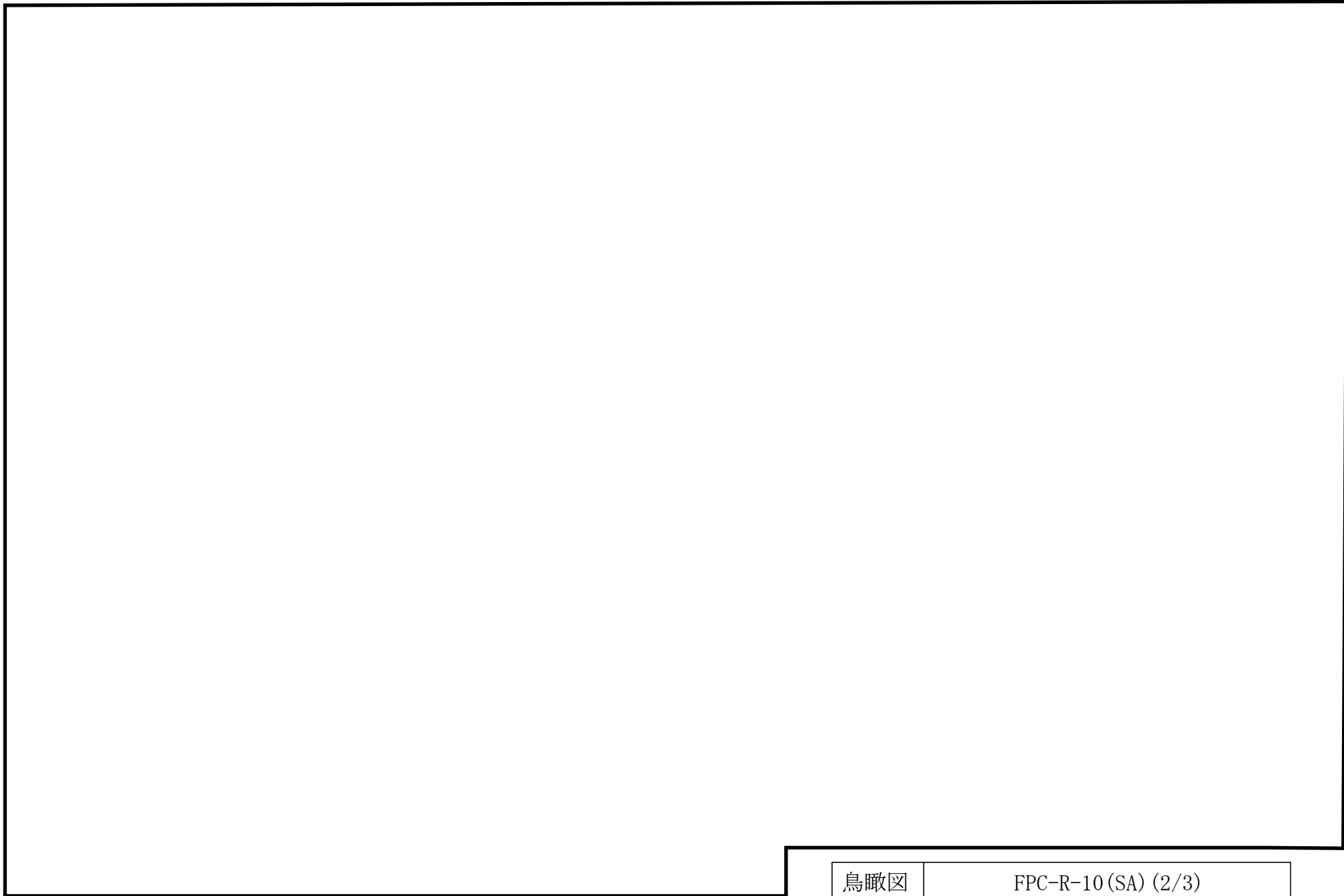
FPC-R-10 (DB) (3/3)

10



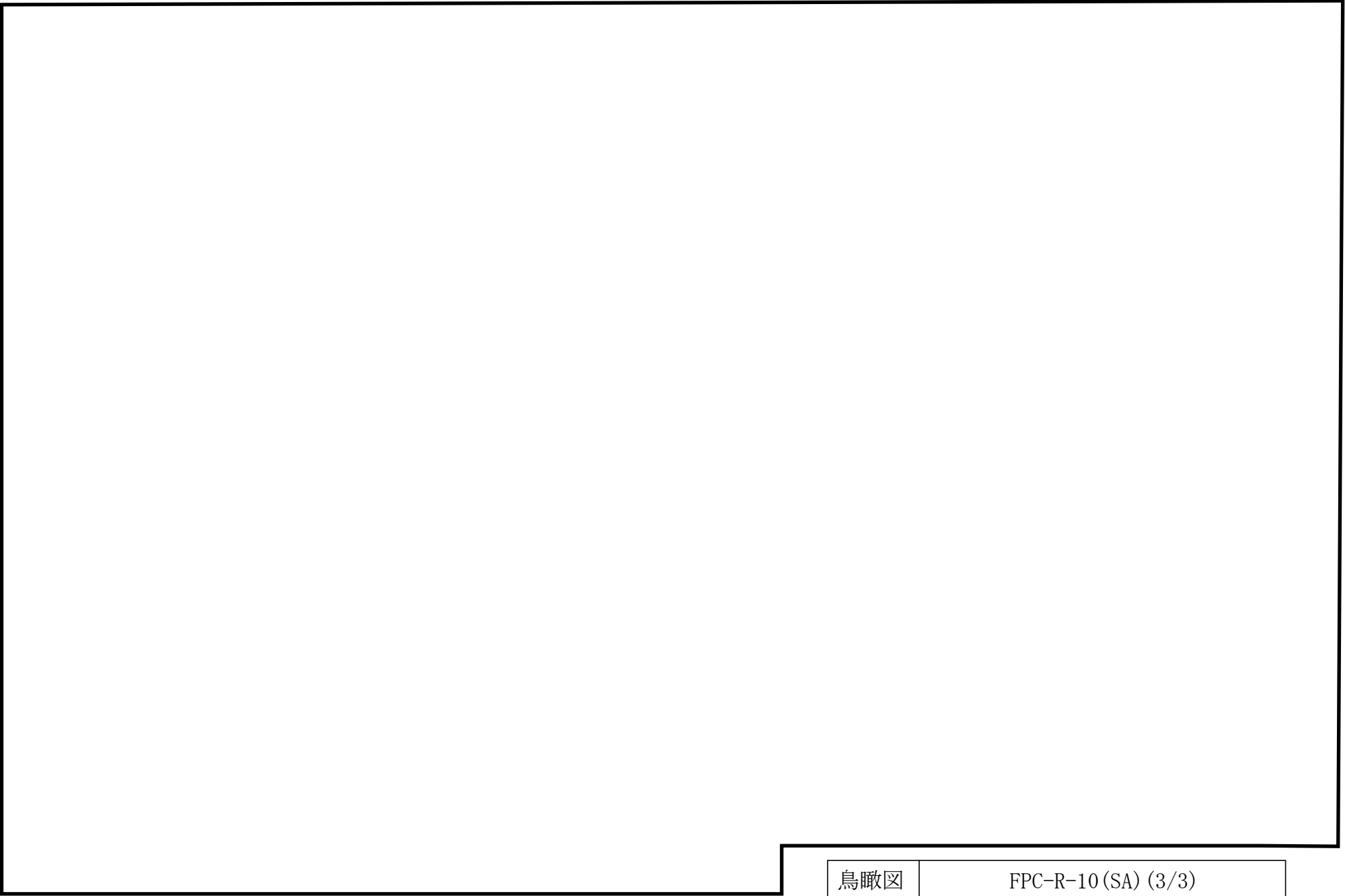
鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (1/3)



鳥瞰図

FPC-R-10(SA) (2/3)



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール冷却系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
			SA	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス3管	S	I _L + S _d	III _A S
							II _L + S _d	
							I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FPC-R-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~15	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FPC-R-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～15	165.2	7.1	SUS304TP	S	193400

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FPC-R-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
5						
9						
14						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FPC-R-10

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
2	37~38, 37~62	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	静水頭	66
		Ⅴ _A S	静水頭	66
3	38~39	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	静水頭	66
		Ⅴ _A S	静水頭	66
4	63~76	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
5	77~80, 81~89 75~92, 93~101	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
6	90~91N, 102~103N	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66

設計条件


鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FPC-R-10

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2	216.3	8.2	STPT410	S	200920
2	37~38, 37~62	318.5	10.3	STPT42	—	200920
3	38~39	318.5	10.3	SUS304TP	—	192840
4	63~76	318.5	10.3	STPT42	—	200920
5	77~80, 81~89 75~92, 93~101	267.4	9.3	STPT42	—	200920
6	90~91N, 102~103N	216.3	8.2	STPT42	—	200920

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 FPC-R-10

質量	対応する評価点
	85F, 86F, 97F, 98F
	91N, 103N

弁部の質量

鳥 瞰 図 FPC-R-10

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	2~3	<input type="checkbox"/>	62~63
<input type="checkbox"/>	80~81, 92~93		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FPC-R-10

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				62~63			
80~81				92~93			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FPC-R-10

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
39						
49						
** 49 **						
55						
64						
78						
78						
82						
** 82 **						
91N						
94						
** 94 **						
103N						

S2 補 VI-2-4-3-1-3 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	66	—	188	479	126
STPT410	66	—	231	407	—
STPT42	66	—	231	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
FPC-R-4	原子炉建物	EL			
FPC-R-10	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FPC-R-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FPC-R-4

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

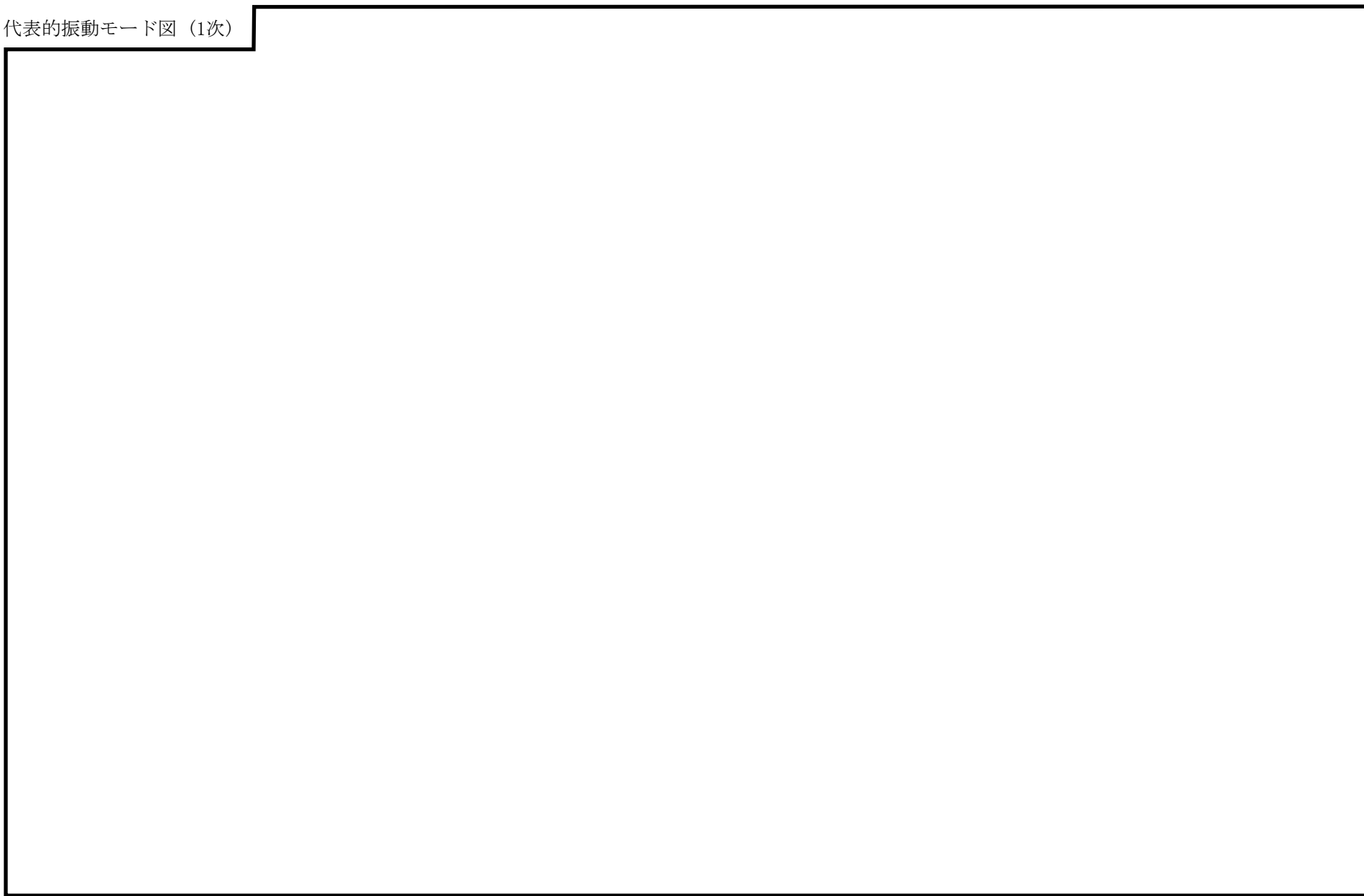
注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

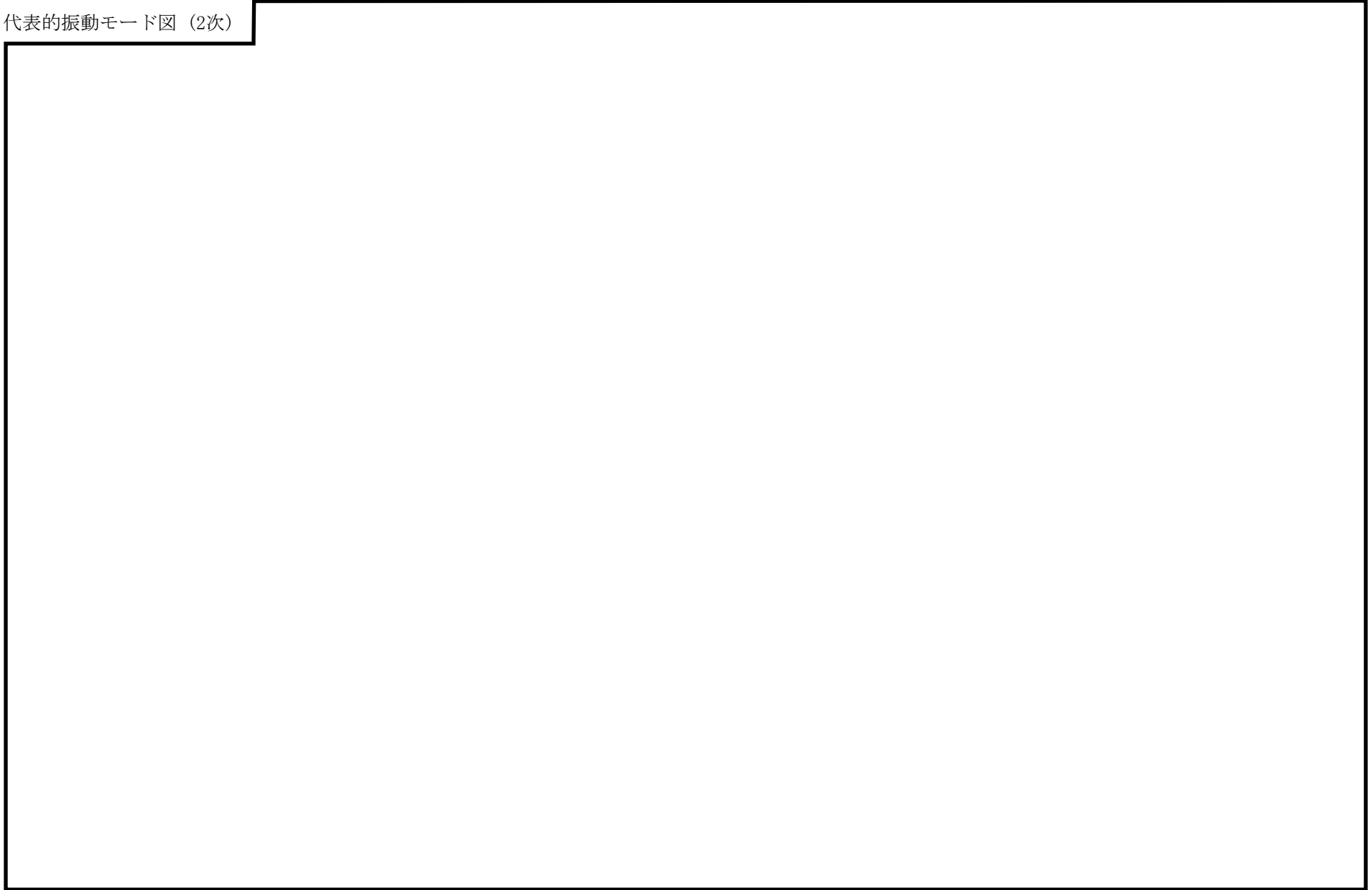
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

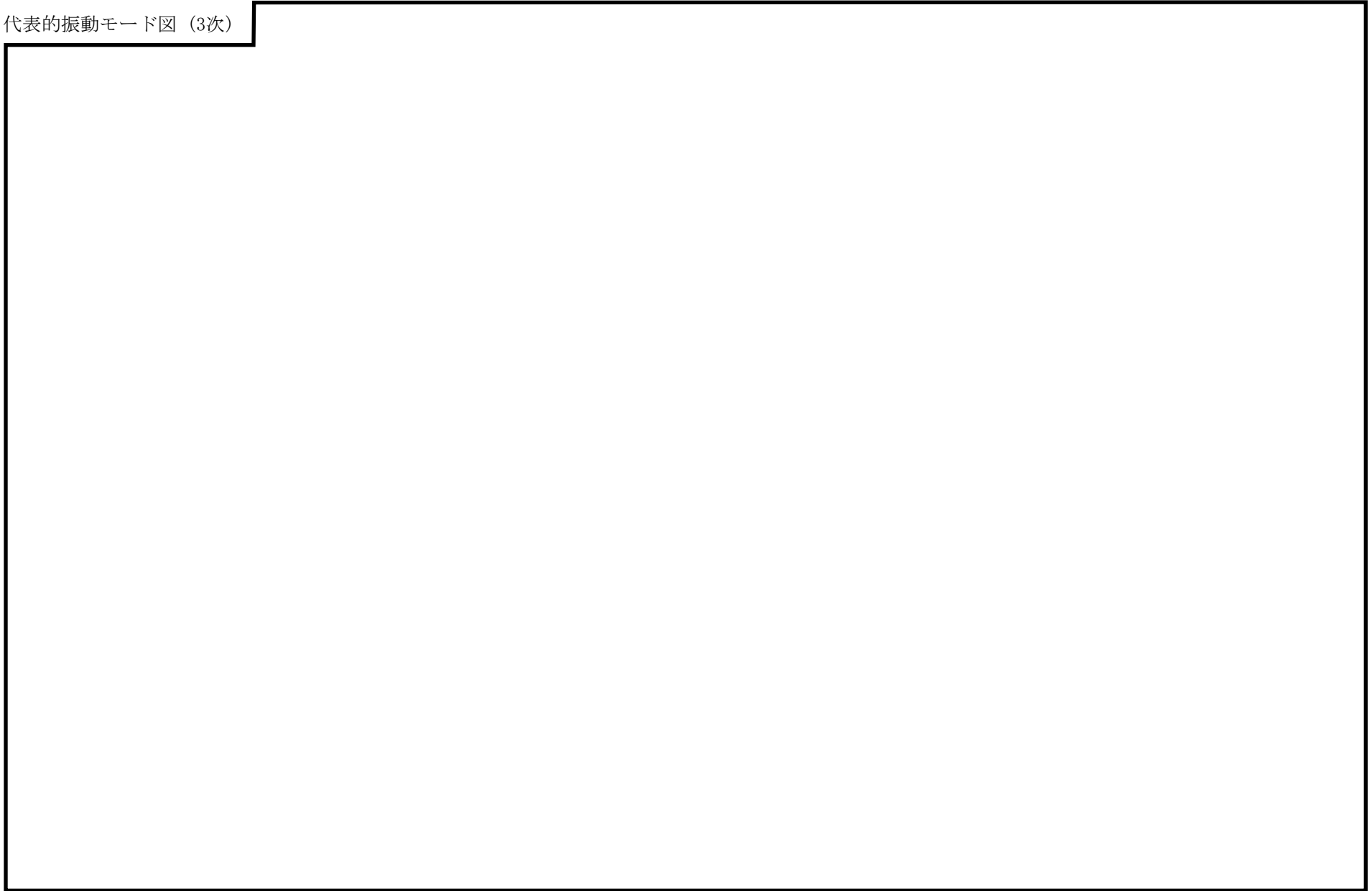
30



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FPC-R-10

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
13次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FPC-R-10

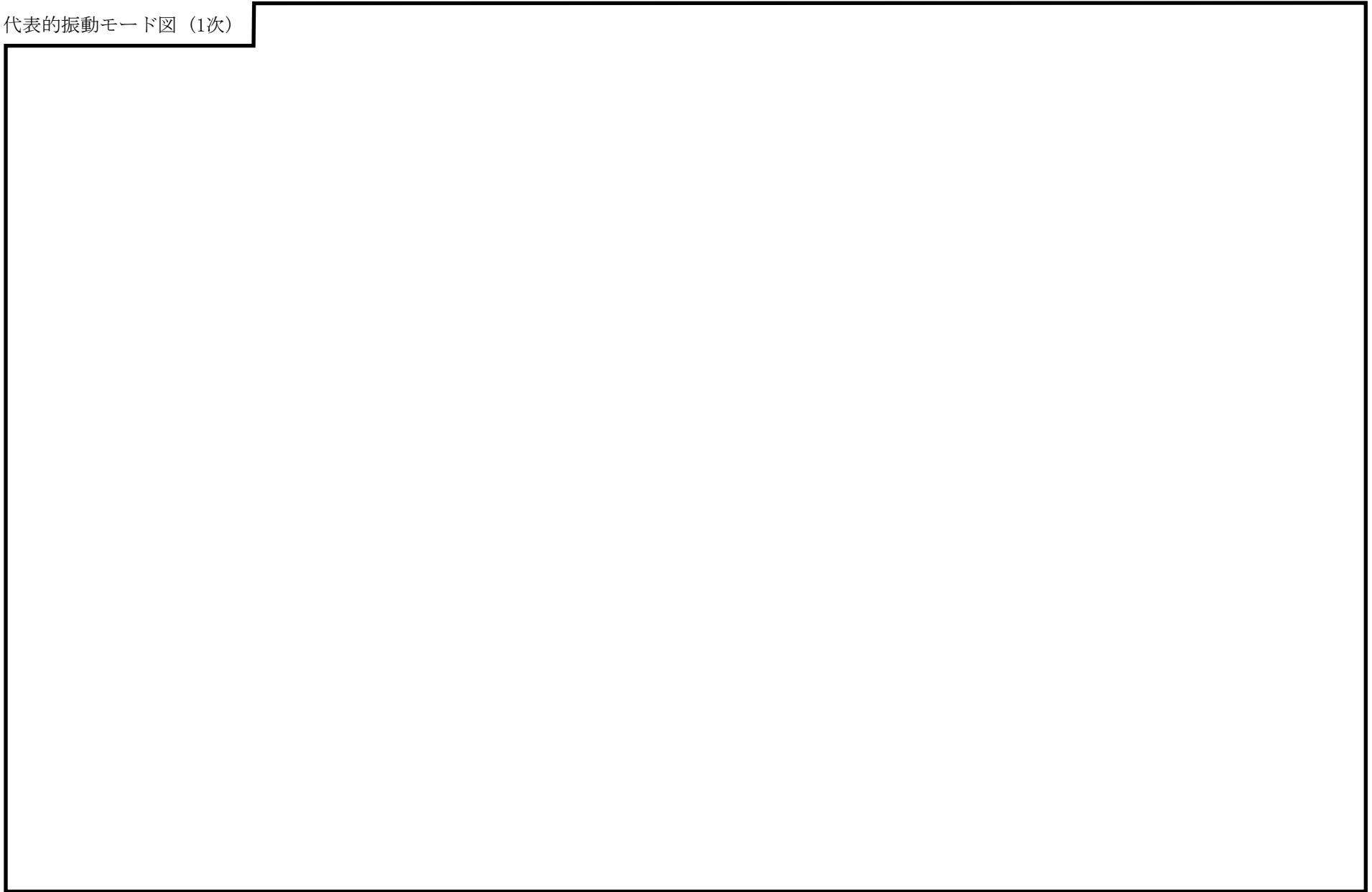
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

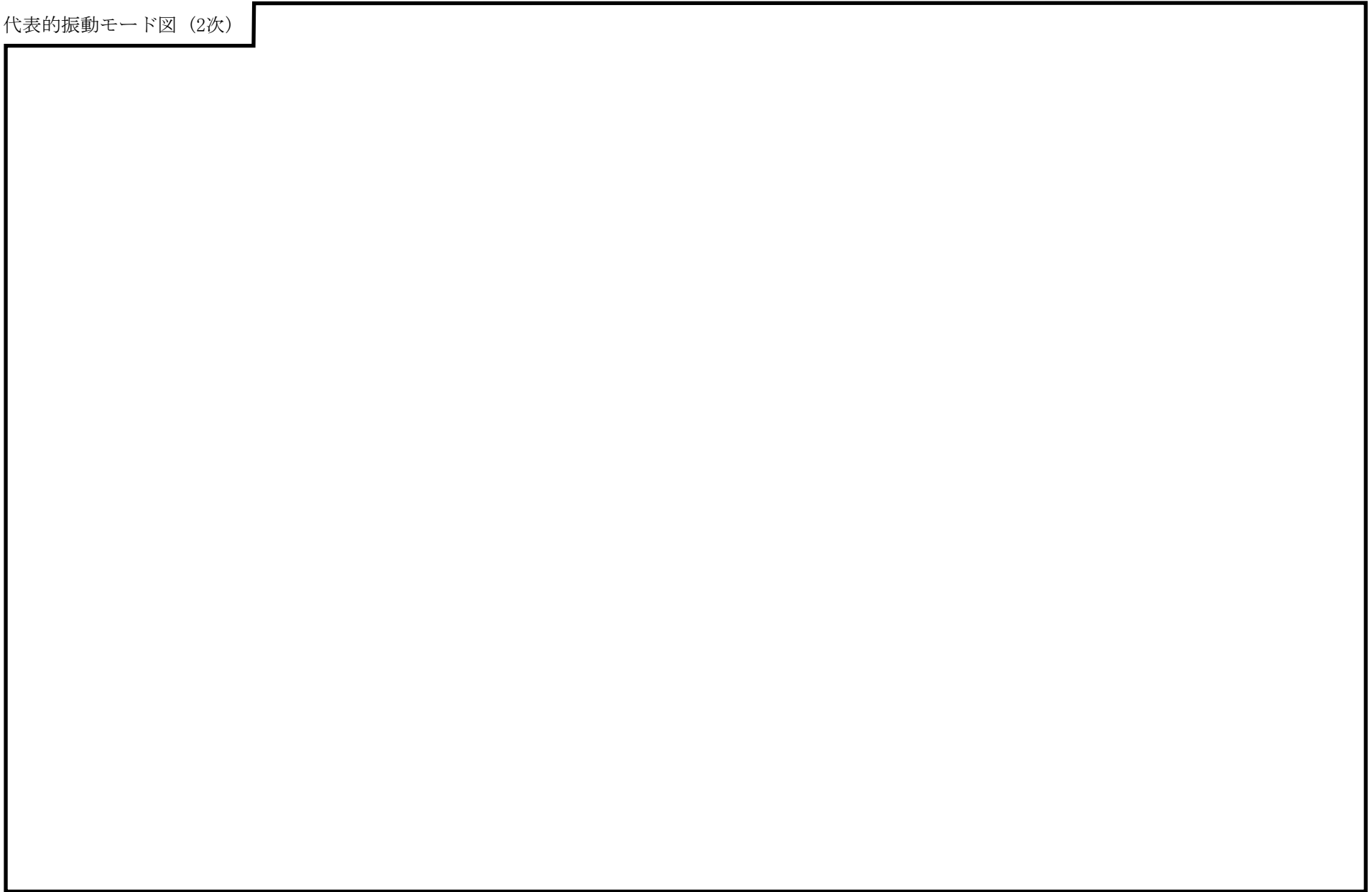
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

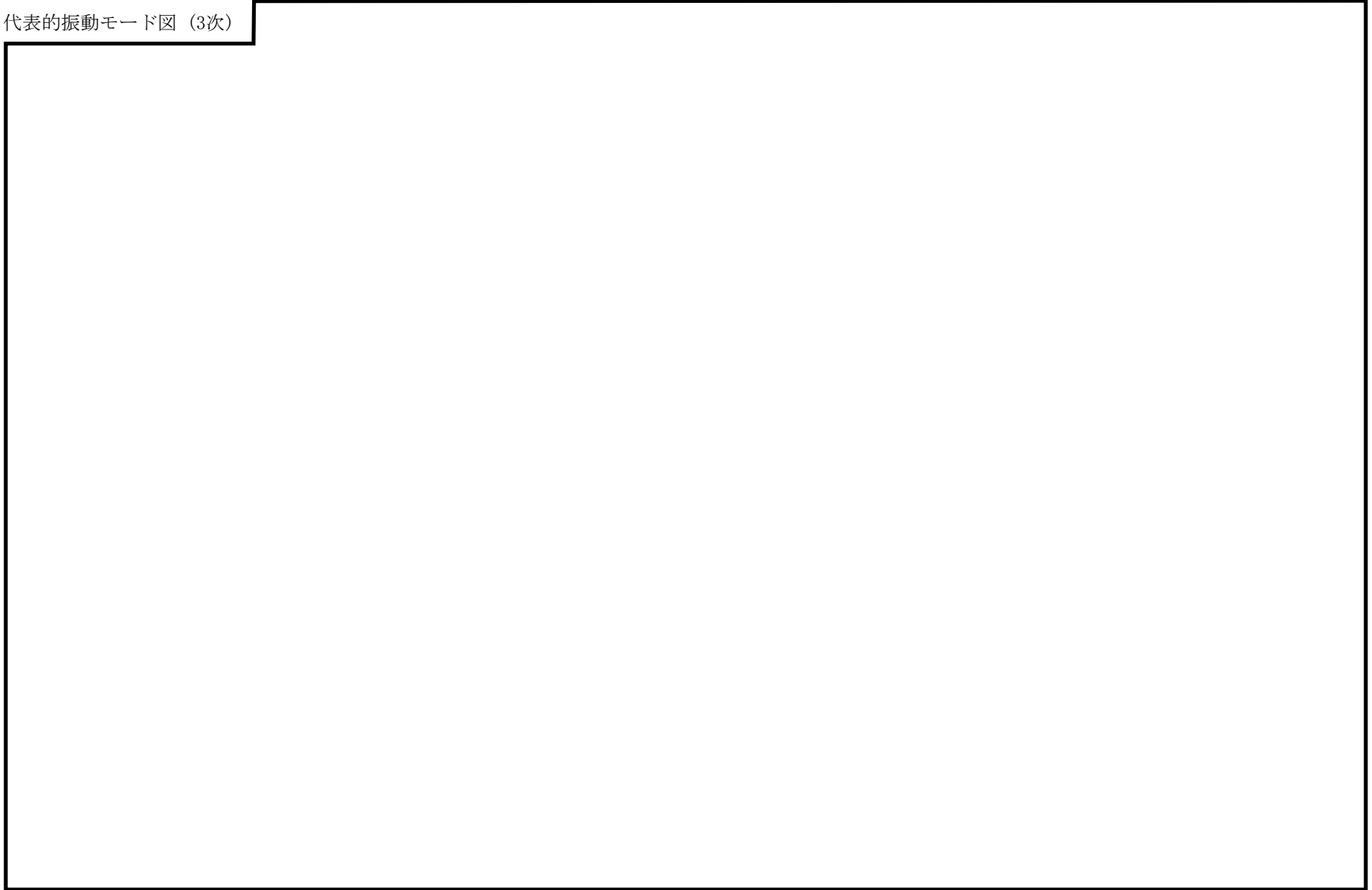
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



38

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	FPC-R-4	9	103	188	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FPC-R-4	9	186	376	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FPC-R-10	1A	192	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FPC-R-10	1A	326	462	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FPC-R-10	90	203	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FPC-R-10	90	377	462	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FPC-R-10	90	203	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FPC-R-10	90	377	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-FPC-361	オイルスナッパ	SN-3		13	45	—	
RE-FPC-387	ロッドレストレイント	RSA-3		20	54	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-FPC-269	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	97	0	—	—	—	組合せ	65	235
AN-FPC-201	アンカ	ラグ	SUS304	100	13	16	27	3	13	10	組合せ	22	59

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	FPC-R-1	19	27	188	6.96	—	19	31	376	12.12	—	—
2	FPC-R-2	1A	16	188	11.75	—	1A	9	376	41.77	—	—
3	FPC-R-3	1A	16	188	11.75	—	1A	9	376	41.77	—	—
4	FPC-R-4	9	103	188	1.82	○	9	186	376	2.02	—	○
5	FPC-R-5	9	103	188	1.82	—	9	186	376	2.02	—	—
6	FPC-R-10	1A	113	231	2.04	—	1A	169	462	2.73	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FPC-R-1	19	31	431	13.90	—	19	38	376	9.89	—	—
2	FPC-R-2	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
3	FPC-R-3	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
4	FPC-R-4	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
5	FPC-R-5	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
6	FPC-R-10	1A	192	366	1.90	○	1A	326	462	1.41	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FPC-R-1	19	31	431	13.90	—	19	38	376	9.89	—	—
2	FPC-R-2	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
3	FPC-R-3	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
4	FPC-R-4	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
5	FPC-R-5	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
6	FPC-R-10	90	203	366	1.80	○	90	377	462	1.22	—	○
7	FPC-R-11	39	80	366	4.57	—	39	133	462	3.47	—	—
8	FPC-R-12	106	74	431	5.82	—	106	113	376	3.32	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	FPC-R-1	19	31	431	13.90	—	19	38	376	9.89	—	—
2	FPC-R-2	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
3	FPC-R-3	1A	18	431	23.94	—	1A	14	376	26.85	—	—
4	FPC-R-4	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
5	FPC-R-5	9	141	431	3.05	—	9	264	376	1.42	—	—
6	FPC-R-10	90	203	366	1.80	○	90	377	462	1.22	—	○
7	FPC-R-11	39	80	366	4.57	—	39	133	462	3.47	—	—
8	FPC-R-12	106	74	431	5.82	—	106	113	376	3.32	—	—

VI-2-4-3-2 燃料プールスプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-2-1 管の耐震性についての計算書
(燃料プールスプレイ系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	16
3.5 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	18
4.1 固有周期及び設計震度	18
4.2 評価結果	24
4.2.1 管の応力評価結果	24
4.2.2 支持構造物評価結果	25
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	26
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	27

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、燃料プールの管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






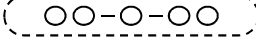

(3) 弁

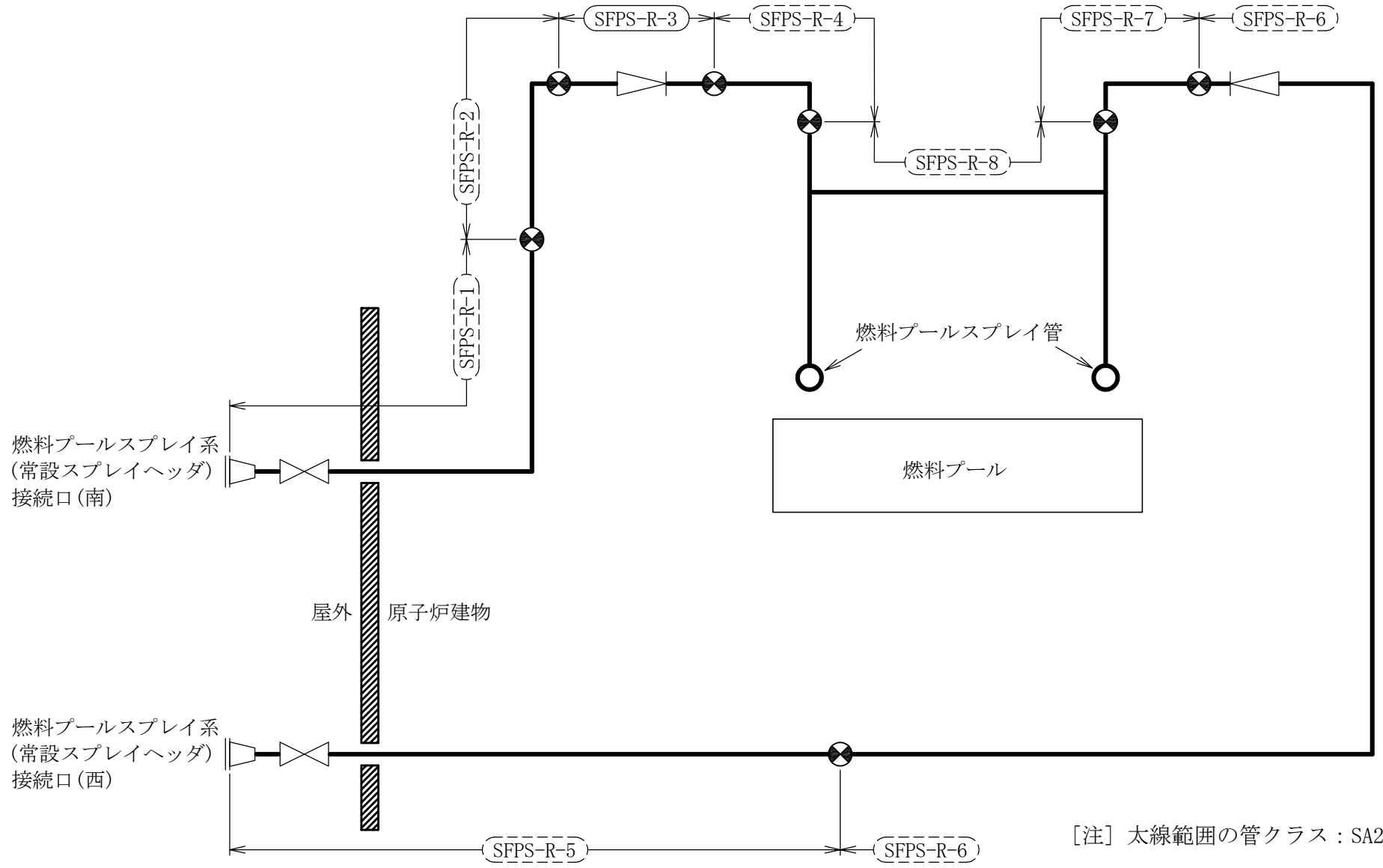
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例



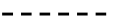


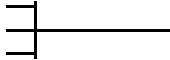
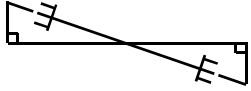
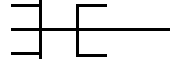
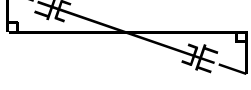

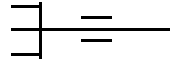
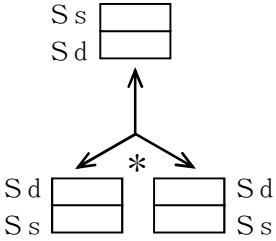
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



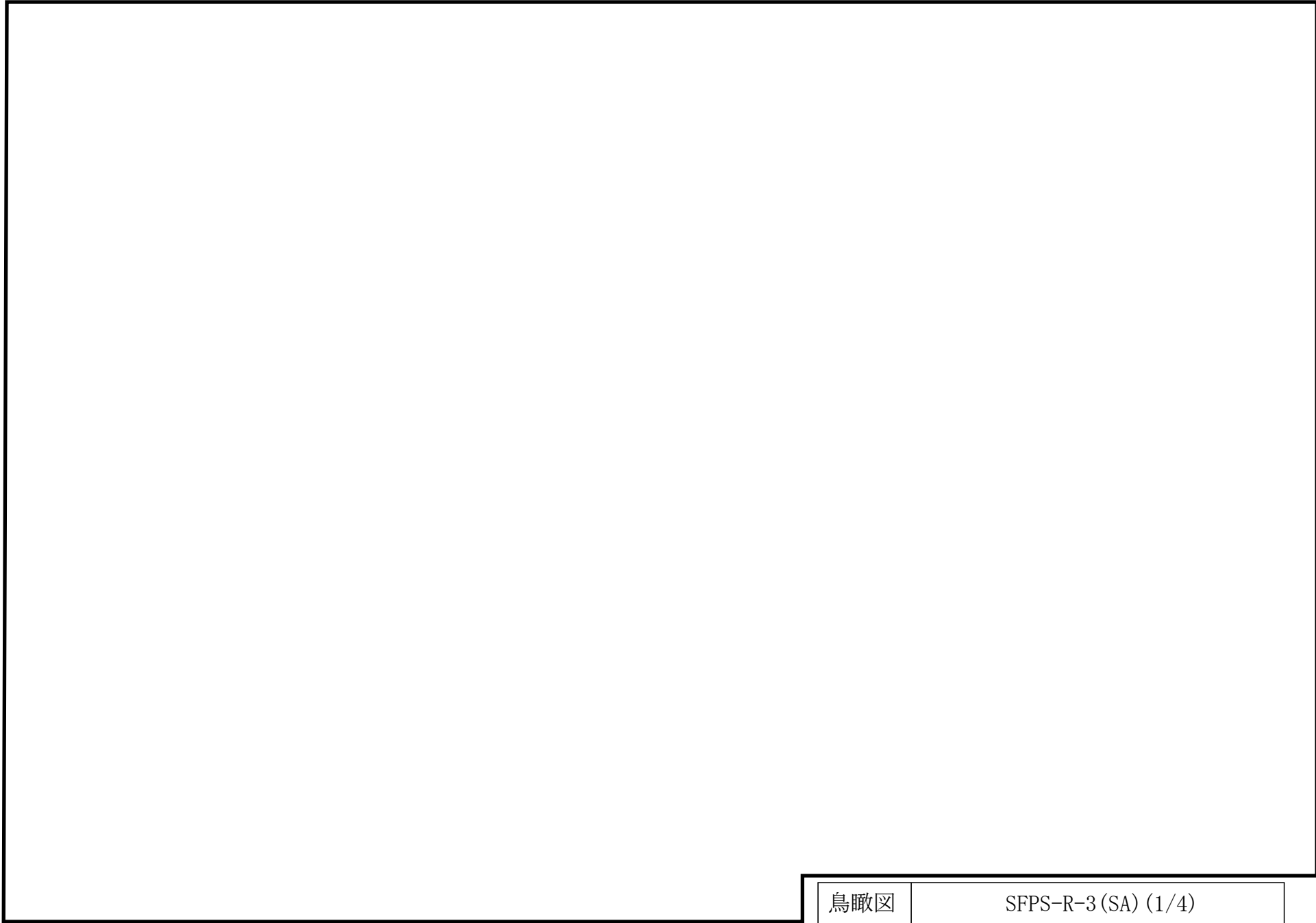
燃料プールスプレイ系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

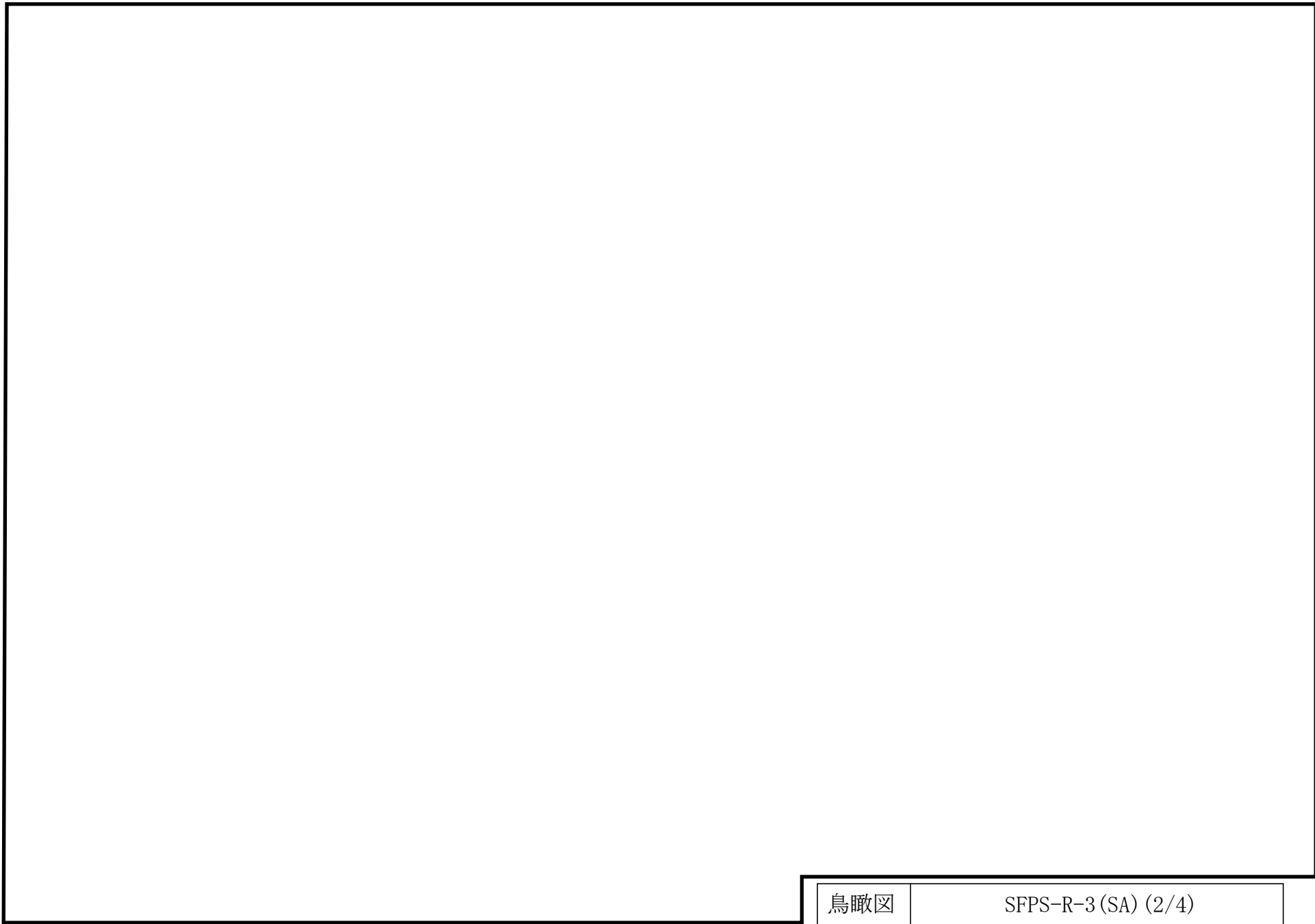
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

S2 補 VI-2-4-3-2-1 R1



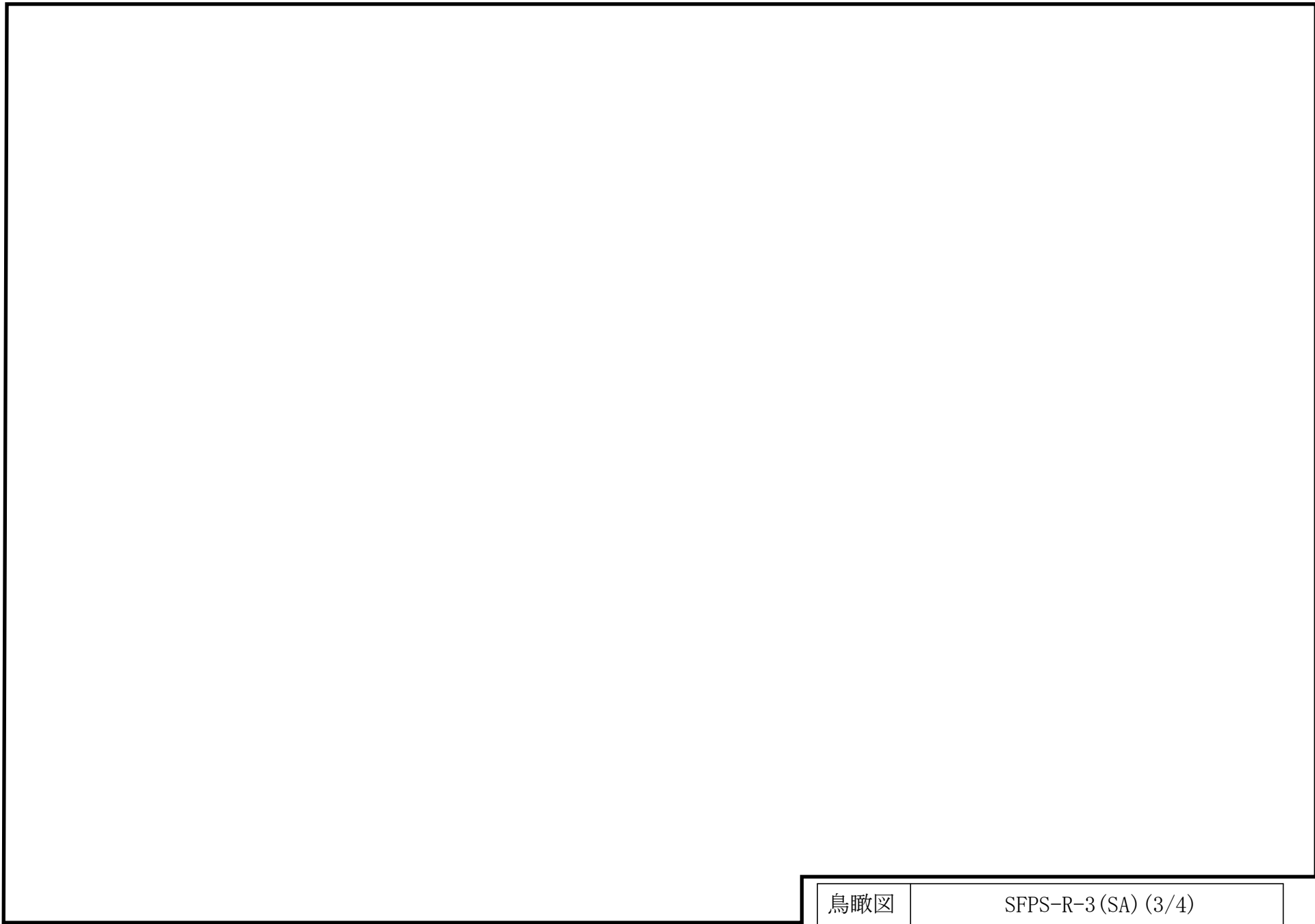
鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (1/4)



鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (2/4)



鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (3/4)

∞

鳥瞰図

SFPS-R-3(SA) (4/4)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プールスプレイ系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	VA S

注記*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2, 3~141A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～2, 3～141A	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667

弁部の質量

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

質量	対応する評価点
	2～3

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
11						
16						
20						
30						
34						
40						
43						
47						
4901						
52						
58						
62						
67						
73						
77						
82						
88						
92						
97						
103						
107						
112						
118						
122						
1241						
127						
133						
137						
141A						

S2 補 VI-2-4-3-2-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
SFPS-R-3	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SFPS-R-3

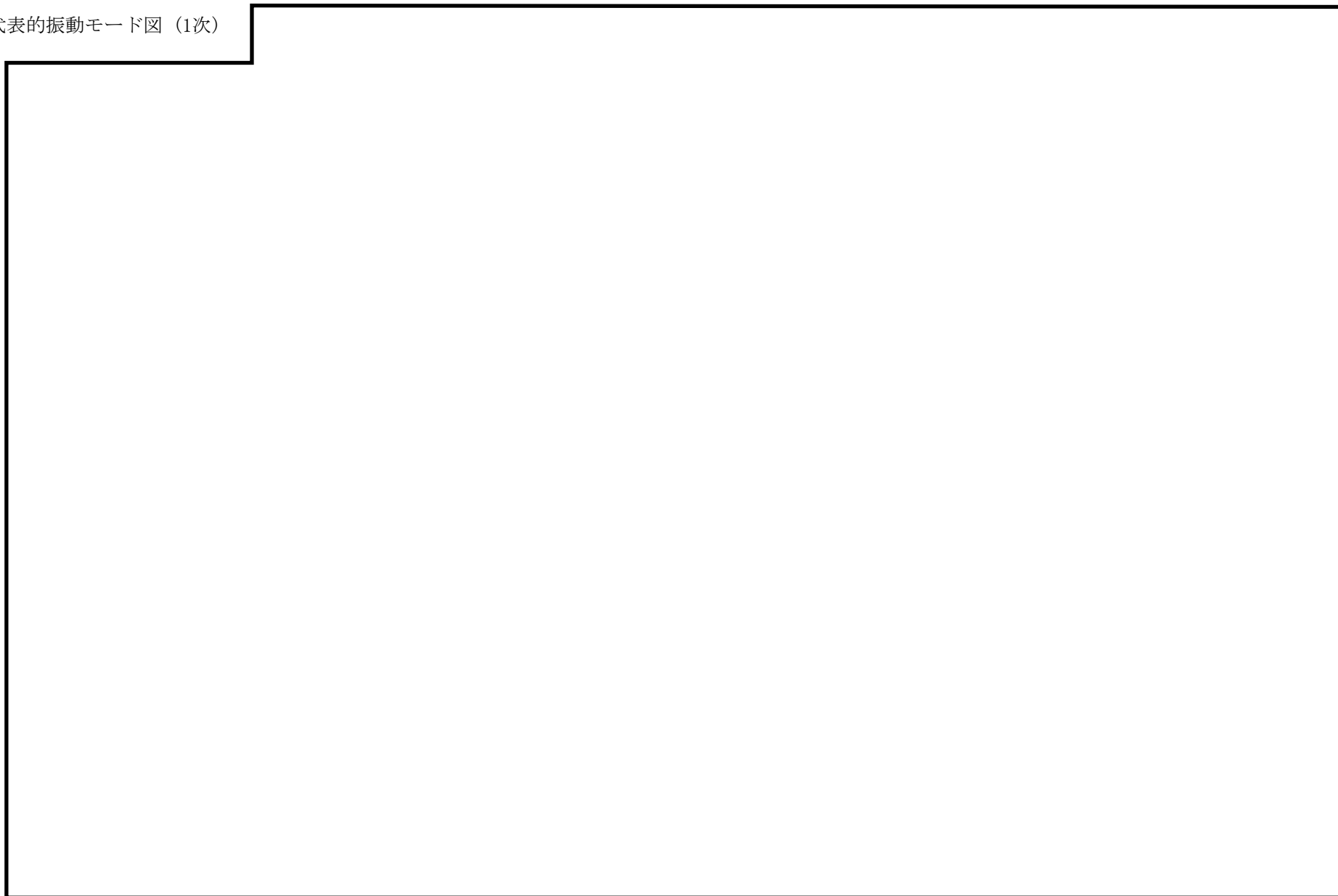
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

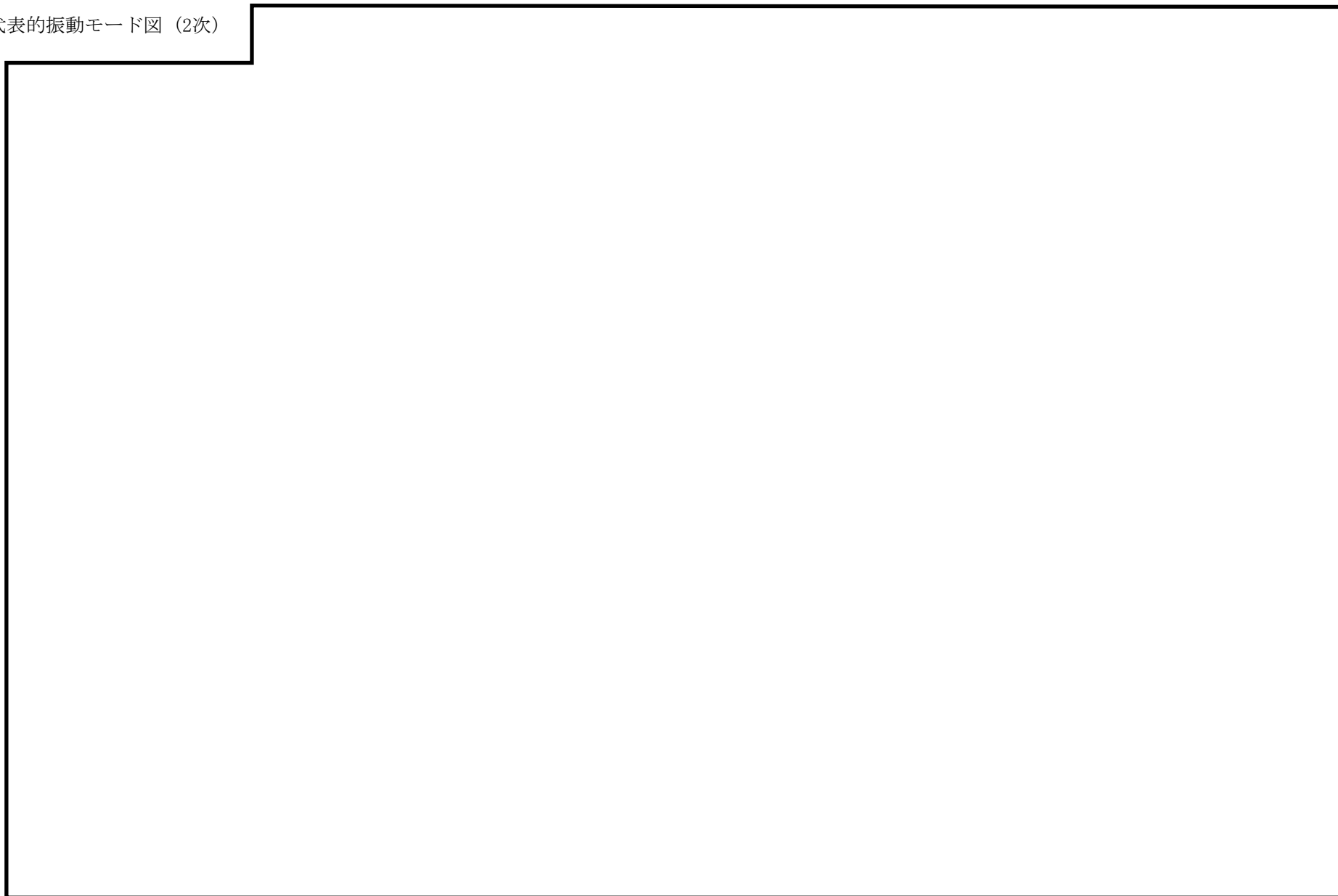
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

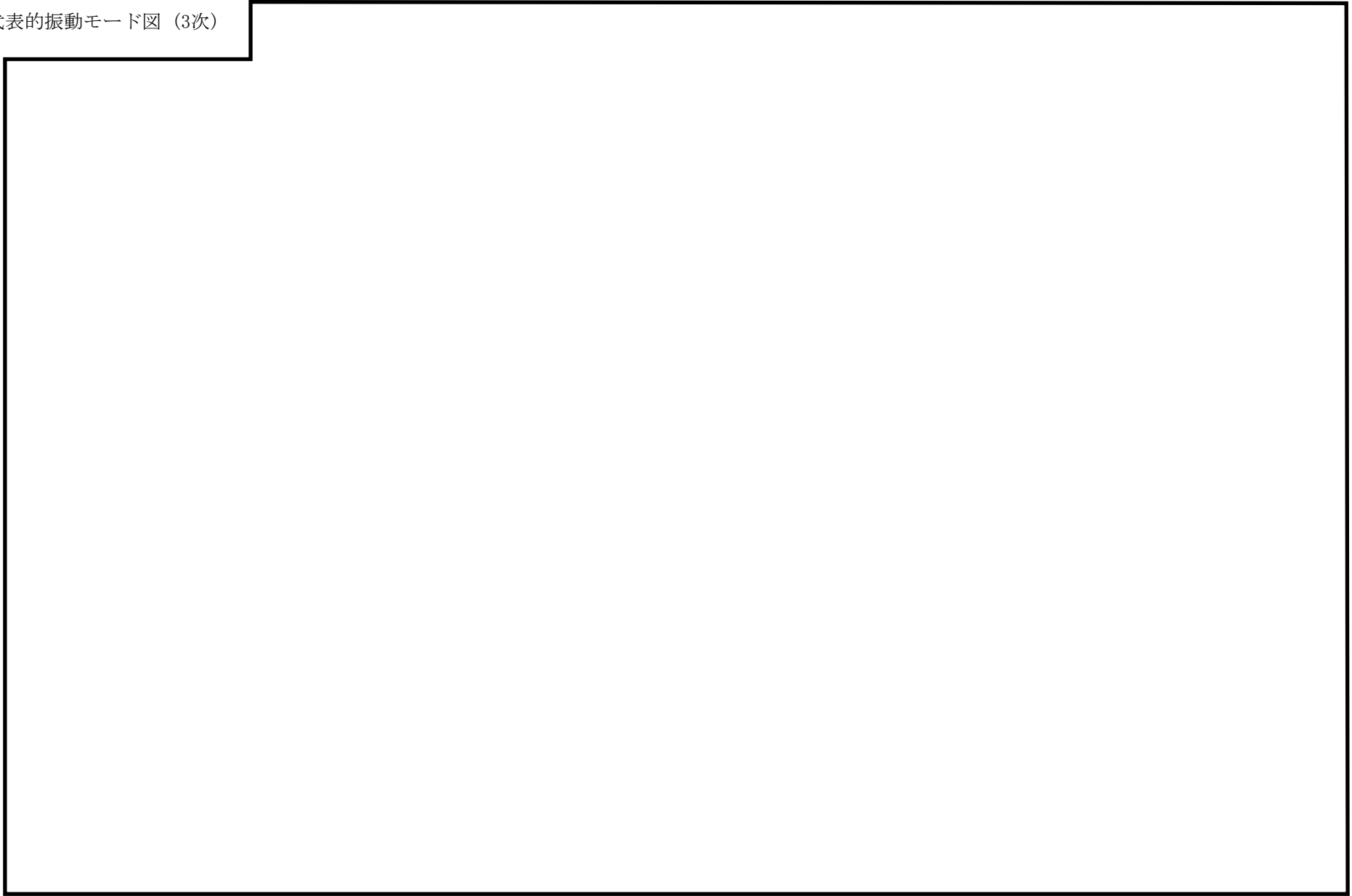
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SFPS-R-3	98	192	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SFPS-R-3	98	356	376	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SFPS-R-3	98	192	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SFPS-R-3	98	356	376	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
—	オイルスナッパ	—			—	—	—
—	ロッドレストレイント	—			—	—	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—	—
—	リジットハンガ	—			—	—	—

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-SFPS-27	レストレイント	Uボルト	SM400B	100	0	3	17	—	—	—	組合せ	112	150
AN-SFPS-58	アンカ	ラグ	SUS304	100	8	9	5	2	4	3	引張	35	132

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
								動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	SFPS-R-1	4	106	431	4.06	—	4	164	376	2.29	—	—
2	SFPS-R-2	37	143	431	3.01	—	37	257	376	1.46	—	—
3	SFPS-R-3	98	192	431	2.24	○	98	356	376	1.05	—	○
4	SFPS-R-4	43	73	431	5.90	—	42	109	376	3.44	—	—
5	SFPS-R-5	4	186	431	2.31	—	4	311	376	1.20	—	—
6	SFPS-R-6	90A	67	431	6.43	—	90A	81	376	4.64	—	—
7	SFPS-R-7	1A	102	431	4.22	—	1A	148	376	2.54	—	—
8	SFPS-R-8	139	119	431	3.62	—	139	199	376	1.88	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	SFPS-R-1	4	106	431	4.06	—	4	164	376	2.29	—	—
2	SFPS-R-2	37	143	431	3.01	—	37	257	376	1.46	—	—
3	SFPS-R-3	98	192	431	2.24	○	98	356	376	1.05	—	○
4	SFPS-R-4	43	73	431	5.90	—	42	109	376	3.44	—	—
5	SFPS-R-5	4	186	431	2.31	—	4	311	376	1.20	—	—
6	SFPS-R-6	90A	67	431	6.43	—	90A	81	376	4.64	—	—
7	SFPS-R-7	1A	102	431	4.22	—	1A	148	376	2.54	—	—
8	SFPS-R-8	139	119	431	3.62	—	139	199	376	1.88	—	—

VI-2-4-4 その他の核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性についての計算書

VI-2-4-4-1 燃料プール監視カメラ（S A）の耐震性についての計算書

目 次

1. 燃料プール監視カメラ（SA）	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用規格・基準等	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	6
1.3 評価部位	7
1.4 固有周期	7
1.4.1 基本方針	7
1.4.2 固有周期の確認方法	7
1.4.3 固有周期の確認結果	7
1.5 構造強度評価	8
1.5.1 構造強度評価方法	8
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
1.5.3 設計用地震力	12
1.5.4 計算方法	13
1.5.5 計算条件	15
1.5.6 応力の評価	16
1.6 機能維持評価	17
1.6.1 電氣的機能維持評価方法	17
1.7 評価結果	18
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

2. 燃料プール監視カメラ（SA）サポート	22
2.1 概要	22
2.2 一般事項	22
2.2.1 構造計画	22
2.2.2 評価方針	24
2.2.3 適用規格・基準等	25
2.2.4 記号の説明	26
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	27
2.3 評価部位	28
2.4 固有周期	28
2.4.1 基本方針	28
2.4.2 固有周期の確認方法	28
2.4.3 固有周期の確認結果	28
2.5 構造強度評価	29
2.5.1 構造強度評価方法	29
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	29
2.5.3 設計用地震力	33
2.5.4 計算方法	34
2.5.5 計算条件	36
2.5.6 応力の評価	37
2.6 評価結果	38
2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	38

3. 監視カメラ制御盤（中央制御室）	42
3.1 概要	42
3.2 一般事項	42
3.2.1 構造計画	42
3.3 固有周期	44
3.3.1 固有周期の確認	44
3.4 構造強度評価	45
3.4.1 構造強度評価方法	45
3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	45
3.4.3 計算条件	45
3.5 機能維持評価	49
3.5.1 電氣的機能維持評価方法	49
3.6 評価結果	50
3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	50
3.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	50

4. 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）	56
4.1 概要	56
4.2 一般事項	56
4.2.1 構造計画	56
4.2.2 評価方針	58
4.2.3 適用規格・基準等	59
4.2.4 記号の説明	60
4.2.5 計算精度と数値の丸め方	61
4.3 評価部位	62
4.4 固有周期	62
4.4.1 基本方針	62
4.4.2 固有周期の確認方法	62
4.4.3 固有周期の確認結果	62
4.5 構造強度評価	63
4.5.1 構造強度評価方法	63
4.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	63
4.5.3 設計用地震力	67
4.5.4 計算方法	68
4.5.5 計算条件	70
4.5.6 応力の評価	71
4.6 機能維持評価	72
4.6.1 電氣的機能維持評価方法	72
4.7 評価結果	73
4.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	73

1. 燃料プール監視カメラ（SA）

1.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、燃料プール監視カメラ（SA）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

燃料プール監視カメラ（SA）は、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

燃料プール監視カメラ（SA）の構造計画を表1-1に示す。

表 1-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
燃料プール監視カメラ (SA)は、取付ボルト にてサポート鋼材に設置 する。	赤外線カメラ	

1.2.2 評価方針

燃料プール監視カメラ（S A）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「1.2.1 構造計画」にて示す燃料プール監視カメラ（S A）の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「1.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、燃料プール監視カメラ（S A）の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「1.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価フローを図1-1に示す。

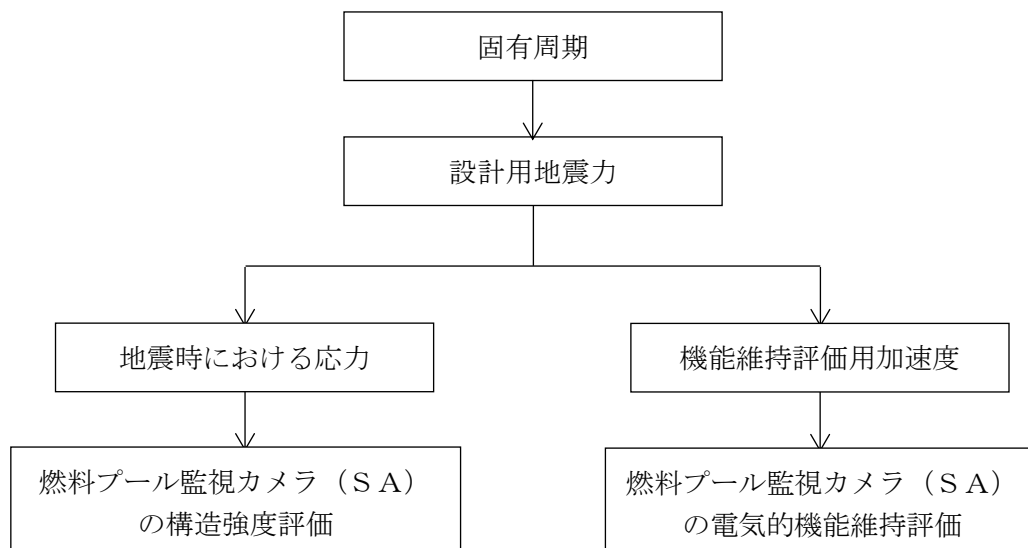


図1-1 燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{b2}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_2	ボルトの呼び径	mm
F_2	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_2^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{b2}	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり)	N
f_{sb2}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to2}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts2}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_2	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l_{12}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_{22}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m_2	燃料プール監視カメラ (SA) の質量	kg
n_2	ボルトの本数	—
n_{f2}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_{b2}	ボルトに作用するせん断力	N
S_{u2}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_{y2}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_{y2}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_{b2}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{b2}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_{12} \leq l_{22}$

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-2 に示すとおりである。

表 1-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

1.3 評価部位

燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価は、「1.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて実施する。

燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価部位については、表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 基本方針

燃料プール監視カメラ（S A）の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

1.4.2 固有周期の確認方法

サポート鋼材を含む設備一式での正弦波掃引試験により固有周期を確認する。燃料プール監視カメラ（S A）の外形図を表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 1-3 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 1-3 固有周期 (単位：s)

水平	
鉛直	

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

- (1) 燃料プール監視カメラ（SA）の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は燃料プール監視カメラ（SA）に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 燃料プール監視カメラ（SA）は取付ボルトでサポート鋼材に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 燃料プール監視カメラ（SA）の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール監視カメラ（SA）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.5.2.2 許容応力

燃料プール監視カメラ（SA）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール監視カメラ（SA）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	燃料プール監視カメラ（SA）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS （VASとして IVASの許容限界 を用いる。）

注記*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 1-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 1-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
取付ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.5.3 設計用地震力

燃料プール監視カメラ（S A）の設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-7 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 1-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

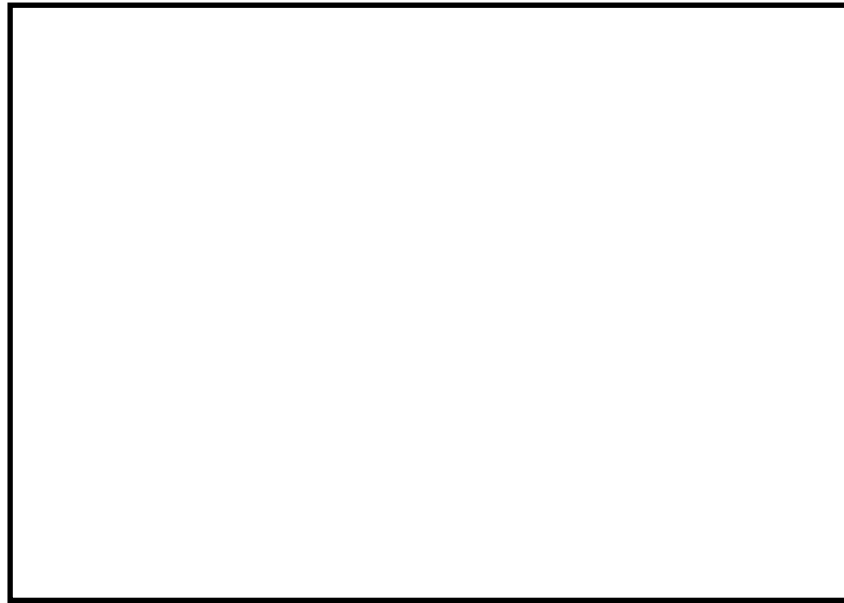


図1-2 計算モデル（短辺方向転倒）

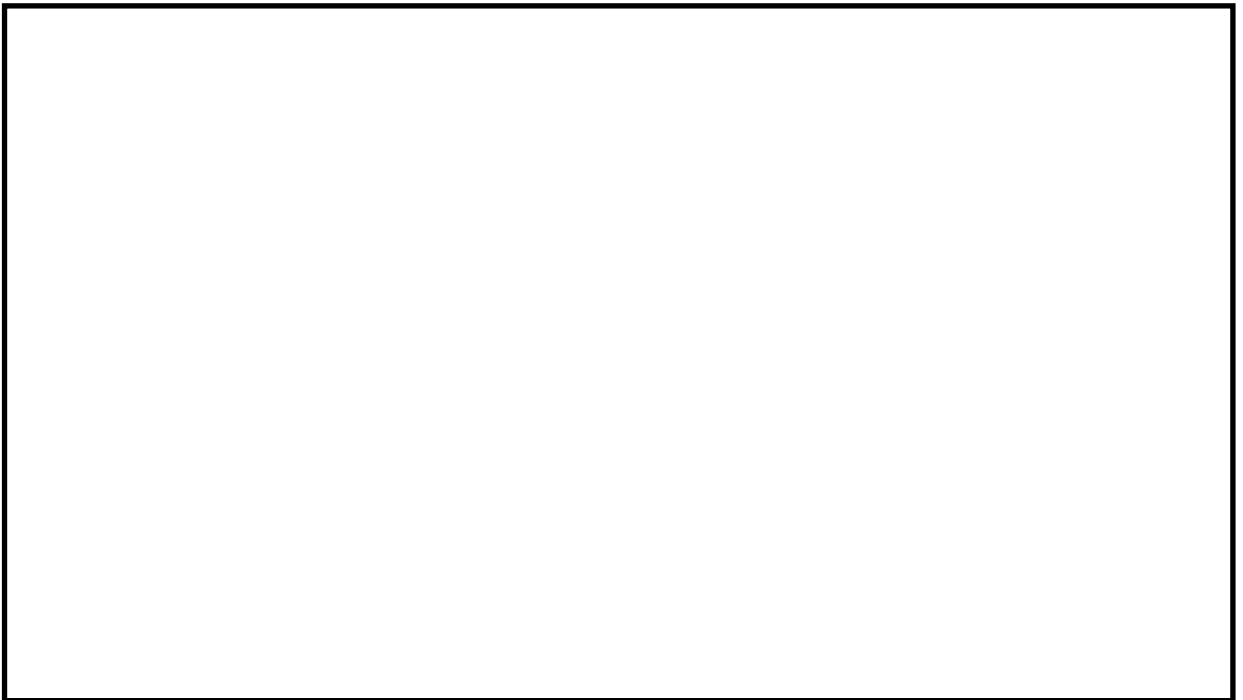


図1-3 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図1-2及び図1-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} \text{ (短辺)} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{22} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{22} - l_{12})} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.1)$$

$$F_{b2} \text{ (長辺)} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V + 1) \cdot l_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{22} - l_{12})} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.3)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.4)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.6)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ（S A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{b2} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts2} 以下であること。ただし、 f_{to2} は下表による。

$$f_{ts2} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to2} - 1.6 \cdot \tau_{b2}, f_{to2}] \quad \dots\dots\dots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{b2} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb2} 以下であること。ただし、 f_{sb2} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to2}	$\frac{F_2^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb2}	$\frac{F_2^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール監視カメラ（S A）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

燃料プール監視カメラ（S A）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-8 に示す。

表 1-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ（S A）	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール監視カメラ（S A）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール監視カメラ (SA) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
燃料プール監視カメラ (SA)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m ₂ (kg)	h ₂ (mm)	d ₂ (mm)	A _{b2} (mm ²)	n ₂	S _{y2} (MPa)	S _{u2} (MPa)	S _{y2} (RT) (MPa)
取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	ℓ ₁₂ *2 (mm)	ℓ ₂₂ *2 (mm)	n _{f2} *2	F ₂ (MPa)	F ₂ * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	長辺方向
	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b2}		Q _{b2}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b2} =$ <input type="text"/>	$f_{ts2} =$ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$ <input type="text"/>	$f_{sb2} =$ <input type="text"/>

注記*： $f_{ts2} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to2} - 1.6 \cdot \tau_{b2}, f_{to2}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

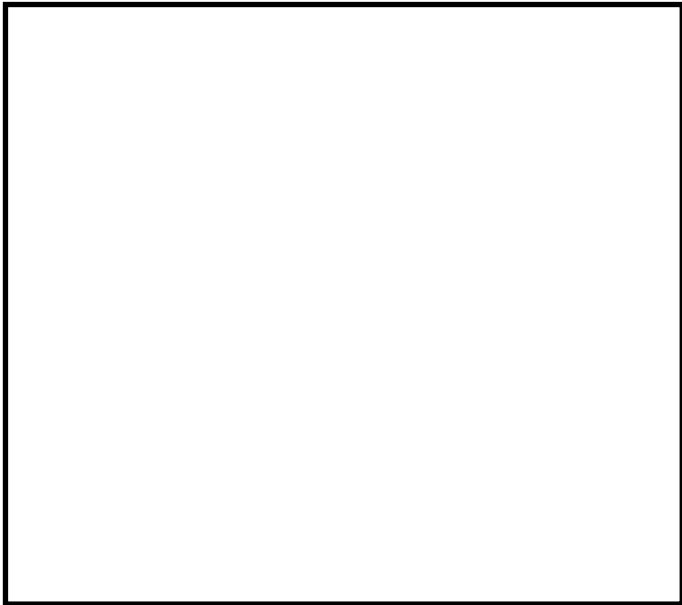
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ (SA)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

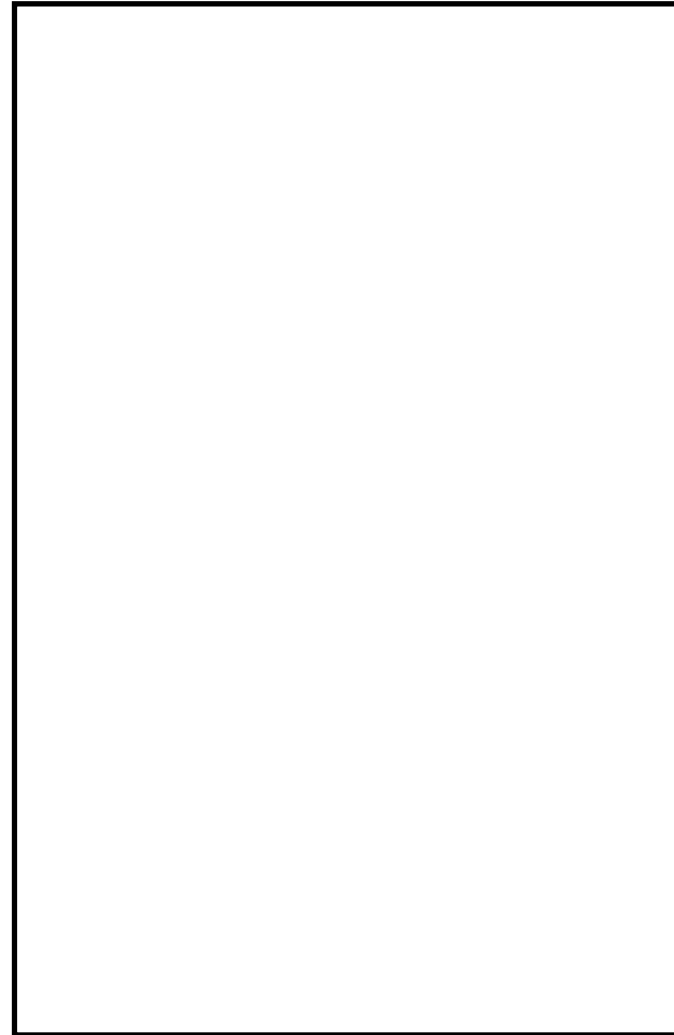
注記*：設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

正面
(短辺方向)



側面
(長辺方向)



2. 燃料プール監視カメラ（S A）サポート

2.1 概要

燃料プール監視カメラ（S A）サポートは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
燃料プール監視カメラ (S A) サポートは、基礎ボルトにて壁に設置する。	支持構造物	

2.2.2 評価方針

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す燃料プール監視カメラ（S A）サポートの部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

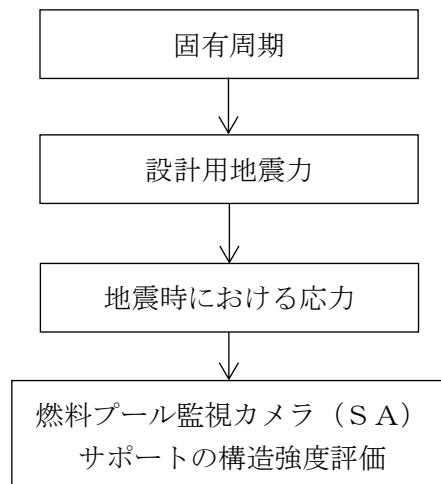


図 2-1 燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{b1}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_1	ボルトの呼び径	mm
F_1	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_1^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{b1}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_{b11}	鉛直方向地震及び壁取付機器取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_{b21}	鉛直方向地震及び壁取付機器取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f_{sb1}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to1}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts1}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l_{11}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_{21}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_{31}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
m_1	燃料プール監視カメラ (SA) サポート (カメラ本体含む) の質量	kg
n_1	ボルトの本数	—
n_{fv1}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (前後方向)	—
n_{fH1}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (左右方向)	—
Q_{b1}	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b11}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b21}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
S_{u1}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_{y1}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_{y1}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_{b1}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{b1}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

2.3 評価部位

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 基本方針

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

2.4.2 固有周期の確認方法

設備一式での正弦波掃引試験により固有周期を確認する。燃料プール監視カメラ（S A）サポートの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 2-3 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 2-3 固有周期 (単位：s)

水平	
鉛直	

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 燃料プール監視カメラ（SA）サポートの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は燃料プール監視カメラ（SA）サポートに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 燃料プール監視カメラ（SA）サポートは基礎ボルトで壁に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面より見て左右方向及び前後方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 燃料プール監視カメラ（SA）サポートの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール監視カメラ（SA）サポートの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

燃料プール監視カメラ（SA）サポートの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール監視カメラ（SA）サポートの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	燃料プール監視カメラ（SA） サポート	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS （VASとして IVASの許容限界 を用いる。）

注記*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 2-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 2-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—

2.5.3 設計用地震力

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-7 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 2-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図2-2 計算モデル（左右方向転倒）

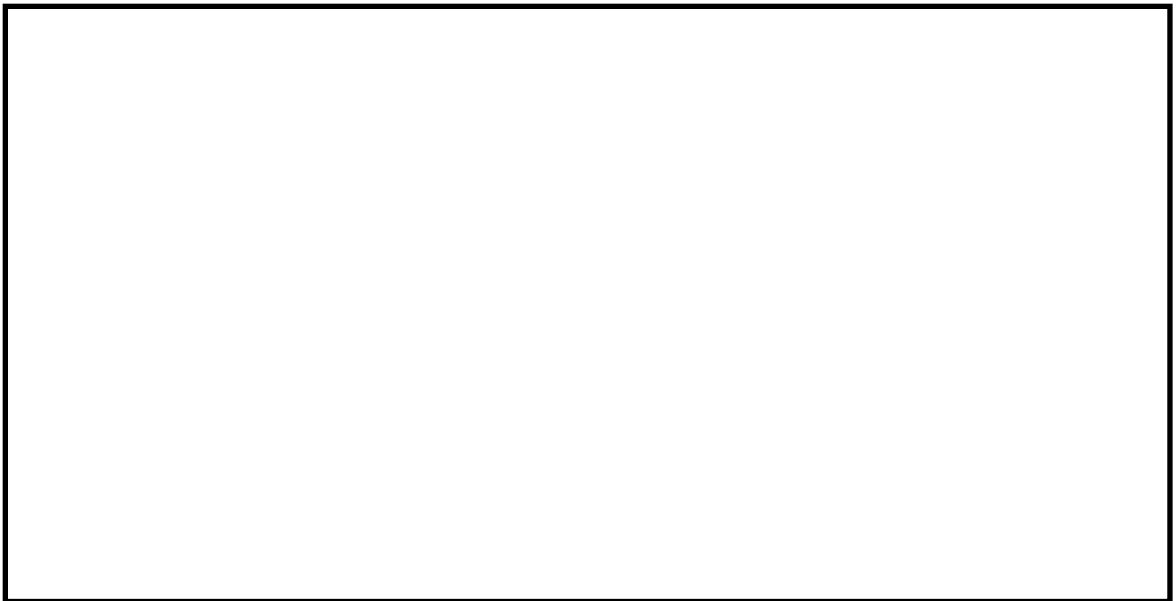


図2-3 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図2-2及び図2-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b11} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g}{n_{fV1} \cdot l_{21}} + \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g}{n_{fH1} \cdot l_{31}} \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.1)$$

$$F_{b21} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot C_H \cdot l_{11} \cdot g}{n_{fV1} \cdot l_{21}} \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.2)$$

$$F_{b1} = \text{Max} (F_{b11}, F_{b21}) \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b11} = m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b21} = m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.7)$$

$$Q_{b1} = \sqrt{(Q_{b11})^2 + (Q_{b21})^2} \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.9)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ (S A) サポートの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{b1} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts1} 以下であること。ただし、 f_{to1} は下表による。

$$f_{ts1} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to1} - 1.6 \cdot \tau_{b1}, f_{to1}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{b1} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb1} 以下であること。ただし、 f_{sb1} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to1}	$\frac{F_1^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb1}	$\frac{F_1^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 評価結果

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール監視カメラ (SA) サポートの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール監視カメラ (SA) サポート	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m ₁ (kg)	h ₁ (mm)	d ₁ (mm)	A _{b1} (mm ²)	n ₁	S _{y1} (MPa)	S _{u1} (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l ₁₁ *2 (mm)	l ₂₁ *2 (mm)	l ₃₁ *2 (mm)	n _{fv1} *2	n _{fh1} *2	F ₁ (MPa)	F ₁ * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	前後方向
	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し, 下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b1}		Q _{b1}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

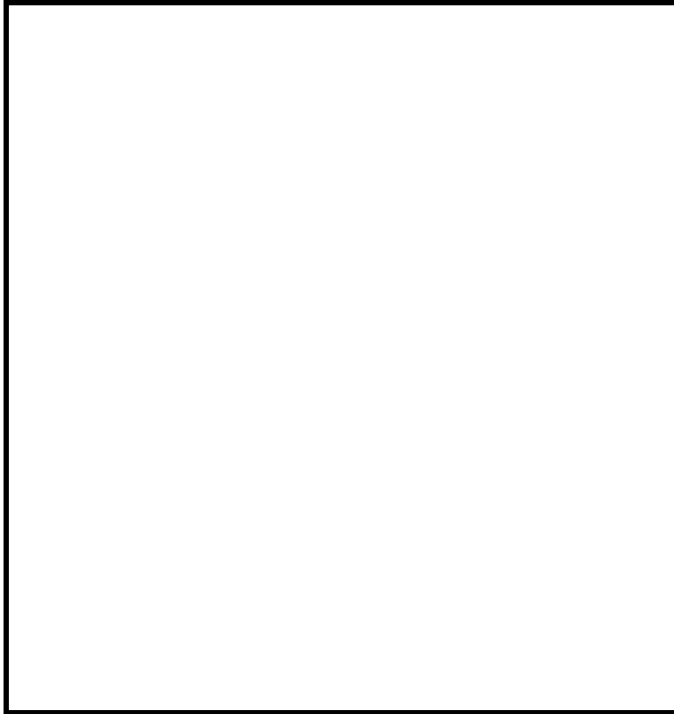
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

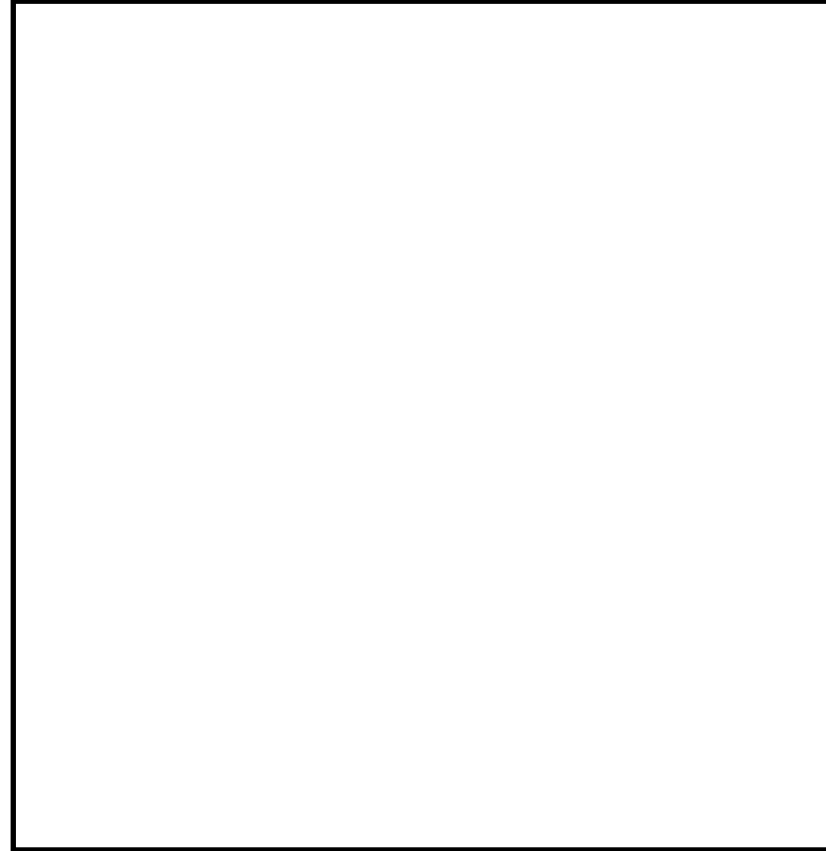
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{ts1} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{sb1} = $ <input type="text"/>

注記*： $f_{ts1} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to1} - 1.6 \cdot \tau_{b1}, f_{to1}]$
 すべて許容応力以下である。

正面
(左右方向)



側面
(前後方向)



3. 監視カメラ制御盤（中央制御室）

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、監視カメラ制御盤（中央制御室）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

監視カメラ制御盤（中央制御室）は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、監視カメラ制御盤（中央制御室）は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

監視カメラ制御盤（中央制御室）の構造計画を表3-1に示す。

表 3-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
監視カメラ制御盤（中央制御室）は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトで基礎に設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立開放型の盤）	

3.3 固有周期

3.3.1 固有周期の確認

監視カメラ制御盤（中央制御室）の固有周期は、設備一式での正弦波掃引試験により確認する。試験の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表3-2に示す。

表3-2 固有周期 (単位：s)

監視カメラ制御盤 (中央制御室)	水平	
	鉛直	

3.4 構造強度評価

3.4.1 構造強度評価方法

監視カメラ制御盤（中央制御室）の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

監視カメラ制御盤（中央制御室）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

3.4.2.2 許容応力

監視カメラ制御盤（中央制御室）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-5 のとおりとする。

3.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

監視カメラ制御盤（中央制御室）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-7 に示す。

3.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【監視カメラ制御盤（中央制御室）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質 の取扱施設 及び 貯蔵施設	その他の核 燃料物質の 取扱施設及 び貯蔵施設	監視カメラ制御盤 (中央制御室)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質 の取扱施設 及び 貯蔵施設	その他の核 燃料物質の 取扱施設及 び貯蔵施設	監視カメラ制御盤 (中央制御室)	常設／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-5 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—
取付ボルト		周囲環境温度				—

表 3-7 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—
取付ボルト		周囲環境温度				—

3.5 機能維持評価

3.5.1 電氣的機能維持評価方法

監視カメラ制御盤（中央制御室）の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

監視カメラ制御盤（中央制御室）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-8 に示す。

表 3-8 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
監視カメラ制御盤（中央制御室）	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

3.6 評価結果

3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

監視カメラ制御盤（中央制御室）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

3.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

監視カメラ制御盤（中央制御室）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【監視カメラ制御盤（中央制御室）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	S	制御室建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{ts1} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{sb1} = $ <input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{ts2} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{sb2} = $ <input type="text"/>

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	常設/防止 常設/緩和	制御室建物 E _i <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{ts1} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{sb1} = $ <input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{ts2} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{sb2} = $ <input type="text"/>

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

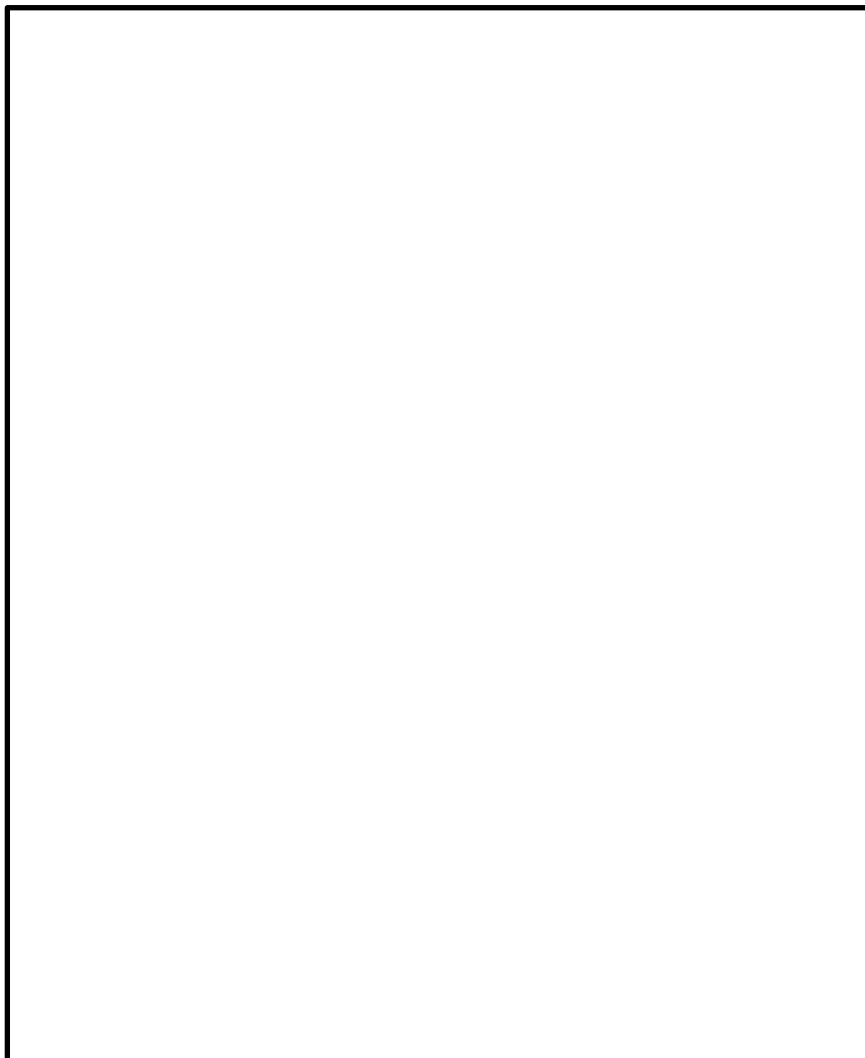
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

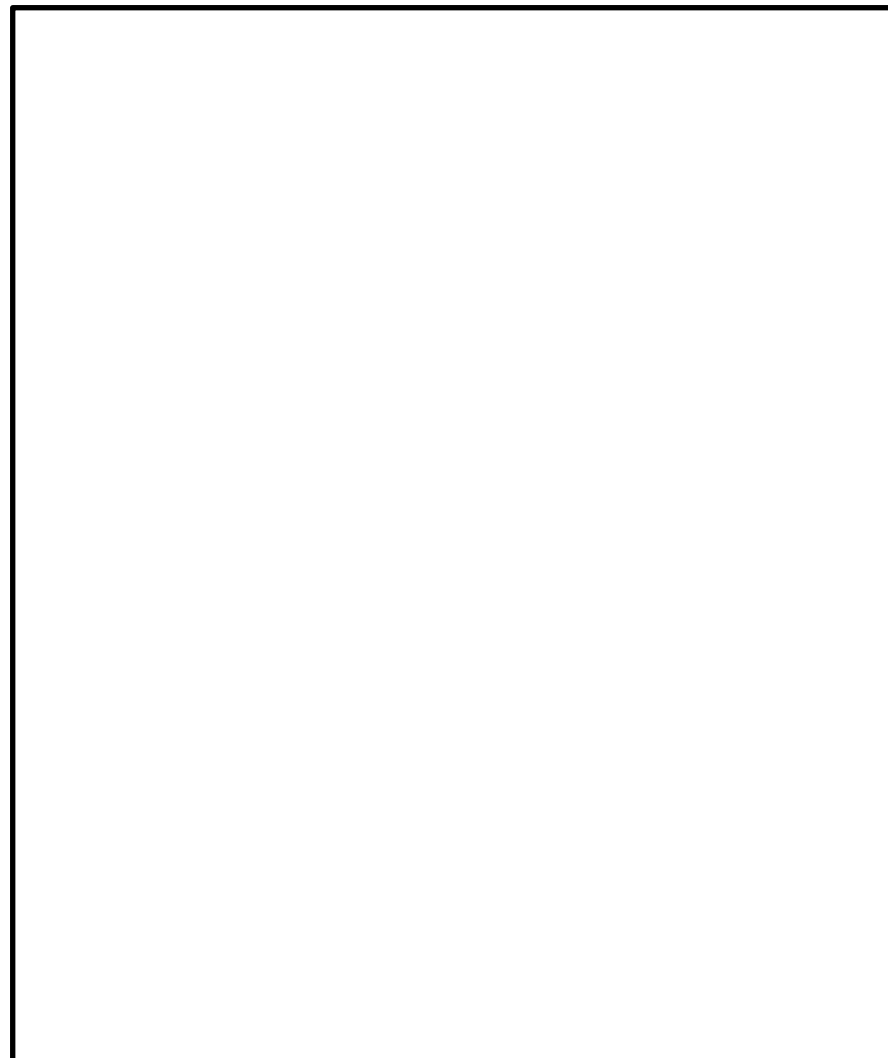
正面
(長辺方向)

側面
(短辺方向)



正面
(長辺方向)

側面
(短辺方向)



4. 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）

4.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、表示（監視モニタ）（緊急時対策所）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）は、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

4.2 一般事項

4.2.1 構造計画

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の構造計画を表4-1に示す。

表 4-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
監視モニタ（ノート PC）を固縛用ベルトにてサポート鋼材に固縛する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにて壁に設置する。	監視モニタ（ノート PC）	

4.2.2 評価方針

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「4.2.1 構造計画」にて示す表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の部位を踏まえ「4.3 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「4.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.7 評価結果」に示す。

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価フローを図4-1に示す。

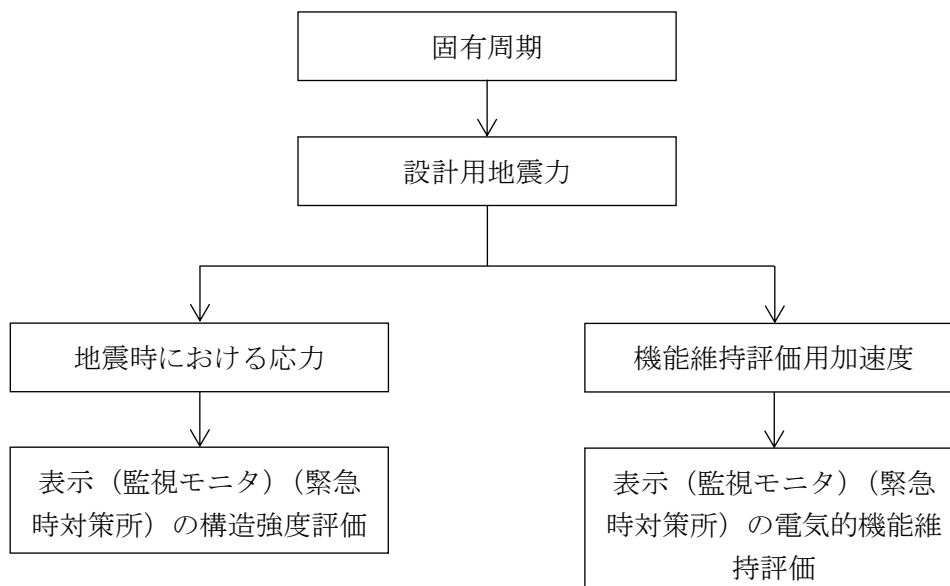


図4-1 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価フロー

4.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

4.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_2	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_3	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
m	表示 (監視モニタ) (緊急時対策所) の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fv}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (前後方向)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (左右方向)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 4-2 に示すとおりである。

表 4-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

4.3 評価部位

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価は、「4.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価部位については、表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4 固有周期

4.4.1 基本方針

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.4.2 固有周期の確認方法

サポート鋼材を含む設備一式での正弦波掃引試験により固有周期を確認する。表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の外形図を表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-3 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期 (単位：s)

水平	
鉛直	

4.5 構造強度評価

4.5.1 構造強度評価方法

- (1) 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は表示（監視モニタ）（緊急時対策所）に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）は基礎ボルトで壁に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面より見て左右方向及び前後方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

4.5.2.2 許容応力

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-5 のとおりとする。

4.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	表示（監視モニタ） （緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—

4.5.3 設計用地震力

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-7に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表4-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急時対策所 EL <input type="text"/> (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	$C_H = $ <input type="text"/> *2	$C_V = $ <input type="text"/> *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度II（基準地震動 S_s ）

4.5.4 計算方法

4.5.4.1 応力の計算方法

4.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

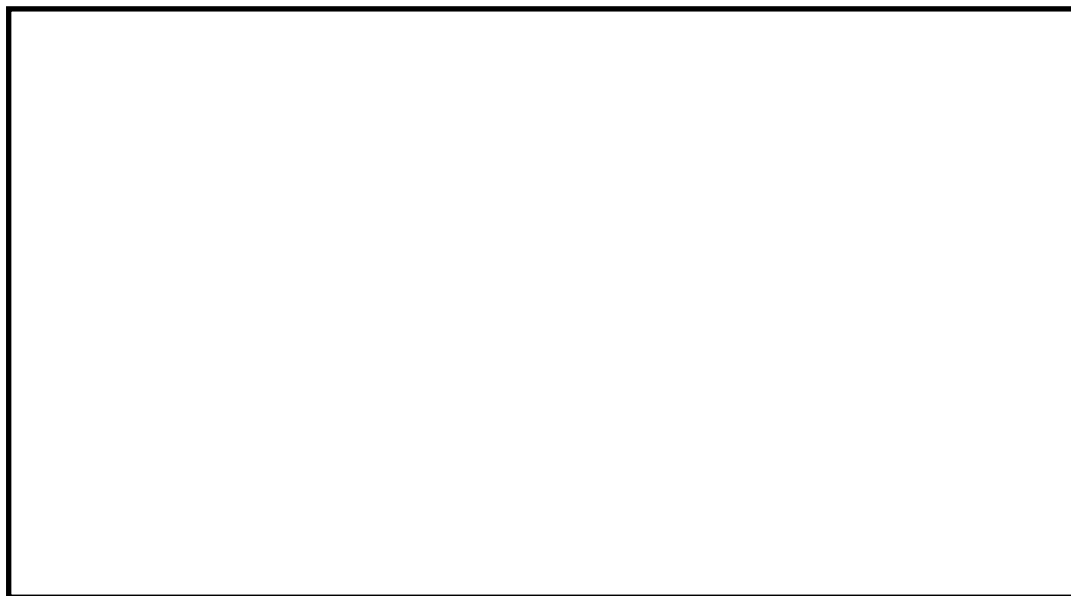


図4-2 計算モデル（左右方向転倒）



図4-3 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図4-2及び図4-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot (1 + C_v) \cdot h \cdot g}{n_{fv} \cdot l_2} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot l_3} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.1)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot (1 + C_v) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot l_1 \cdot g}{n_{fv} \cdot l_2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_v) \cdot g \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.9)$$

4.5.5 計算条件

4.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.5.6 応力の評価

4.5.6.1 ボルトの応力評価

4.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.6 機能維持評価

4.6.1 電氣的機能維持評価方法

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表4-8に示す。

表4-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
表示（監視モニタ） （緊急時対策所）	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

4.7 評価結果

4.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
表示（監視モニタ） （緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和	緊急時対策所 EL <input type="text"/> (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	ℓ ₁ *2 (mm)	ℓ ₂ *2 (mm)	ℓ ₃ *2 (mm)	n _{fV} *2	n _{fH} *2	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	前後方向
	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_b =$ <input type="text"/>	$f_{ts} =$ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_b =$ <input type="text"/>	$f_{sb} =$ <input type="text"/>

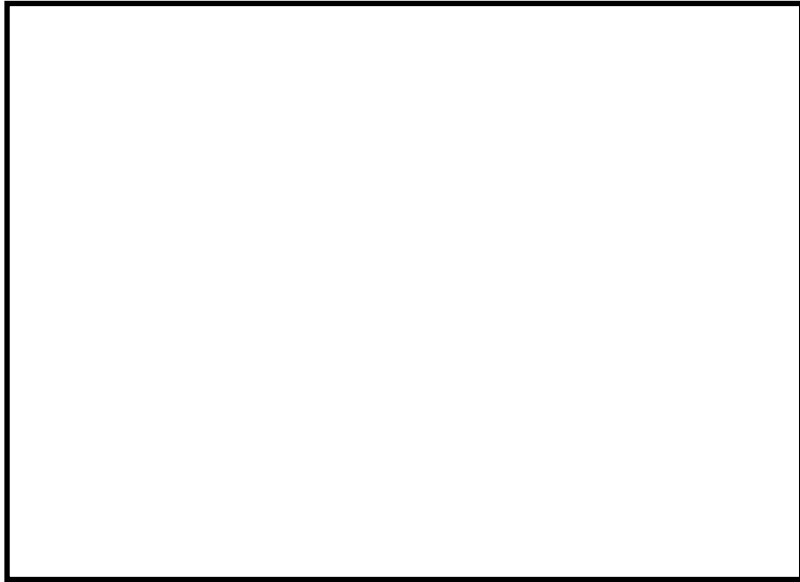
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
表示 (監視モニタ) (緊急時対策所)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
 機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



平面



正面
(左右方向)



側面
(前後方向)

VI-2-4-4-2 燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 基本方針	8
4.2 固有周期の確認方法	8
4.3 固有周期の確認結果	8
5. 構造強度評価	9
5.1 構造強度評価方法	9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.5 計算条件	22
5.6 応力の評価	23
6. 機能維持評価	24
6.1 電氣的機能維持評価方法	24
7. 評価結果	25
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	25

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、燃料プール監視カメラ用冷却設備が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

燃料プール監視カメラ用冷却設備は、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール監視カメラ用冷却設備の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>コンプレッサーはコンプレッサー取付ボルト、ドライヤーはドライヤー取付ボルト、フローメータ、レギュレータ架台はフローメータ、レギュレータ架台取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。</p> <p>チャンネルベースは、基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>コンプレッサー、ドライヤー、フローメータ、レギュレータ</p>	

2.2 評価方針

燃料プール監視カメラ用冷却設備の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す燃料プール監視カメラ用冷却設備の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、燃料プール監視カメラ用冷却設備の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価フローを図2-1に示す。

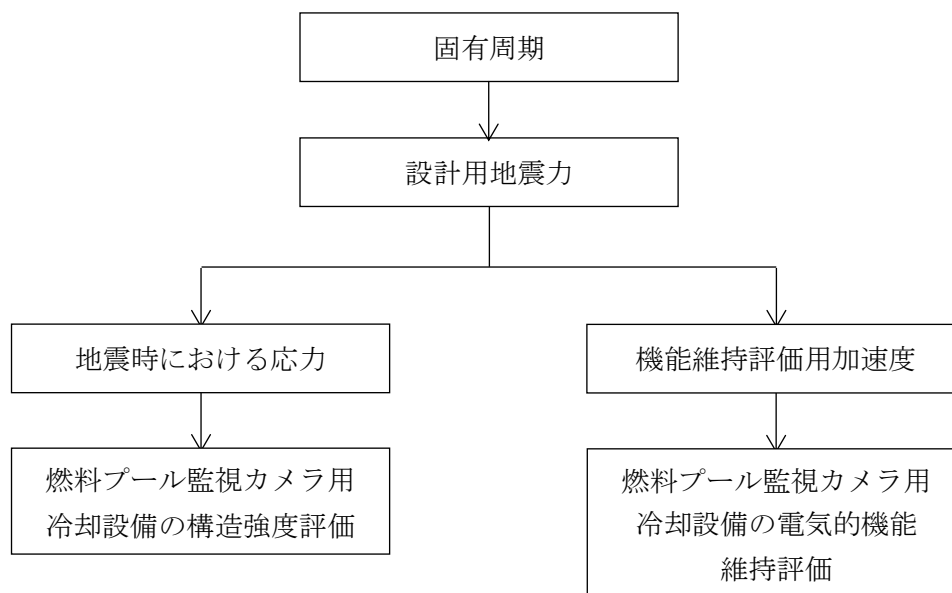


図2-1 燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) * ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
m_i	燃料プール監視カメラ用冷却設備の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: コンプレッサー取付ボルト

$i = 3$: ドライヤー取付ボルト

$i = 4$: フローメータ, レギュレータ架台取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: コンプレッサー取付面

$i = 3$: ドライヤー取付面

i =4 : フローメータ, レギュレータ架台取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

燃料プール監視カメラ用冷却設備の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

設備一式での正弦波掃引試験により固有周期を確認する。燃料プール監視カメラ用冷却設備の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

燃料プール監視カメラ用冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	
	鉛直	
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	
	鉛直	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 燃料プール監視カメラ用冷却設備の各機器の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は燃料プール監視カメラ用冷却設備に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 燃料プール監視カメラ用冷却設備はチャンネルベースに固定されており、固定端とする。
また、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 燃料プール監視カメラ用冷却設備の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール監視カメラ用冷却設備の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

燃料プール監視カメラ用冷却設備の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール監視カメラ用冷却設備の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	燃料プール監視カメラ用 冷却設備	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
コンプレッサー取付ボルト		周囲環境温度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
ドライヤー取付ボルト		周囲環境温度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
フローメータ, レギュレータ 架台取付ボルト		周囲環境温度	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—

5.3 設計用地震力

燃料プール監視カメラ用冷却設備の設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-4に示す。

「基準地震動S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		減衰定数 (%)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	—	C _H = <input type="text"/> *3	C _V = <input type="text"/> *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動S_s）により得られる震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）



図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{21} \cdot g}{n_{f1} \cdot (l_{11} + l_{21})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 コンプレッサー取付ボルトの計算方法

コンプレッサー取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図5-3 計算モデル（短辺方向転倒）



図5-4 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

コンプレッサー取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{22} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{12} + l_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、コンプレッサー取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

コンプレッサー取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 ドライヤー取付ボルトの計算方法

ドライヤー取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

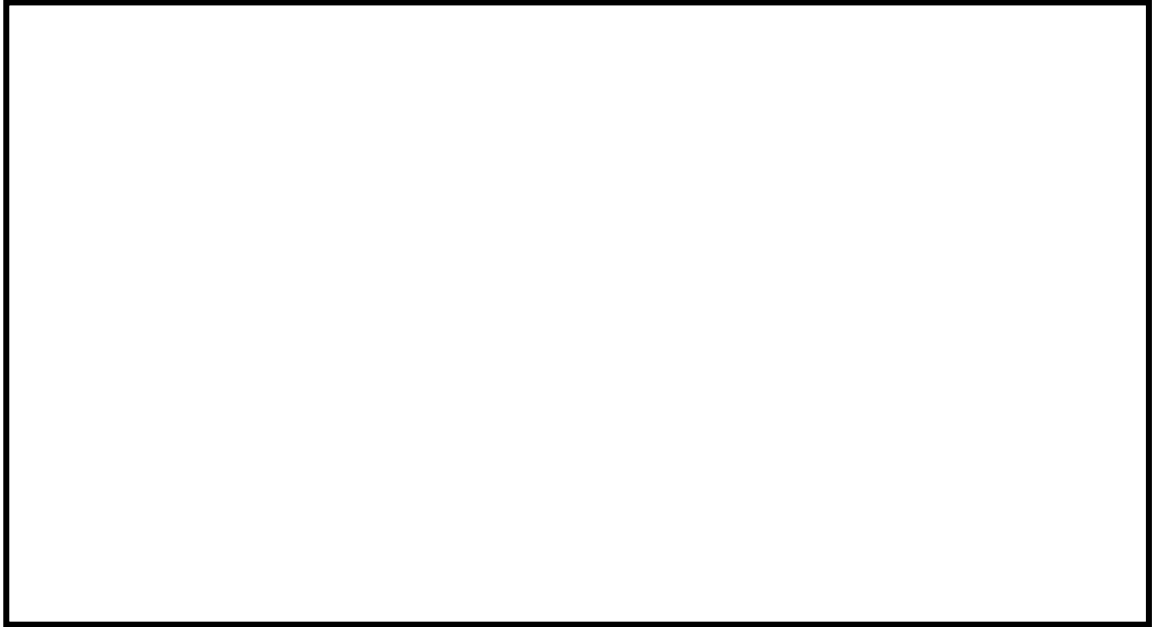


図5-5 計算モデル（短辺方向転倒）

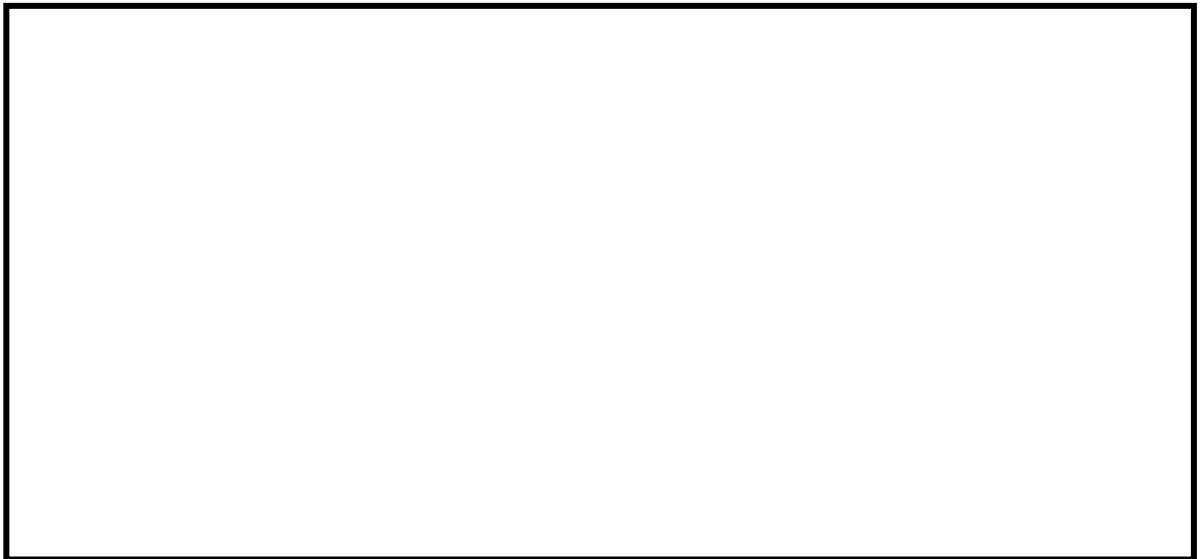


図5-6 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ドライヤー取付ボルトに対する引張力は、図5-5及び図5-6でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b3} = \frac{m_3 \cdot C_H \cdot h_3 \cdot g + m_3 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{23} \cdot g}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、ドライヤー取付ボルトの軸断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

(2) せん断応力

ドライヤー取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b3} = m_3 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

5.4.1.4 フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの計算方法

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図5-7 計算モデル（短辺方向転倒）



図5-8 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトに対する引張力は，図5-7及び図5-8でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b4} = \frac{m_4 \cdot C_H \cdot h_4 \cdot g + m_4 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{24} \cdot g}{n_{f4} \cdot (l_{14} + l_{24})} \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{A_{b4}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

ここで，フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの軸断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

(2) せん断応力

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b4} = m_4 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 コンプレッサー取付ボルトの応力計算条件

コンプレッサー取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.3 ドライヤー取付ボルトの応力計算条件

ドライヤー取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.4 フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの応力計算条件

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール監視カメラ用冷却設備の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、本設備は柔構造であるが、筐体を含む設備一式での加振試験を実施しているため、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設置床の最大応答加速度を設定する。

燃料プール監視カメラ用冷却設備の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール監視カメラ用冷却設備の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール監視カメラ用 冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ 用冷却設備)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *3	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>




























注記*1：基準床レベルを示す

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）により得られる震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i=3)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
フローメータ、レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l_{1i}^{*2} (mm)	l_{2i}^{*2} (mm)	n_{fi}^{*2}	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	 *1	 *1		—		—	長辺方向
	 *1	 *1					
コンプレッサー取付ボルト ($i=2$)				—		—	短辺方向
							
ドライヤー取付ボルト ($i=3$)				—		—	短辺方向
							
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト ($i=4$)	 *1	 *1		—		—	短辺方向
	 *1	 *1					

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i = 2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i = 3)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i = 4)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	□	引張	—	—	$\sigma_{b1} = \square$	$f_{ts1} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = \square$	$f_{sb1} = \square$
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	□	引張	—	—	$\sigma_{b2} = \square$	$f_{ts2} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = \square$	$f_{sb2} = \square$
ドライヤー取付ボルト (i=3)	□	引張	—	—	$\sigma_{b3} = \square$	$f_{ts3} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = \square$	$f_{sb3} = \square$
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	□	引張	—	—	$\sigma_{b4} = \square$	$f_{ts4} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} = \square$	$f_{sb4} = \square$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

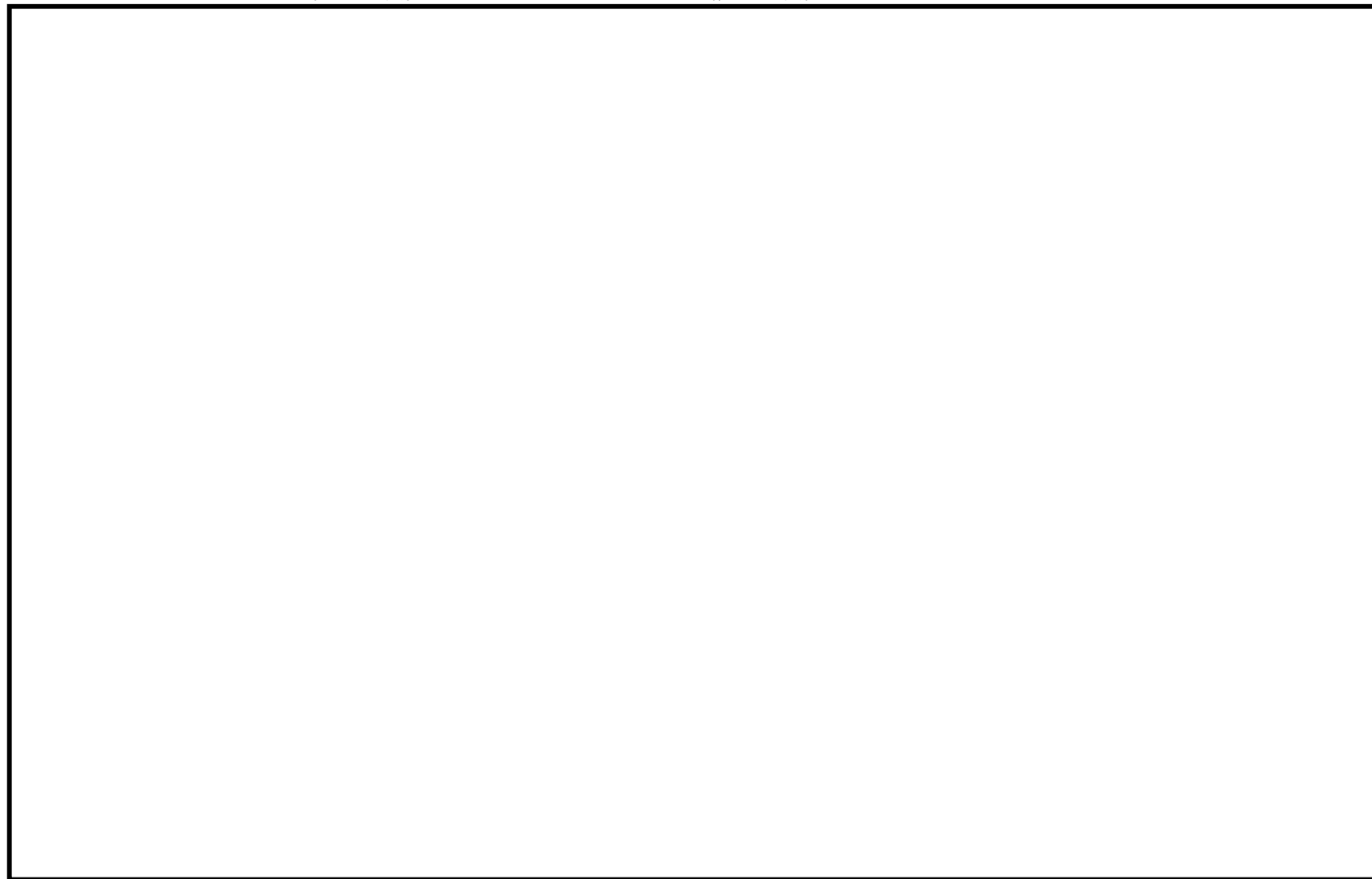
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平方向	□	□
	鉛直方向	□	□

注記* : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
 機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

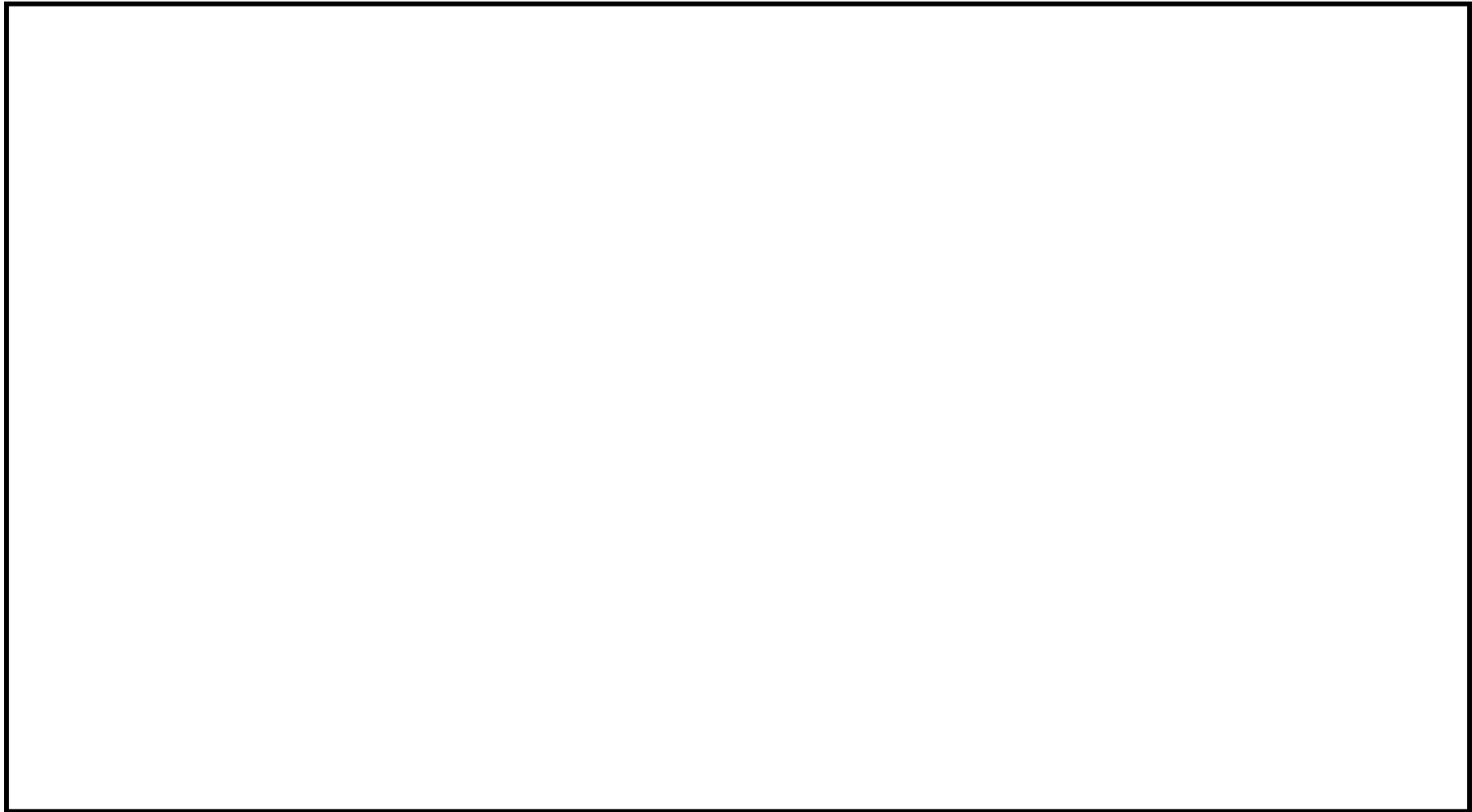
正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



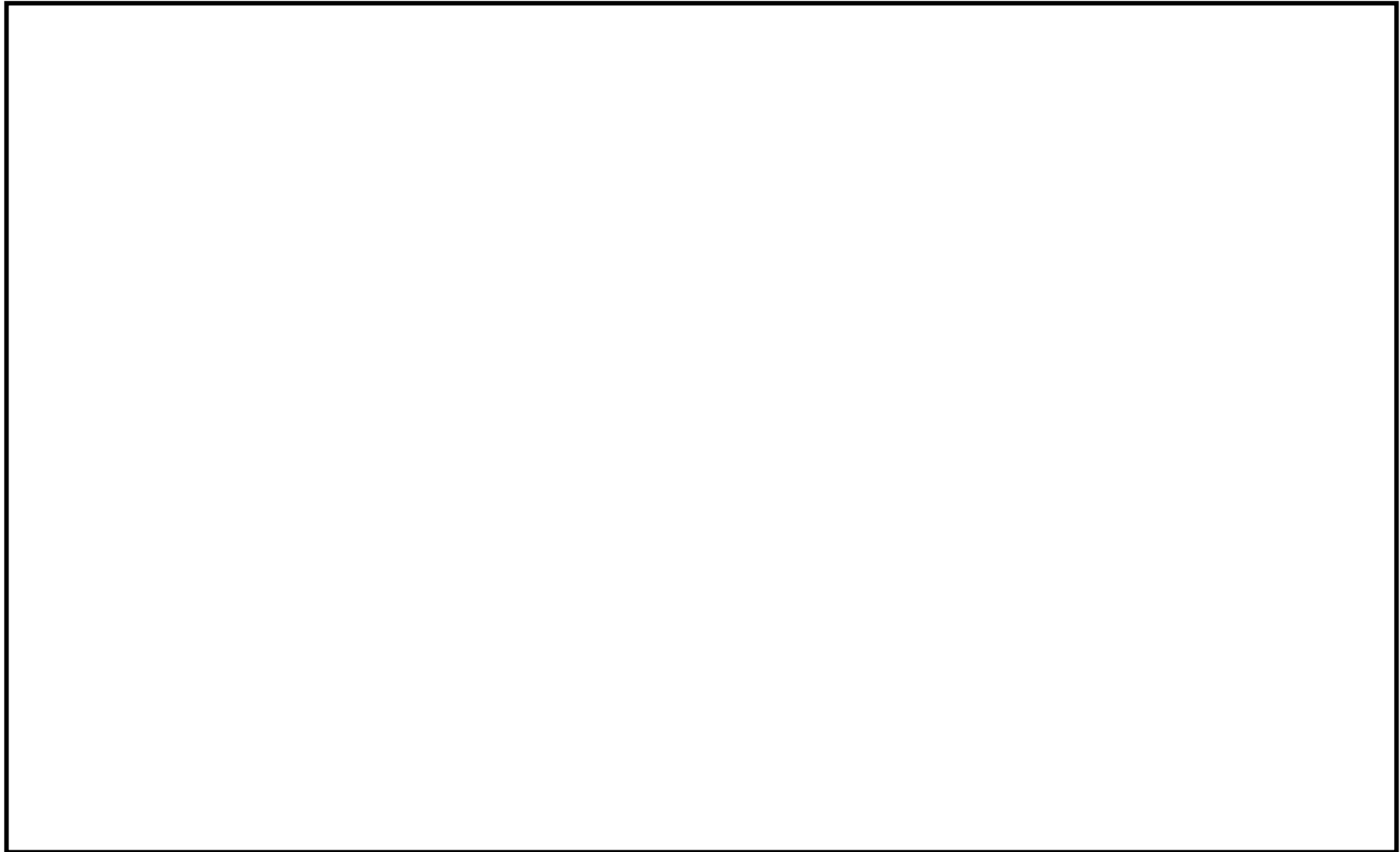
正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



【燃料プール監視カメラ用冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ用冷却設備) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール監視カメラ用 冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ 用冷却設備)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *3	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>




























注記*1: 基準床レベルを示す

*2: 設計用震度II (基準地震動 S_s)

*3: 設計用床応答スペクトルII (基準地震動 S_s) により得られる震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i=3)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l_{1i}^{*2} (mm)	l_{2i}^{*2} (mm)	n_{fi}^{*2}	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	 *1	 *1		—		—	長辺方向
	 *1	 *1					
コンプレッサー取付ボルト ($i=2$)				—		—	短辺方向
							
ドライヤー取付ボルト ($i=3$)				—		—	短辺方向
							
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト ($i=4$)	 *1	 *1		—		—	短辺方向
	 *1	 *1					

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し, 下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i = 2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i = 3)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i = 4)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	□	引張	—	—	$\sigma_{b1} = \square$	$f_{ts1} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = \square$	$f_{sb1} = \square$
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	□	引張	—	—	$\sigma_{b2} = \square$	$f_{ts2} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = \square$	$f_{sb2} = \square$
ドライヤー取付ボルト (i=3)	□	引張	—	—	$\sigma_{b3} = \square$	$f_{ts3} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = \square$	$f_{sb3} = \square$
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	□	引張	—	—	$\sigma_{b4} = \square$	$f_{ts4} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} = \square$	$f_{sb4} = \square$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

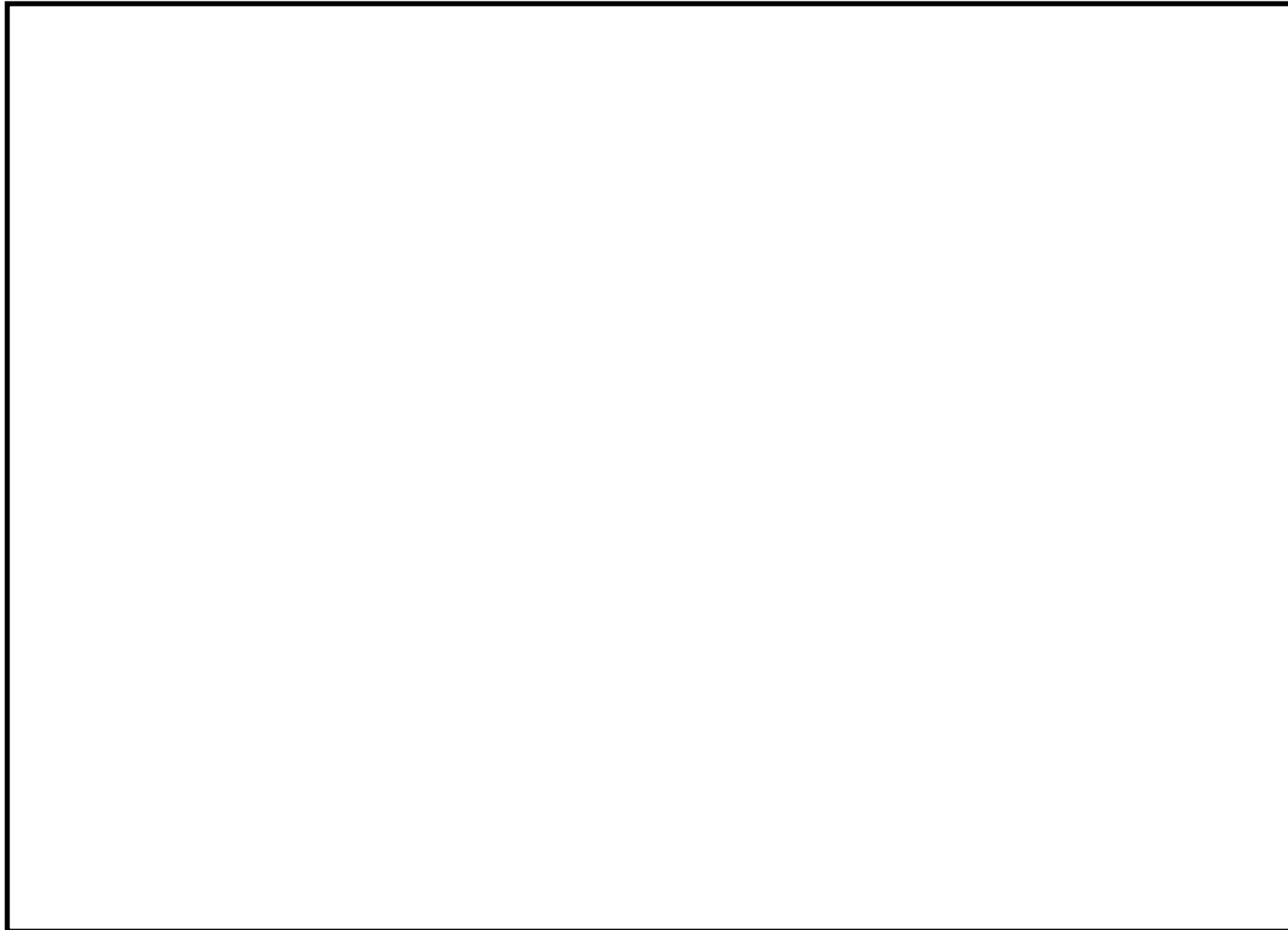
($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平方向	□	□
	鉛直方向	□	□

注記* : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
 機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

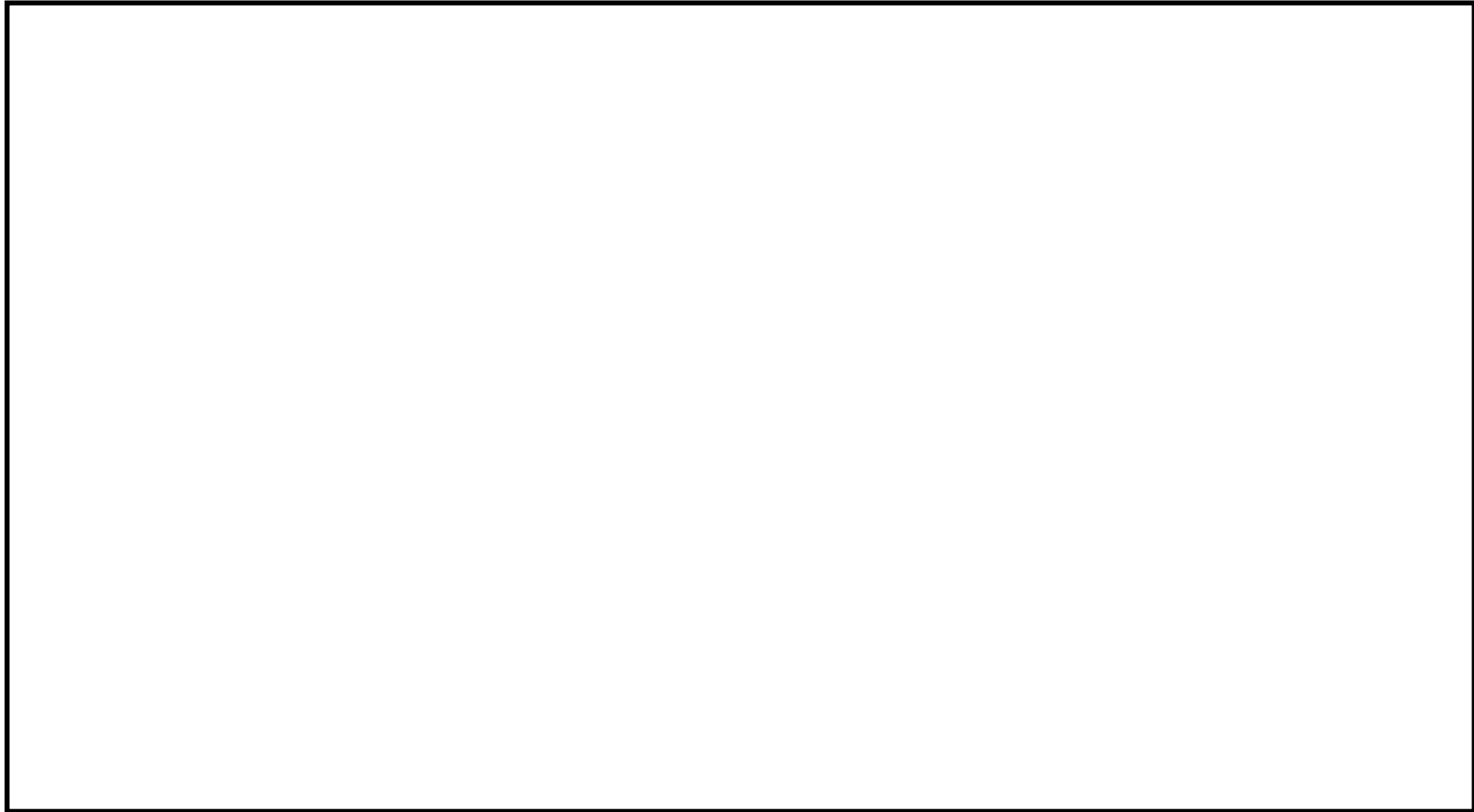
正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



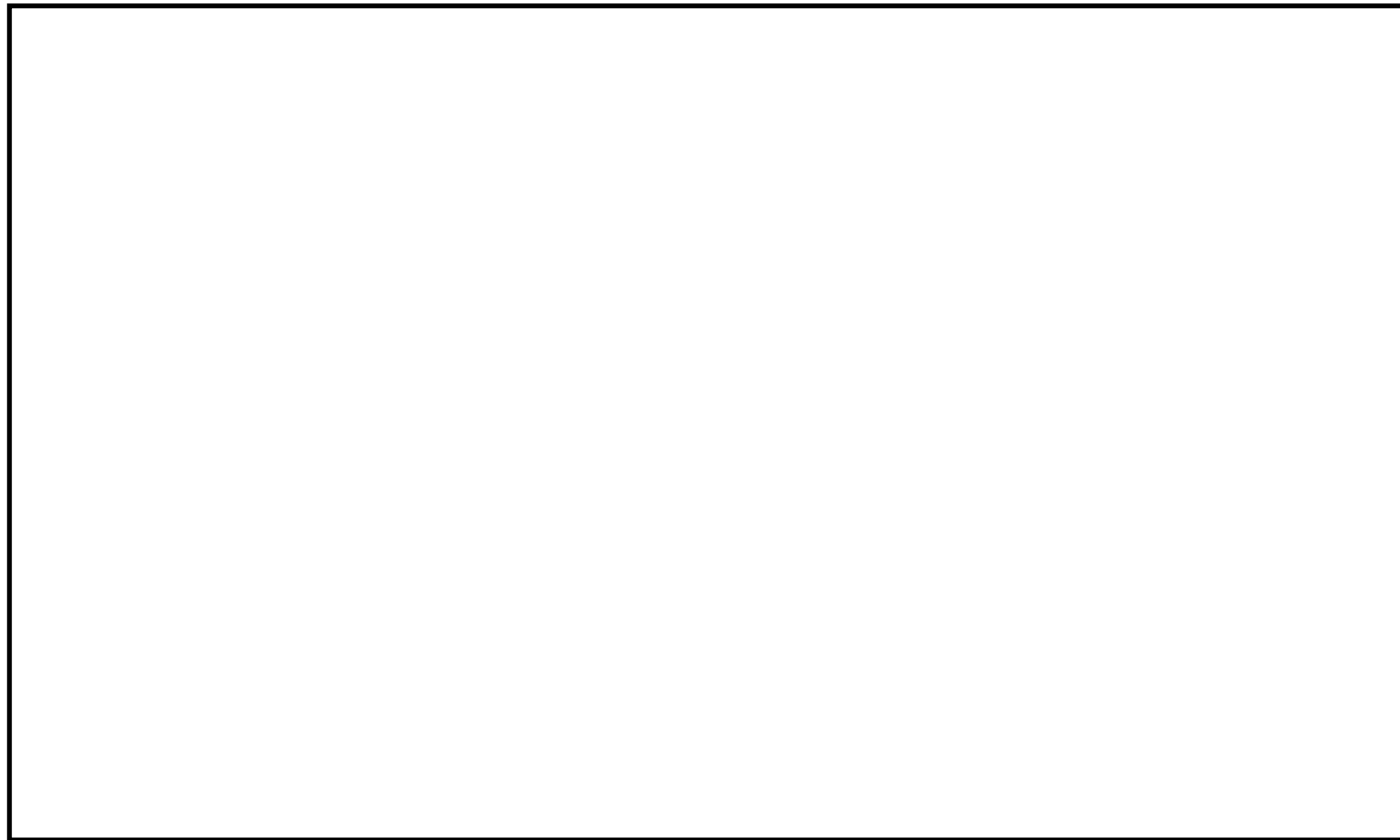
正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



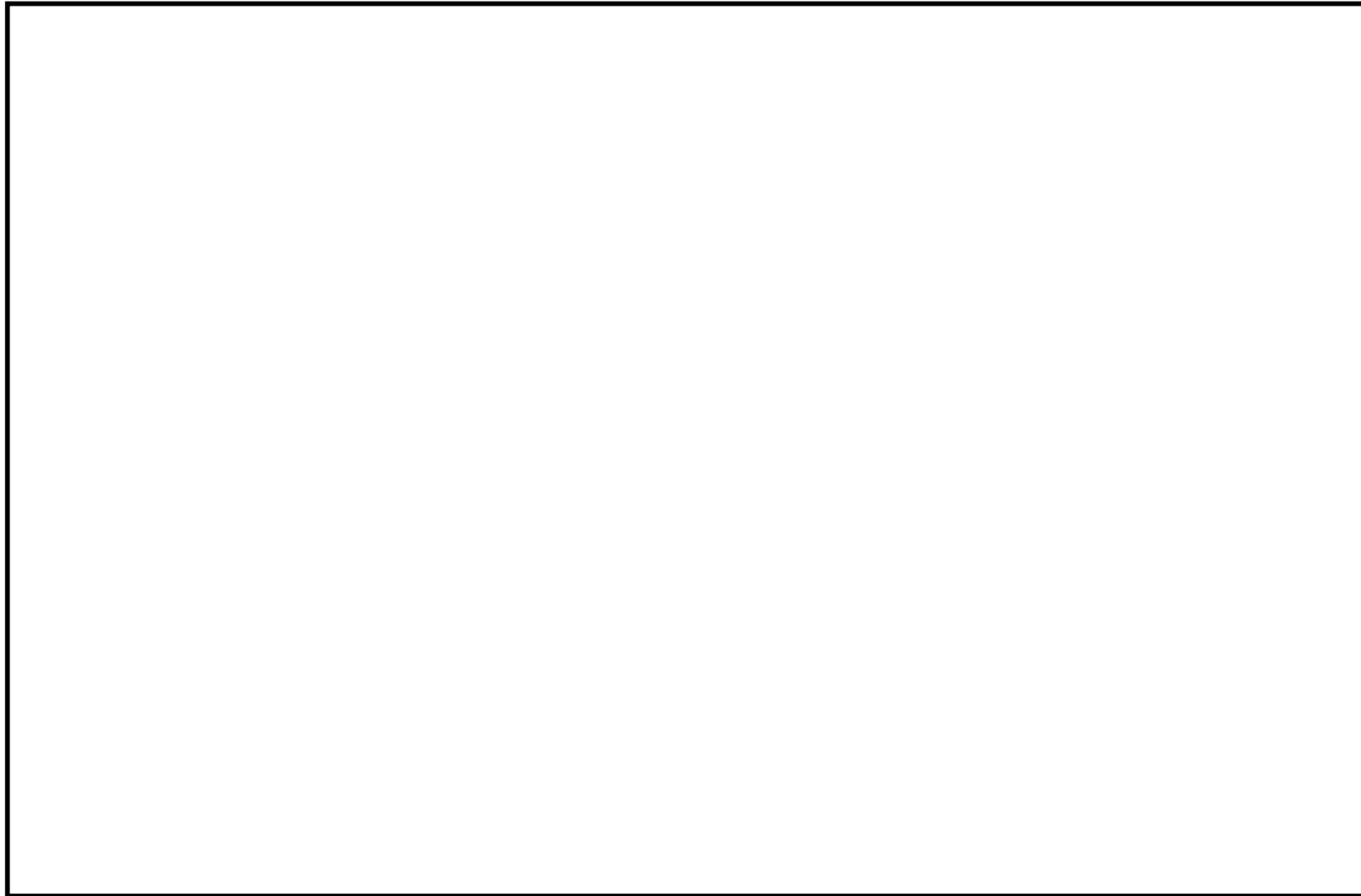
正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



正面
(短辺方向)

側面
(長辺方向)



VI-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、原子炉冷却系統施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉冷却系統施設に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

原子炉冷却系統施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載する。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材 再循環設備	原子炉再循環系	ポンプ	S	有	VI-2-5-2-1-1	—	—	—
		原子炉再循環系	主配管	S	有	VI-2-5-2-1-1	—	—	—
	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ	S	無	VI-2-5-3-1-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-5-3-1-1
			逃がし安全弁自動減圧 機能用アキュムレータ	S	無	VI-2-5-3-1-1	—	—	—
			逃がし安全弁	S	有	VI-2-5-3-1-2	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-5-3-1-2
			主要弁	S	有	VI-2-5-3-1-2	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-3-1-2	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-5-3-1-2
			主配管	S	有	VI-2-5-3-1-2	—	—	—
			主配管	B	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-3-1-2
			主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (2/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材 の循環設備	給水系	主要弁	S	有	VI-2-5-3-2-1	—	—	—
		主配管	S	有	VI-2-5-3-2-1	—	—	—	
	残留熱除去設備	残留熱除去系	残留熱除去系熱交換器	S	有	VI-2-5-4-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-1
			残留熱除去ポンプ	S	有	VI-2-5-4-1-2	常設/防止* ³ (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系 ストレーナ	S	有	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7	常設/防止* ⁴ (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7
			主要弁	S	有	VI-2-5-4-1-4	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-4-1-4	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-4-1-4	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-4
			主配管	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (3/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	主配管 (原子炉冷却材再循環 設備 原子炉再循環系 に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-2-1-1
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2
			ジェットポンプ (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-5

表 2-1 耐震評価条件一覧表(4/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	原子炉格納容器 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-10
			主配管 (A-ドライウェ ルスプレイ管) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-4-4-1-1
			主配管 (B-ドライウェ ルスプレイ管) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-4-4-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (5/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器 フィルタベント系	主配管（サプレッション ンチェンバスプレイ 管） （原子炉格納施設に記 載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-9-4-4-1-2
			原子炉格納容器 （原子炉格納施設に記 載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-1
			原子炉格納容器配管貫 通部 （原子炉格納施設に記 載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-10
			主配管 （原子炉格納施設 放 射性物質濃度制御設備 及び可燃性ガス濃度制 御設備並びに格納容器 再循環設備 非常用ガ ス処理系に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-4-5-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (6/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器フィルタベント系	主要弁 (原子炉格納施設 原子炉格納容器調気設備窒素ガス制御系に記載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-1
			主配管 (原子炉格納施設 原子炉格納容器調気設備窒素ガス制御系に記載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-1
			主要弁 (原子炉格納施設 圧力逃がし装置 格納容器フィルタベント系に記載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (7/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器 フィルタベント系	圧力開放板 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-1
			主配管 (原子炉格納施設 圧力逃がし装置 格納容器フィルタベント系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-1
			第1ベントフィルタスクラバ容器 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-2
			第1ベントフィルタ銀ゼオライト容器 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-3

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (8/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	高圧炉心スプレイポン プ	S	有	VI-2-5-5-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-1-1
			高圧炉心スプレイ系 ストレーナ	S	有	VI-2-5-5-1-2 VI-2-5-5-1-4 VI-2-5-5-1-5 VI-2-5-5-1-6	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-1-2 VI-2-5-5-1-4 VI-2-5-5-1-5 VI-2-5-5-1-6
			主要弁	S	有	VI-2-5-5-1-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-1-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-1-3	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-5-1-3
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (9/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	高圧炉心スプレイスパー ージャ (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-7
			高圧炉心スプレイ系配 管 (原子炉圧力容器内 部) (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-9
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記 載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (X-35, X-210) (原子炉格納施設に記 載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件一覧表(10/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイポン プ	S	有	VI-2-5-5-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-1
			低圧炉心スプレイ系 ストレーナ	S	有	VI-2-5-5-2-2 VI-2-5-5-2-4 VI-2-5-5-2-5 VI-2-5-5-2-6	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-2 VI-2-5-5-2-4 VI-2-5-5-2-5 VI-2-5-5-2-6
			主要弁	S	有	VI-2-5-5-2-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-2-3	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-3
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表(11/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイスパー ージャ (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-7
			低圧炉心スプレイ系配 管(原子炉圧力容器内 部) (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-9
			原子炉格納容器(サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記 載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記 載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (12/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	高圧原子炉代替注水ポンプ	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-5-3-1
			主配管	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-5-3-2
			主配管 (原子炉冷却材の循環設備 主蒸気系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-3-1-2
			主配管 (原子炉冷却材の循環設備 給水系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-3-2-1
			C-残留熱除去系ストレーナ (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7
			主配管 (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-4-1-4

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (13/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	主配管 (原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-5-6-1-3
			主配管 (原子炉冷却材浄化設備 原子炉浄化系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-5-8-1-1
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-3-1-2
			給水スパーージャ (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-3-3-6

表 2-1 耐震評価条件一覧表(14/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	原子炉格納容器（サブ レッションチェンバ） （原子炉格納施設に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 （原子炉格納施設に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-10
	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却系 ストレナ	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-5-4-1 VI-2-5-6-1-4	
		主配管 （原子炉冷却材の循環 設備 主蒸気系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-3-1-2	
		主配管 （原子炉冷却材の循環 設備 給水系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-3-2-1	

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (15/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却ポンプ（駆動用蒸気タービン含む。） （原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-6-1-1 VI-2-5-6-1-2
			主配管 （原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-6-1-3
			主配管 （原子炉冷却材浄化設備 原子炉浄化系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-8-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表(16/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2
			給水スパーージャ (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-6
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (17/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧原子炉代替注水系	低圧原子炉代替注水ポンプ	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-5-5-5-1
			低圧原子炉代替注水槽	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-2-33
			主配管	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-5-5-5-2
			主配管 (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-5-4-1-4
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-3-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (18/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧原子炉代替注水系	低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部） （原子炉本体に記載）	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-3-3-3-8
			原子炉格納容器配管貫通部 （原子炉格納施設に記載）	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-9-2-10
	残留熱除去系		残留熱除去系熱交換器 （残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—*2	—	常設／防止 （DB 拡張）	—	VI-2-5-4-1-1
			残留熱除去ポンプ （残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—*2	—	常設／防止 （DB 拡張）	—	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系ストレーナ （残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—*2	—	常設／防止 （DB 拡張）	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7

表 2-1 耐震評価条件一覧表(19/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系	主配管 (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (20/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	ほう酸水注入系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉压力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-1-2
			差圧検出・ほう酸水注 入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管） (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-2-5
			差圧検出・ほう酸水注 入系配管（原子炉圧力 容器内部） (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-3-10

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (21/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	ほう酸水注入系	ほう酸水注入ポンプ (計測制御系統施設 に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-1
			ほう酸水貯蔵タンク (計測制御系統施設 に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-2
			主配管 (計測制御系統施設 に記載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-3
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記 載)	—	—*2	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (22/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備	水の供給設備	ほう酸水貯蔵タンク (計測制御系統施設 に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-2
			低圧原子炉代替注水槽 (非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備 低圧原子炉代替注水系 に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-2-33
	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却ポン プ(駆動用蒸気タービ ン含む。)	S	有	VI-2-5-6-1-1 VI-2-5-6-1-2	—	—	—
			主要弁	S	有	VI-2-5-6-1-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-6-1-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (23/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却系（原子炉補機海水系を含む。）	原子炉補機冷却系熱交換器	S	有	VI-2-5-7-1-1	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-1
			原子炉補機冷却水ポンプ	S	有	VI-2-5-7-1-2	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-2
			原子炉補機海水ポンプ	S	有	VI-2-5-7-1-3	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-3
			原子炉補機冷却系サージタンク	S	有	VI-2-5-7-1-4	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-4
			原子炉補機海水ストレーナ	S	無	VI-2-5-7-1-5	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-5
			主要弁	S	有	VI-2-5-7-1-6	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-7-1-6	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-6
			主配管	S	有	VI-2-5-7-1-6	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (24/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	(高圧炉心スプレ イ補機海水系を 含む。)	高圧炉心スプレイ補機 冷却系熱交換器	S	有	VI-2-5-7-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-1
			高圧炉心スプレイ補機 冷却水ポンプ	S	有	VI-2-5-7-2-2	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-2
			高圧炉心スプレイ補機 海水ポンプ	S	有	VI-2-5-7-2-3	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-3
			高圧炉心スプレイ補機 冷却系サージタンク	S	有	VI-2-5-7-2-4	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-4
			高圧炉心スプレイ補機 海水ストレーナ	S	無	VI-2-5-7-2-5	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-5
			主配管	S	有	VI-2-5-7-2-6	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-6

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (25/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機代替冷却系	主配管	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-7-3-1
			残留熱除去系熱交換器 (残留熱除去設備 残 留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-4-1-1
			A-原子炉補機冷却系サ ージタンク (原子炉補 機冷却系 (原子炉補機 海水系を含む。) に記 載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-7-1-4
			主配管 (原子炉補機冷却設備 原子炉補機冷却系 (原 子炉補機海水系を含 む。) に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-7-1-6
	原子炉浄化設備	原子炉浄化系	主要弁	S	有	VI-2-5-8-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-8-1-1	—	—	—

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：本工事計画で新規に申請する設備であることから，差異比較の対象外

*3：C-残留熱除去ポンプは低圧注水モードのみで使用するためDB設備とする。

*4：C-残留熱除去系ストレーナは低圧注水モードのみで使用するためDB設備とする。

VI-2-5-2 原子炉冷却材再循環設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-2-1 原子炉再循環系の耐震性についての計算書

VI-2-5-2-1-1 管の耐震性についての計算書
(原子炉再循環系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	27
3.5 設計用地震力	28
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	35
4.2.1 管の応力評価結果	35
4.2.2 支持構造物評価結果	37
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	38
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	39

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉再循環系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






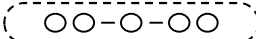

(3) 弁

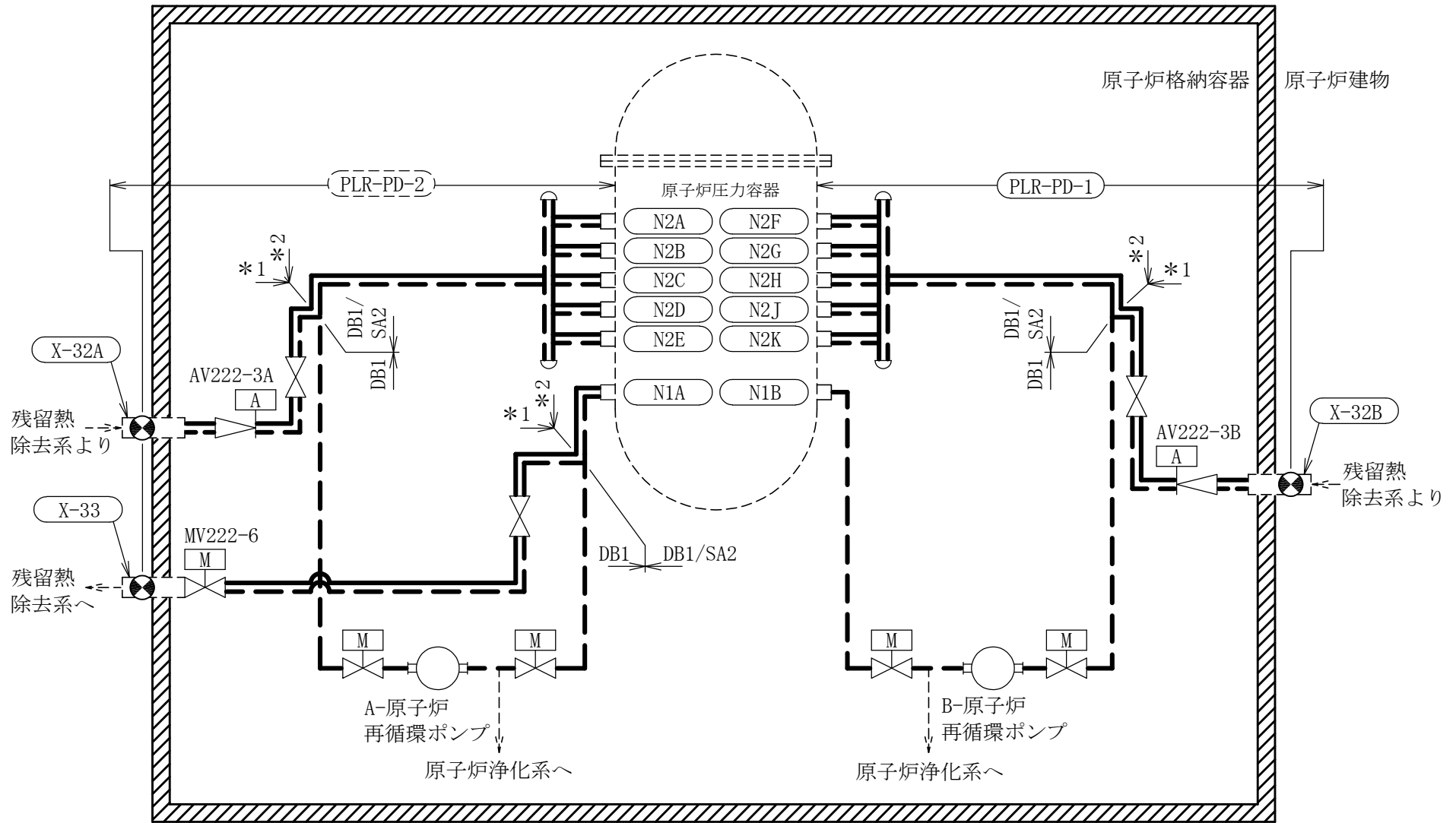
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管





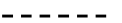


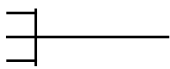
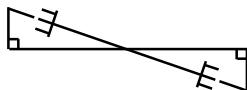
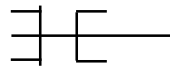
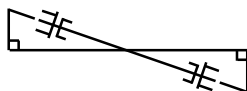

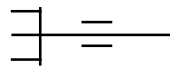
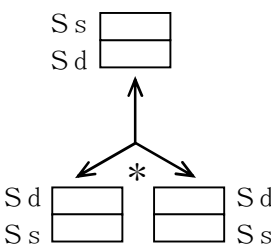
注記*1：残留熱除去系の申請範囲であるが、計算結果は本システムに含めて示す。

*2：残留熱除去系との兼用範囲である。

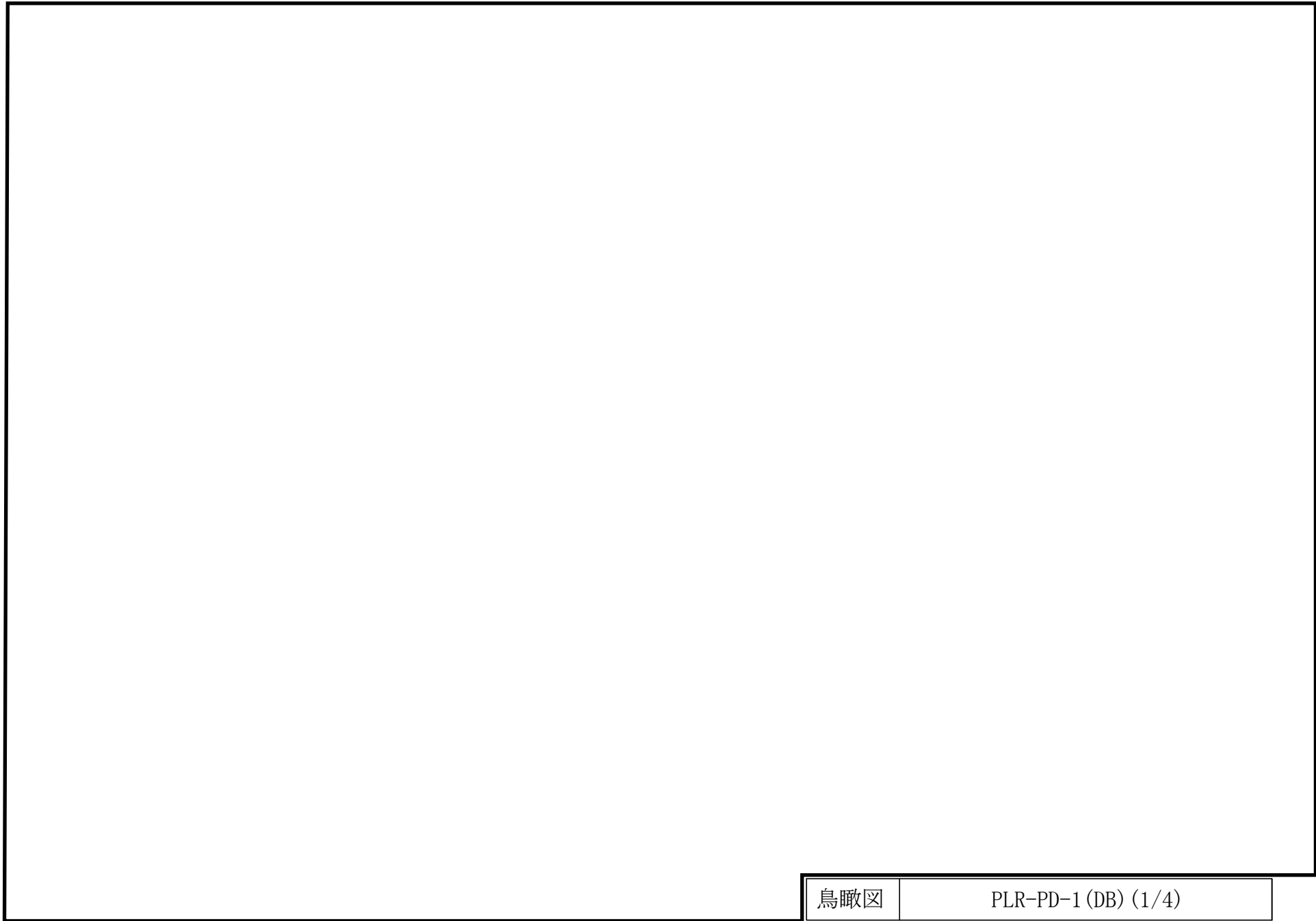
原子炉再循環系概略系統図

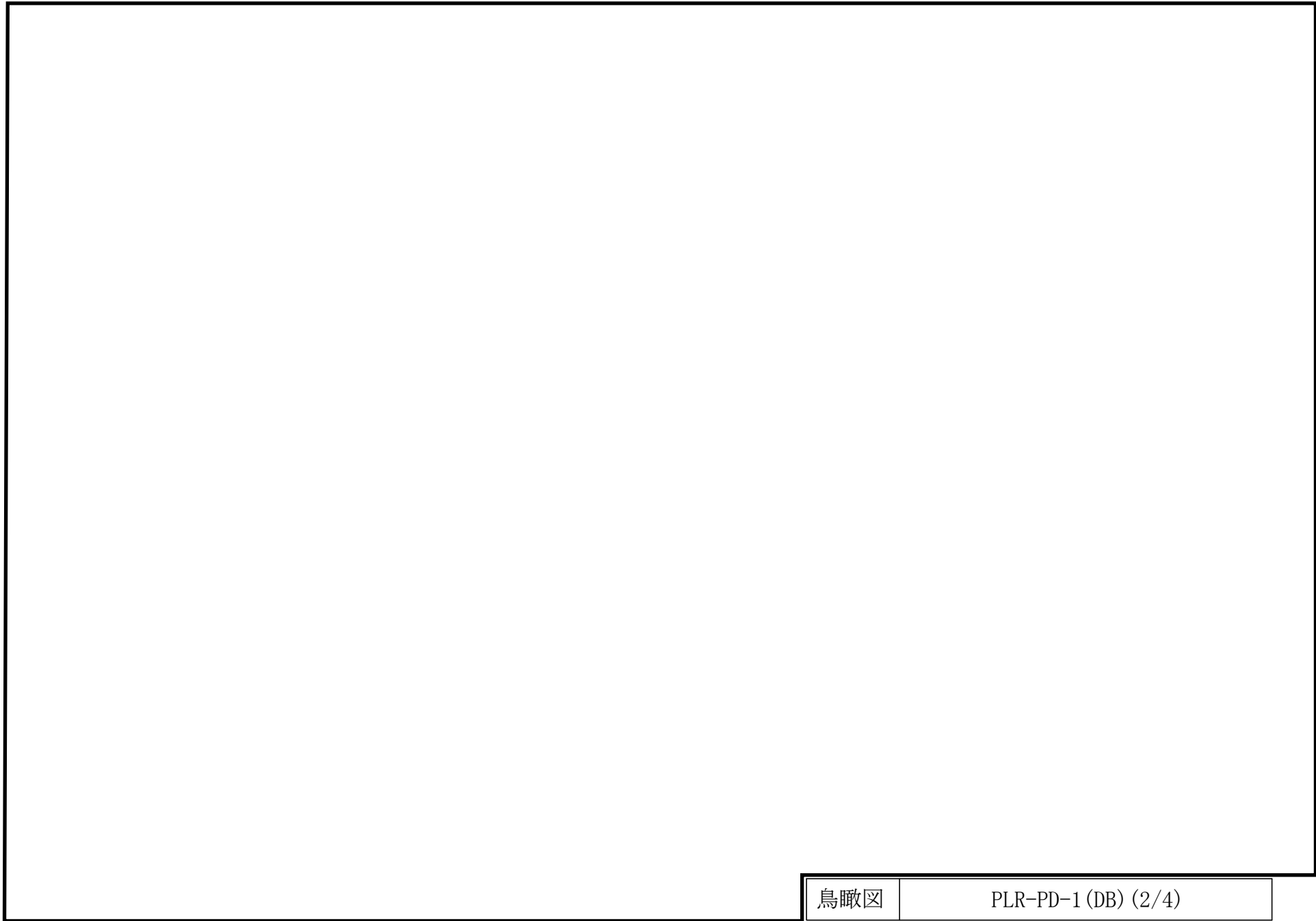
2.2 鳥瞰図

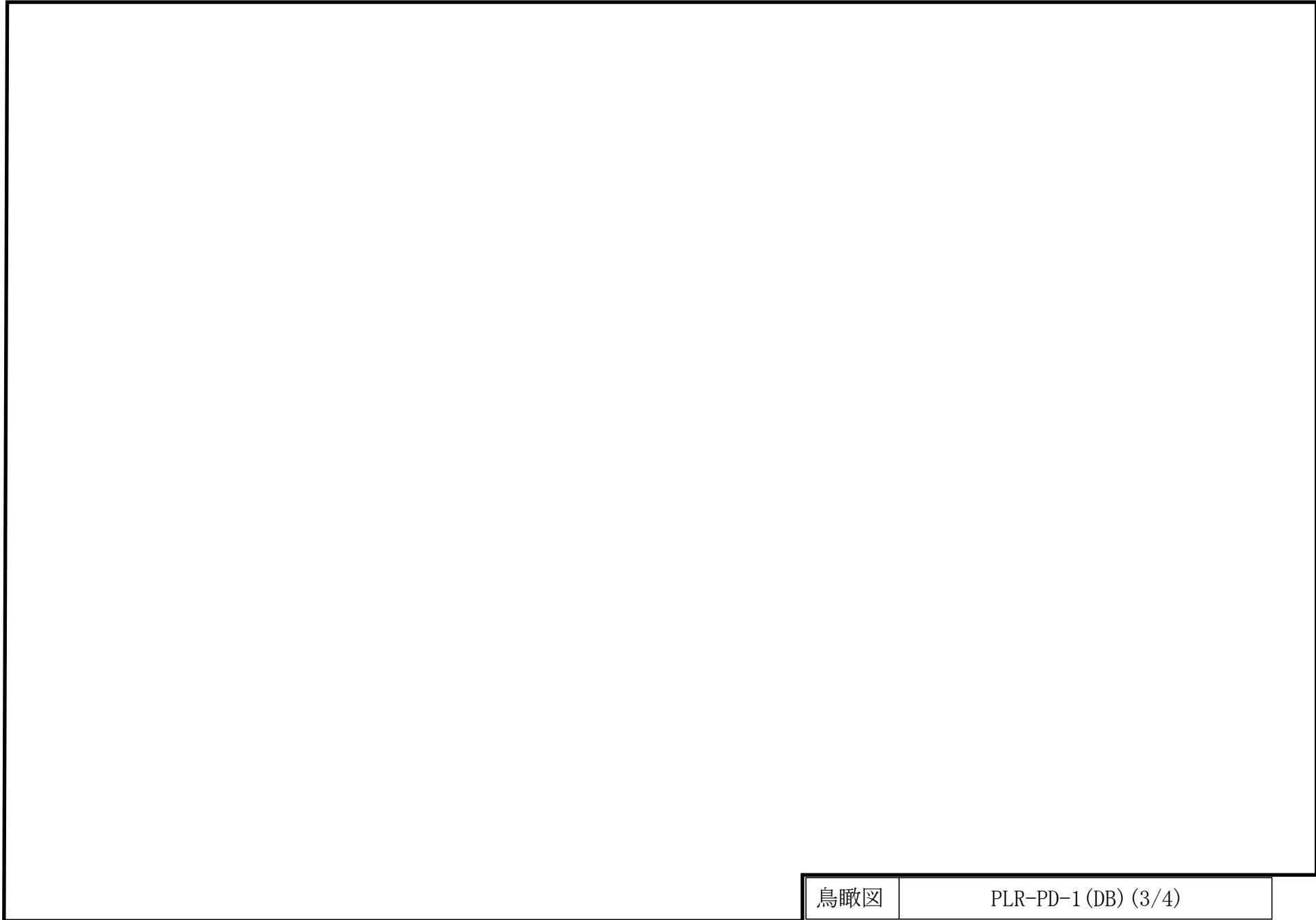
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

S2 補 VI-2-5-2-1-1 R1



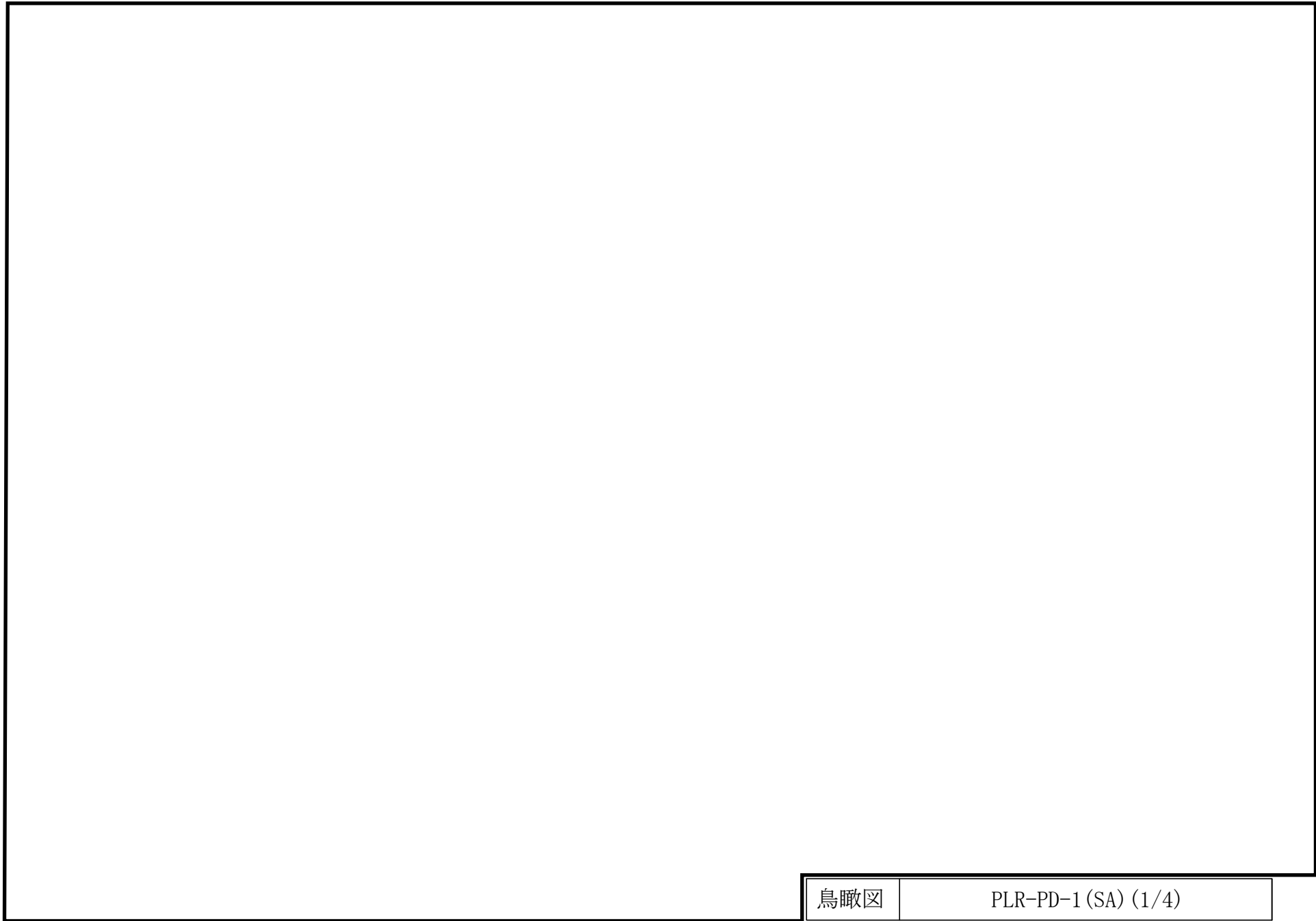


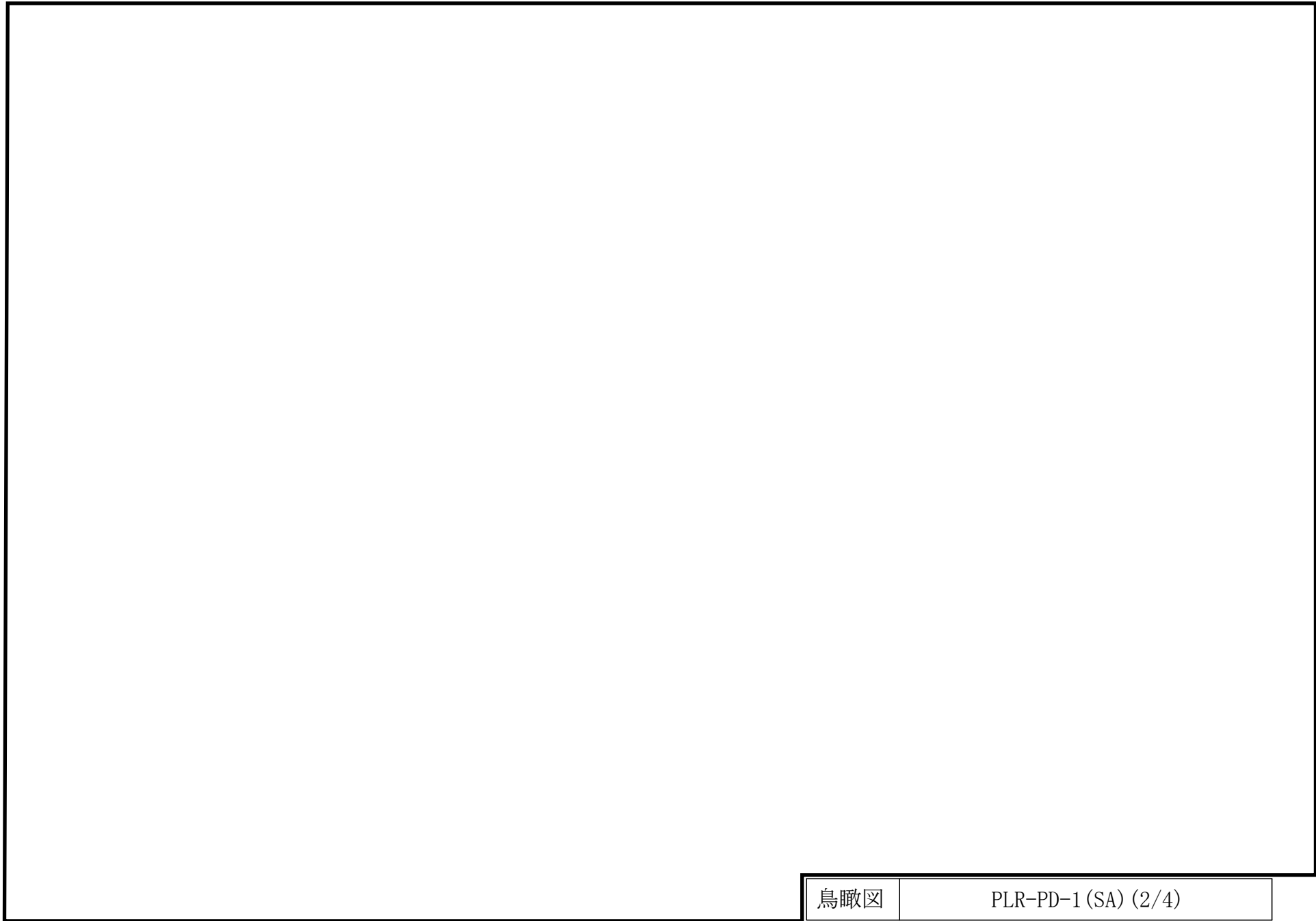


∞

鳥瞰図

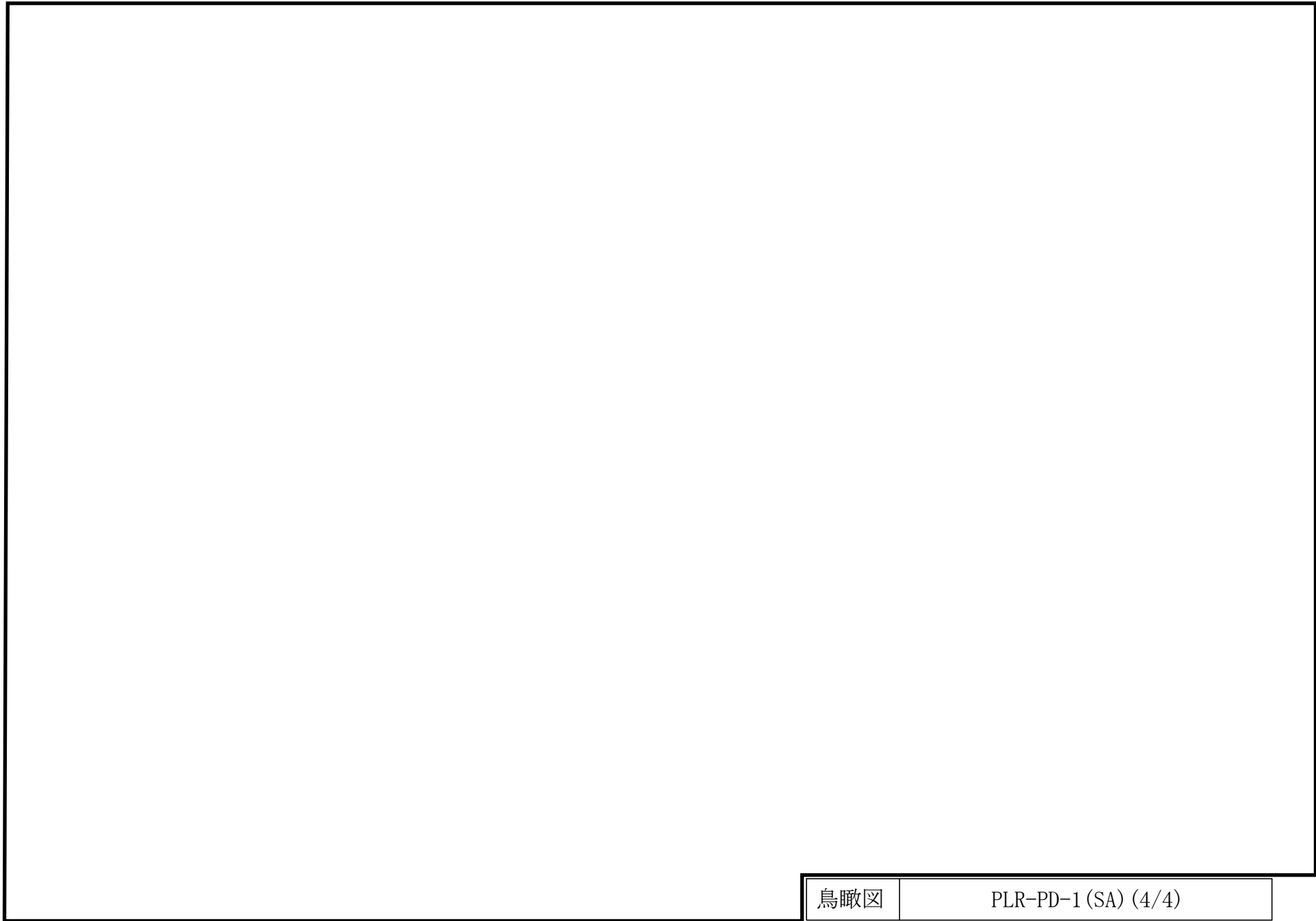
PLR-PD-1 (DB) (4/4)







鳥瞰図	PLR-PD-1(SA) (3/4)
-----	--------------------



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材再循環設備	原子炉再循環系	DB	—	クラス1管	S	I _L + S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _d	
							I _L + S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S _s	
							Ⅳ _L (L) + S _d	
	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス1管	S	I _L + S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _d	
							I _L + S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S _s	
							Ⅳ _L (L) + S _d	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	S A	常設／防止(D B 拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d	
							V _{L(L)} + S _d	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s	

注記*1：D B は設計基準対象施設，S A は重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／防止(D B 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~2	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
2	2~6, 12~14	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
3	6~12	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
4	18~24	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
5	24~26	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
6	47~51, 55~59	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	—	—
7	59~60	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	60～61	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	—	—
9	61～62, 66～67	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
10	62～66	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
11	67～68, 106～140 114～150, 126～160 134～170	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
12	68～71N, 140～143N 150～153N, 160～163N 170～173N	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
13	67～100, 67～120	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
14	100～105, 107～113 115～116, 120～125 127～133, 135～136	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
15	105～107, 113～115 125～127, 133～135	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
16	61～201	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
17	201～208	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302
18	209～215, 216～222	Ⅲ _A S	10.40	302
		Ⅳ _A S	10.40	302
		Ⅴ _A S	10.40	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	523.0	33.7	SUSF316	S	176960
2	2~6, 12~14	508.0	26.2	SUSF316	S	176960
3	6~12	508.0	26.2	SUS316TP	S	176960
4	18~24	508.0	30.5	SUS316TP	S	176960
5	24~26	508.0	30.5	SUSF316	S	176960
6	47~51, 55~59	508.0	30.5	SUS316TP	S	176960
7	59~60	508.0	30.5	SUSF316	S	176960
8	60~61	550.0	51.5	SUSF316	S	176960
9	61~62, 66~67	550.0	51.5	SUSF316	S	176960
10	62~66	508.0	30.5	SUSF316	S	176960
11	67~68, 106~140 114~150, 126~160 134~170	267.4	18.2	SUSF316	S	176960
12	68~71N, 140~143N 150~153N, 160~163N 170~173N	267.4	18.2	SUS316TP	S	176960
13	67~100, 67~120	422.0	34.8	SUSF316	S	176960
14	100~105, 107~113 115~116, 120~125 127~133, 135~136	406.4	27.0	SUSF316	S	176960

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
15	105～107, 113～115 125～127, 133～135	450.0	48.8	SUSF316	S	176960
16	61～201	267.4	18.2	SUSF316	S	191800
17	201～208	267.4	18.2	SUS316TP	S	191800
18	209～215, 216～222	267.4	18.2	STS42	S	200400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

質量	対応する評価点
	1N~2
	2~5001, 64~66
	5001~14, 18~26, 47~51, 55~60, 62~64
	60~62
	66~67
	6700~71N, 1400~143N, 1500~153N, 1600~163N, 1700~173N 2011~2070
	67~100, 67~120
	100~105, 107~113, 115~116, 120~125, 127~133 135~136
	105~107, 113~115, 125~127, 133~135
	61~2011, 2070~208, 209~215, 216~222

弁部の質量

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14~15, 15~18		51~52, 52~55
	14, 18, 51, 55		15, 52
	16, 53		17, 54
	208~209		215~216

弁部の寸法

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14~15							
16~17							
51~52							
53~54							
208~209							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
N1						
5						
** 8 **						
** 11 **						
** 11 **						
1101						
21						
** 22 **						
** 22 **						
** 28 **						
** 29 **						
** 30 **						
** 31 **						
** 32 **						
38						
37						
36						
35						
** 43 **						

S2 補 VI-2-5-2-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 45 **						
** 44 **						
** 48 **						
** 49 **						
50						
** 56 **						
** 63 **						
** 6301 **						
N101						
101						
** 103 **						
** 1031 **						
** 111 **						
** 1111 **						
121						
** 123 **						
** 1231 **						
130						

S2 補 VI-2-5-2-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 131 **						
N201						
N301						
N401						
N501						
205						
2071						
** 210 **						
** 210 **						
211						
213						
219						
226A						

S2 補 VI-2-5-2-1-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUSF316	302	118	—	—	—
SUS316TP	302	118	—	—	—
STS42	302	122	—	—	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
PLR-PD-1	原子炉圧力容器 ペDESTAL	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
9次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

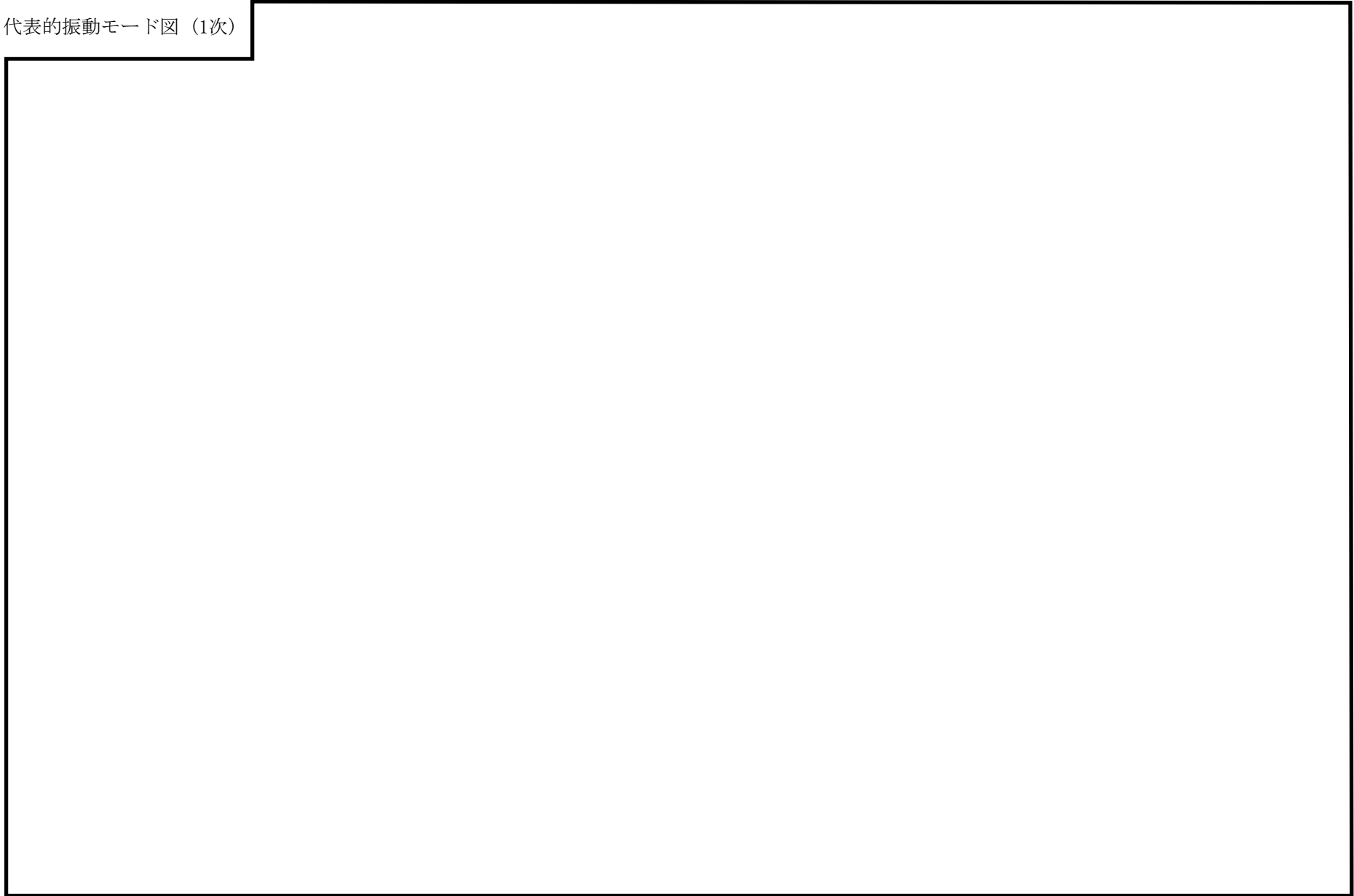
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

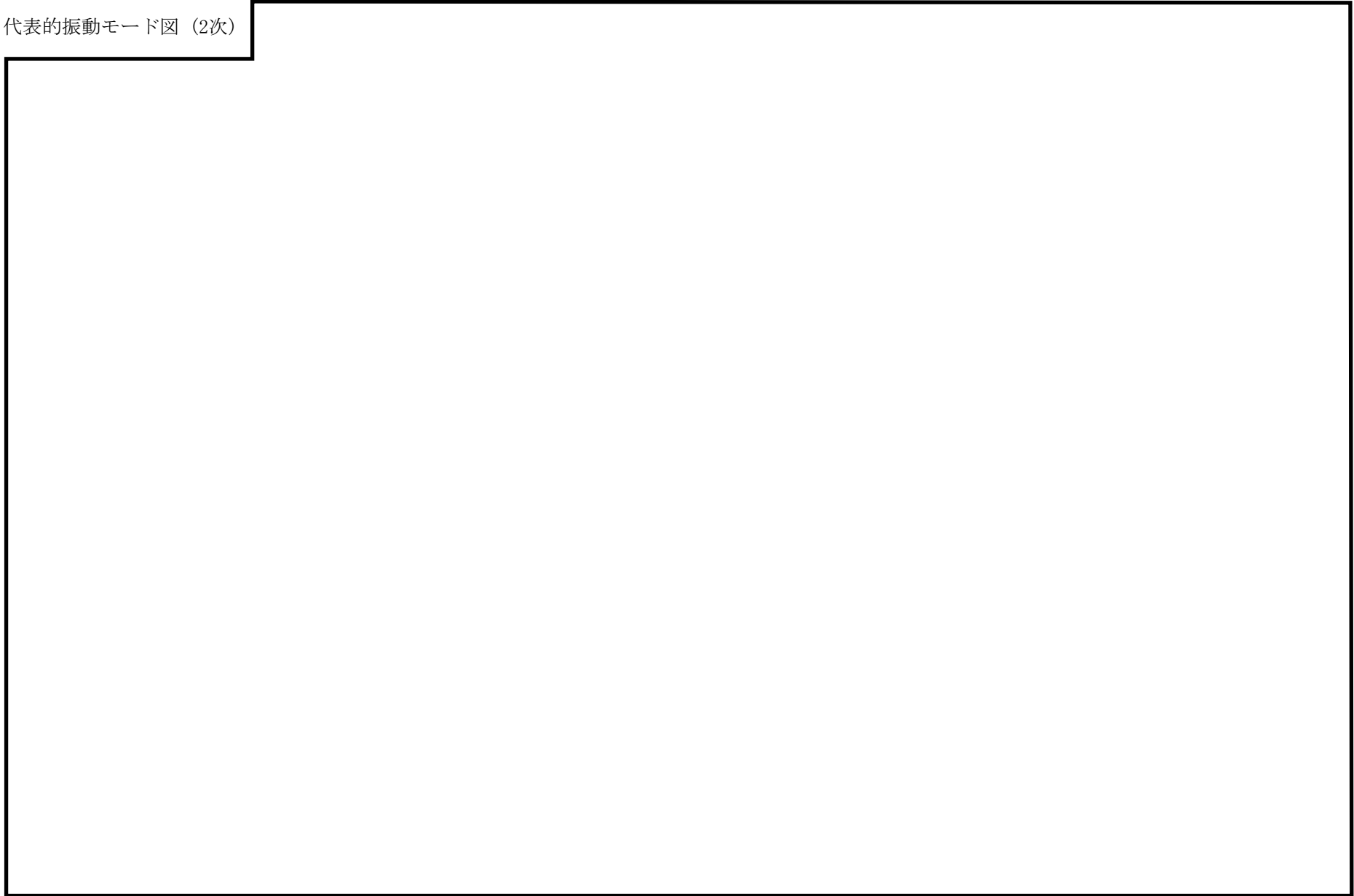
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

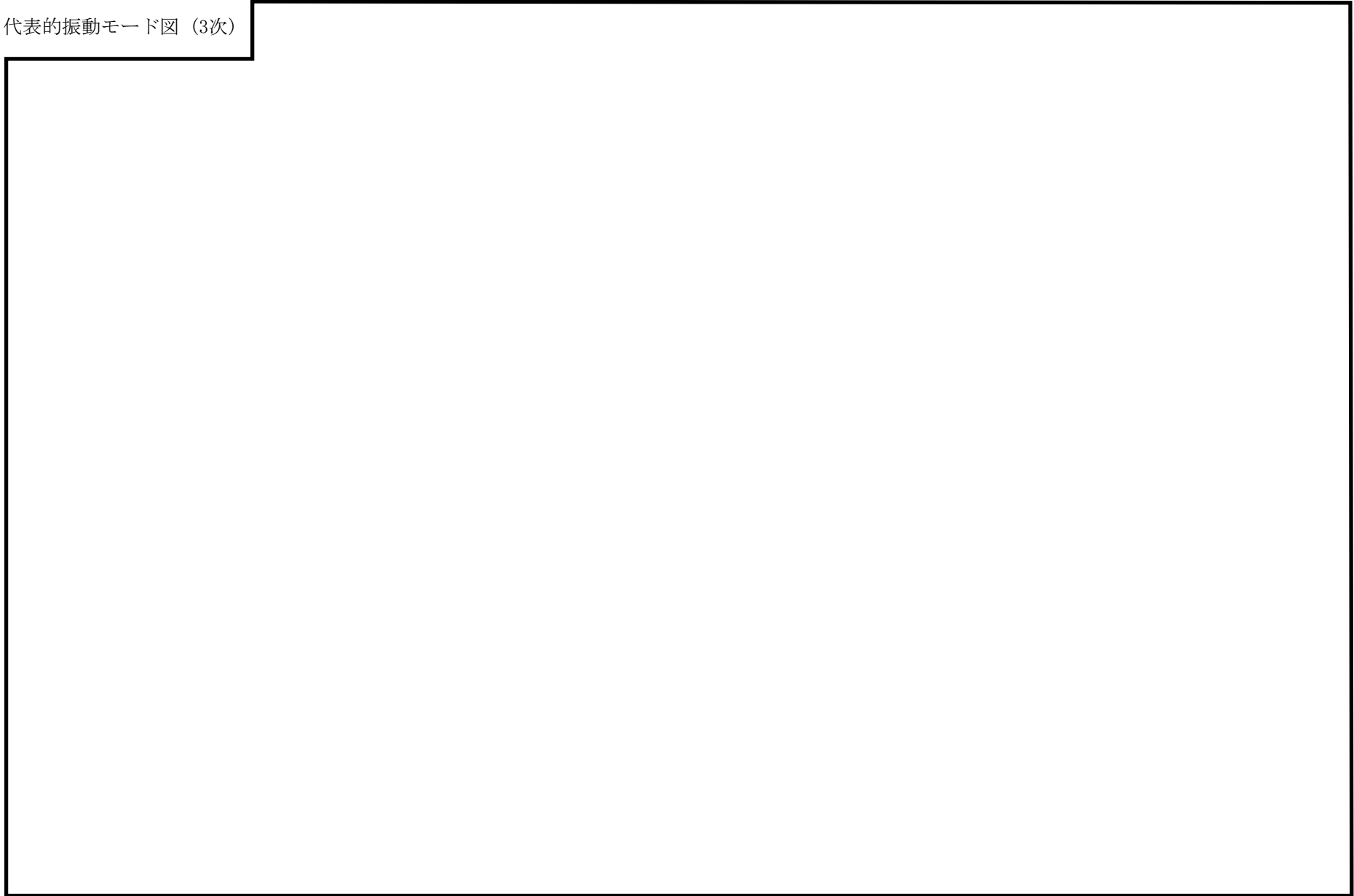


代表的振動モード図 (2次)



33

代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(2.25 \cdot S m)$	PLR-PD-1	14	ELBOW	128	265	—
		ねじり $S_t(0.55 \cdot S m)$	PLR-PD-1	14	ELBOW	59	64	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(1.8 \cdot S m)$	PLR-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		PLR-PD-1	67	TEE	255	354	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		PLR-PD-1	61	TEE	—	—	0.0093
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S m)$	PLR-PD-1	14	ELBOW	196	354	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	PLR-PD-1	14	ELBOW	110	86	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	PLR-PD-1	14	ELBOW	154	283	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		PLR-PD-1	67	TEE	464	354	0.0128
	疲労累積係数 $U + U S s$		PLR-PD-1	26	ELBOW	—	—	0.0154

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	PLR-PD-1	67	TEE	186	354	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	PLR-PD-1	213	SUP.PT	43	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	PLR-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		PLR-PD-1	67	TEE	464	354	0.0128
	疲労累積係数 $U + U S_s$		PLR-PD-1	67	TEE	—	—	0.0128
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	PLR-PD-1	67	TEE	186	354	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	PLR-PD-1	213	SUP.PT	43	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	PLR-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		PLR-PD-1	67	TEE	464	354	0.0128
	疲労累積係数 $U + U S_s$		PLR-PD-1	67	TEE	—	—	0.0128

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計算 について」参照	—	—	—	
SNO-PLR-50	オイルスナッパ	SN-100		991	1500	—	
RE-PLR-44	ロッドレストレイント	RTS-60		734	1080	—	
SH-PLR-34	スプリングハンガ	VS-18		53	54		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
—	レストレイント	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	詳細評価 ^{*2, *3}							
			水平	鉛直		合成 ^{*3, *4}	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
					水平		鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	PLR-PD-1	14	128	265	2.07	○	67	255	354	1.38	○	61	0.0093	○
2	PLR-PD-2	14	118	265	2.24	—	67	216	354	1.63	—	61	0.0077	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	PLR-PD-1	14	196	354	1.80	○	67	464	354	0.76	○	26	0.0154	○
2	PLR-PD-2	14	176	354	2.01	—	14	390	354	0.90	—	26	0.0109	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	PLR-PD-1	67	186	354	1.90	○	67	464	354	0.76	○	67	0.0128	○
2	PLR-PD-2	67	163	354	2.17	—	67	390	354	0.90	—	212	0.0096	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	PLR-PD-1	67	186	354	1.90	○	67	464	354	0.76	○	67	0.0128	○
2	PLR-PD-2	67	163	354	2.17	—	67	390	354	0.90	—	212	0.0096	—

VI-2-5-3 原子炉冷却材の循環設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-1 主蒸気系の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-1-1 アキュムレータの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	10
4.1 固有周期	10
4.2 構造強度評価	12
5. 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	25
5.1 固有周期	25
5.2 構造強度評価	27
6. 評価結果	37
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	37
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	37
7. 引用文献	37

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、アキュムレータが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アキュムレータの構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を 1 個の脚で支持し、脚を溶接で剛構造の架台に水平に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形 (両端に平板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p>【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ】</p> <p>(平面図) (側面図)</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を 2 個の脚で支持し、脚を溶接で剛構造の架台に水平に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形 (両端に平板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p>【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ】</p> <p>(平面図) (側面図)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

アキュムレータの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアキュムレータの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.1 固有周期」及び「5.1 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.2 構造強度評価」及び「5.2 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

アキュムレータの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

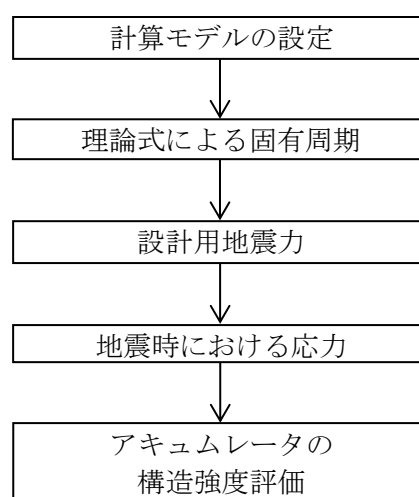


図 2-1 アキュムレータの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の鉛直方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の鉛直方向に対するせん断断面積	mm^2
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(1)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_H	水平方向設計震度	—
$C_{\ell j}$	軸方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(1)より得られる値）（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
C_1	脚の鉛直方向幅の2分の1	mm
C_2	脚の長手方向幅の2分の1	mm
D_i	胴の内径	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
f_{tm}	脚の許容引張応力	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（ $=9.80665$ ）	m/s^2
h_1	架台から脚の胴付け根部までの長さ	mm
h_2	架台から胴の中心までの長さ	mm
I_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	脚の鉛直方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの補正係数（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
$K_{cj}, K_{\ell j}$	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの補正係数（ $j=1$ ：周方向応力， $j=2$ ：軸方向応力）	—
K_ℓ	ばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_e	ばね定数（胴の鉛直方向に鉛直力が作用する場合）	N/m
ℓ_o	脚中心間距離	mm
M	運転時質量により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	N・mm
M_e	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	N・mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm/mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm/mm

記号	記号の説明	単位
m_o	容器の運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
P_c	横方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_r	最高使用圧力	MPa
r_m	脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	脚付け根部における胴の外半径	mm
r_s	胴付け根部における脚の外半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の鉛直方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—
π	円周率	—
σ_o	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{ox}	胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{o\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_2	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	鉛直方向と横方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	鉛直方向と横方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	鉛直方向と横方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2l}	鉛直方向と長手方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2lx}	鉛直方向と長手方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	鉛直方向と長手方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	鉛直方向と横方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{sl}	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s2}	鉛直方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s3}	長手方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	横方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x 1}$	内圧により胴に生じる周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}, \sigma_{x 2}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 4}, \sigma_{x 4}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x 5}$	横方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{x 41}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の曲げモーメントにより生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 42}, \sigma_{x 42}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の反力により生じる周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 3}, \sigma_{2x 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{2\phi 4}, \sigma_{2 \times 4}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2 \times 5}$	横方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 41}, \sigma_{2 \times 41}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の曲げモーメントにより生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 42}, \sigma_{2 \times 42}$	長手方向地震による胴の脚付け根部の反力により生じる周方向及び軸方向二次応力	MPa
τ_d	運転時質量により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{de}	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_l	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-3 に示すとおりである。

表 2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは、胴及び脚について評価を実施する。

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震評価部位を表2-1及び表2-2の概略構造図に示す。

4. 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

4.1 固有周期

4.1.1 固有周期の計算方法

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは胴を1個の円形の脚で支持し、脚は溶接で剛構造の架台に水平に据え付けられているため、固定端として評価する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの荷重状態及び脚に生じるモーメントを図4-1及び図4-2に示す。

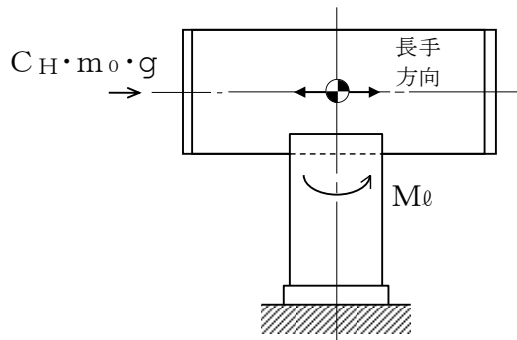


図4-1 長手方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント
(平面図)

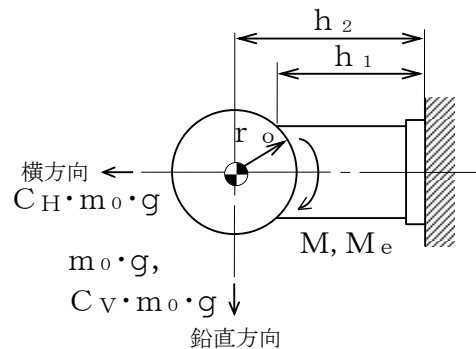


図4-2 鉛直方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント
(側面図)

- 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは、図4-3のような1質点系振動モデルとして考え、固有周期は長手方向及び鉛直方向について計算する。なお、横方向の剛性は構造上、長手方向及び鉛直方向の剛性より高いため、横方向の固有周期の計算は省略する。

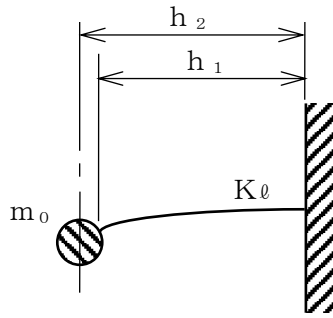


図 4-3 固有周期計算モデル

(2) 長手方向の固有周期

図 4-3 における長手方向のばね定数は,

$$K\ell = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{sy}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots \dots \dots (4.1.1.1)$$

固有周期は,

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K\ell}} \dots \dots \dots (4.1.1.2)$$

(3) 鉛直方向の固有周期

胴の鉛直方向の固有周期（鉛直方向振動）は、脚の断面形状が円形であり、鉛直方向と長手方向で脚の断面性状が同じであることから、胴の長手方向の固有周期と同じである。

4.1.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.1.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期（単位：s）

水平（長手）	<input type="text"/>
水平（横）	0.05 以下
鉛直	<input type="text"/>

4.2 構造強度評価

4.2.1 構造強度評価方法

4.1.1(1)a.～e.のほか、地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとして計算する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

4.2.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.2.2.2 許容応力

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4及び表4-5のとおりとする。

4.2.2.3 使用材料の許容応力評価条件

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-6に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-7に示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉冷却材 の循環設備	<ul style="list-style-type: none"> ・逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ ・逃がし安全弁自動減圧 機能用アキュムレー タ 	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉冷却材 の循環設備	<ul style="list-style-type: none"> ・逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ 	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
計測制御系統 施設	制御用空気設 備				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	Ⅴ _A S (Ⅴ _A Sとして Ⅳ _A Sの許容 限界を用い る。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-4 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界 ^{*1}			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と1.2・S との大きい方	左欄の1.5倍の値	*2 弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみ による疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下 であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動 値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	*2 基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、 疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動 値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用る。)				

注記*1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-5 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界* (ボルト等以外)
	一次応力
	組合せ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	

注記* : 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の
 応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）*1

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SUS304TP SUS304	最高使用温度	171	113	150	413	—
			171	113	150	413	—
脚	STPT42*2 SM41A*3 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	171	—	211	404	—
			171	—	201	373	—

注記*1：上段は逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの値を示し、下段は逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの値を示す。

*2：STPT410 相当

*3：SM400A 相当

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SUS304TP	最高使用温度	200	111	144	402	—
脚	STPT42*	周囲環境温度	200	—	207	404	—

注記*：STPT410 相当

4.2.3 設計用地震力

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-8に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-9に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-8 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器内 EL 23.800 (EL 27.907* ¹)			$C_H=1.37^{*2}$	$C_V=0.72^{*2}$	$C_H=2.49^{*3}$	$C_V=1.47^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）

表 4-9 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器内 EL 23.800 (EL 27.907* ¹)			—	—	$C_H=2.49^{*2}$	$C_V=1.47^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）

4.2.4 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの計算方法

4.2.4.1 応力の計算方法

4.2.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.2)$$

(2) 運転時質量による脚付け根部の応力

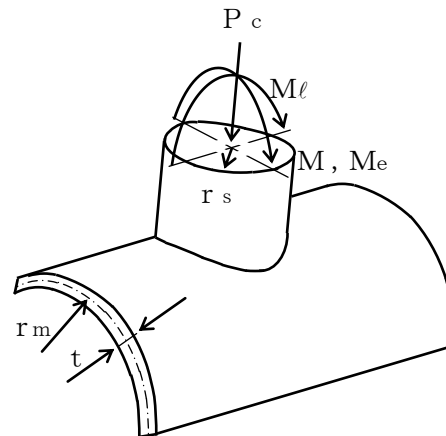
運転時質量により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M = m_o \cdot g \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.3)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.4)$$

この曲げモーメントMにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(1)より次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図4-4に示す。



P_c : 横方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力
 M : 運転時質量により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント
 M_e : 鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント
 M_l : 長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント

図 4-4 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のよう
に定義する。

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.5)$$

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.6)$$

$$\beta = 0.875 \cdot r_s / r_m \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.7)$$

ただし、

$$\beta \leq 0.5$$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の
図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 2} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.8)$$

$$\sigma_{x 2} = \left\{ \frac{N_x}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.9)$$

また、運転時質量が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で
求める。

$$\tau_d = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot r_s \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.10)$$

(3) 鉛直方向地震による脚付け根部の応力

鉛直方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_e = C_v \cdot m_o \cdot g \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.11)$$

曲げモーメント M_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパ
ラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図により値
（以下*を付記するもの）を求めることにより（4.2.4.1.1.12）式～
（4.2.4.1.1.15）式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_e / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.12)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_e / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.13)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 3} = \left\{ \frac{M\phi}{Me / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot Me}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.14)$$

$$\sigma_{2x 3} = \left\{ \frac{Mx}{Me / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot Me}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.15)$$

また、鉛直方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{de} = \frac{Cv \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot r_s \cdot t} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.16)$$

(4) 長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$Ml = C_H \cdot m_o \cdot g \cdot r_o \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.17)$$

曲げモーメント Ml により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（4.2.4.1.1.18）式～（4.2.4.1.1.21）式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 4} = \left\{ \frac{N\phi}{Ml / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Ml}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.18)$$

$$\sigma_{x 4} = \left\{ \frac{Nx}{Ml / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{Ml}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.19)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 4} = \left\{ \frac{M\phi}{Ml / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot Ml}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.20)$$

$$\sigma_{2x 4} = \left\{ \frac{Mx}{Ml / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot Ml}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.21)$$

また、長手方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{\pi \cdot r_s \cdot t} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.22)$$

(5) 横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震により脚付け根部に生じる反力は次式で求める。

$$P_c = C_H \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.23)$$

反力 P_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（4.2.4.1.1.24）式～（4.2.4.1.1.27）式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{x 5} = \left(\frac{N_x}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.25)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left(\frac{M_x}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.27)$$

(6) 組合せ応力

(1)～(5)によって算出される脚付け根部に生じる胴の応力を以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0x}) \} \quad \dots (4.2.4.1.1.28)$$

ここで,

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.29)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.30)$$

b. 一次応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1l} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1l\phi} + \sigma_{1lx}) + \sqrt{(\sigma_{1l\phi} - \sigma_{1lx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de} + \tau_l)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.31)$$

ここで,

$$\sigma_{1l\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.32)$$

$$\sigma_{10x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.33)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de})^2} \right\} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.34)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi1} + \sigma_{\phi2} + \sigma_{\phi3} + \sigma_{\phi5} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.35)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sigma_{x5} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.36)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{10}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.37)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2l} = (\sigma_{2l\phi} + \sigma_{2lx}) + \sqrt{(\sigma_{2l\phi} - \sigma_{2lx})^2 + 4 \cdot (\tau_{de} + \tau_l)^2} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.38)$$

ここで,

$$\sigma_{2l\phi} = \sigma_{\phi3} + \sigma_{\phi4} + \sigma_{2\phi3} + \sigma_{2\phi4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.39)$$

$$\sigma_{2lx} = \sigma_{x3} + \sigma_{x4} + \sigma_{2x3} + \sigma_{2x4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.40)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_{de}^2} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.41)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi3} + \sigma_{\phi5} + \sigma_{2\phi3} + \sigma_{2\phi5} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x3} + \sigma_{x5} + \sigma_{2x3} + \sigma_{2x5} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.43)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{20}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \dots\dots\dots (4.2.4.1.1.44)$$

とする。

4.2.4.1.2 脚の応力

(1) 運転時質量による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g \cdot h^2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.1)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{A_{s4}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s2} = \frac{C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot h^2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.3)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s2} = \frac{C_v \cdot m_0 \cdot g}{A_{s4}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.4)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h^2}{Z_{sy}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.5)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.6)$$

(4) 横方向地震による圧縮応力

$$\sigma_{s4} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sl} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.8)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2})^2} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.9)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{sl}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (4.2.4.1.2.10)$$

とする。

4.2.5 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.2.6 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの応力の評価

4.2.6.1 胴の応力評価

4.2.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては $1.2 \cdot S$ の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	$0.6 \cdot S_u$
一次応力 (一次膜応力＋ 一次曲げ応力)	上記の1.5倍の値	
一次＋二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。	
一次＋二次 ＋ピーク応力		

4.2.6.2 脚の応力評価

4.2.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5. 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

5.1 固有周期

5.1.1 固有周期の計算方法

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは胴を2個の脚で支持し、脚は溶接で剛構造の架台に水平に据え付けられているため、固定端として評価する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの荷重状態及び胴に生じるモーメントを図5-1及び図5-2に示す。

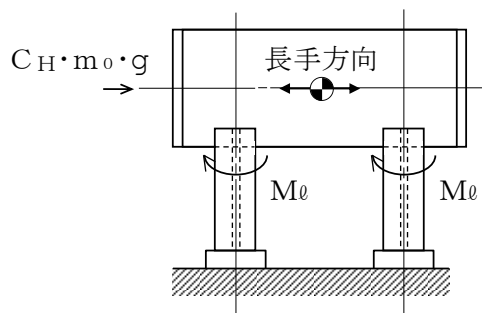


図5-1 長手方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント
(平面図)

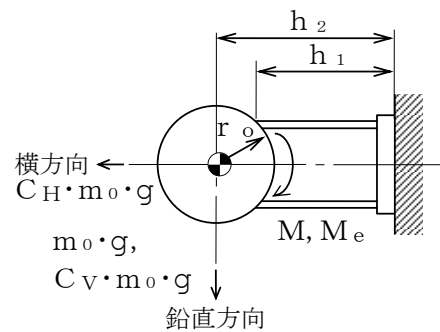


図5-2 鉛直方向荷重による胴の脚付け根部のモーメント
(側面図)

- 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータは、図5-3のような1質点系振動モデルとして考え、固有周期は長手方向及び鉛直方向について計算する。なお、横方向の剛性は構造上、長手方向及び鉛直方向の剛性より高いため、横方向の固有周期の計算は省略する。

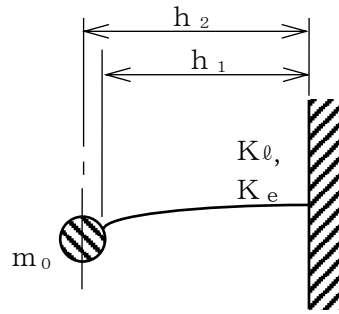


図 5-3 固有周期計算モデル

(2) 長手方向の固有周期

図 5-3 における長手方向のばね定数は,

$$K_l = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s_y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \dots\dots\dots (5.1.1.1)$$

固有周期は,

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0/2}{K_l}} \dots\dots\dots (5.1.1.2)$$

(3) 鉛直方向の固有周期

図 5-3 における鉛直方向のばね定数は,

$$K_e = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s_x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1/2)}{E_s \cdot I_{s_x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \dots\dots\dots (5.1.1.3)$$

固有周期は,

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0/2}{K_e}} \dots\dots\dots (5.1.1.4)$$

5.1.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

5.1.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 5-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 5-1 固有周期 (単位: s)

水平 (長手)	<input type="text"/>
水平 (横)	0.05 以下
鉛直	<input type="text"/>

5.2 構造強度評価

5.2.1 構造強度評価方法

5.1.1(1)a.～e.のほか、地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとして計算する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

5.2.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの荷重 1 ; の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に示す。

5.2.2.2 許容応力

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4及び表4-5のとおりとする。

5.2.2.3 使用材料の許容応力評価条件

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-6に示す。

5.2.3 設計用地震力

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-2に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表5-2 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器内 EL 23.800 (EL 27.907* ¹)			$C_H=1.37^{*2}$	$C_V=0.72^{*2}$	$C_H=2.49^{*3}$	$C_V=1.47^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S_d ）又は静的震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S_s ）

5.2.4 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの計算方法

5.2.4.1 応力の計算方法

5.2.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.2)$$

(2) 運転時質量による脚付け根部の応力

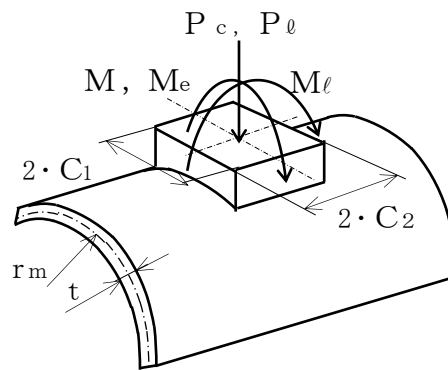
運転時質量により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M = \frac{1}{2} \cdot m_o \cdot g \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.3)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.4)$$

この曲げモーメントMにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(1)により次のように求める。

脚が胴に及ぼす力の関係を図5-4に示す。



P_c : 横方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力
 P_l : 長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力
 M : 運転時質量により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント
 M_e : 鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント
 M_l : 長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する曲げモーメント

図5-4 脚が胴に及ぼす力の関係

ここで、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$$\gamma = r_m / t \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.5)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.6)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.7)$$

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.8)$$

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.9)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 2} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots (5.2.4.1.1.10)$$

$$\sigma_{x 2} = \left\{ \frac{N_x}{M / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots (5.2.4.1.1.11)$$

また、運転時質量が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_d = \frac{\frac{1}{2} \cdot m_0 \cdot g}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.12)$$

(3) 鉛直方向地震による脚付け根部の応力

鉛直方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_e = \frac{1}{2} \cdot C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot r_0 \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.13)$$

曲げモーメント M_e により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図により値（以下*を付記するもの）を求めることにより (5.2.4.1.1.14) 式～ (5.2.4.1.1.17) 式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_e / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots\dots (5.2.4.1.1.14)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_e / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_e}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots\dots (5.2.4.1.1.15)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 3} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_e / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_e}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots (5.2.4.1.1.16)$$

$$\sigma_{2x 3} = \left\{ \frac{M_x}{M_e / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_e}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots (5.2.4.1.1.17)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は、(5.2.4.1.1.9) 式と同様である。
ただし、二次応力を求める場合は、更に K_{ej} を乗じた値とする。

また、鉛直方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{de} = \frac{\frac{1}{2} \cdot C_v \cdot m_0 \cdot g}{4 \cdot C_1 \cdot t} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.18)$$

(4) 長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震により脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$M_{\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \right) \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.19)$$

長手方向地震による反力は次式で求める。

$$P_{\ell} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.20)$$

曲げモーメント M_{ℓ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより(5.2.4.1.1.21)式～(5.2.4.1.1.24)式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots (5.2.4.1.1.21)$$

$$\sigma_{x 41} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots (5.2.4.1.1.22)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 41} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.23)$$

$$\sigma_{2x41} = \left\{ \frac{M_x}{M\ell / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M\ell}{r_m \cdot \beta \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.24)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は、

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.25)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

また、二次応力を求める場合は、更に K_{lj} を乗じた値とする。

反力 $P\ell$ による応力

一次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \left(\frac{N_\phi}{P\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P\ell}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x 42} = \left(\frac{N_x}{P\ell / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P\ell}{r_m \cdot t} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.27)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 42} = \left(\frac{M_\phi}{P\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P\ell}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.28)$$

$$\sigma_{2x 42} = \left(\frac{M_x}{P\ell} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P\ell}{t^2} \right) \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.29)$$

したがって、長手方向地震による応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi 4} = \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.30)$$

$$\sigma_{x 4} = \sigma_{x 41} + \sigma_{x 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.31)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 4} = \sigma_{2\phi 41} + \sigma_{2\phi 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.32)$$

$$\sigma_{2x 4} = \sigma_{2x 41} + \sigma_{2x 42} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.33)$$

また、長手方向地震が作用した場合、脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_\ell = \frac{\frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.34)$$

(5) 横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震により脚付け根部に生じる反力は次式で求める。

$$P_c = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.35)$$

半径方向荷重 P_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって引用文献(1)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより（5.2.4.1.1.36）式～（5.2.4.1.1.39）式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.36)$$

$$\sigma_{x 5} = \left(\frac{N_x}{P_c / r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_c}{r_m \cdot t} \right) \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.37)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left(\frac{M_x}{P_c} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_c}{t^2} \right) \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.39)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β は以下のように定義する。

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき、

$$\beta = \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} - 1 \right) \cdot (1 - K_{1j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.40)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$1/4 \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき、

$$\beta = \left(1 - \frac{4}{3} \cdot \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2} \right) \cdot (1 - K_{2j}) \right) \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.41)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

(6) 組合せ応力

(1)～(5)によって算出される脚付け根部に生じる胴の応力を以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0x}) \} \dots (5.2.4.1.1.42)$$

ここで,

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} \dots (5.2.4.1.1.43)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x 1} \dots (5.2.4.1.1.44)$$

b. 一次応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1l} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1l\phi} + \sigma_{1lx}) + \sqrt{(\sigma_{1l\phi} - \sigma_{1lx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de} + \tau_l)^2} \right\} \dots (5.2.4.1.1.45)$$

ここで,

$$\sigma_{1l\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} \dots (5.2.4.1.1.46)$$

$$\sigma_{1lx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} \dots (5.2.4.1.1.47)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_d + \tau_{de})^2} \right\} \dots (5.2.4.1.1.48)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} \dots (5.2.4.1.1.49)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5} \dots (5.2.4.1.1.50)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1l}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \dots (5.2.4.1.1.51)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2l} = (\sigma_{2l\phi} + \sigma_{2lx}) + \sqrt{(\sigma_{2l\phi} - \sigma_{2lx})^2 + 4 \cdot (\tau_{de} + \tau_l)^2} \dots (5.2.4.1.1.52)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 4} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.53)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sigma_{x 3} + \sigma_{x 4} + \sigma_{2x 3} + \sigma_{2x 4} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.54)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_{de}^2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.55)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 3} + \sigma_{2\phi 5} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.56)$$

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x 3} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 3} + \sigma_{2x 5} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.57)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.1.58)$$

とする。

5.2.4.1.2 脚の応力

(1) 運転時質量による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s1} = \frac{m_0 \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot Z_{sx}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.1)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s1} = \frac{m_0 \cdot g}{2 \cdot A_{s4}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s2} = \frac{Cv \cdot m_0 \cdot g \cdot h_2}{2 \cdot Z_{sx}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.3)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s2} = \frac{Cv \cdot m_0 \cdot g}{2 \cdot A_{s4}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.4)$$

(3) 長手方向地震による応力

曲げ応力は,

$$\sigma_{s3} = \frac{M\ell}{Z_{sy}} + \frac{P\ell}{A_s} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.5)$$

せん断応力は,

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{2 \cdot A_{s3}} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.6)$$

(4) 横方向地震による圧縮応力

$$\sigma_{s4} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{2 \cdot A_s} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.7)$$

(5) 組合せ応力

長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s3})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3})^2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.8)$$

横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sigma_{s2} + \sigma_{s4})^2 + 3 \cdot (\tau_{s1} + \tau_{s2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.9)$$

したがって、脚に生じる最大応力は,

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc}) \} \quad \dots\dots\dots (5.2.4.1.2.10)$$

とする。

5.2.5 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.2.6 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの応力の評価

5.2.6.1 胴の応力評価

5.2.4.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許容応力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては $1.2 \cdot S$ の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	$0.6 \cdot S_u$
一次応力 (一次膜応力+ 一次曲げ応力)	上記の1.5倍の値	
一次+二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。	
一次+二次 +ピーク応力		

5.2.6.2 脚の応力評価

5.2.4.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

ただし、 f_{tm} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

6.1.1 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.1.2 逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

6.2.1 逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

- (1) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ	S	原子炉格納容器内 EL 23.800 (EL 27.907 ^{*1})			C _H =1.37 ^{*2}	C _V =0.72 ^{*2}	C _H =2.49 ^{*3}	C _V =1.47 ^{*3}	1.77	171	171

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

1.2 機器要目

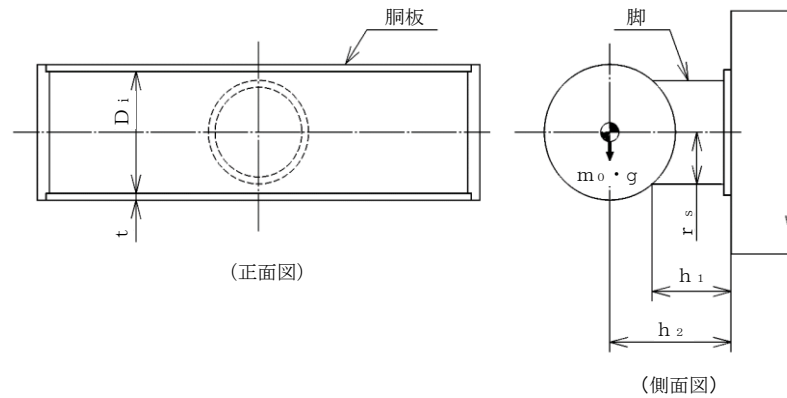
m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	r _s (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)
	199.9	8.2	180	250	82.6	1.104×10 ⁷	1.104×10 ⁷	1.337×10 ⁵	1.337×10 ⁵	3.526×10 ³	193000 ^{*1}	74200 ^{*1}

A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)
2.351×10 ³	2.351×10 ³	1.763×10 ³	1.763×10 ³

S _y (銅板) (MPa)	S _u (銅板) (MPa)	S (銅板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150 ^{*2}	413 ^{*2}	113 ^{*2}	211 ^{*1}	404 ^{*1}	211	253

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=23$	$\sigma_{x 1}=12$	$\sigma_{\phi 1}=23$	$\sigma_{x 1}=12$
運転時質量による応力	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—
組合せ応力	$\sigma_0=23$		$\sigma_0=23$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力		$\sigma_{\phi 1}=23$	$\sigma_{x 1}=12$	$\sigma_{\phi 1}=23$	$\sigma_{x 1}=12$	$\sigma_{\phi 1}=23$	$\sigma_{x 1}=12$	$\sigma_{\phi 1}=23$	$\sigma_{x 1}=12$
運転時質量による応力	引張	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 2}=2$	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 2}=2$	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 2}=2$	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 2}=2$
	せん断	$\tau_d=1$		$\tau_d=1$		$\tau_d=1$		$\tau_d=1$	
鉛直方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=2$	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=2$	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=3$	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=3$
	せん断	$\tau_{de}=1$		$\tau_{de}=1$		$\tau_{de}=1$		$\tau_{de}=1$	
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 4}=3$	$\sigma_{x 4}=1$	$\sigma_{\phi 5}=2$	$\sigma_{x 5}=2$	$\sigma_{\phi 4}=4$	$\sigma_{x 4}=2$	$\sigma_{\phi 5}=3$	$\sigma_{x 5}=3$
	せん断	$\tau_{\ell}=1$		—		$\tau_{\ell}=1$		—	
組合せ応力		$\sigma_{1\ell}=27$		$\sigma_{1c}=26$		$\sigma_{1\ell}=29$		$\sigma_{1c}=28$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
鉛直方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 3} = 1$ $\sigma_{2\phi 3} = 6$	$\sigma_{x 3} = 2$ $\sigma_{2x 3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 1$ $\sigma_{2\phi 3} = 6$	$\sigma_{x 3} = 2$ $\sigma_{2x 3} = 3$	$\sigma_{\phi 3} = 2$ $\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{x 3} = 3$ $\sigma_{2x 3} = 6$	$\sigma_{\phi 3} = 2$ $\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{x 3} = 3$ $\sigma_{2x 3} = 6$
	せん断	$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$	
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 4} = 3$ $\sigma_{2\phi 4} = 3$	$\sigma_{x 4} = 1$ $\sigma_{2x 4} = 4$	$\sigma_{\phi 5} = 2$ $\sigma_{2\phi 5} = 5$	$\sigma_{x 5} = 2$ $\sigma_{2x 5} = 3$	$\sigma_{\phi 4} = 4$ $\sigma_{2\phi 4} = 4$	$\sigma_{x 4} = 2$ $\sigma_{2x 4} = 8$	$\sigma_{\phi 5} = 3$ $\sigma_{2\phi 5} = 8$	$\sigma_{x 5} = 3$ $\sigma_{2x 5} = 5$
	せん断	$\tau_{\ell} = 1$		—		$\tau_{\ell} = 1$		—	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell} = 22$		$\sigma_{2c} = 24$		$\sigma_{2\ell} = 42$		$\sigma_{2c} = 46$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位: MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	曲げ	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_{s1} = 2$
	せん断	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} = 1$	$\sigma_{s2} = 1$	$\sigma_{s2} = 2$
	せん断	$\tau_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s3} = 2$	—	$\sigma_{s3} = 3$
	圧縮	—	$\sigma_{s4} = 1$	—
	せん断	$\tau_{s3} = 1$	—	$\tau_{s3} = 1$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell} = 4$	$\sigma_{sc} = 3$	$\sigma_{s\ell} = 7$

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
長手方向	<input type="text"/>
横方向	0.05以下
鉛直方向	<input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304TP	一次一般膜	$\sigma_0 = 23$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 23$	$S_a = 248$
		一次	$\sigma_1 = 27$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 29$	$S_a = 372$
		一次+二次	$\sigma_2 = 24$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 46$	$S_a = 300$
脚	STPT42	組合せ	$\sigma_s = 4$	$f_{tm} = 211$	$\sigma_s = 7$	$f_{tm} = 253$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉格納容器内 EL 23.800 (EL 27.907*1)			—	—	C _H =2.49*2	C _V =1.47*2	2.20	200	200

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

2.2 機器要目

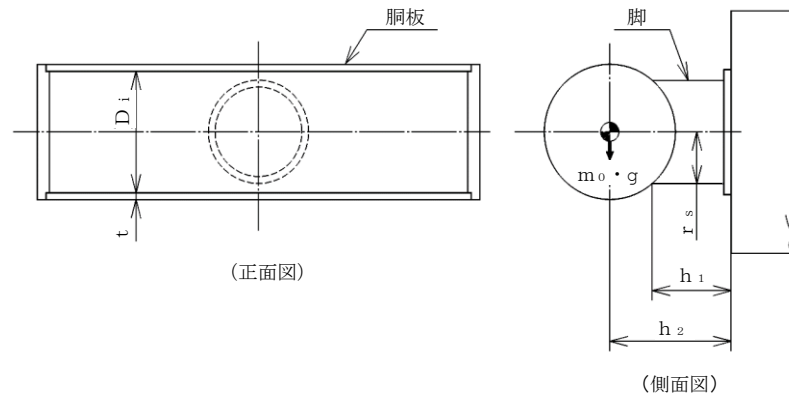
m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	r _s (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	A _s (mm ²)	E _s (MPa)	G _s (MPa)
	199.9	8.2	180	250	82.6	1.104×10 ⁷	1.104×10 ⁷	1.337×10 ⁵	1.337×10 ⁵	3.526×10 ³	191000*1	73500*1

A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	A _{s3} (mm ²)	A _{s4} (mm ²)
2.351×10 ³	2.351×10 ³	1.763×10 ³	1.763×10 ³

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
144*2	402*2	111*2	207*1	404*1	207	248

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出



2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力 (単位：MPa)

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	$\sigma_{\phi 1}=29$	$\sigma_{x 1}=14$
運転時質量による応力	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—
組合せ応力	—		$\sigma_0=29$	

(2) 一次応力 (単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=29$	$\sigma_{x 1}=14$	$\sigma_{\phi 1}=29$	$\sigma_{x 1}=14$
運転時質量による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 2}=2$	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 2}=2$
	せん断	—		—		$\tau_d=1$	$\tau_d=1$	
鉛直方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=3$	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=3$
	せん断	—		—		$\tau_{de}=1$	$\tau_{de}=1$	
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{\phi 4}=4$	$\sigma_{x 4}=2$	$\sigma_{\phi 5}=3$	$\sigma_{x 5}=3$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=1$	—	
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\ell}=34$		$\sigma_{1c}=33$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
鉛直方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$ $\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{x 3} = 3$ $\sigma_{2x 3} = 6$	$\sigma_{\phi 3} = 2$ $\sigma_{2\phi 3} = 12$	$\sigma_{x 3} = 3$ $\sigma_{2x 3} = 6$
	せん断	—		—		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$	
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4} = 4$ $\sigma_{2\phi 4} = 4$	$\sigma_{x 4} = 2$ $\sigma_{2x 4} = 8$	$\sigma_{\phi 5} = 3$ $\sigma_{2\phi 5} = 8$	$\sigma_{x 5} = 3$ $\sigma_{2x 5} = 5$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell} = 1$		—	
組合せ応力	—		—		$\sigma_{2\ell} = 42$		$\sigma_{2c} = 46$		

2.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類 地震の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	曲げ	—	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_{s1} = 2$
	せん断	—	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	曲げ	—	$\sigma_{s2} = 2$	$\sigma_{s2} = 2$
	せん断	—	$\tau_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	$\sigma_{s3} = 3$	—
	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 1$
	せん断	—	$\tau_{s3} = 1$	—
組合せ応力	—	—	$\sigma_{s\ell} = 7$	$\sigma_{sc} = 4$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	<input type="text"/>
横方向	0.05以下
鉛直方向	<input type="text"/>

2.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304TP	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 29$	S _a = 241
		一次	—	—	$\sigma_1 = 34$	S _a = 361
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 46$	S _a = 288
脚	STPT42	組合せ	—	—	$\sigma_s = 7$	f _{tm} = 248

すべて許容応力以下である。

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

3. 設計基準対象施設

3.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用 圧力 (MPa)	最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
逃がし安全弁自動減圧 機能用アキュムレータ	S	原子炉格納容器内 EL 23.800 (EL 27.907* ¹)			C _H =1.37* ²	C _V =0.72* ²	C _H =2.49* ³	C _V =1.47* ³	1.77	171	171

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

3.2 機器要目

m _o (kg)	D _i (mm)	t (mm)	ℓ _o (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{s x} (mm ⁴)	I _{s y} (mm ⁴)	Z _{s x} (mm ³)	Z _{s y} (mm ³)	A _s (mm ²)
	450	12.0	700	221	375	180	60	1.252×10 ⁸	3.504×10 ⁶	6.956×10 ⁵	5.840×10 ⁴	6.912×10 ³

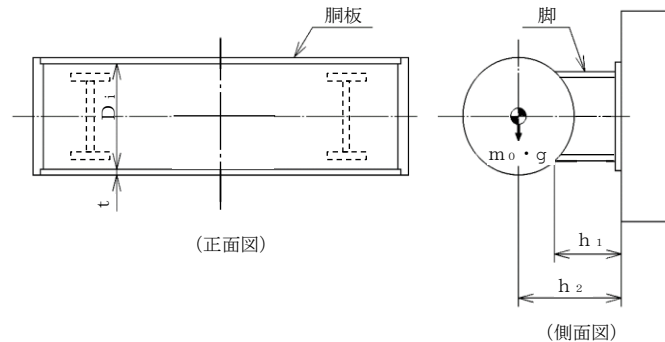
E _s (MPa)	G _s (MPa)	A _{s 1} (mm ²)	A _{s 2} (mm ²)	A _{s 3} (mm ²)	A _{s 4} (mm ²)	K _{1 1} * ²	K _{1 2} * ²	K _{2 1} * ²	K _{2 2} * ²	K _{ℓ 1}	K _{ℓ 2}	K _{c 1}	K _{c 2}	C _{ℓ 1}	C _{ℓ 2}	C _{c 1}	C _{c 2}
193000* ¹	74200* ¹	2.977×10 ³	4.153×10 ³	1.966×10 ³	3.578×10 ³			—	—								

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (脚) (MPa)	S _u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)
150* ³	413* ³	113* ³	201* ¹ (厚さ ≤ 16mm)	373* ¹ (厚さ ≤ 16mm)	201	241

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出



3.3 計算数値

3.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力 (単位：MPa)

地震の種類 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$
運転時質量による応力	—	—	—	—
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—
組合せ応力	$\sigma_0=35$		$\sigma_0=35$	

(2) 一次応力 (単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	
運転時質量による応力	引張	$\sigma_{\phi 2}=2$	$\sigma_{x 2}=4$	$\sigma_{\phi 2}=2$	$\sigma_{x 2}=4$	$\sigma_{\phi 2}=2$	$\sigma_{x 2}=4$	$\sigma_{\phi 2}=2$	$\sigma_{x 2}=4$
	せん断	$\tau_d = 1$		$\tau_d = 1$		$\tau_d = 1$		$\tau_d = 1$	
鉛直方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=3$	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=3$	$\sigma_{\phi 3}=3$	$\sigma_{x 3}=6$	$\sigma_{\phi 3}=3$	$\sigma_{x 3}=6$
	せん断	$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$	
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 4}=3$	$\sigma_{x 4}=2$	$\sigma_{\phi 5}=2$	$\sigma_{x 5}=2$	$\sigma_{\phi 4}=4$	$\sigma_{x 4}=2$	$\sigma_{\phi 5}=4$	$\sigma_{x 5}=3$
	せん断	$\tau_{\ell} = 1$		—		$\tau_{\ell} = 2$		—	
組合せ応力	$\sigma_{1\ell} = 40$		$\sigma_{1c} = 39$		$\sigma_{1\ell} = 43$		$\sigma_{1c} = 42$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
鉛直方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 3} = 1$ $\sigma_{2\phi 3} = 8$	$\sigma_{x 3} = 3$ $\sigma_{2x 3} = 4$	$\sigma_{\phi 3} = 1$ $\sigma_{2\phi 3} = 8$	$\sigma_{x 3} = 3$ $\sigma_{2x 3} = 4$	$\sigma_{\phi 3} = 3$ $\sigma_{2\phi 3} = 15$	$\sigma_{x 3} = 6$ $\sigma_{2x 3} = 7$	$\sigma_{\phi 3} = 3$ $\sigma_{2\phi 3} = 15$	$\sigma_{x 3} = 6$ $\sigma_{2x 3} = 7$
	せん断	$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$		$\tau_{de} = 1$	
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 4} = 3$ $\sigma_{2\phi 4} = 4$	$\sigma_{x 4} = 2$ $\sigma_{2x 4} = 5$	$\sigma_{\phi 5} = 2$ $\sigma_{2\phi 5} = 7$	$\sigma_{x 5} = 2$ $\sigma_{2x 5} = 4$	$\sigma_{\phi 4} = 4$ $\sigma_{2\phi 4} = 7$	$\sigma_{x 4} = 2$ $\sigma_{2x 4} = 8$	$\sigma_{\phi 5} = 4$ $\sigma_{2\phi 5} = 12$	$\sigma_{x 5} = 3$ $\sigma_{2x 5} = 6$
	せん断	$\tau_{\ell} = 1$		—		$\tau_{\ell} = 2$		—	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell} = 30$		$\sigma_{2c} = 34$		$\sigma_{2\ell} = 57$		$\sigma_{2c} = 65$	

3.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	曲げ	$\sigma_{s1} = 1$	$\sigma_{s1} = 1$	$\sigma_{s1} = 1$
	せん断	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 1$
鉛直方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} = 1$	$\sigma_{s2} = 1$	$\sigma_{s2} = 2$
	せん断	$\tau_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$	$\tau_{s2} = 1$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s3} = 5$	—	$\sigma_{s3} = 9$
	圧縮	—	$\sigma_{s4} = 1$	—
	せん断	$\tau_{s3} = 2$	—	$\tau_{s3} = 3$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell} = 8$	$\sigma_{sc} = 3$	$\sigma_{s\ell} = 13$
				$\sigma_{sc} = 4$

3.4 結論

3.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	<input type="text"/>
横方向	0.05以下
鉛直方向	<input type="text"/>

3.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS304	一次一般膜	$\sigma_0 = 35$	$S_a = 150$	$\sigma_0 = 35$	$S_a = 248$
		一次	$\sigma_1 = 40$	$S_a = 225$	$\sigma_1 = 43$	$S_a = 372$
		一次+二次	$\sigma_2 = 34$	$S_a = 300$	$\sigma_2 = 65$	$S_a = 300$
脚	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 8$	$f_{tm} = 201$	$\sigma_s = 13$	$f_{tm} = 241$

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-3-1-2 管の耐震性についての計算書
(主蒸気系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	10
3. 計算条件	67
3.1 計算方法	67
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	68
3.3 設計条件	71
3.4 材料及び許容応力	111
3.5 設計用地震力	112
4. 解析結果及び評価	113
4.1 固有周期及び設計震度	113
4.2 評価結果	137
4.2.1 管の応力評価結果	137
4.2.2 支持構造物評価結果	141
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	142
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	143

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、主蒸気系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全16モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。





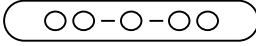
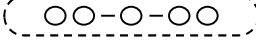

(3) 弁

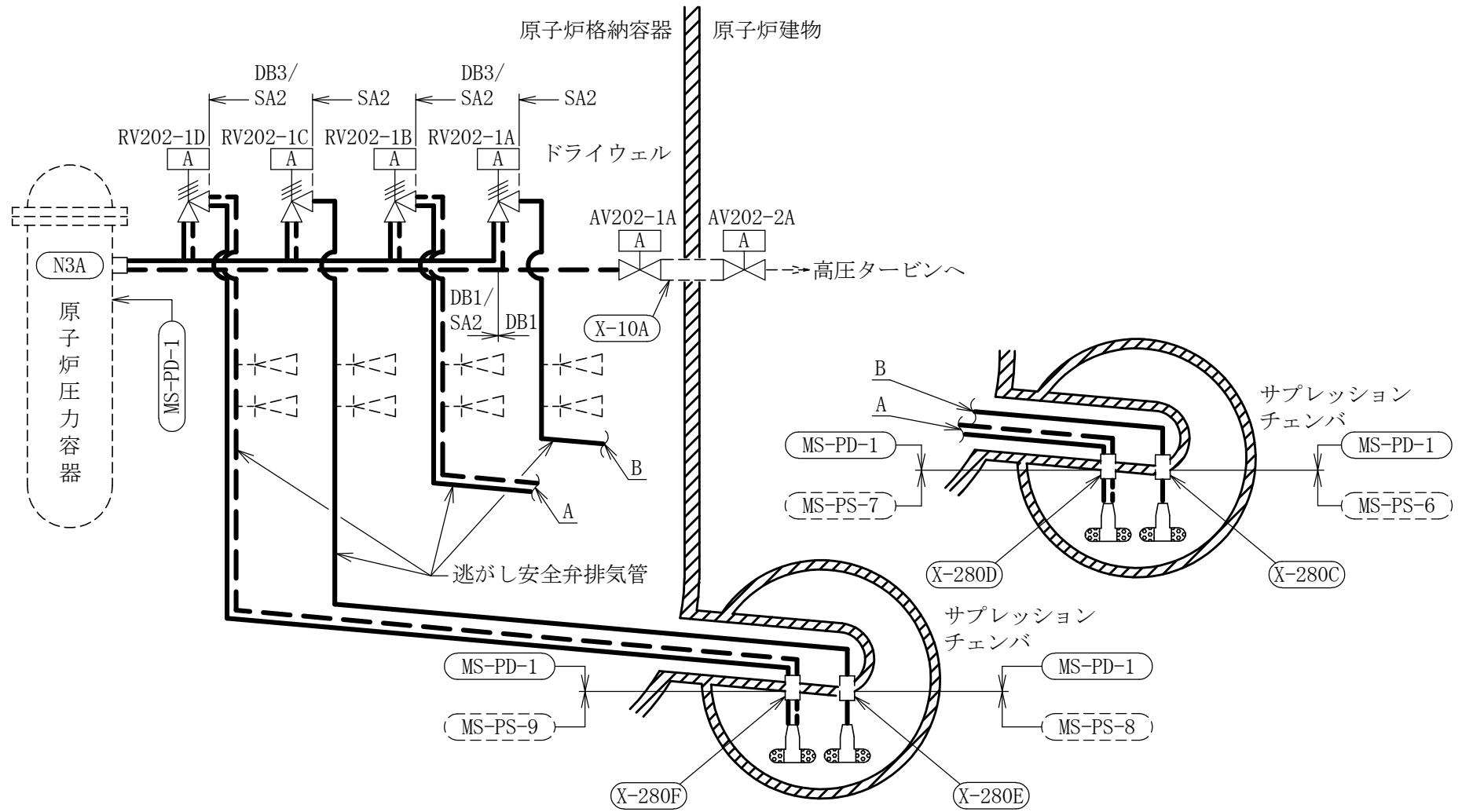
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

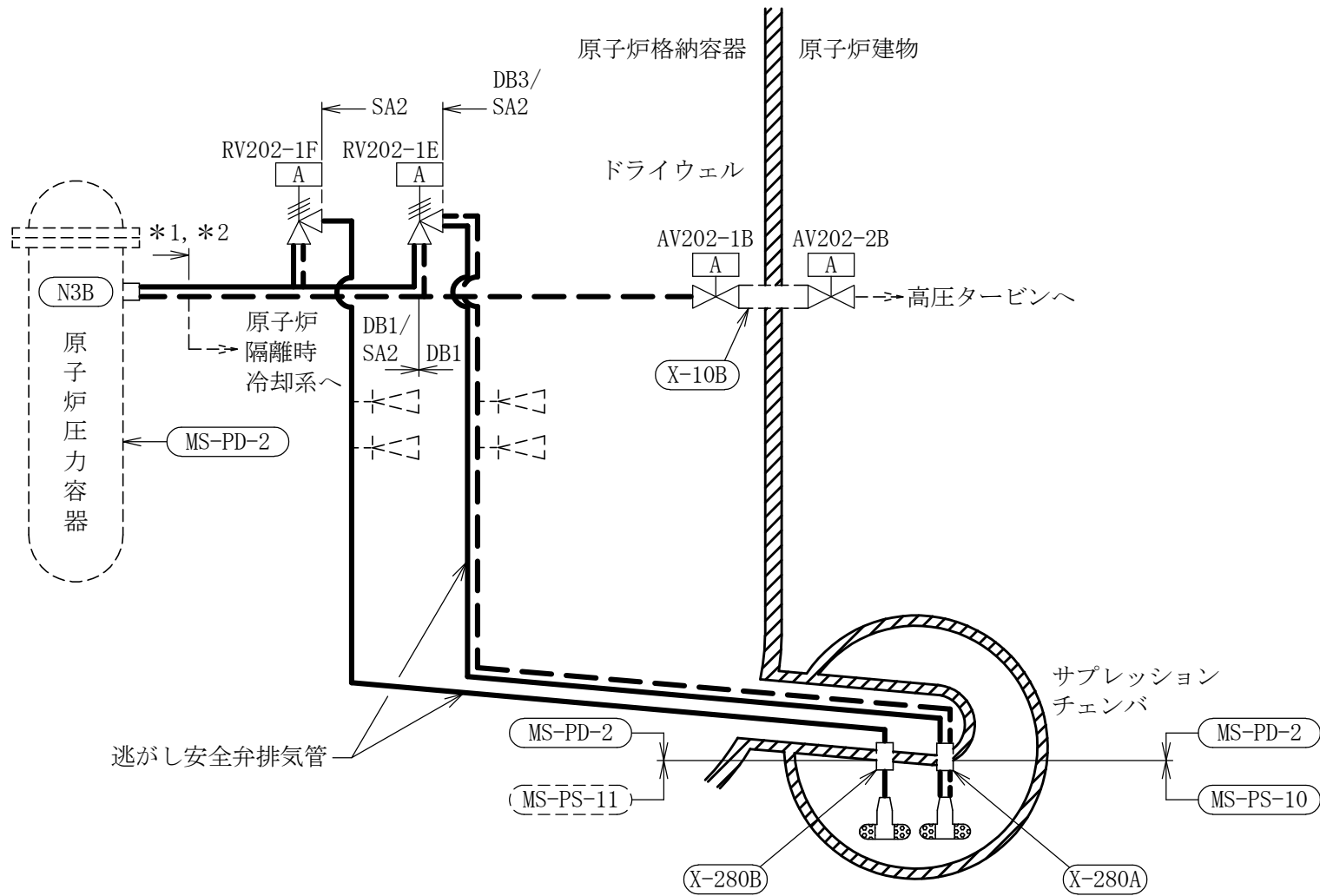
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



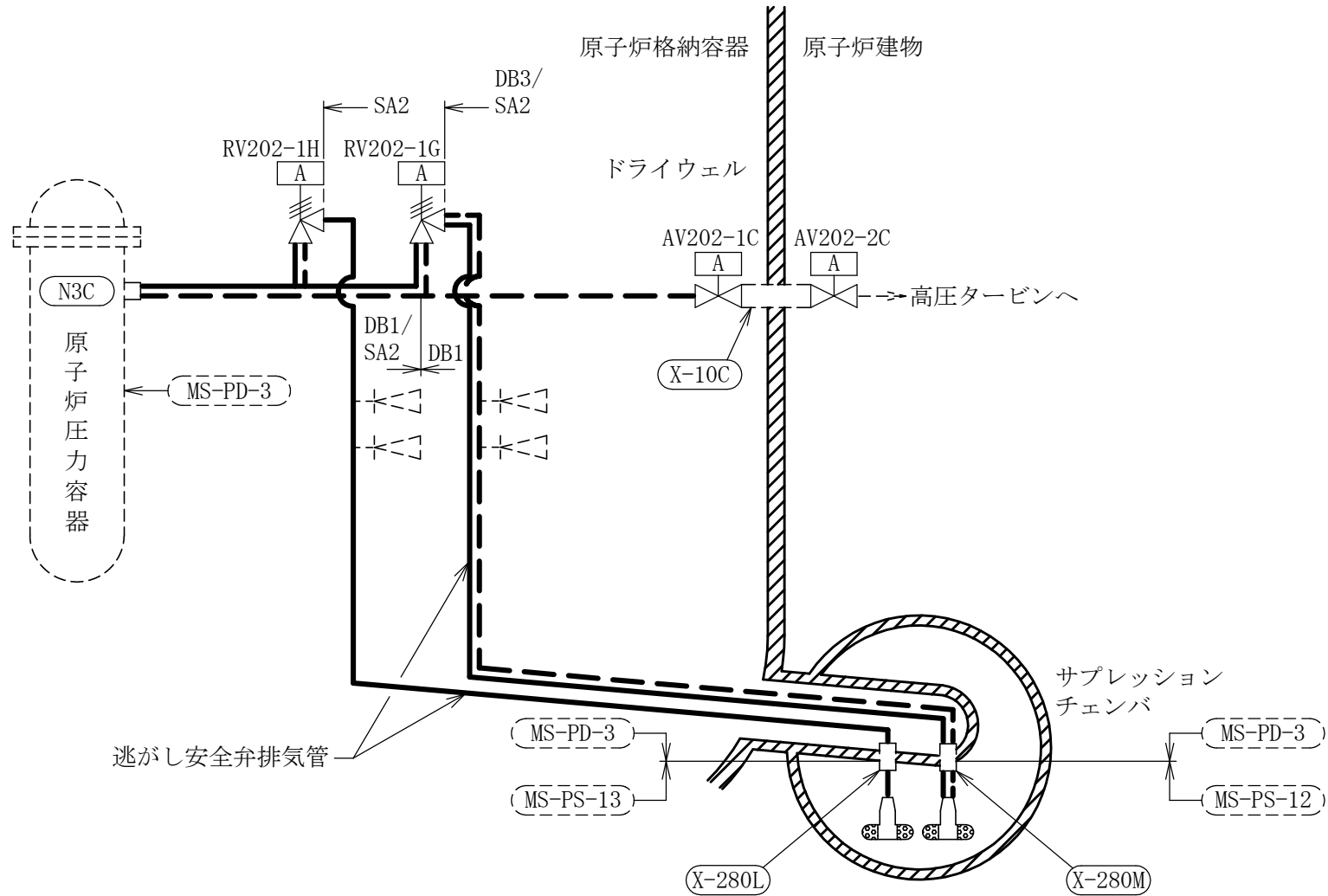
主蒸気系概略系統図 (その1)



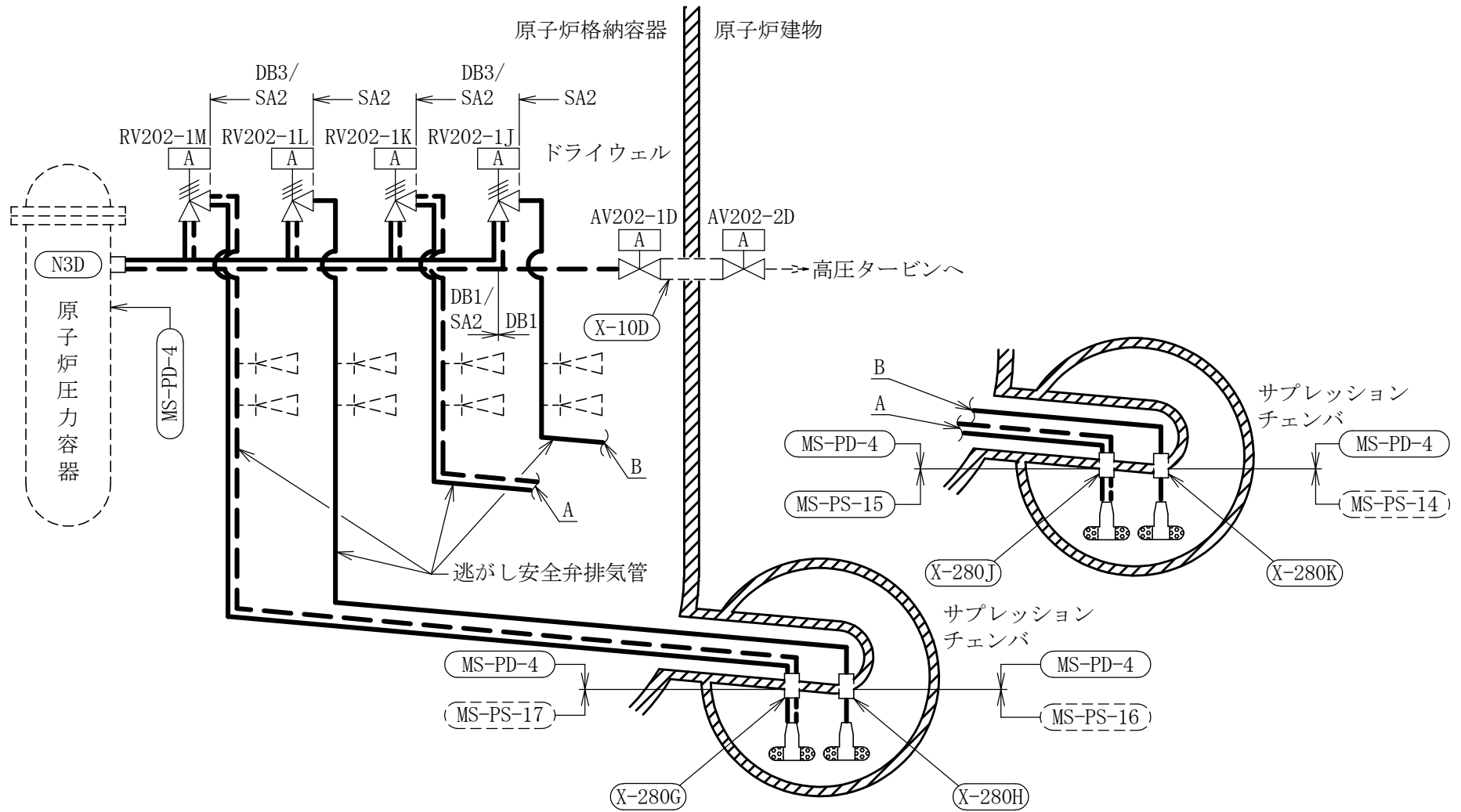
注記*1：高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。

*2：原子炉隔離時冷却系との兼用範囲である。

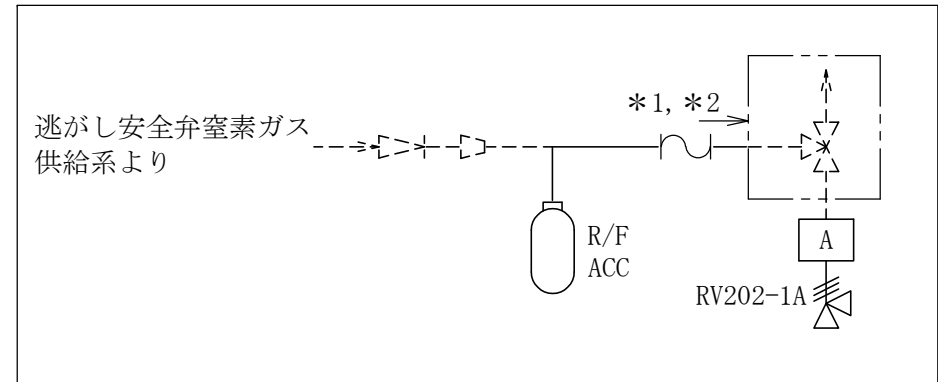
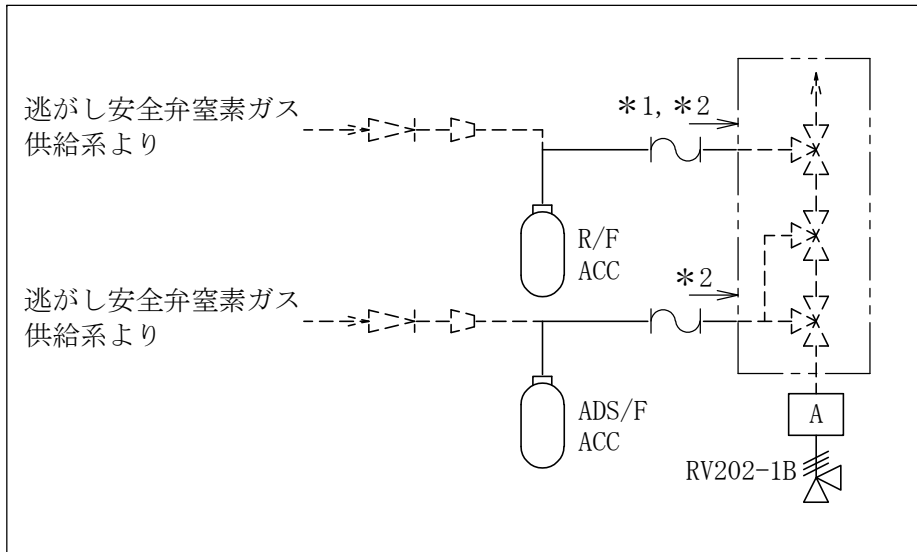
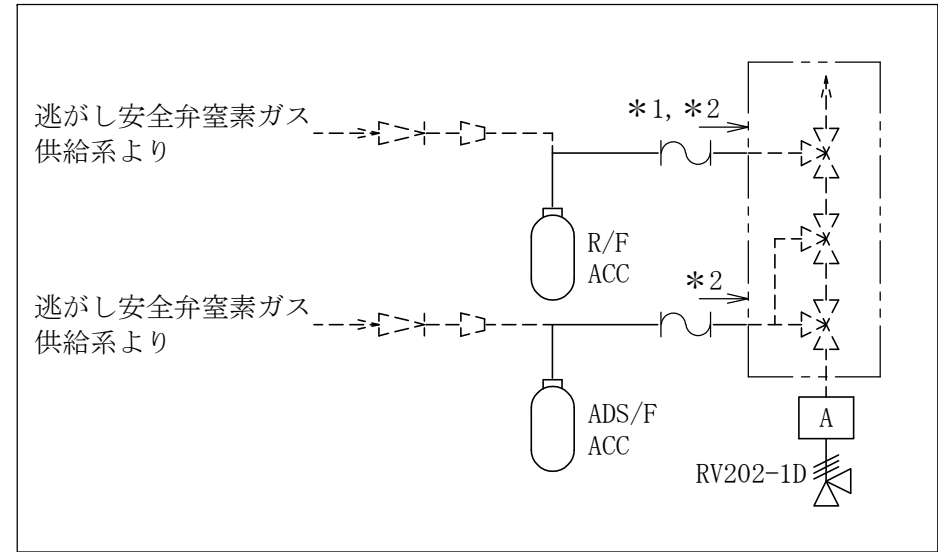
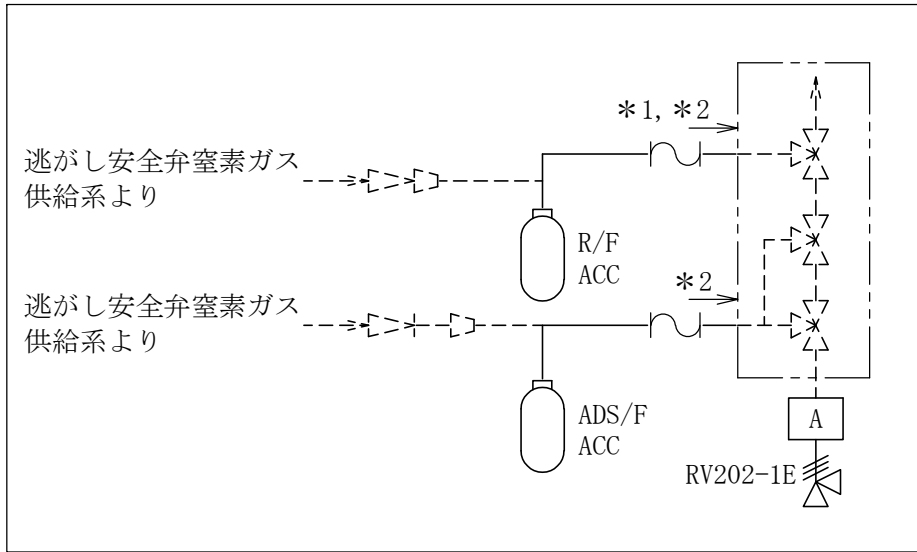
主蒸気系概略系統図 (その2)



主蒸気系概略系統図 (その3)



主蒸気系概略系統図 (その4)



注：本図中の記号の定義を以下に示す。

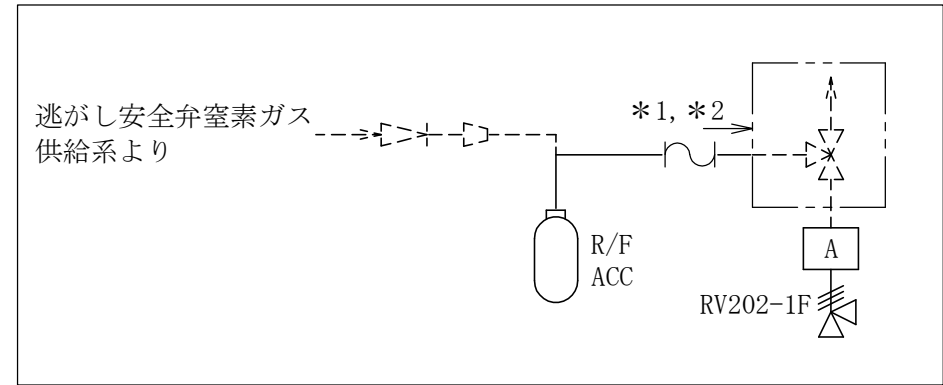
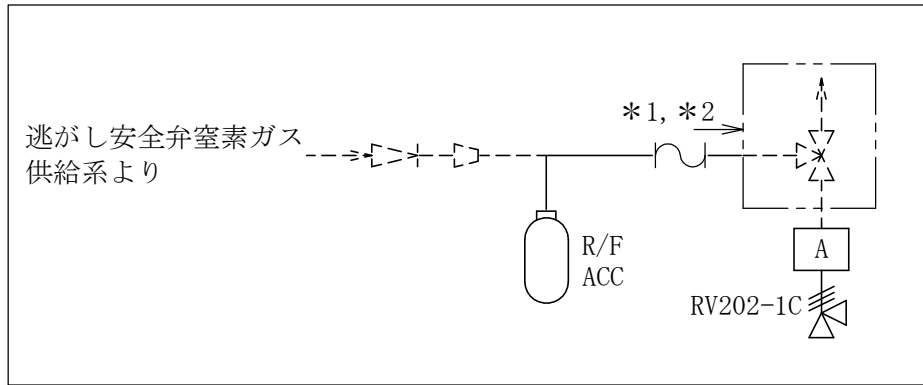
ADS/F ACC：逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

R/F ACC：逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

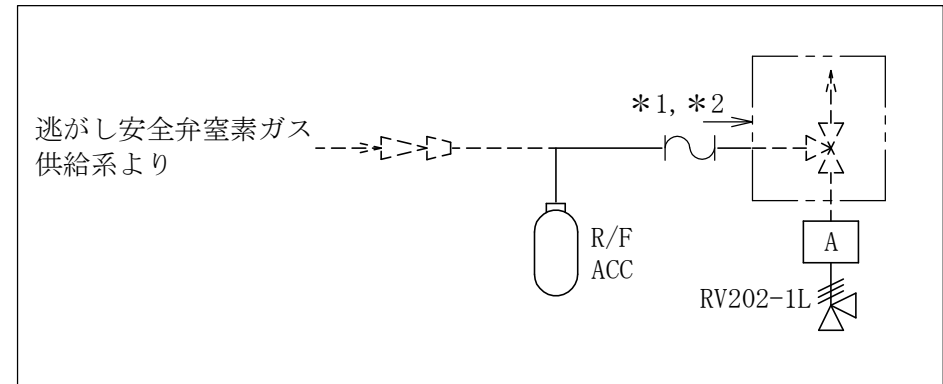
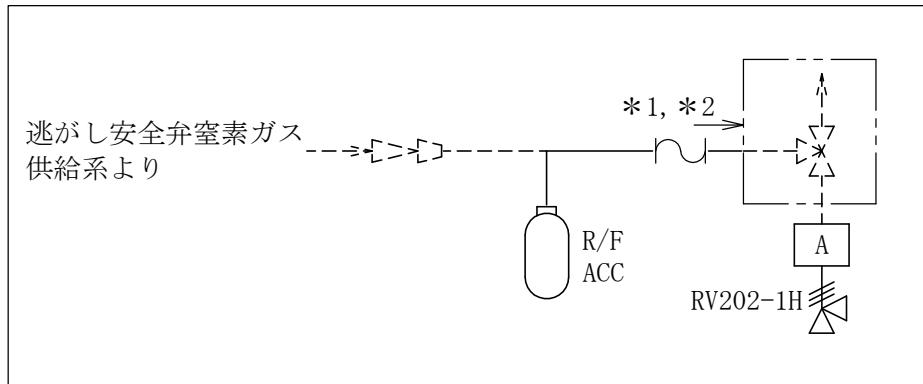
注記*1：逃がし安全弁窒素ガス供給系との兼用範囲である。

*2：計算結果は逃がし安全弁窒素ガス供給系に含めて示す。

主蒸気系概略系統図（その5）

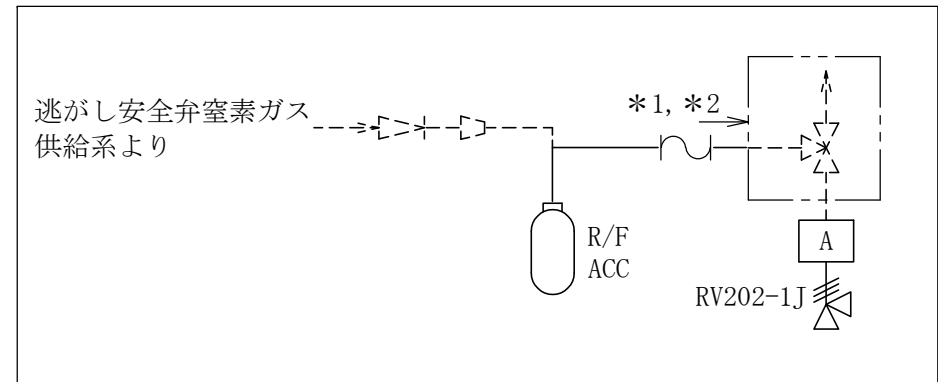
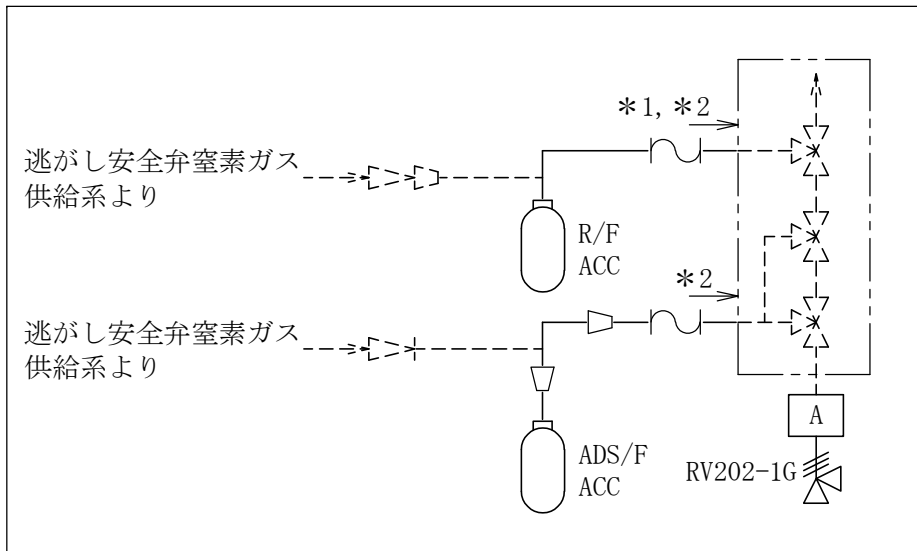
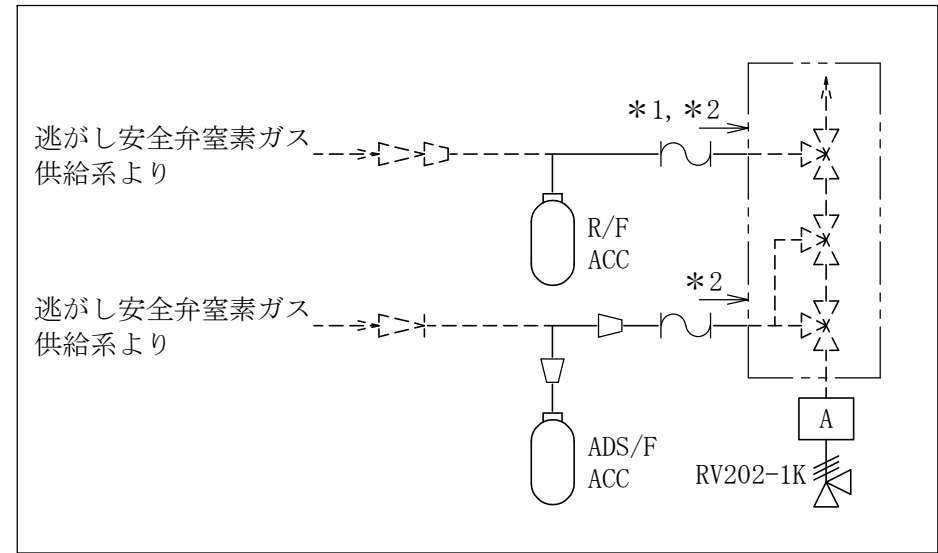
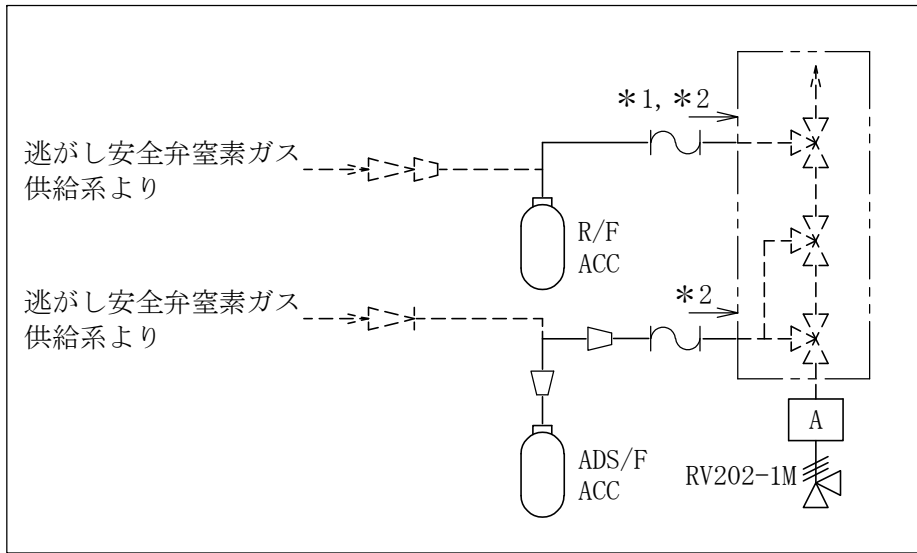


∞



注記*1：逃がし安全弁窒素ガス供給系との兼用範囲である。
 *2：計算結果は逃がし安全弁窒素ガス供給系に含めて示す。

注：本図中の記号の定義を以下に示す。
 ADS/F ACC：逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ
 R/F ACC：逃がし安全弁逃がし機能用アキュムレータ



注：本図中の記号の定義を以下に示す。

ADS/F ACC：逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

R/F ACC：逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ






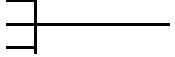
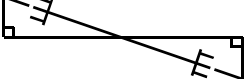
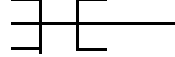
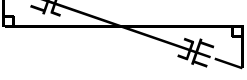
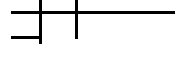

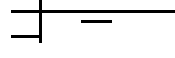
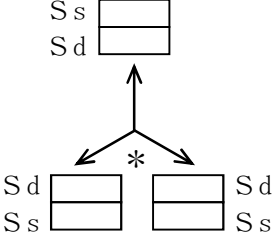
注記*1：逃がし安全弁窒素ガス供給系との兼用範囲である。

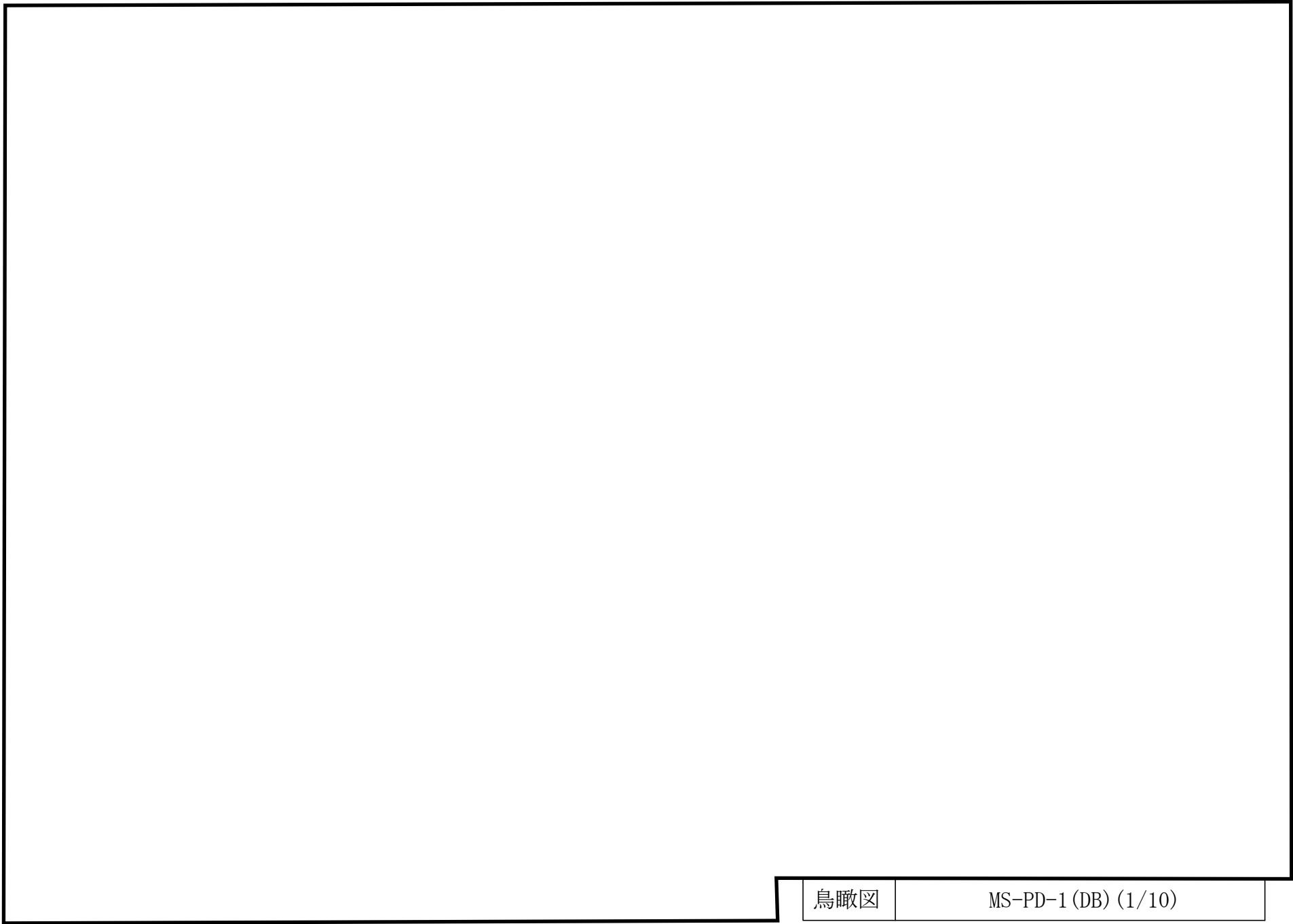
*2：計算結果は逃がし安全弁窒素ガス供給系に含めて示す。

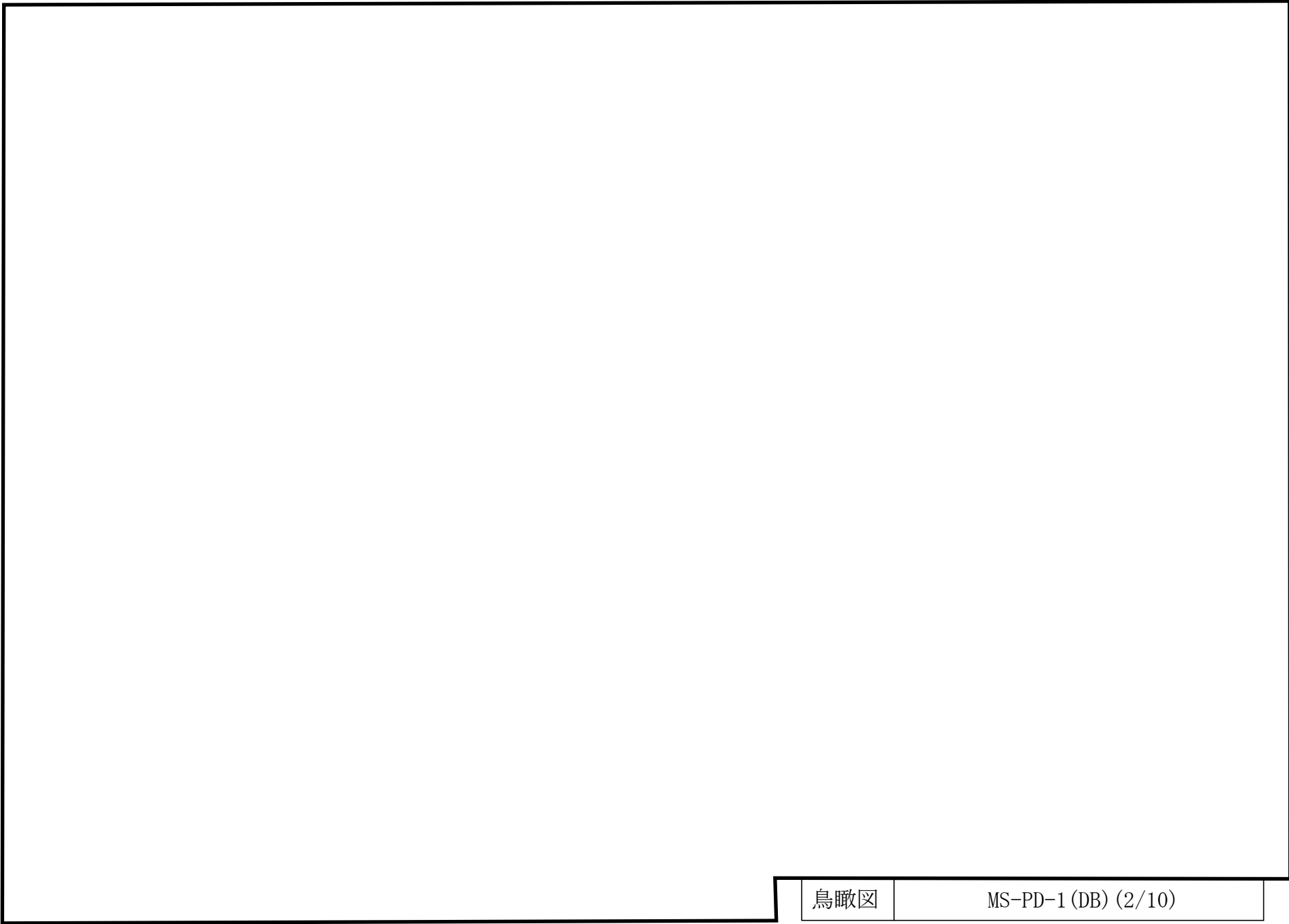
主蒸気系概略系統図（その7）

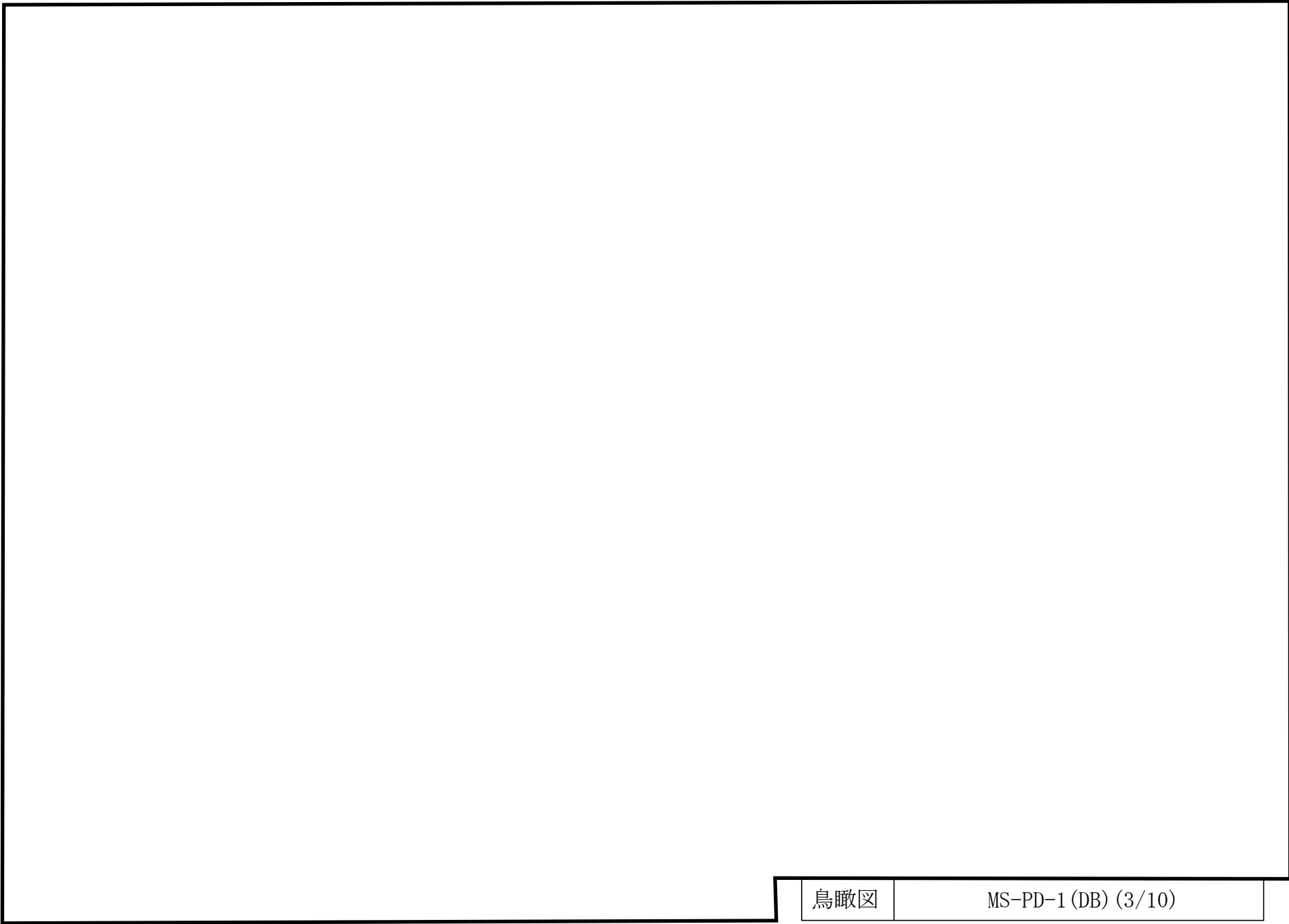
2.2 鳥瞰図

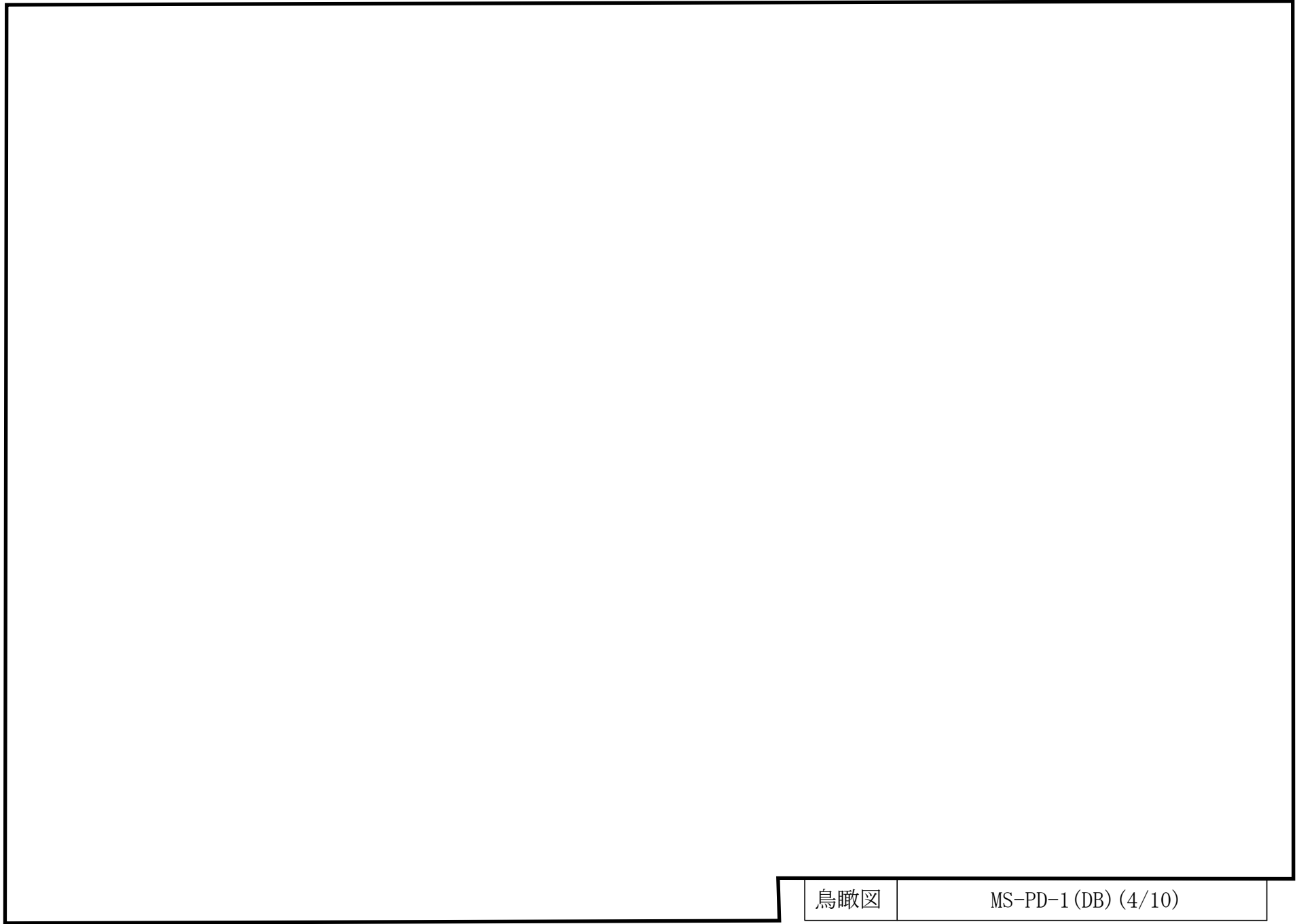
鳥瞰図記号凡例

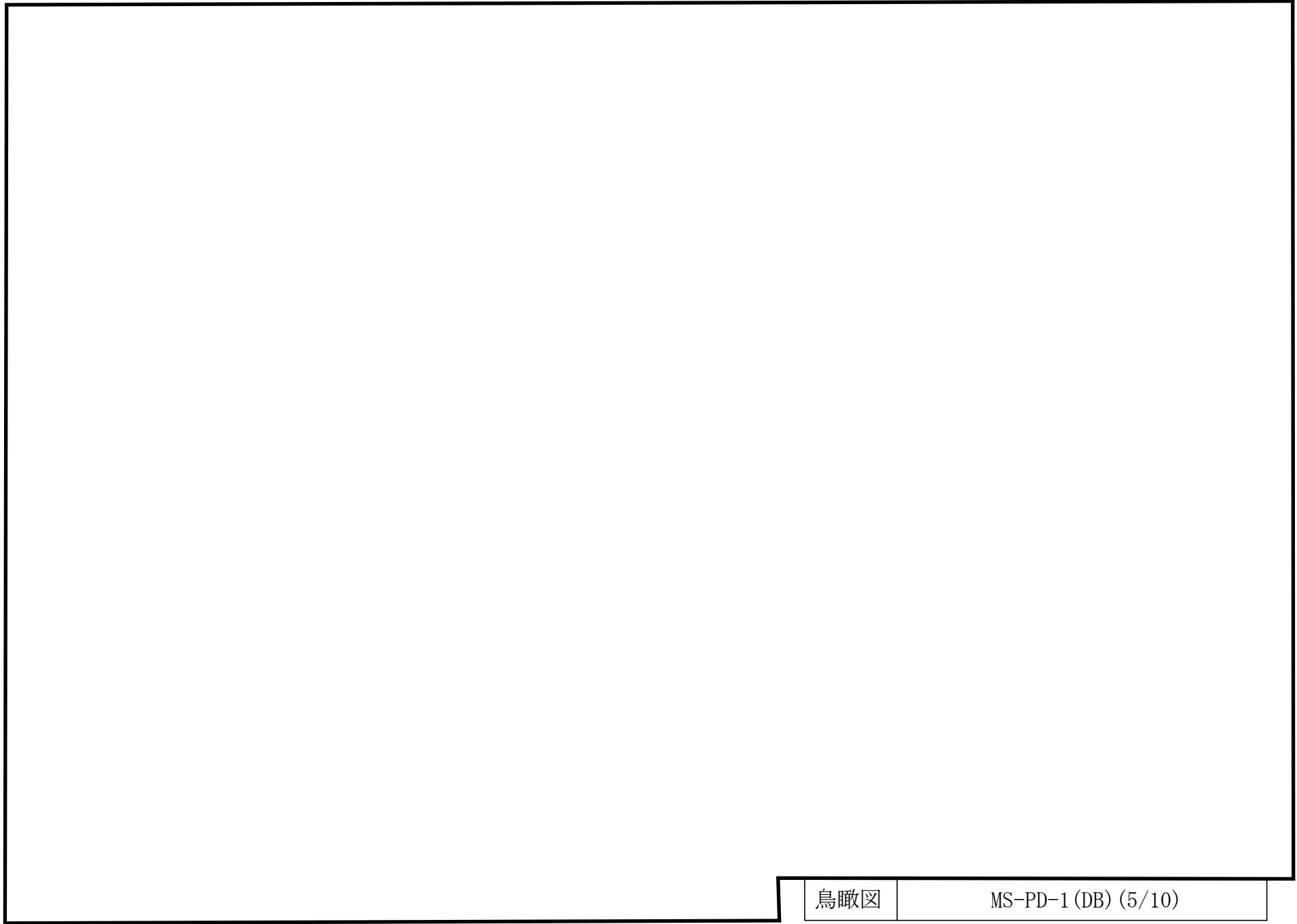
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ガイド
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (* は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に 変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

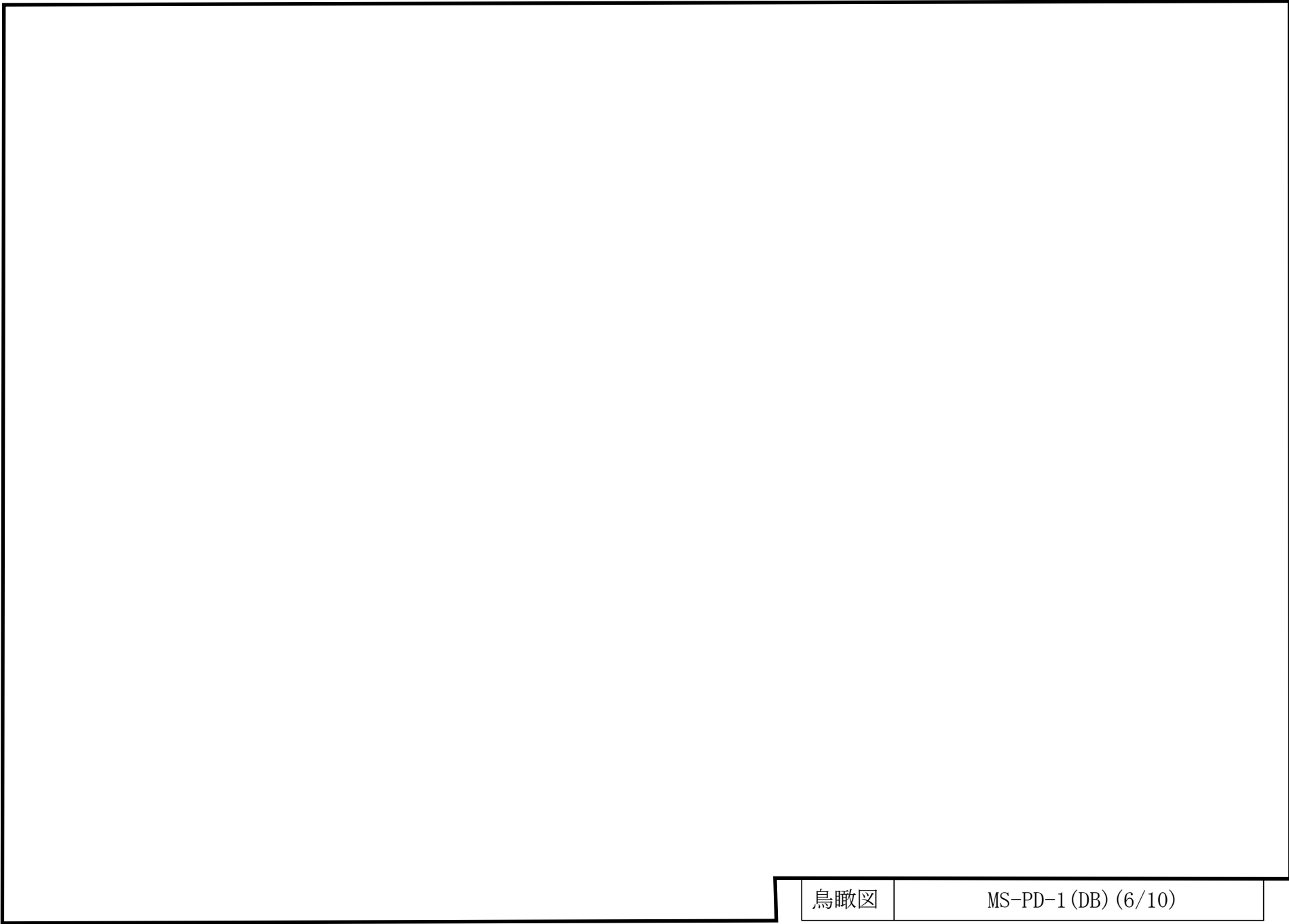


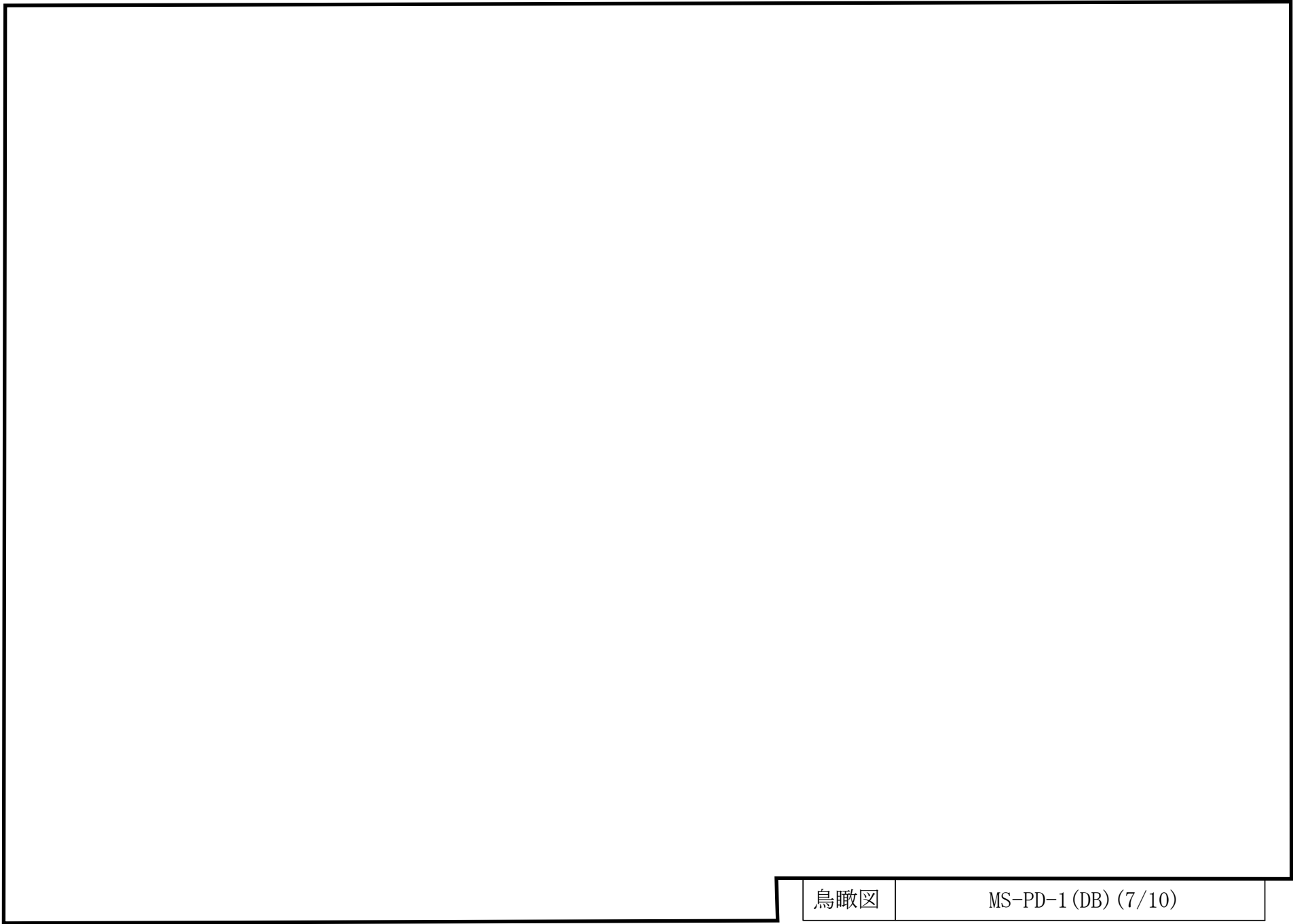


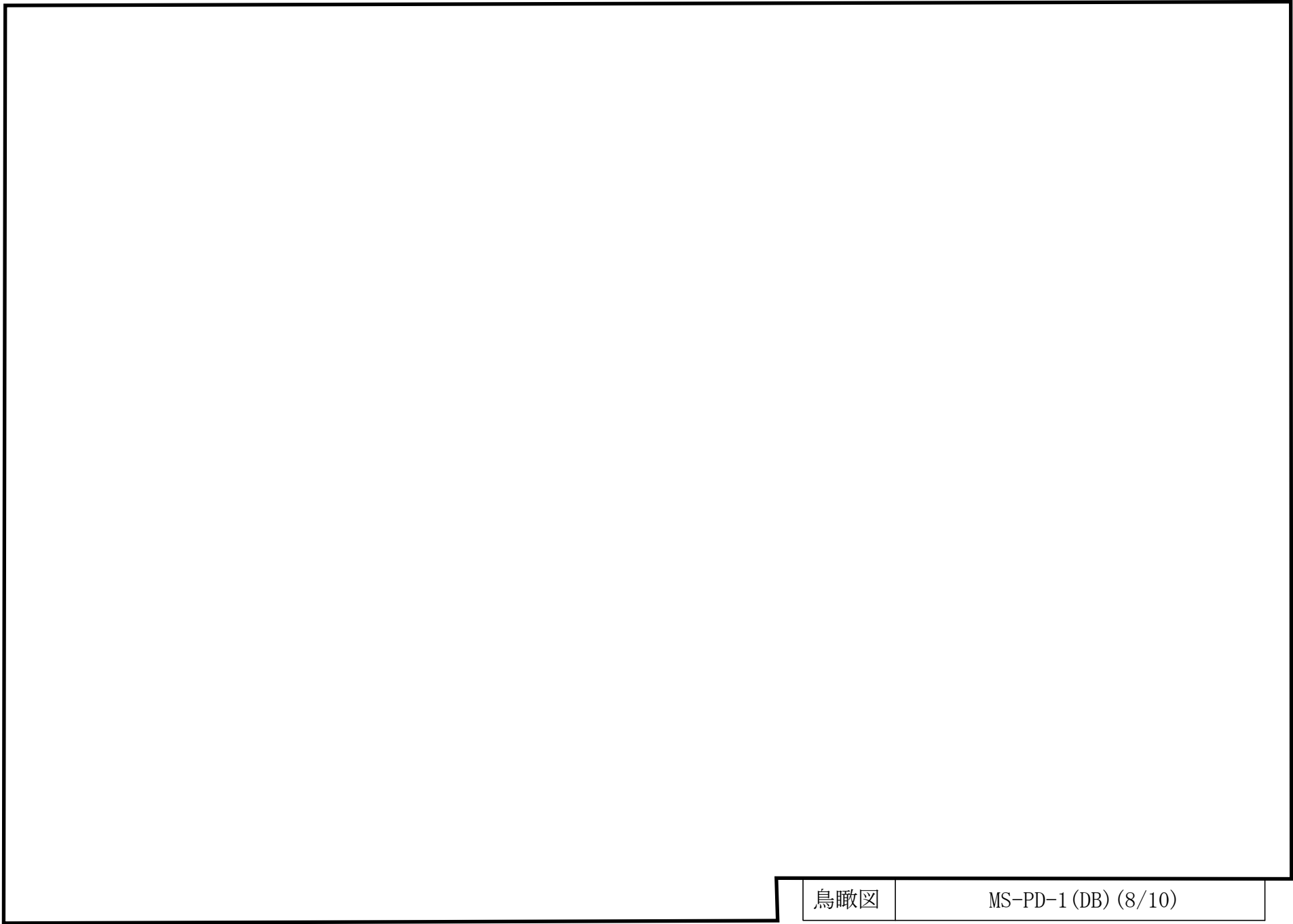


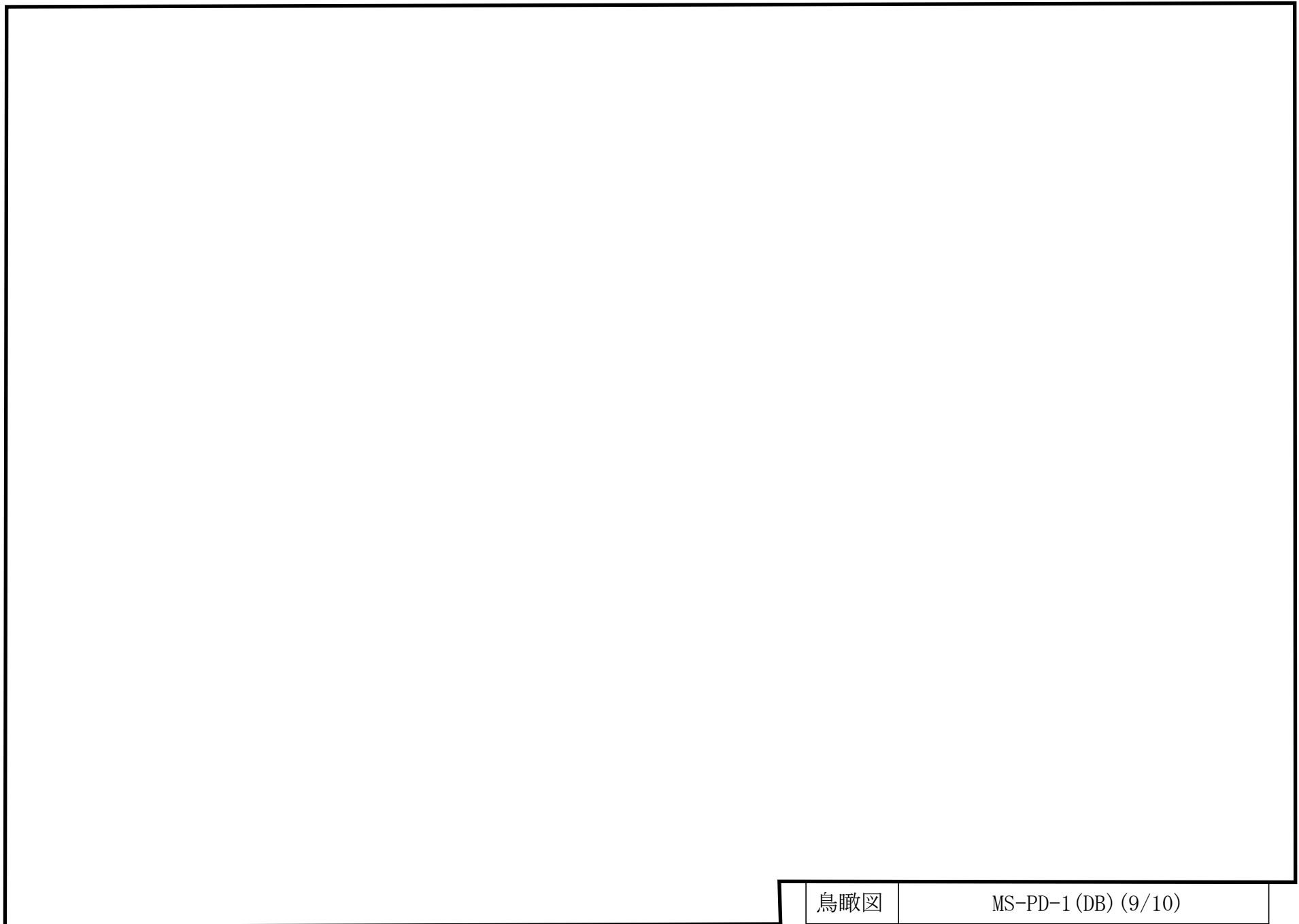


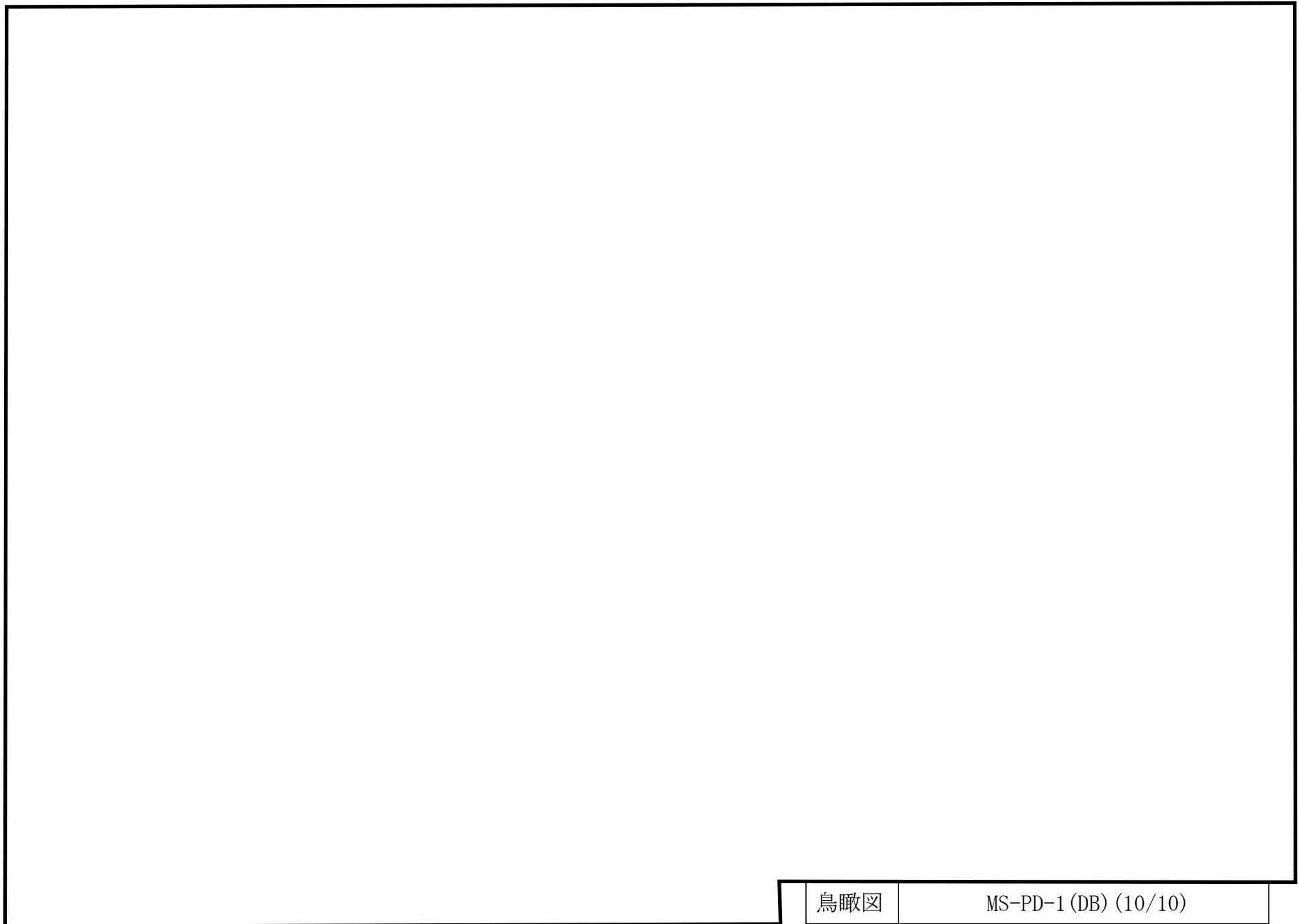


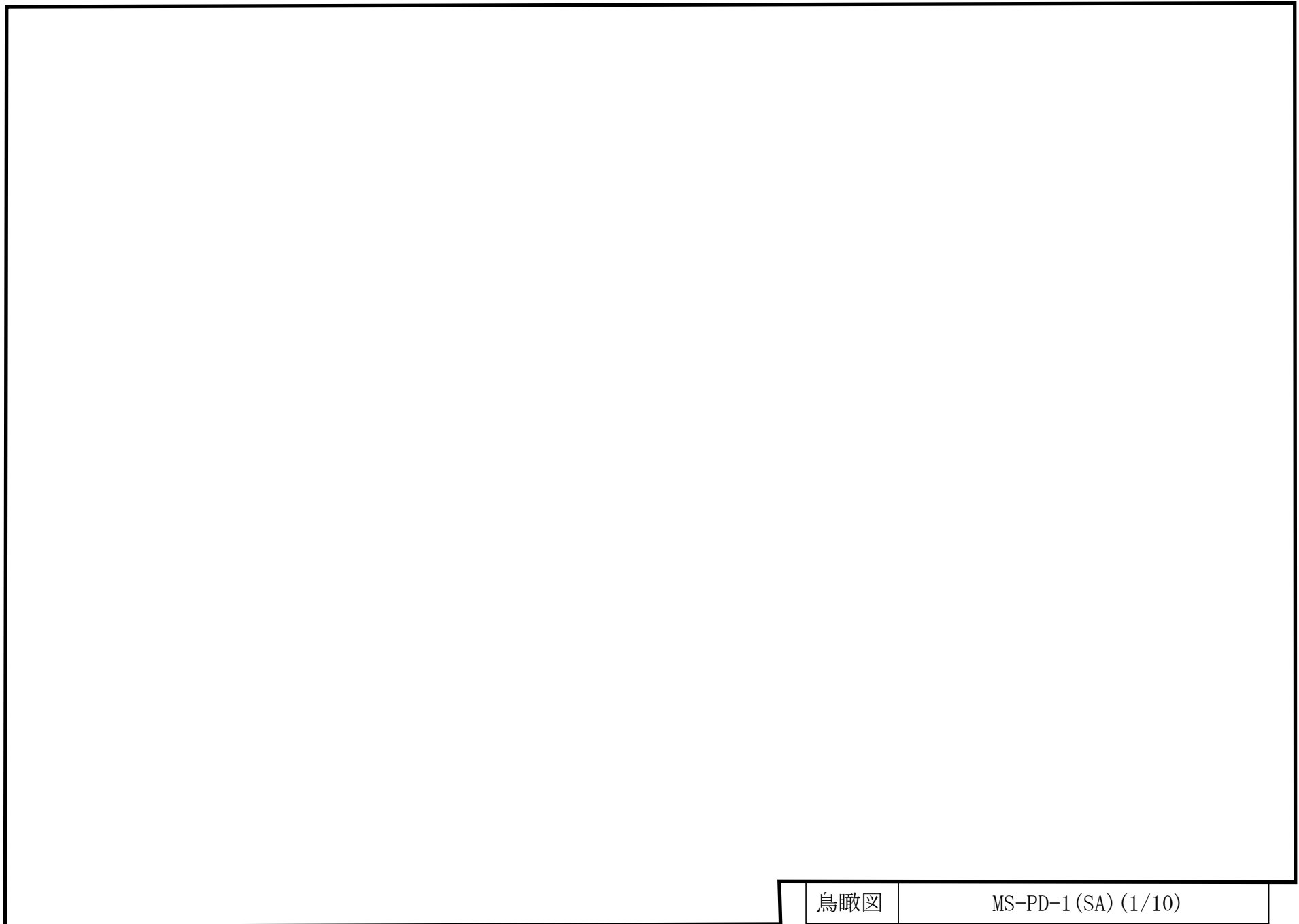


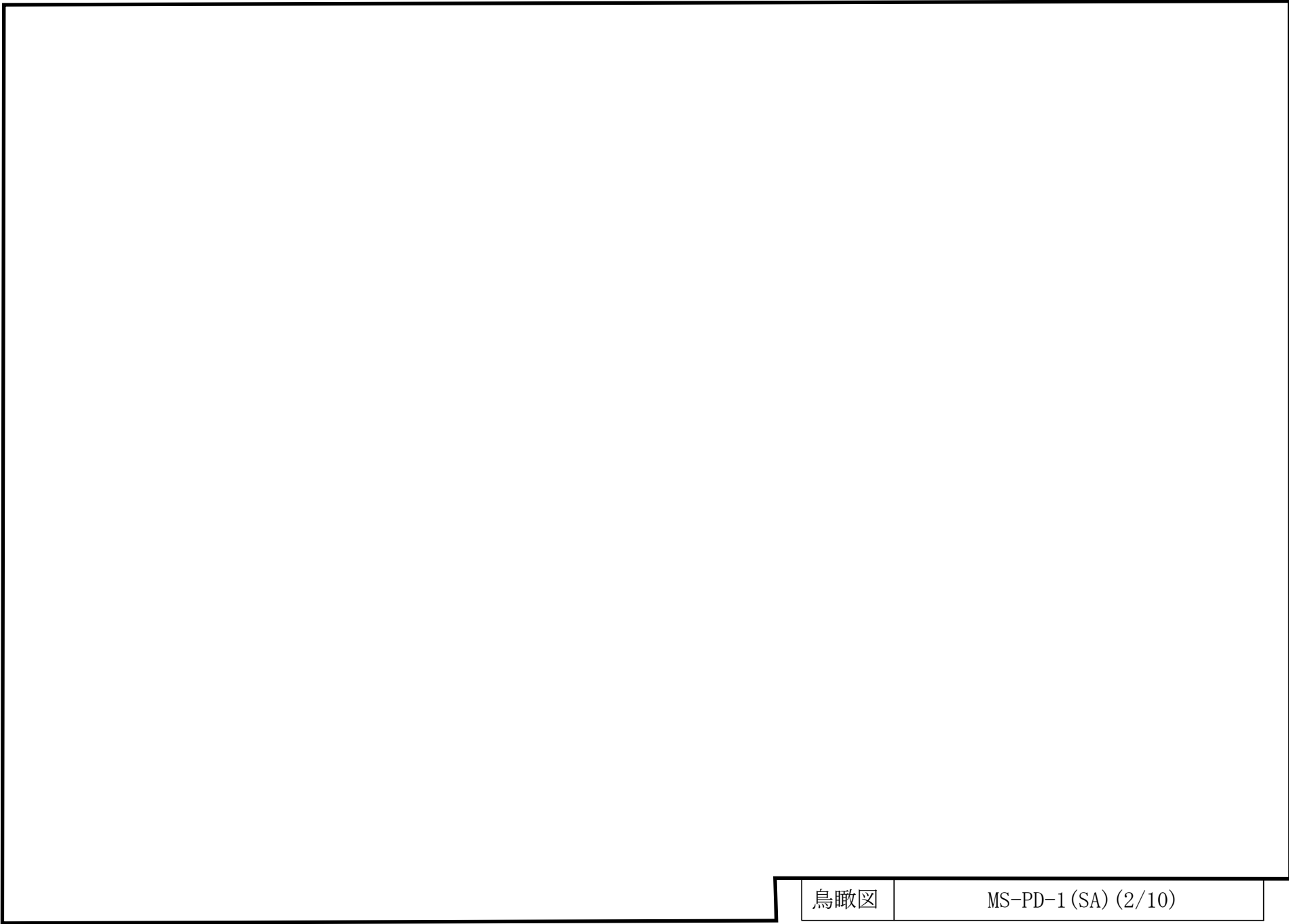


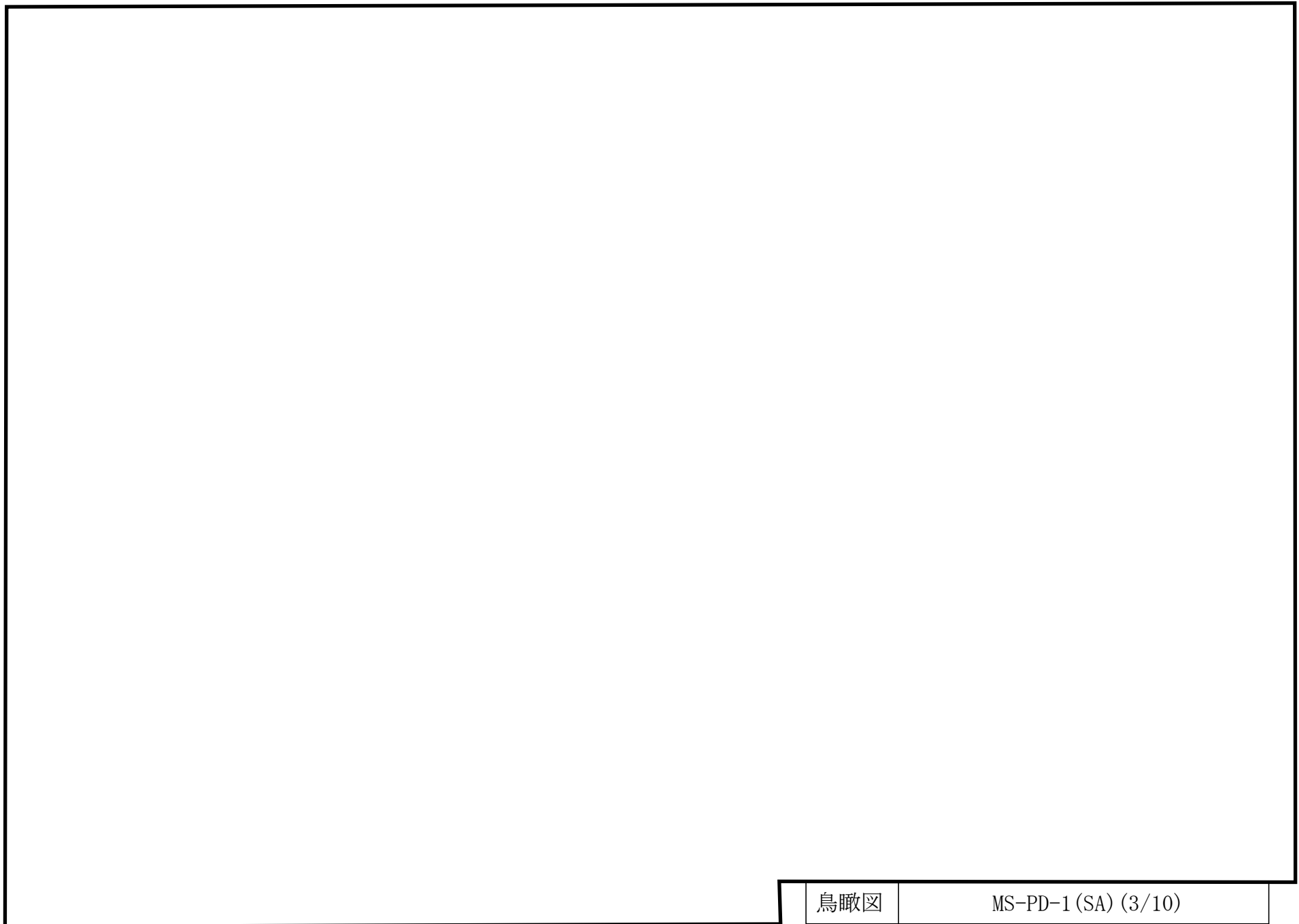


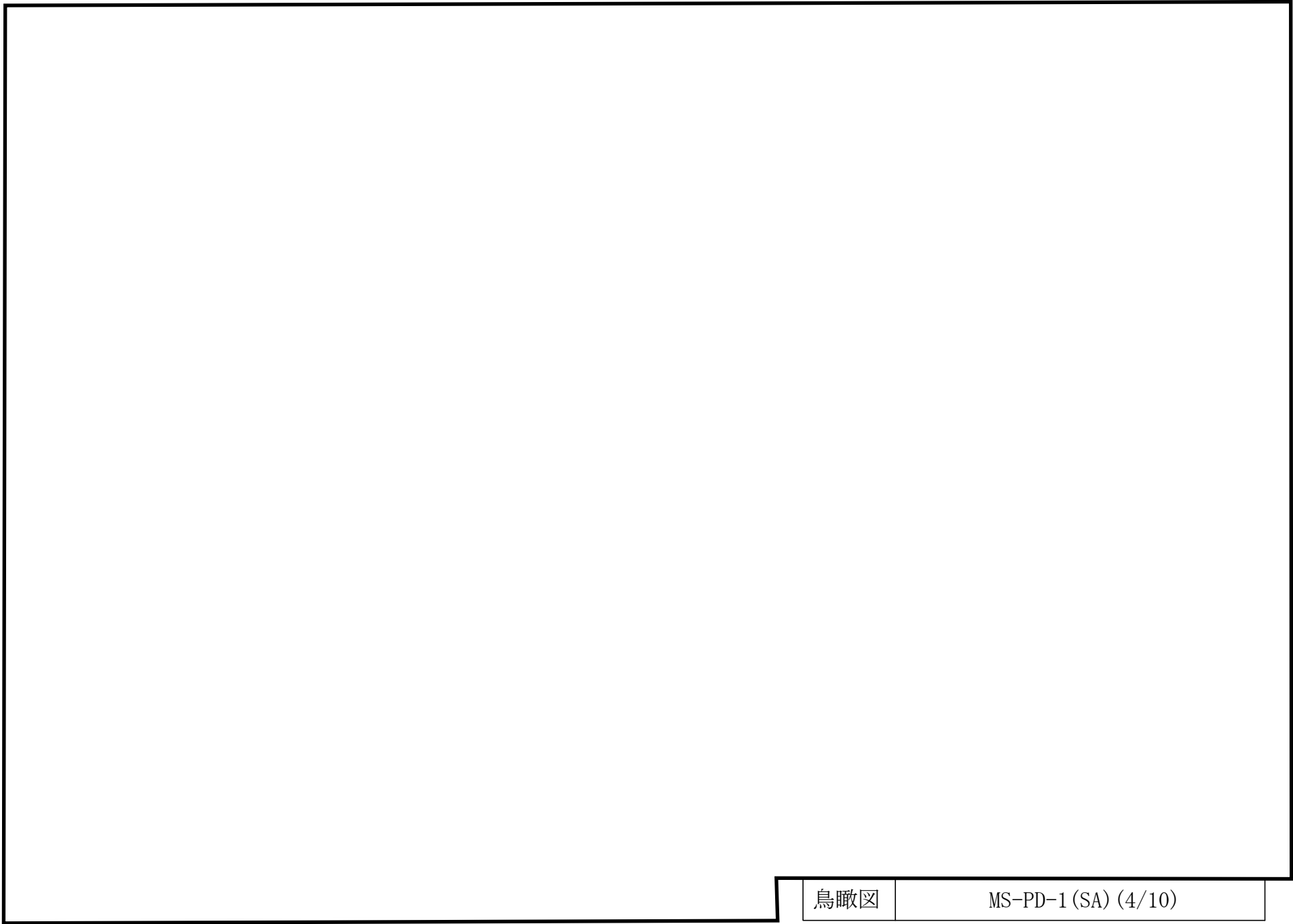






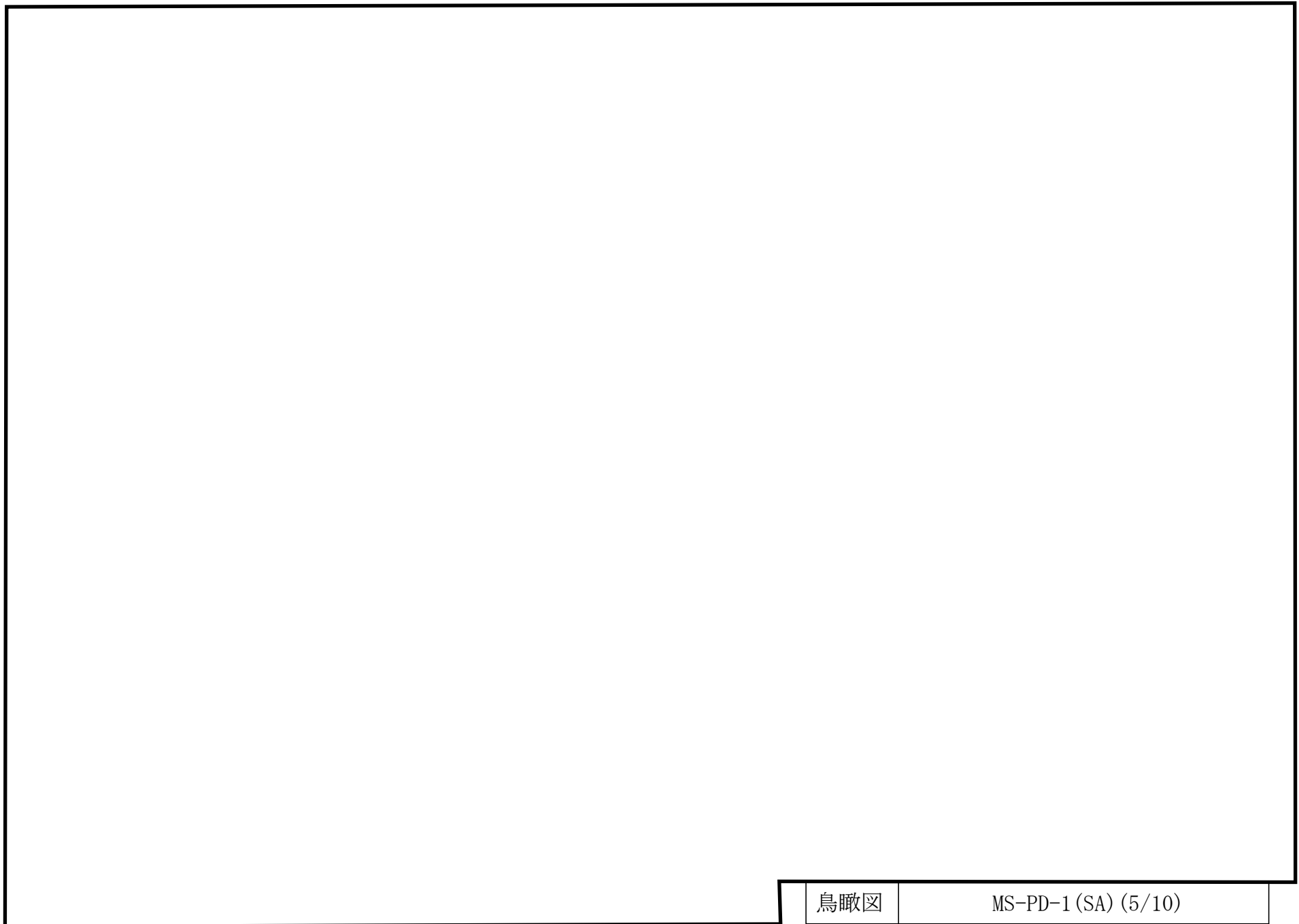


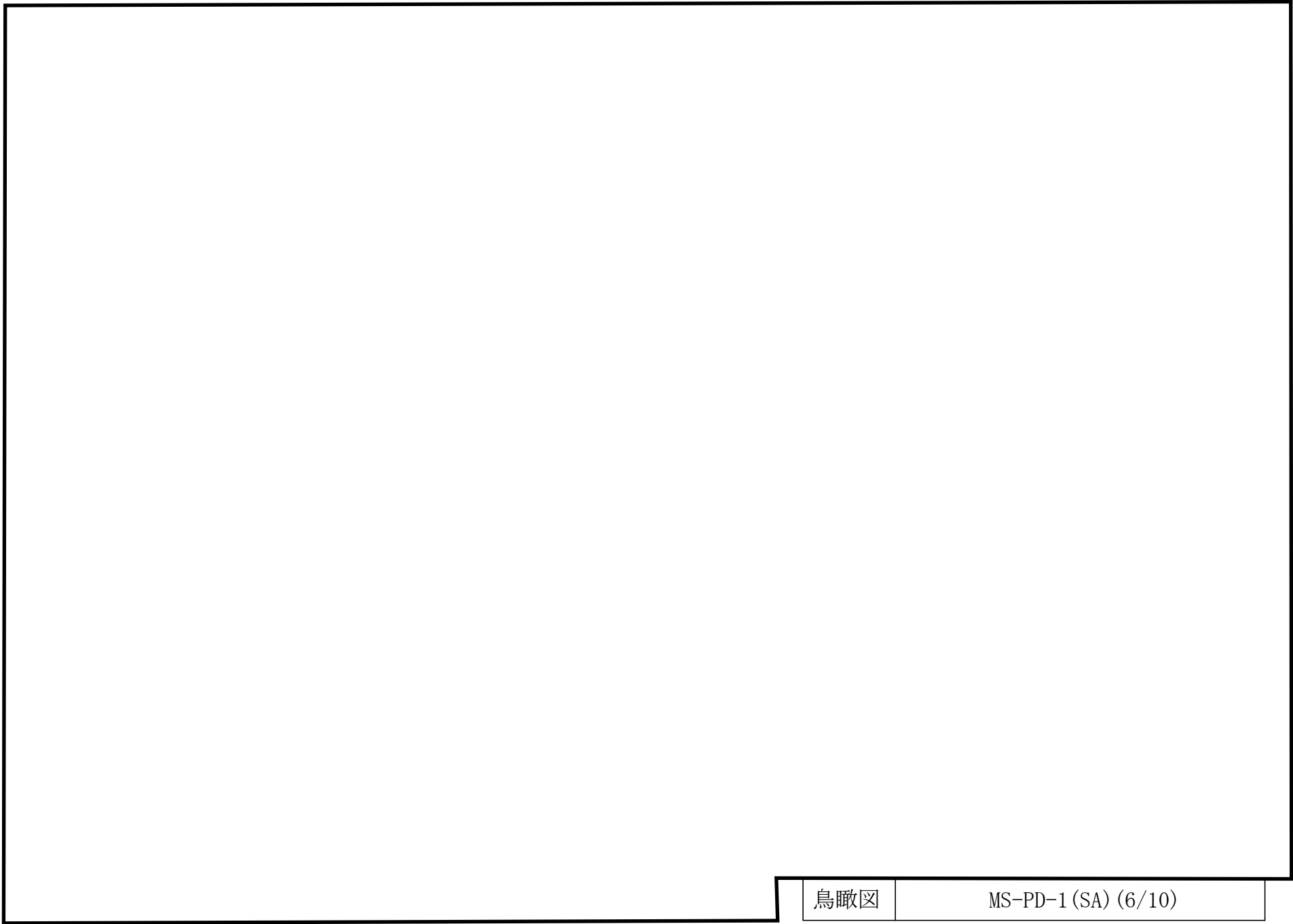


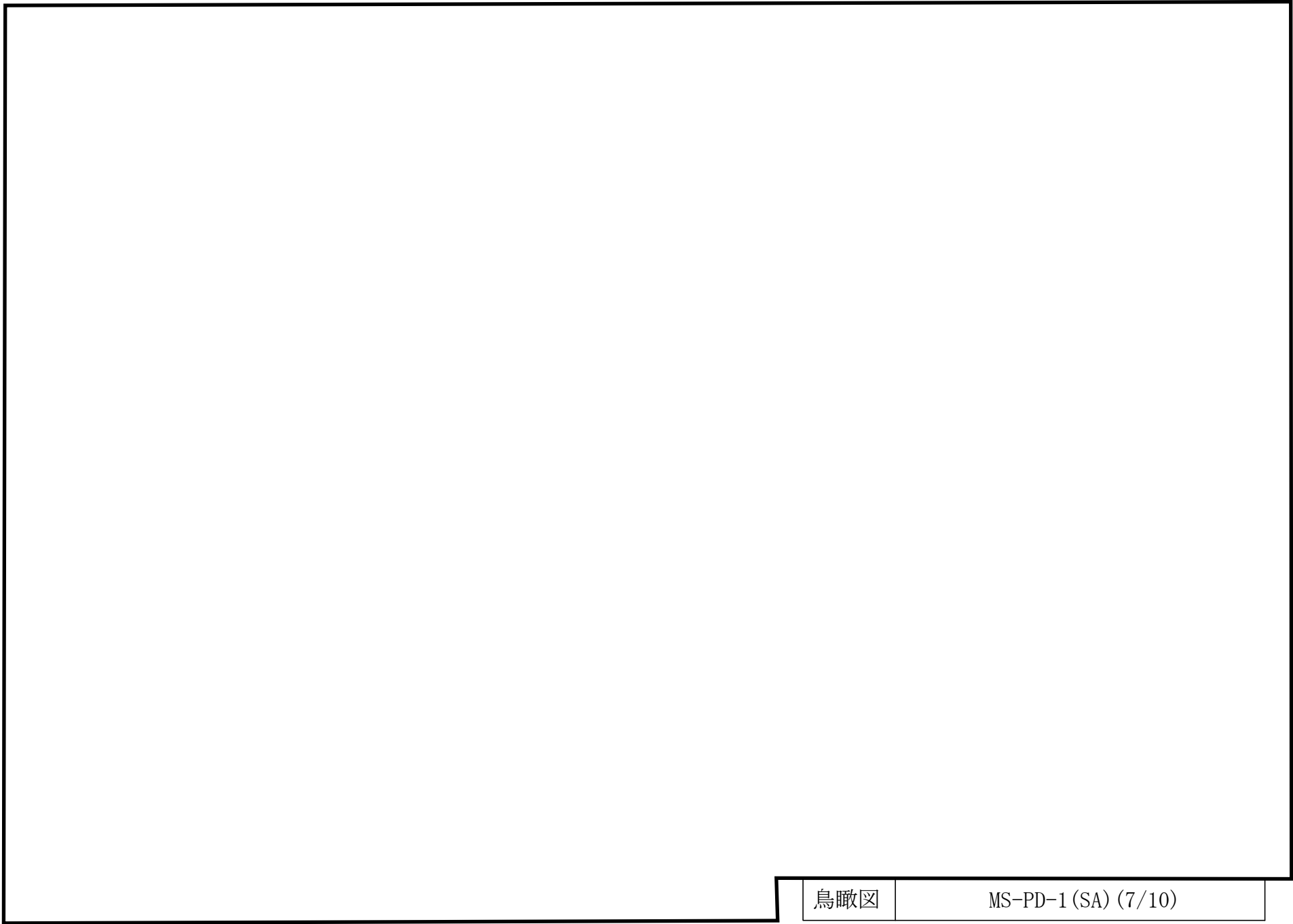


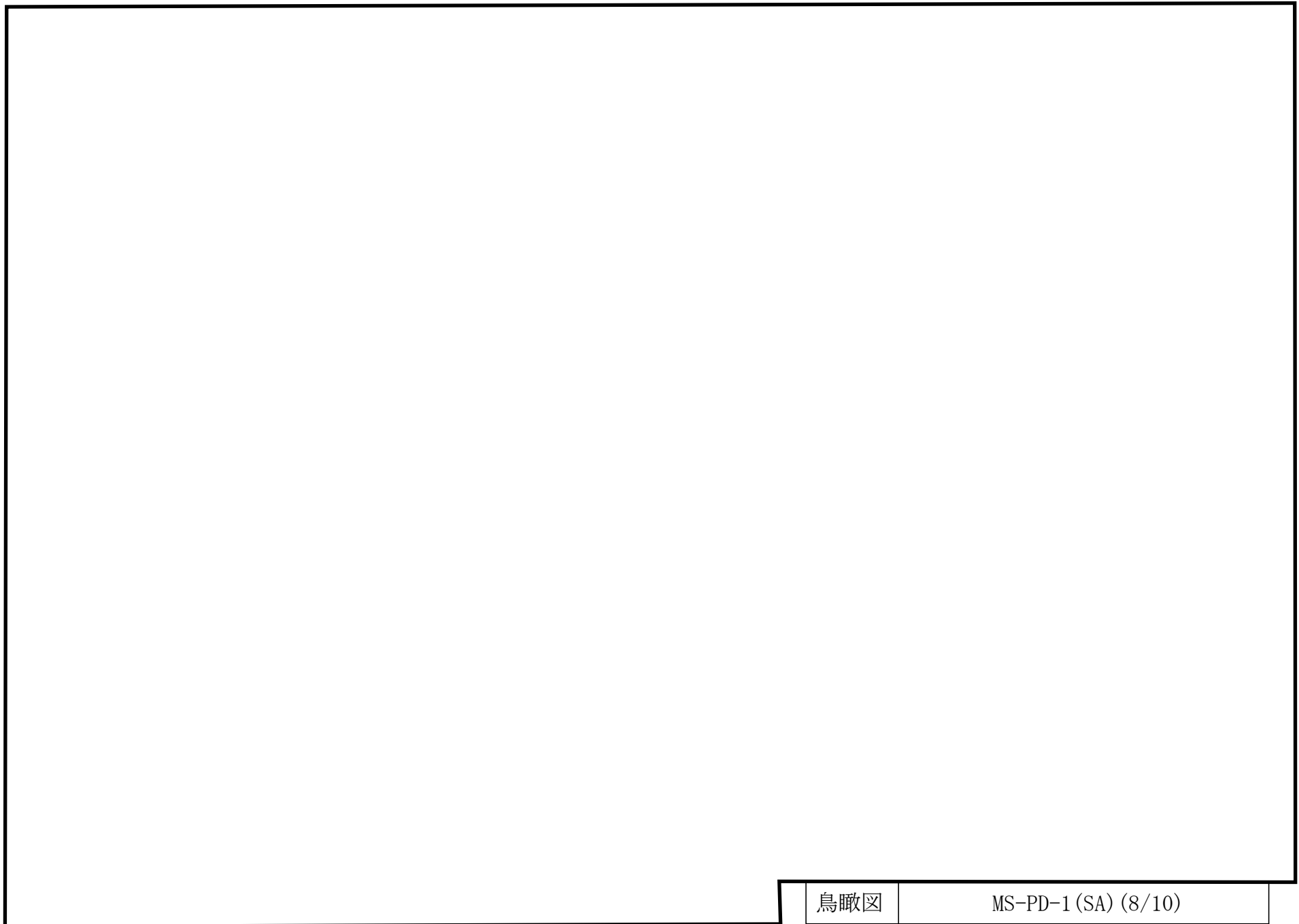
鳥瞰図

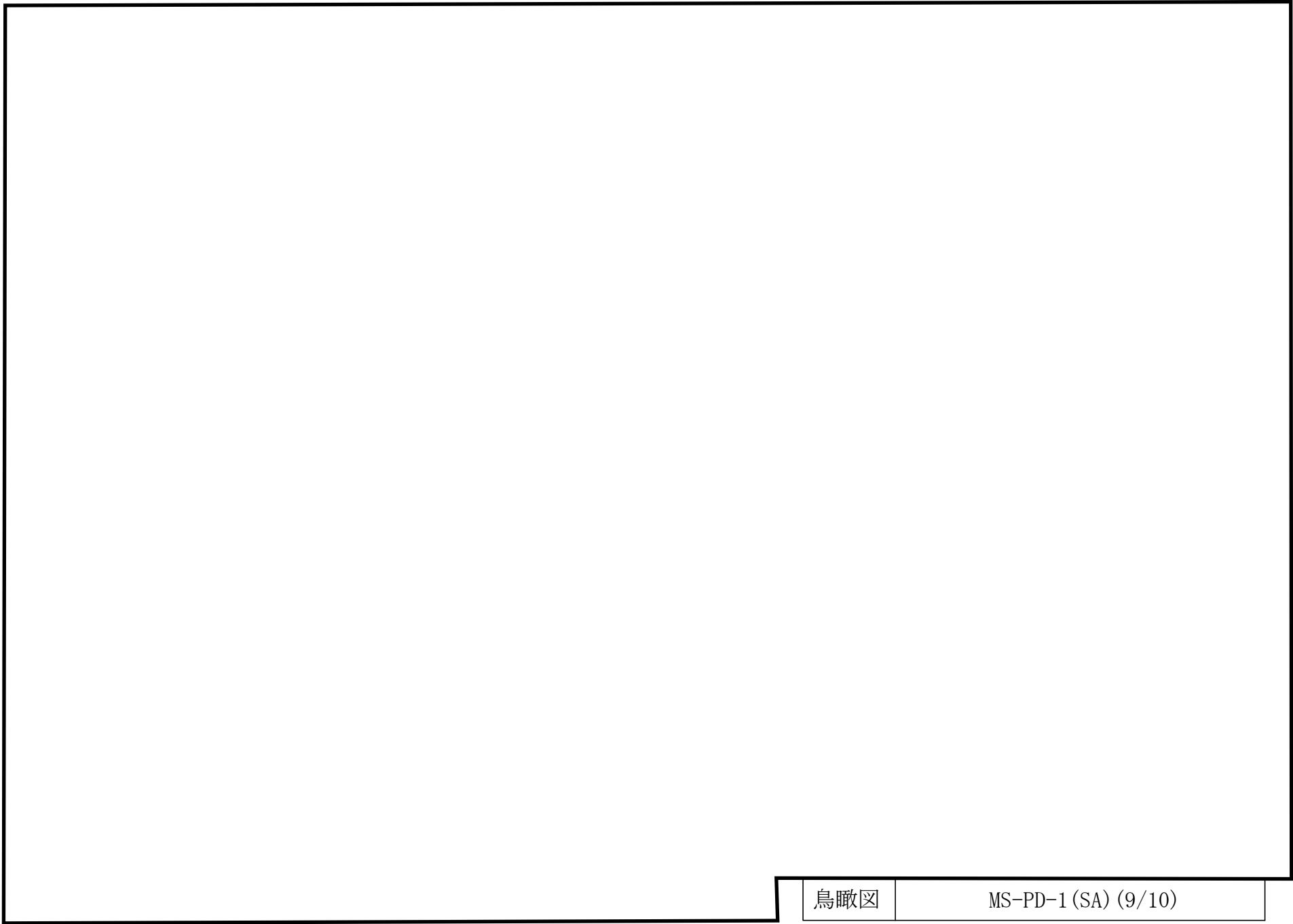
MS-PD-1 (SA) (4/10)

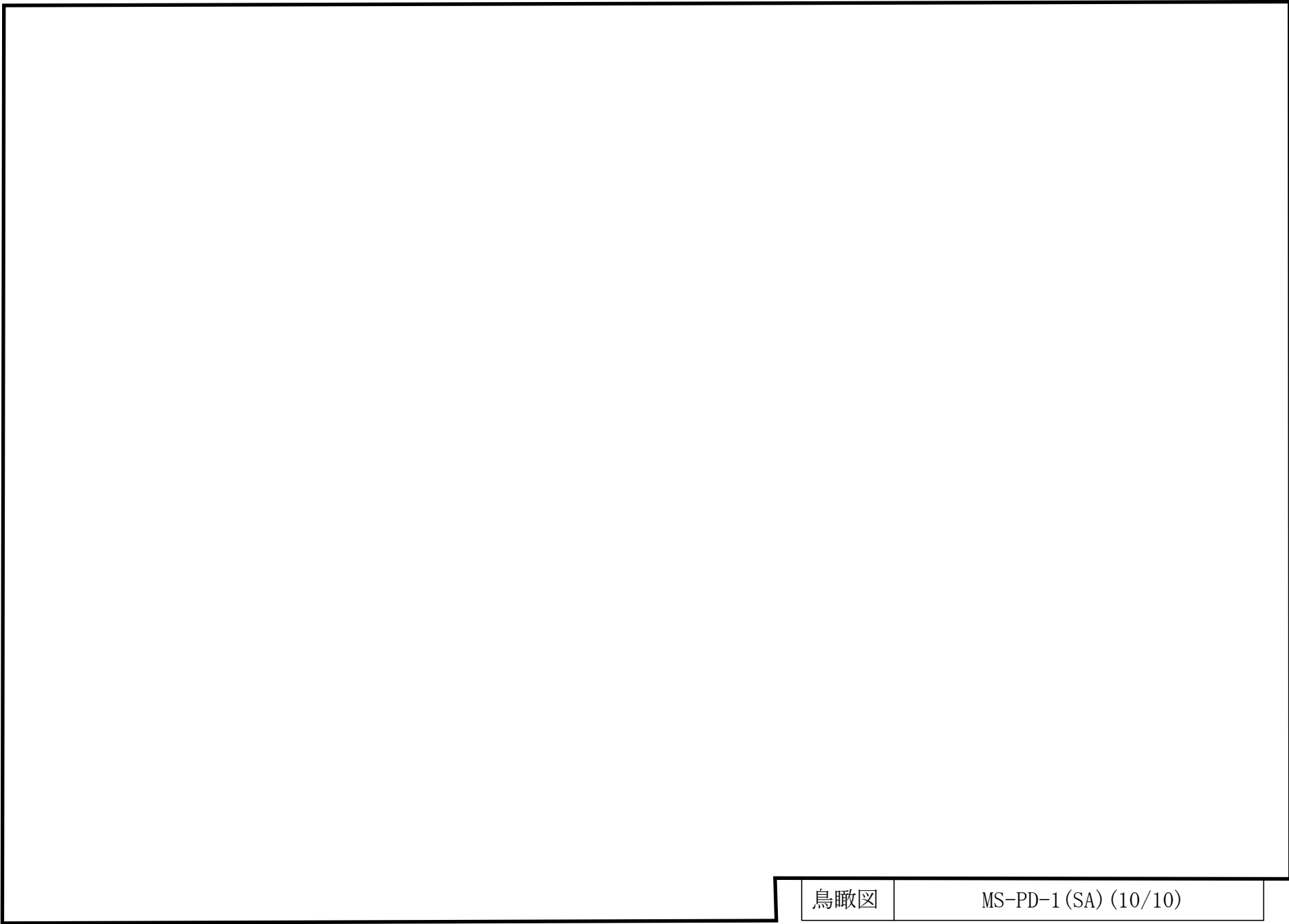


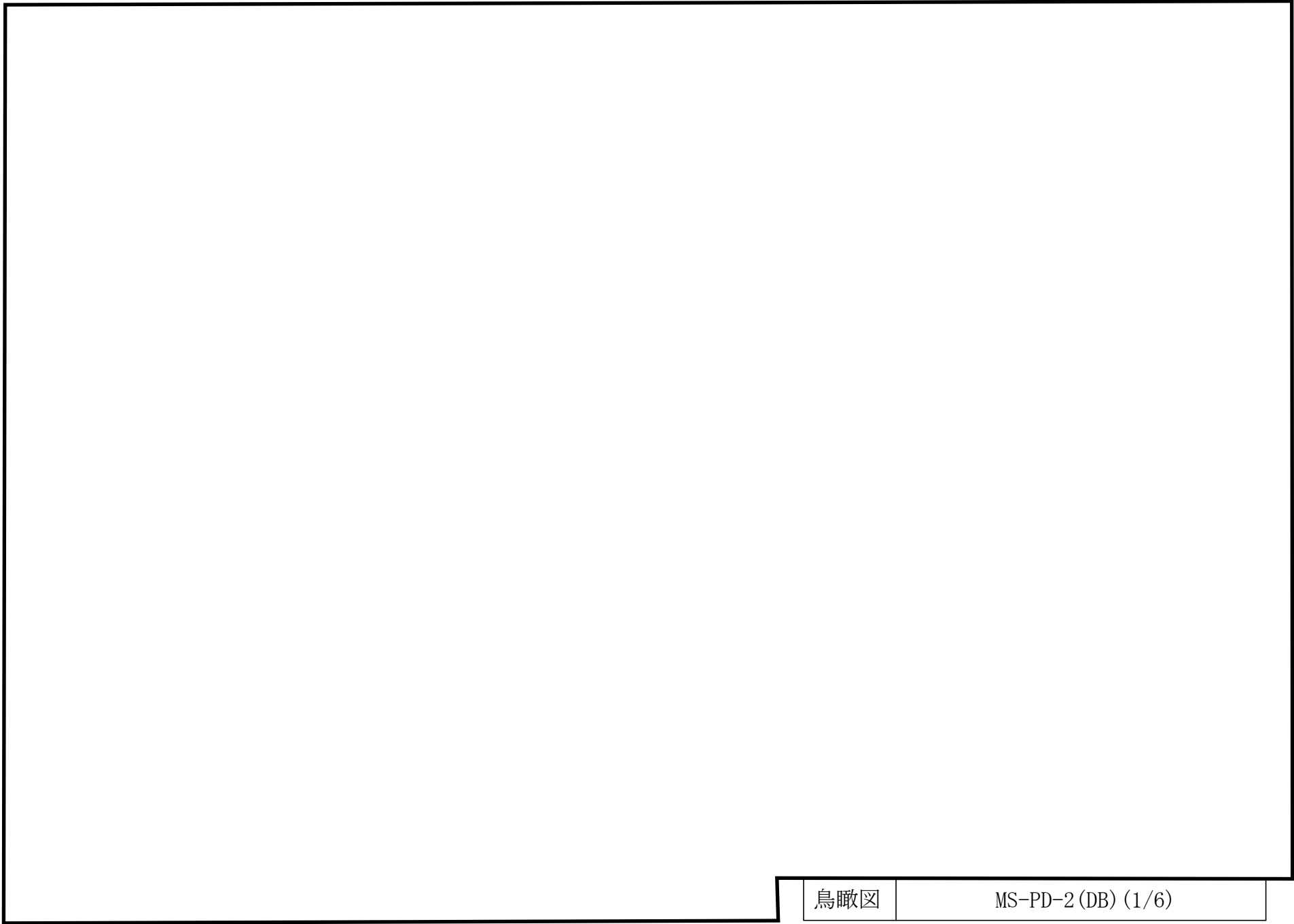






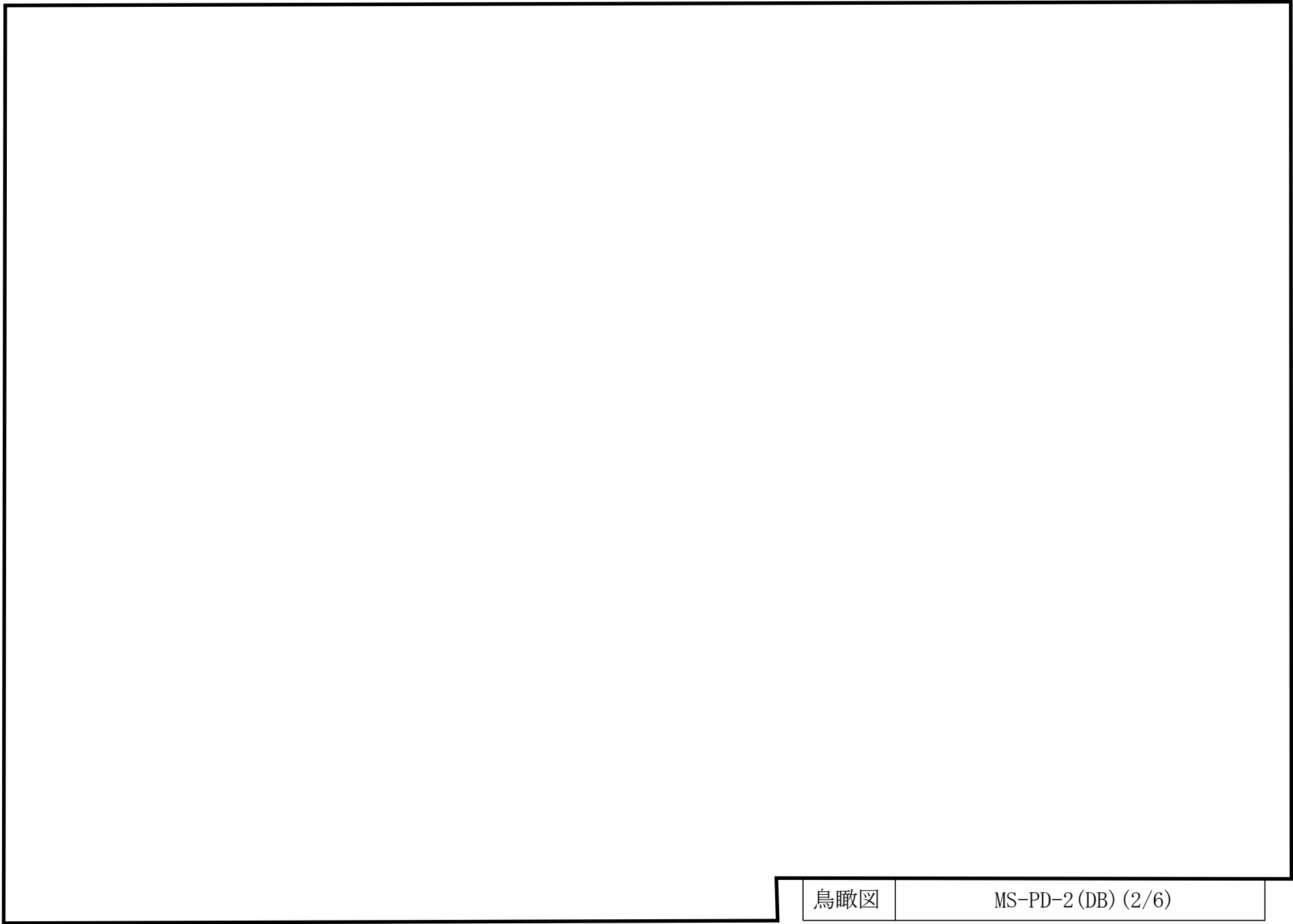






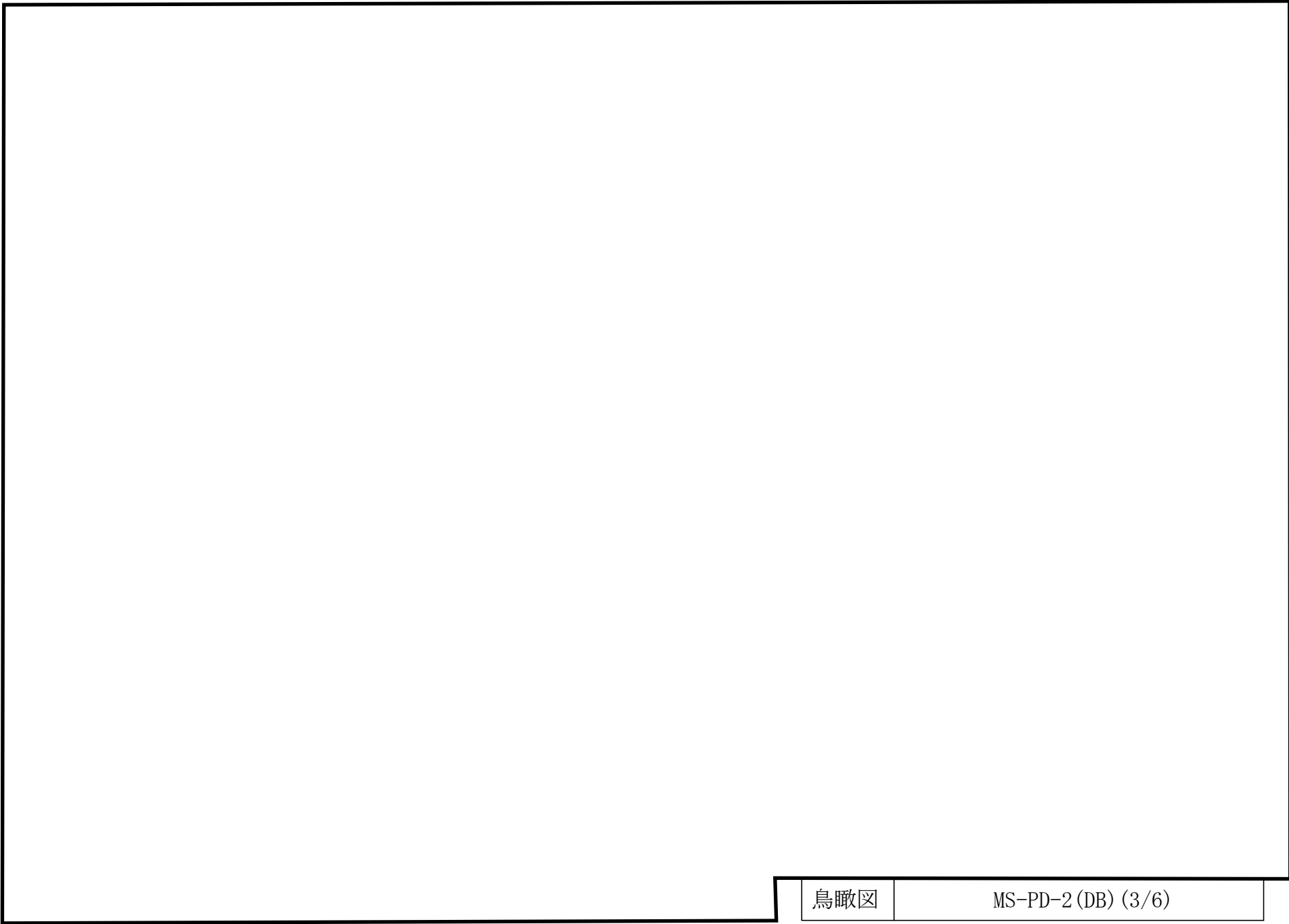
鳥瞰図

MS-PD-2 (DB) (1/6)



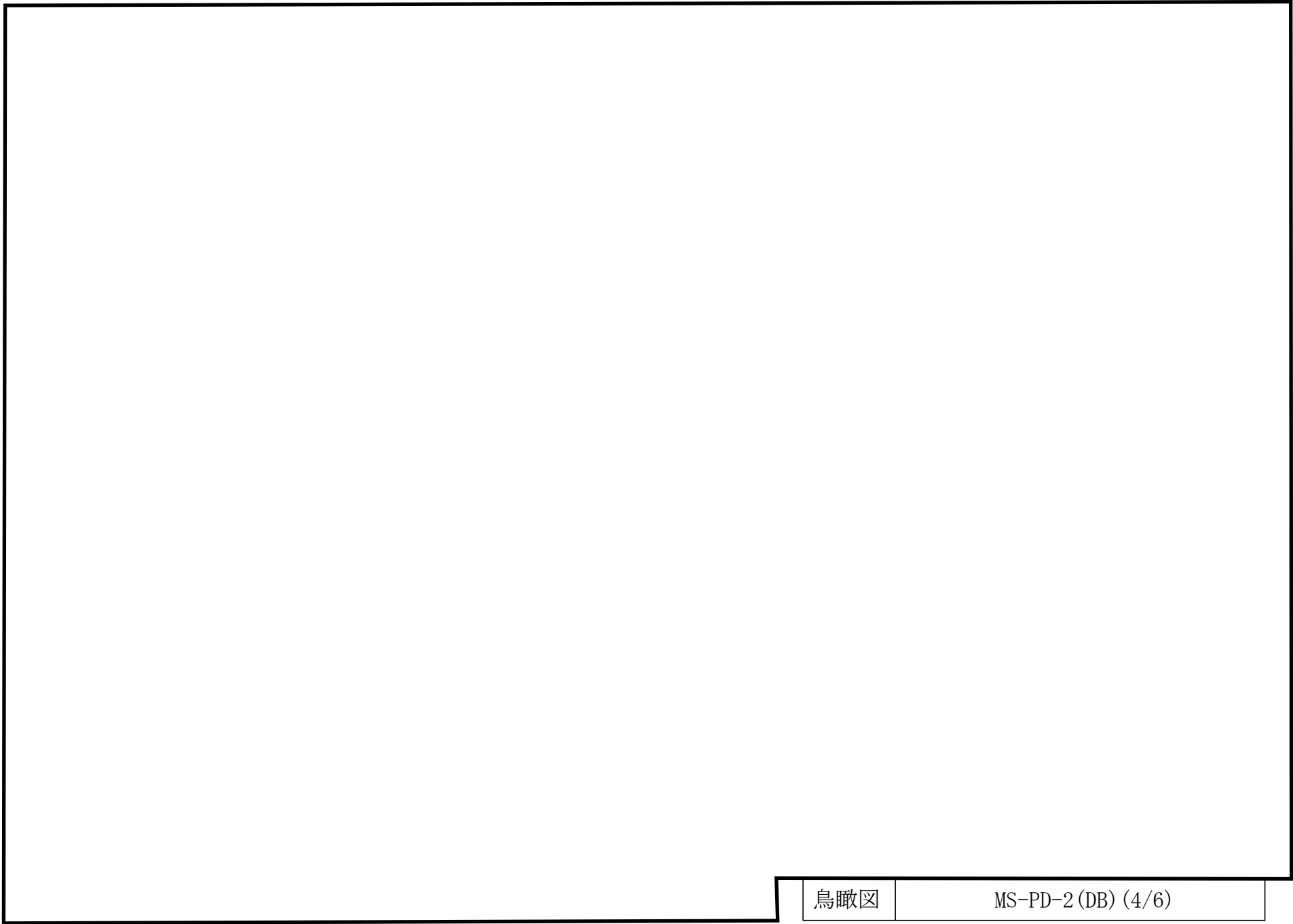
鳥瞰図

MS-PD-2 (DB) (2/6)



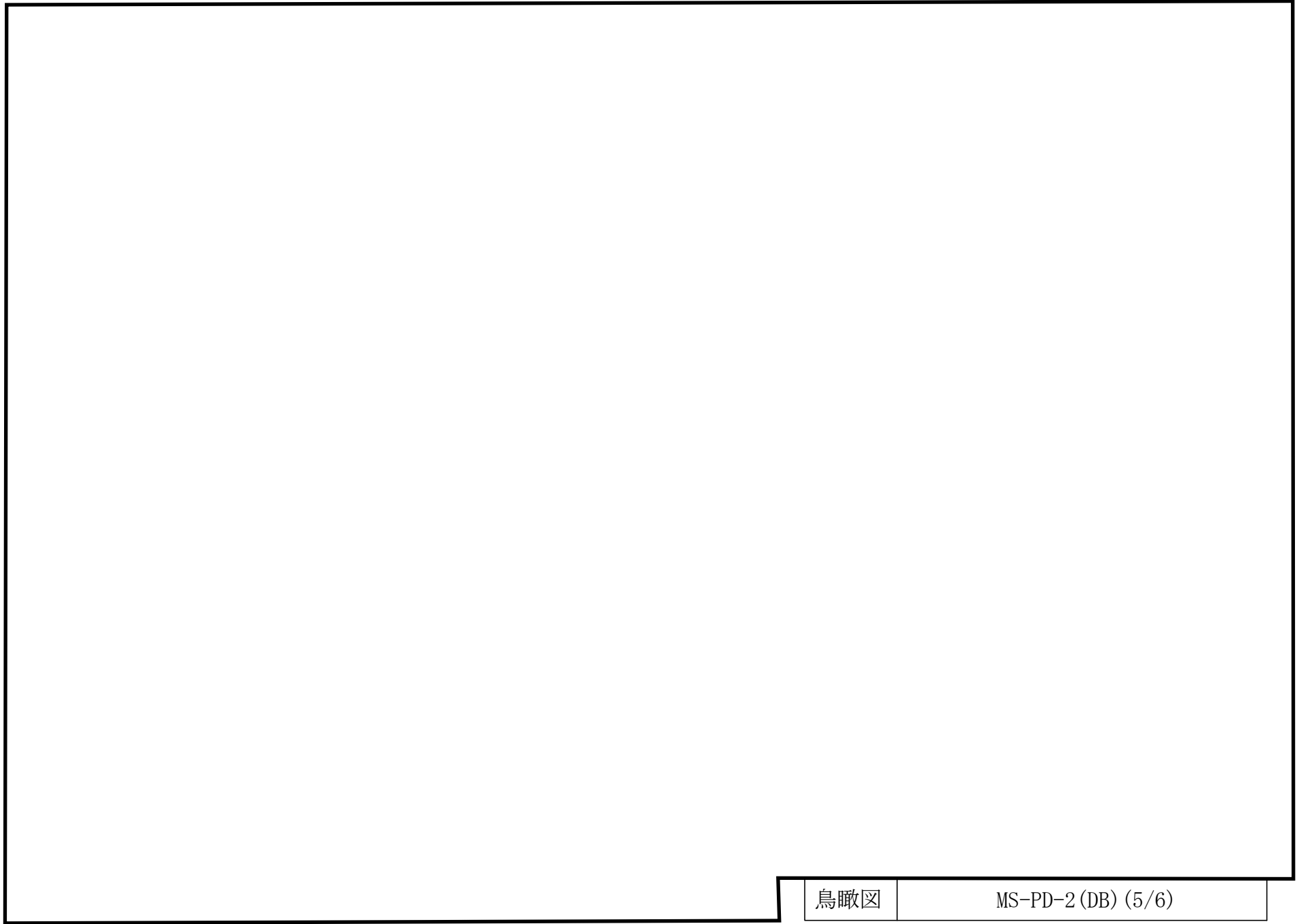
鳥瞰図

MS-PD-2 (DB) (3/6)



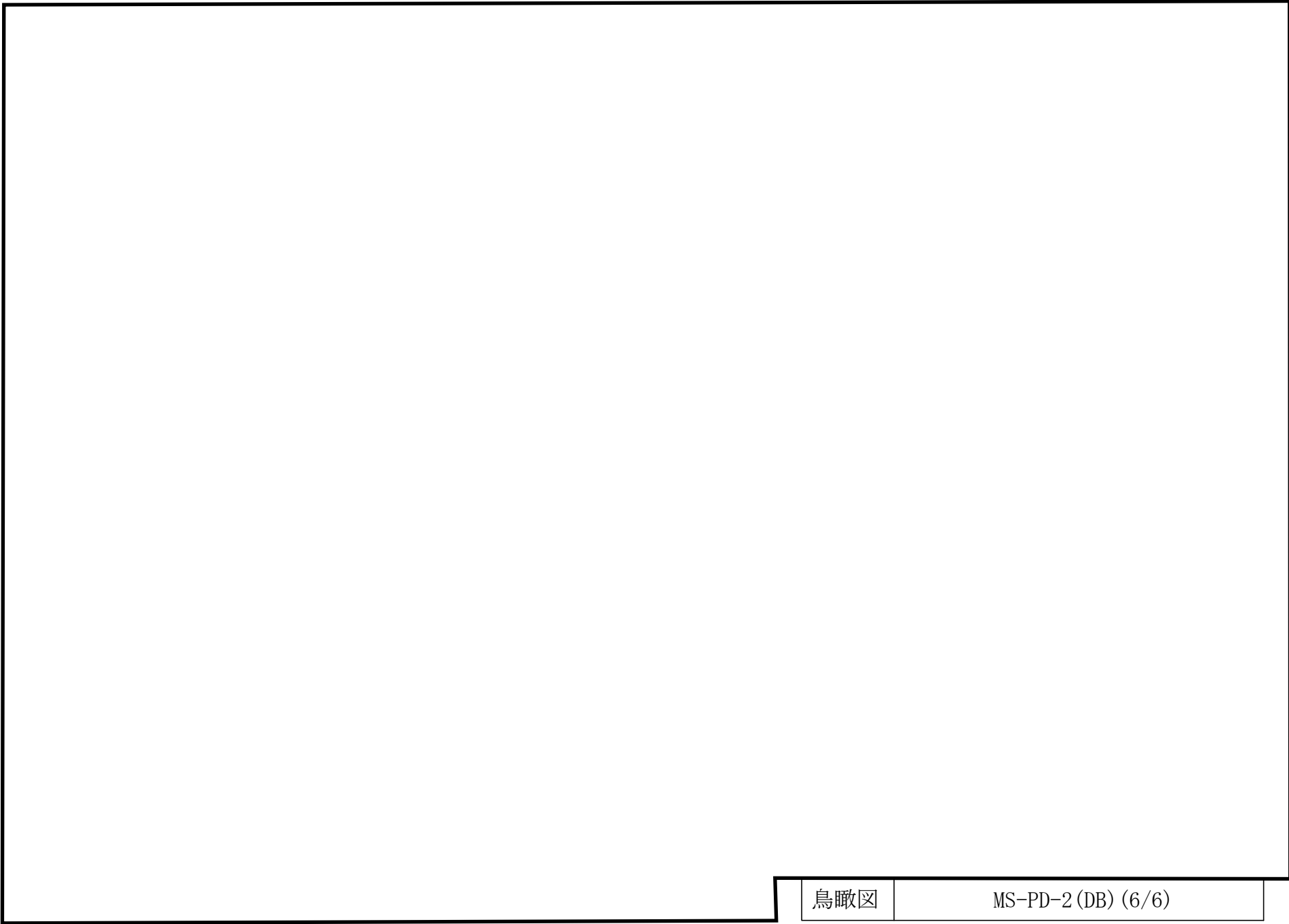
鳥瞰図

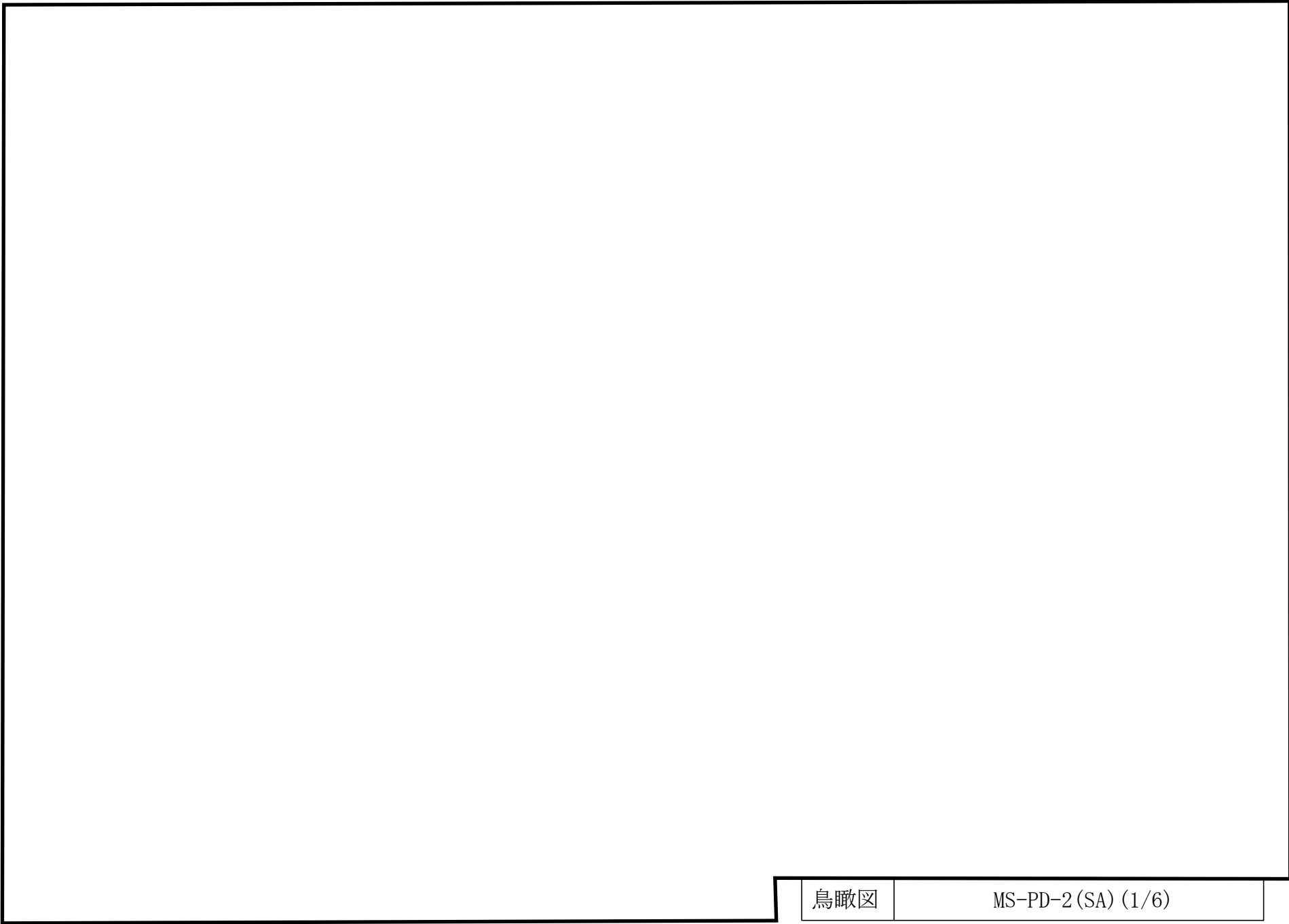
MS-PD-2 (DB) (4/6)



鳥瞰図

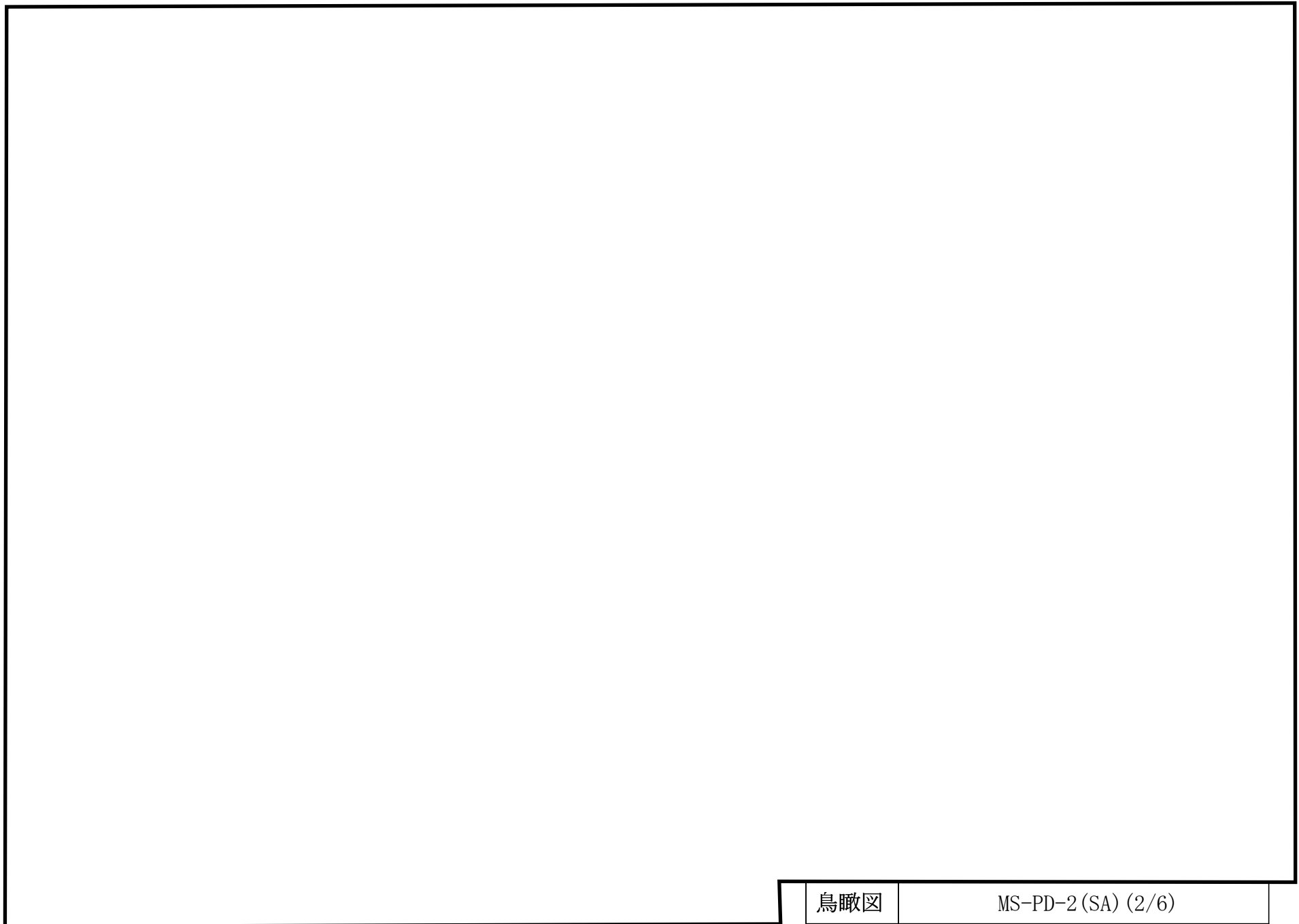
MS-PD-2 (DB) (5/6)

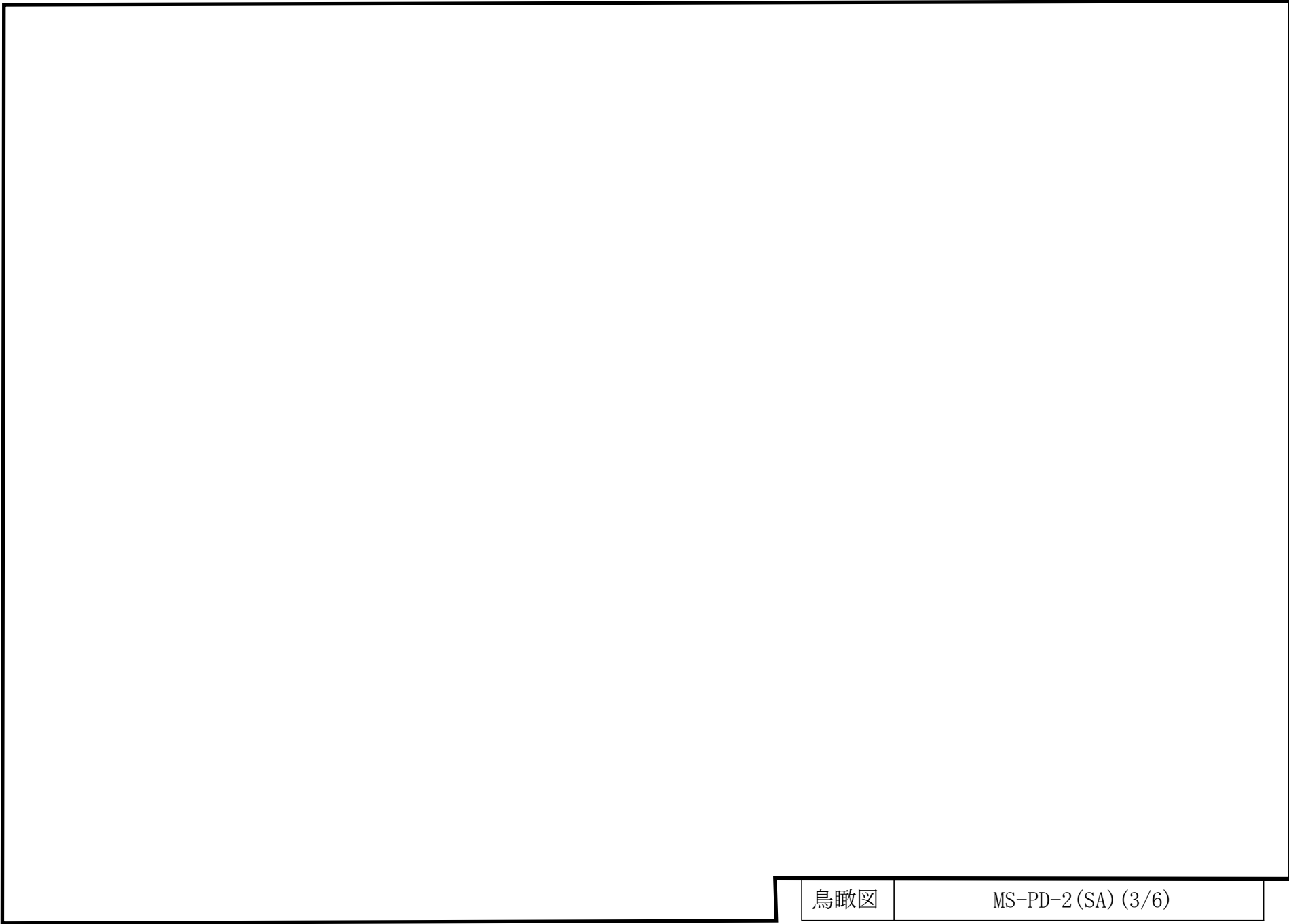




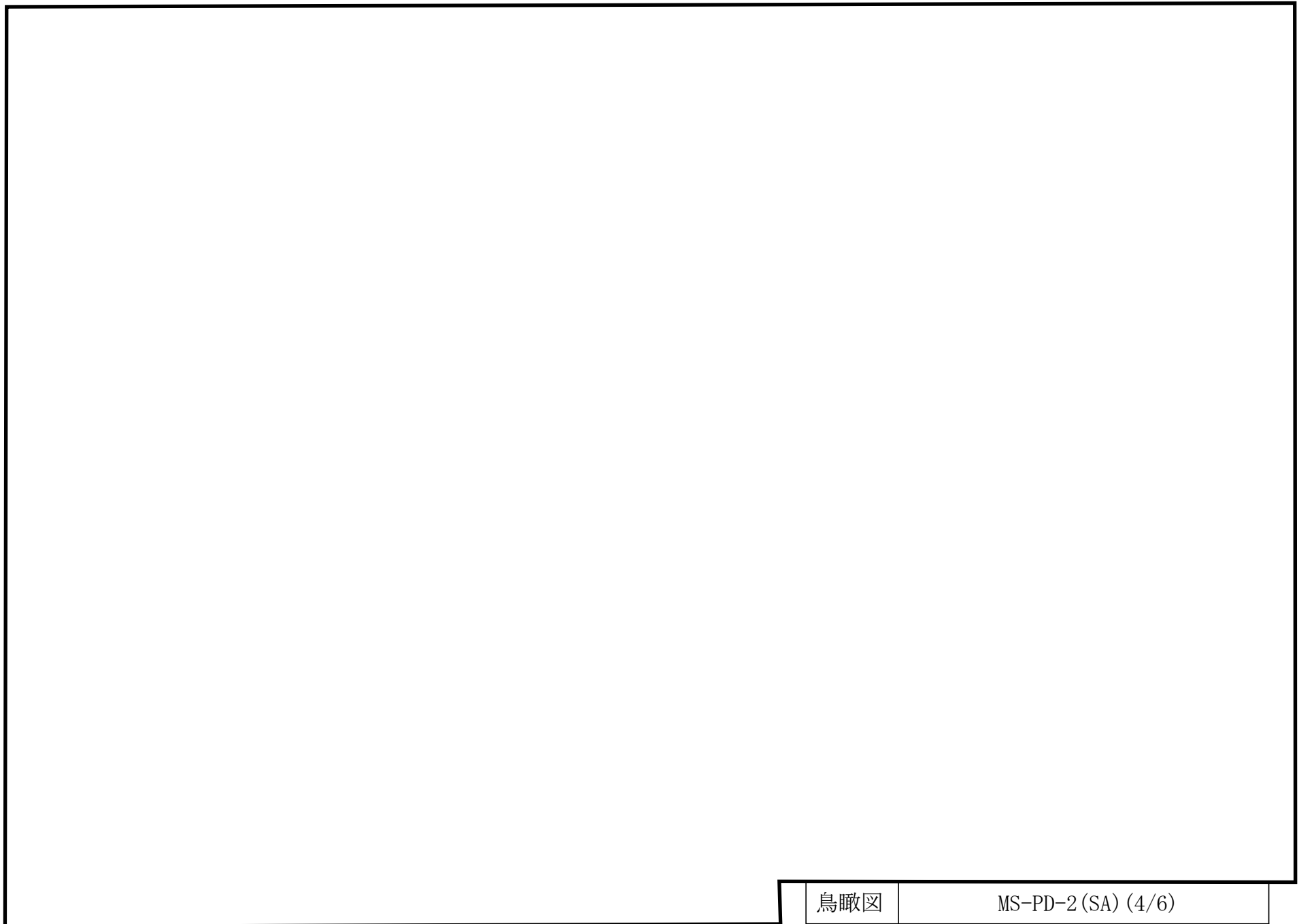
鳥瞰図

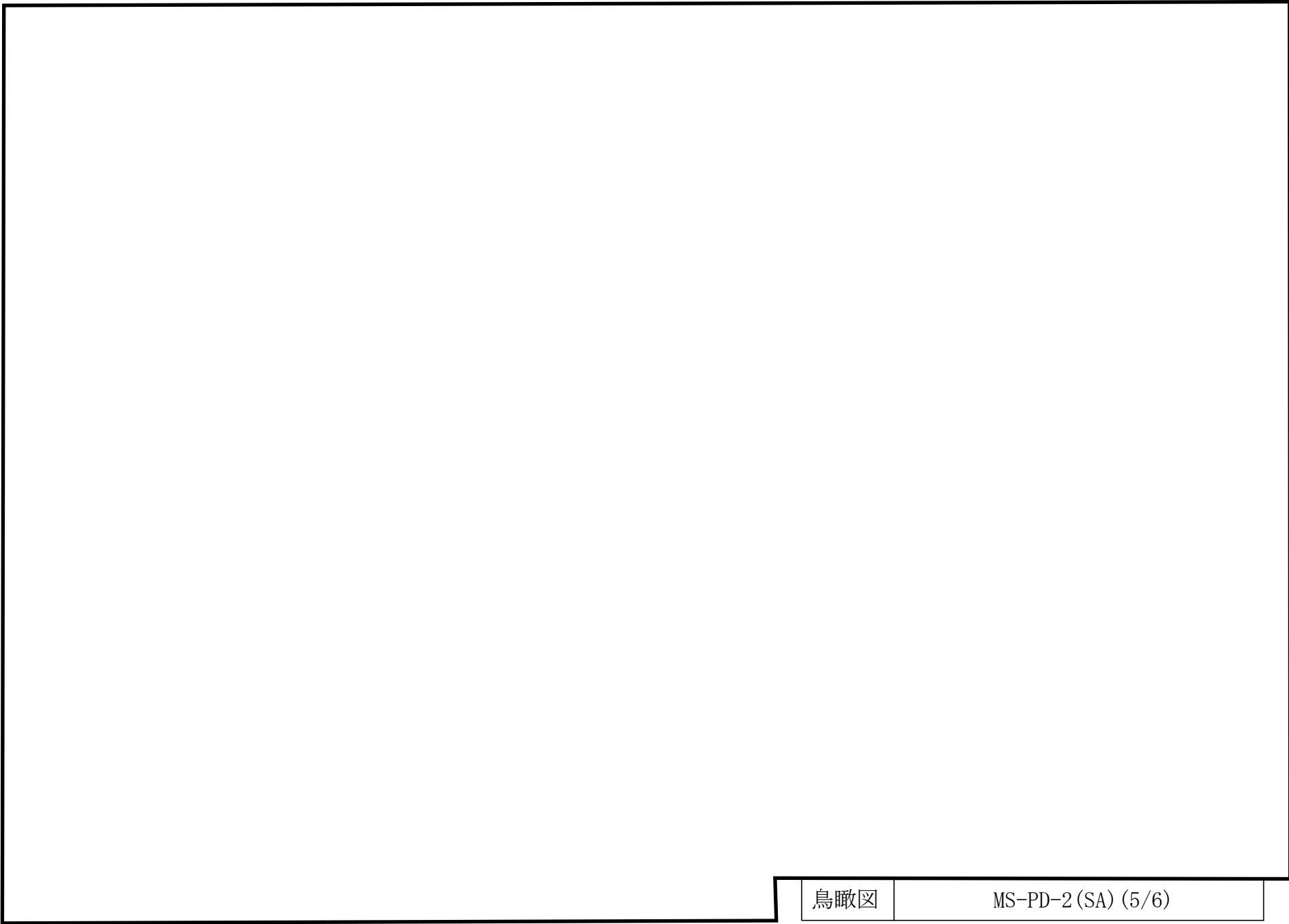
MS-PD-2 (SA) (1/6)

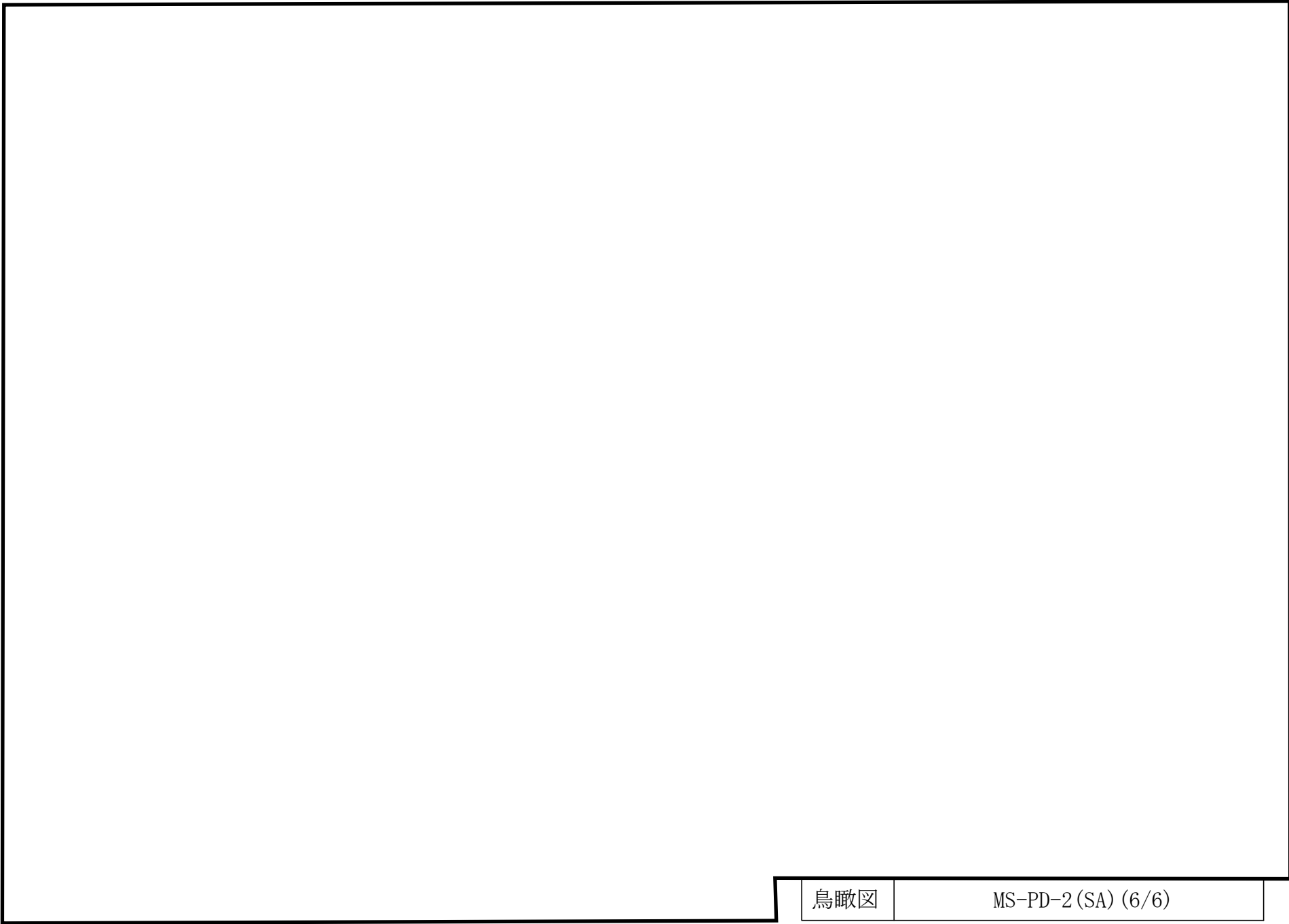


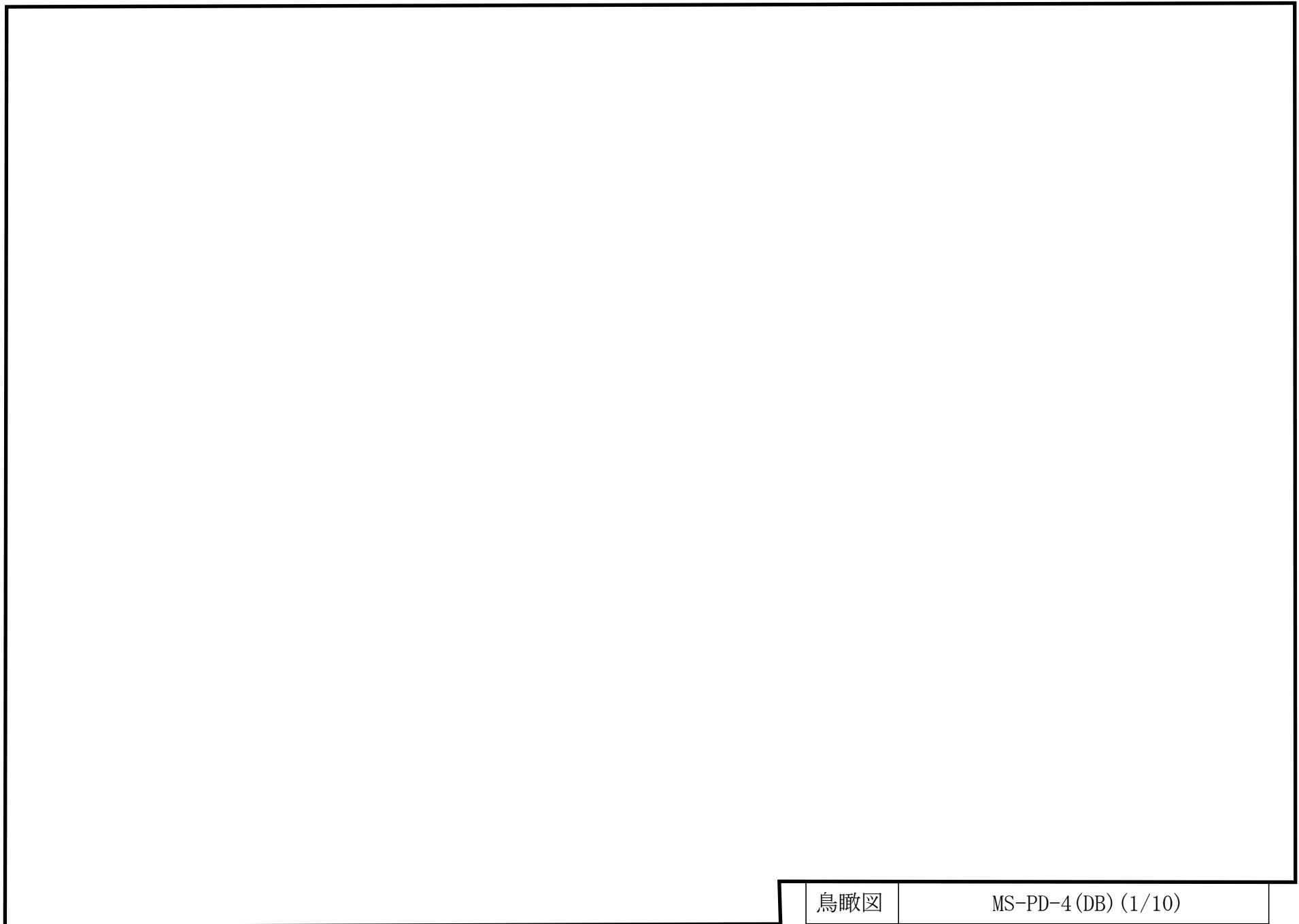


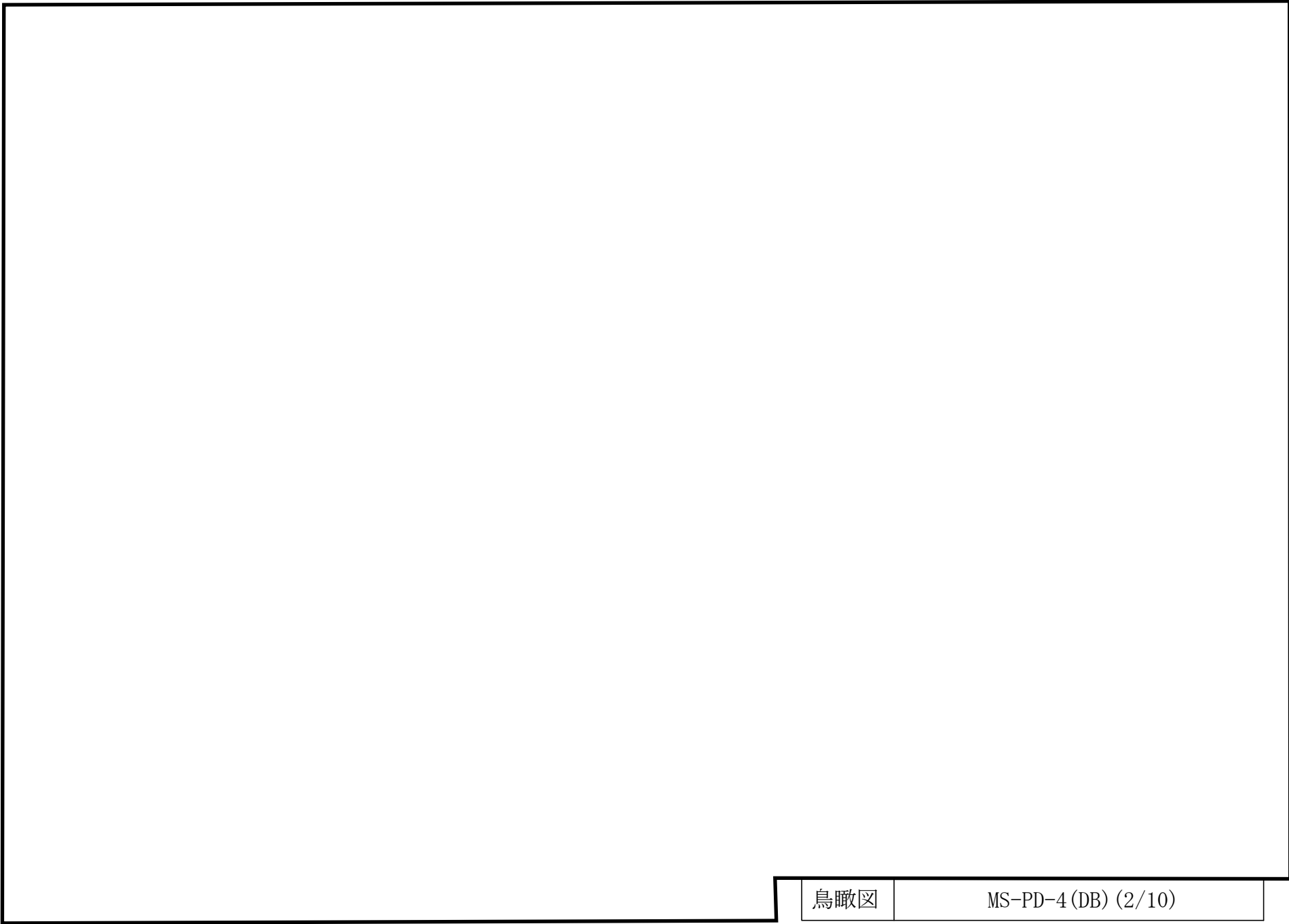
鳥瞰図	MS-PD-2 (SA) (3/6)
-----	--------------------

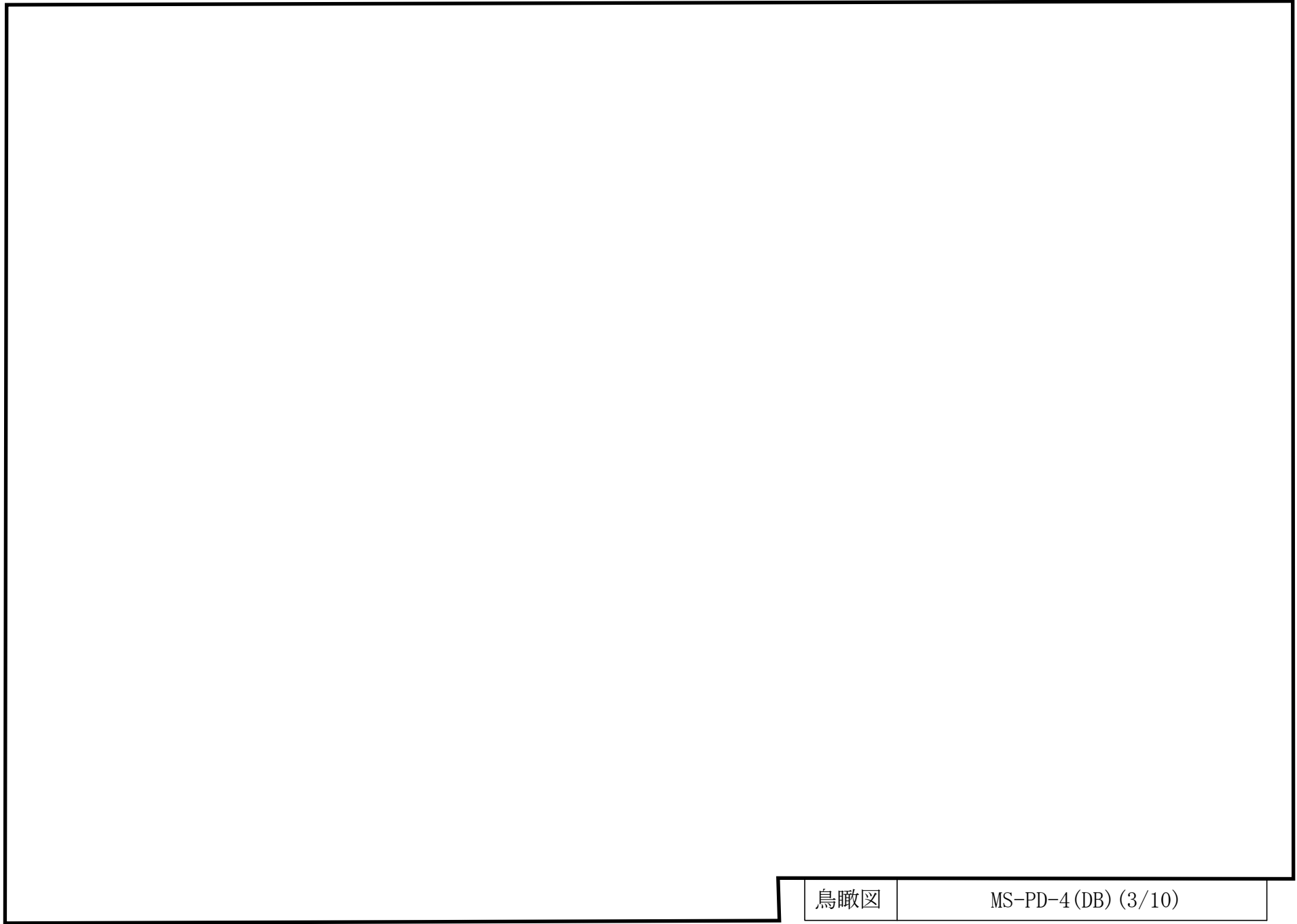


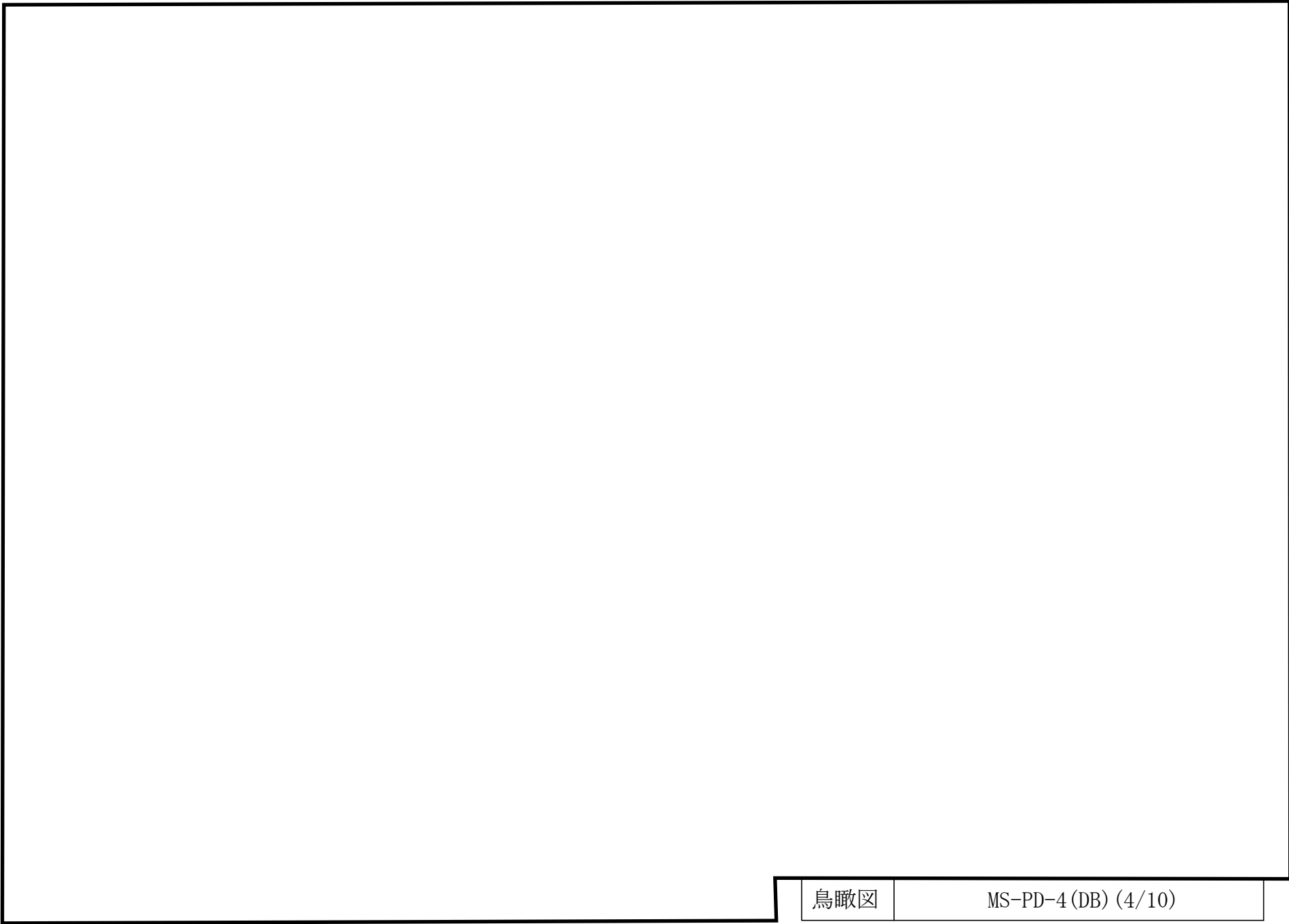


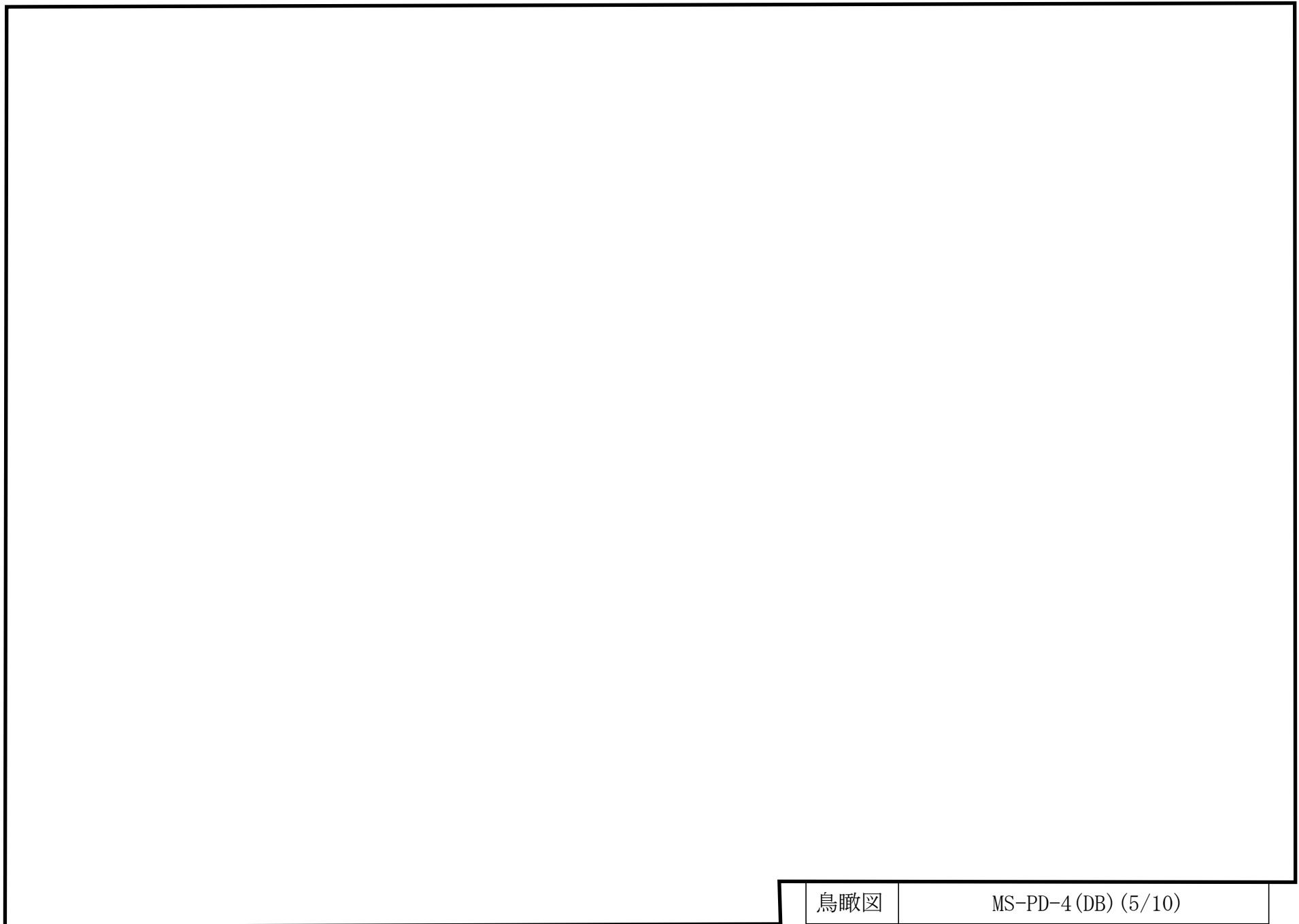


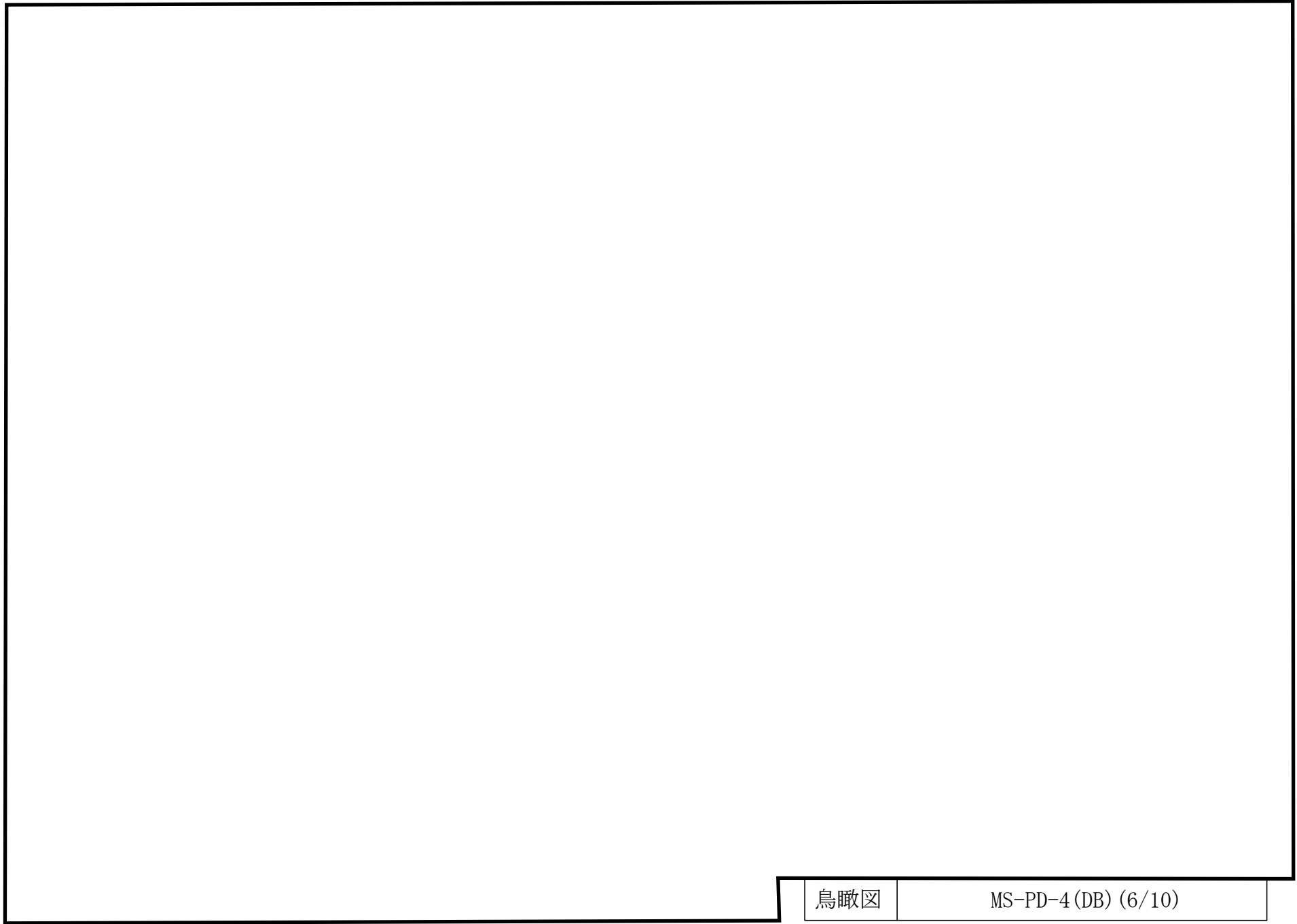


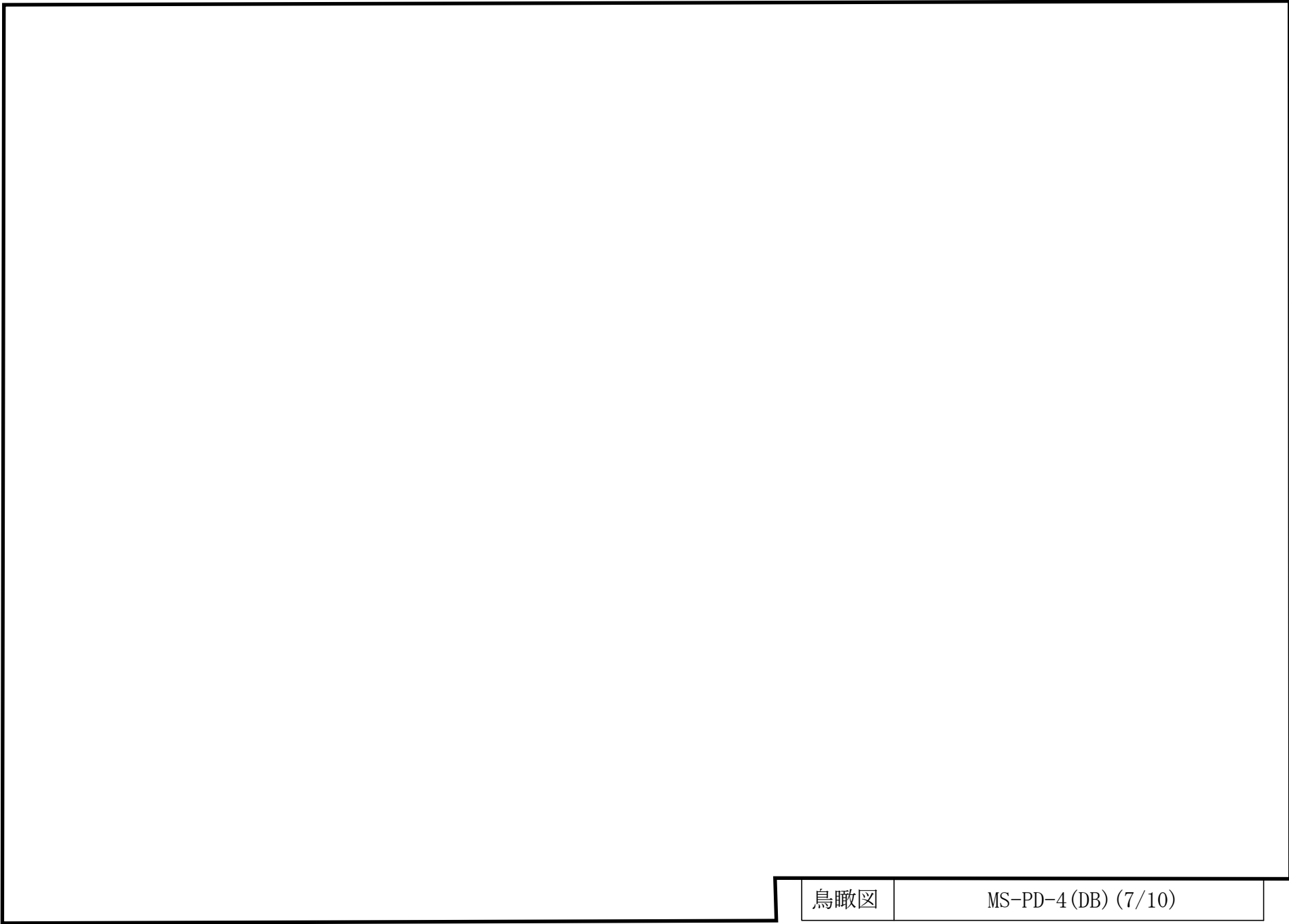




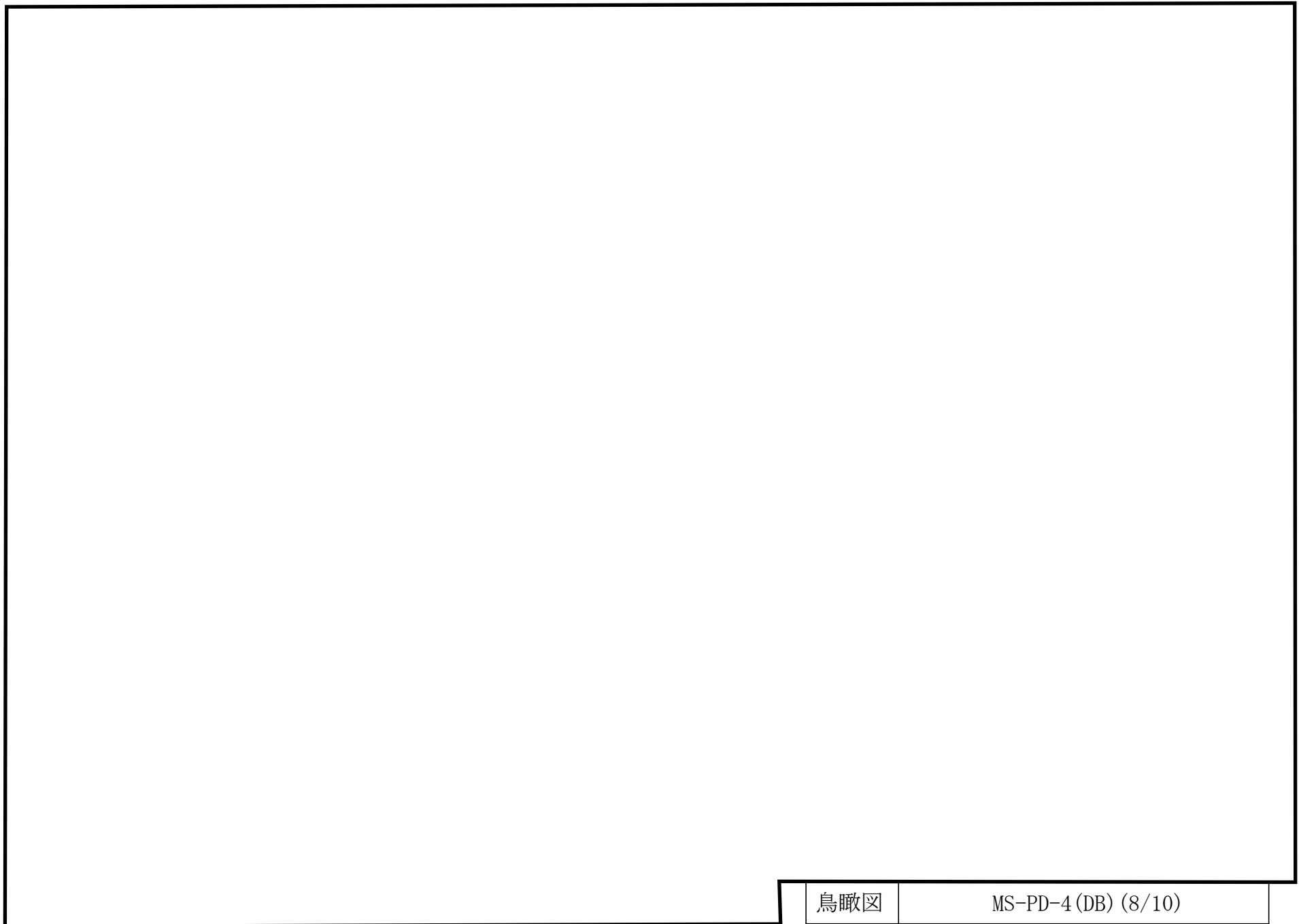






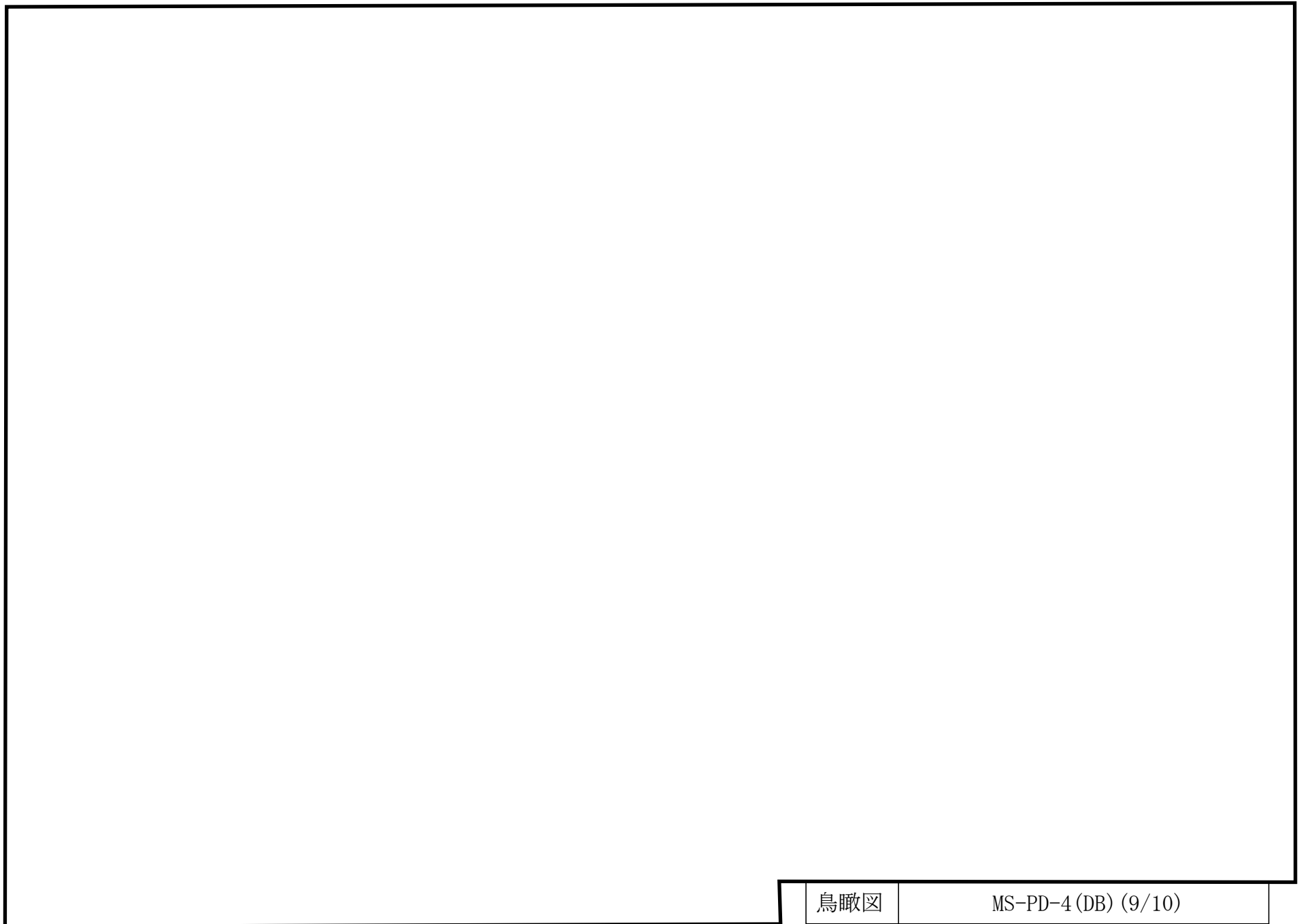


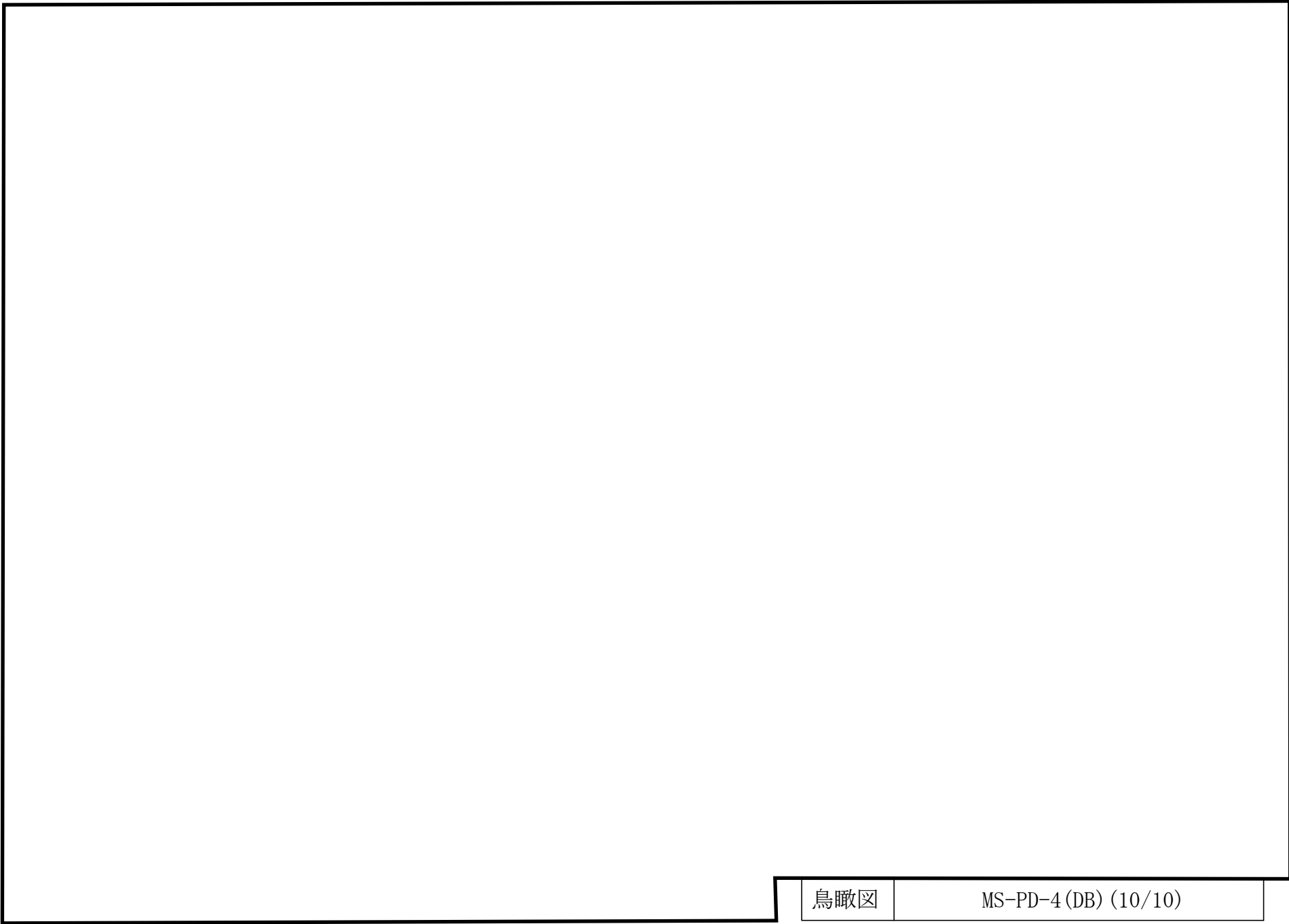
50



鳥瞰図

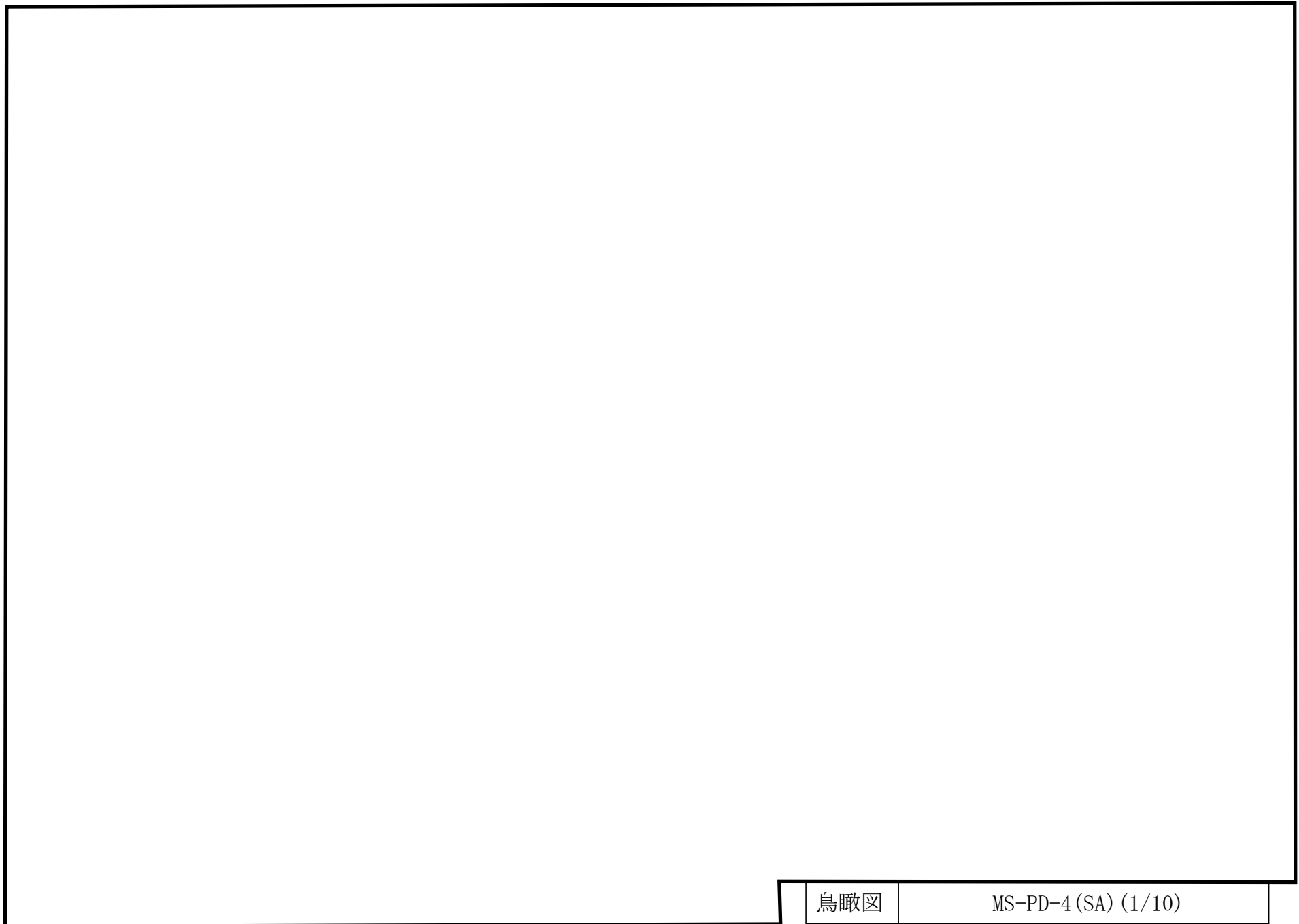
MS-PD-4 (DB) (8/10)

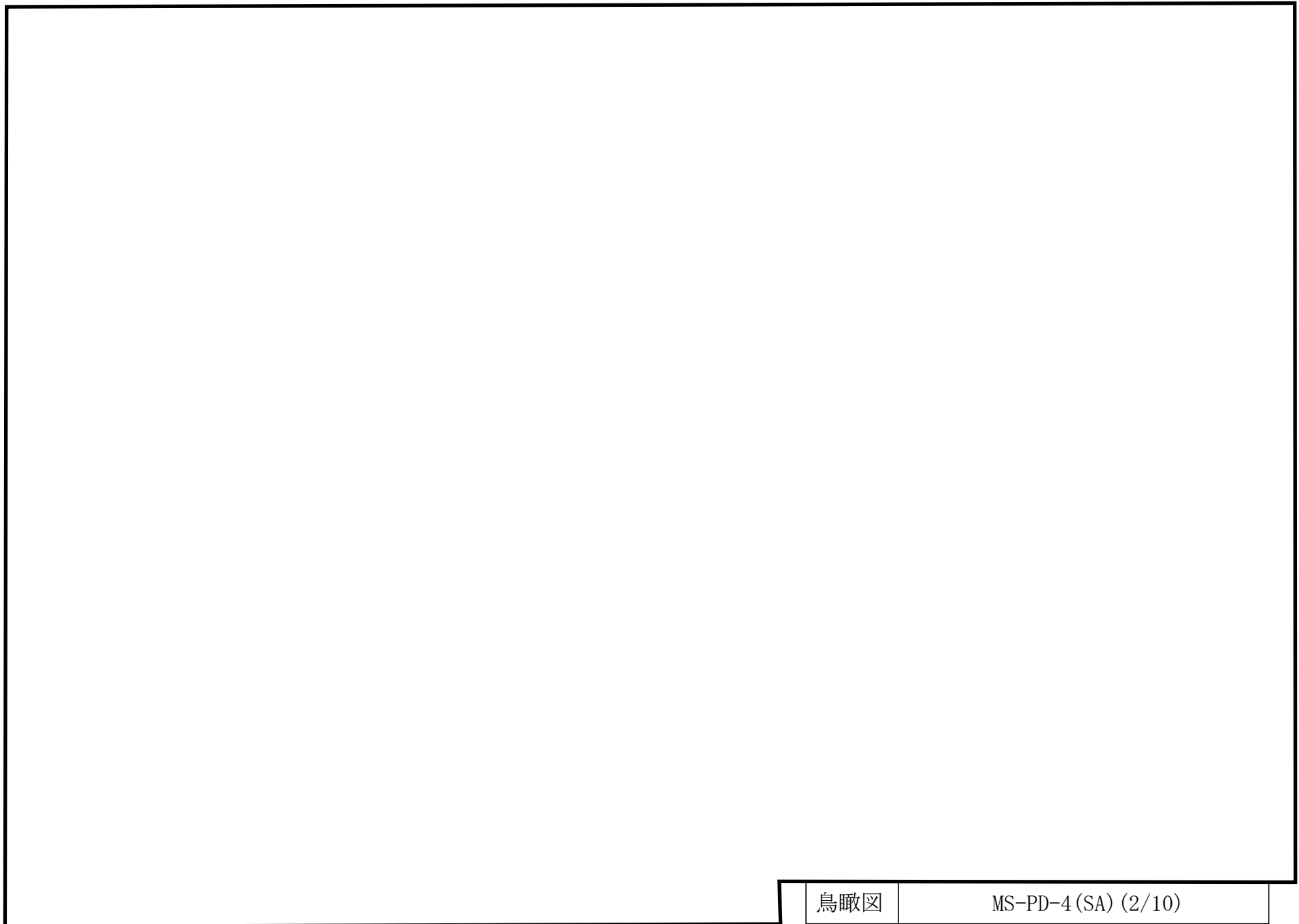


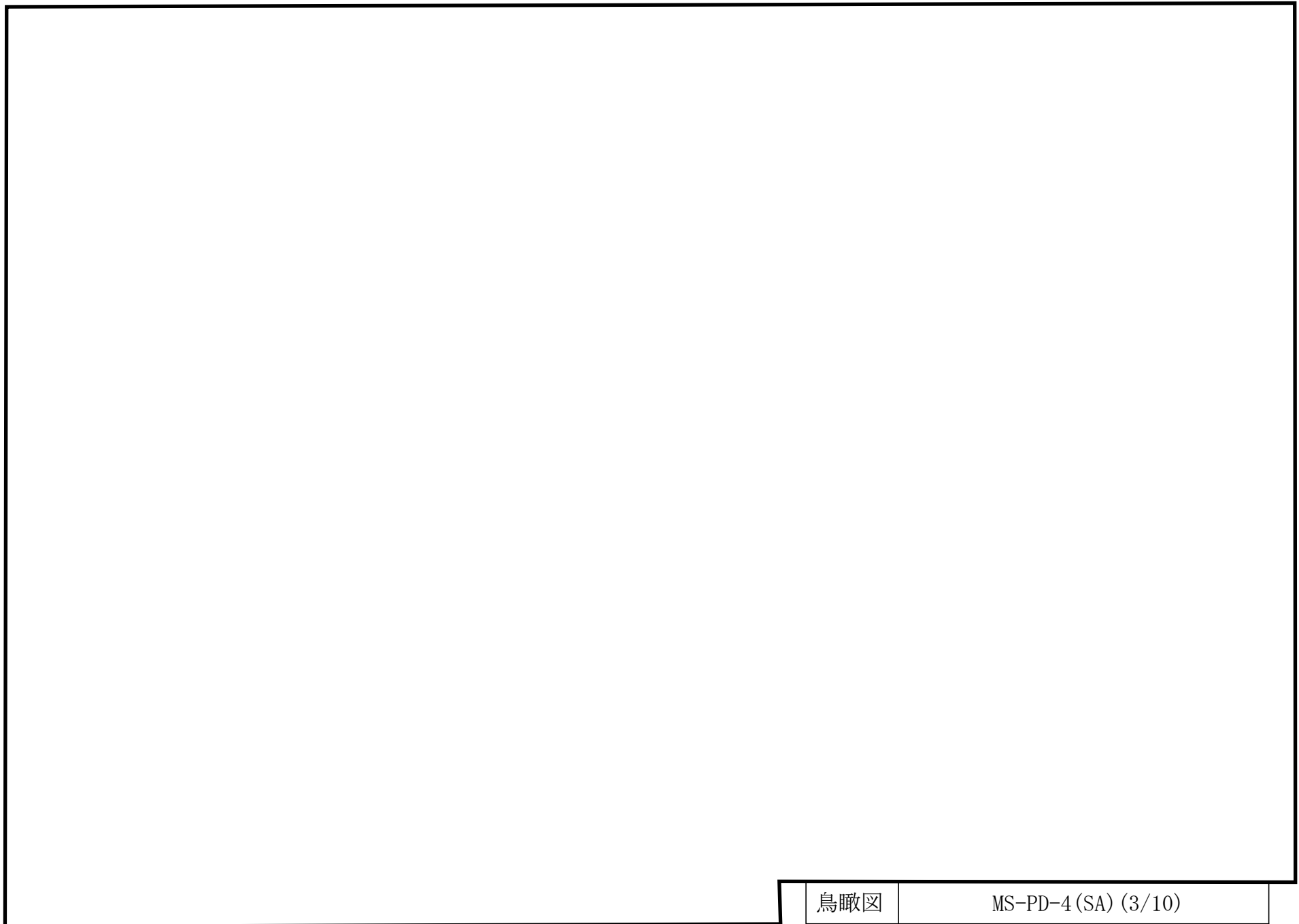


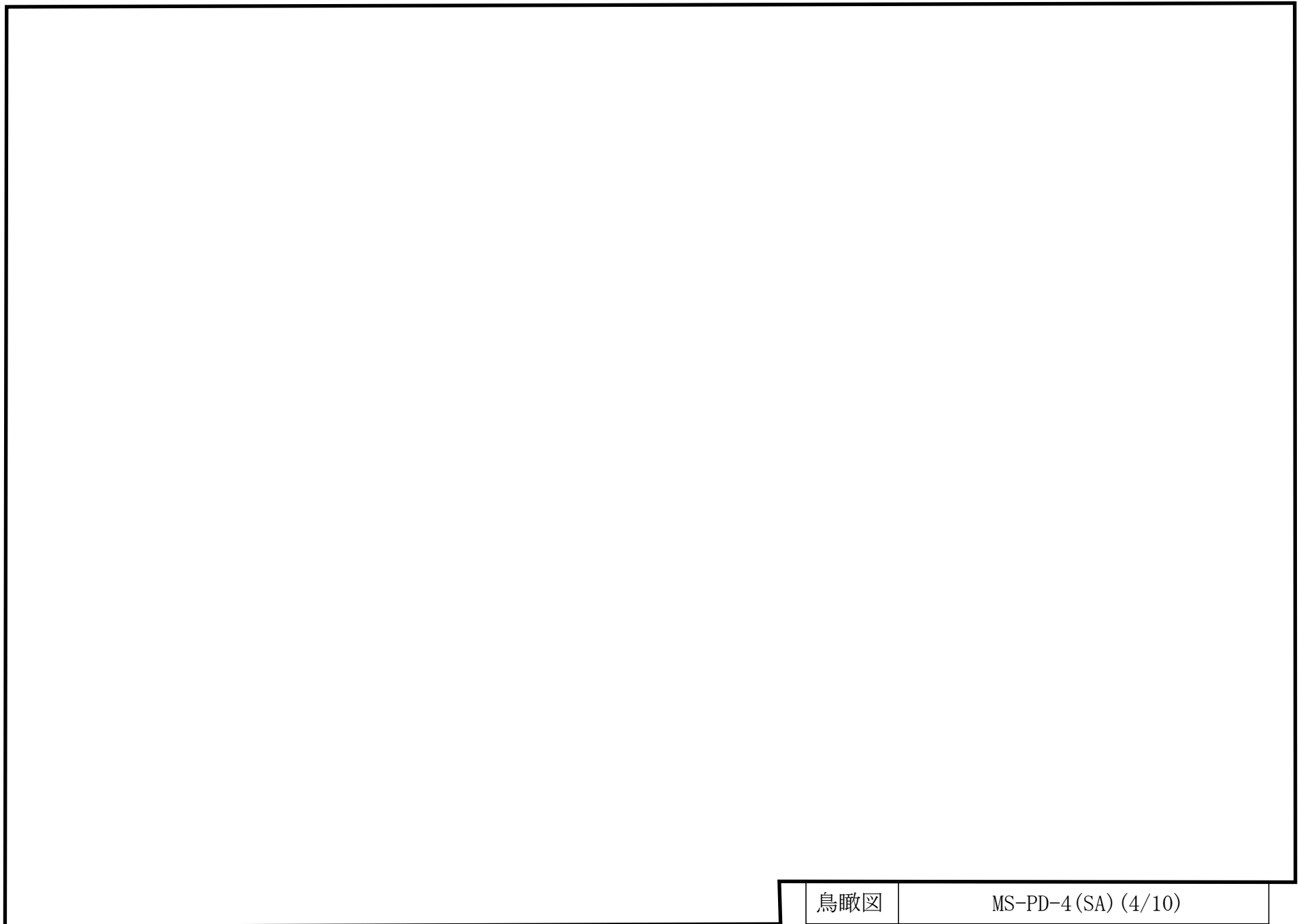
鳥瞰図

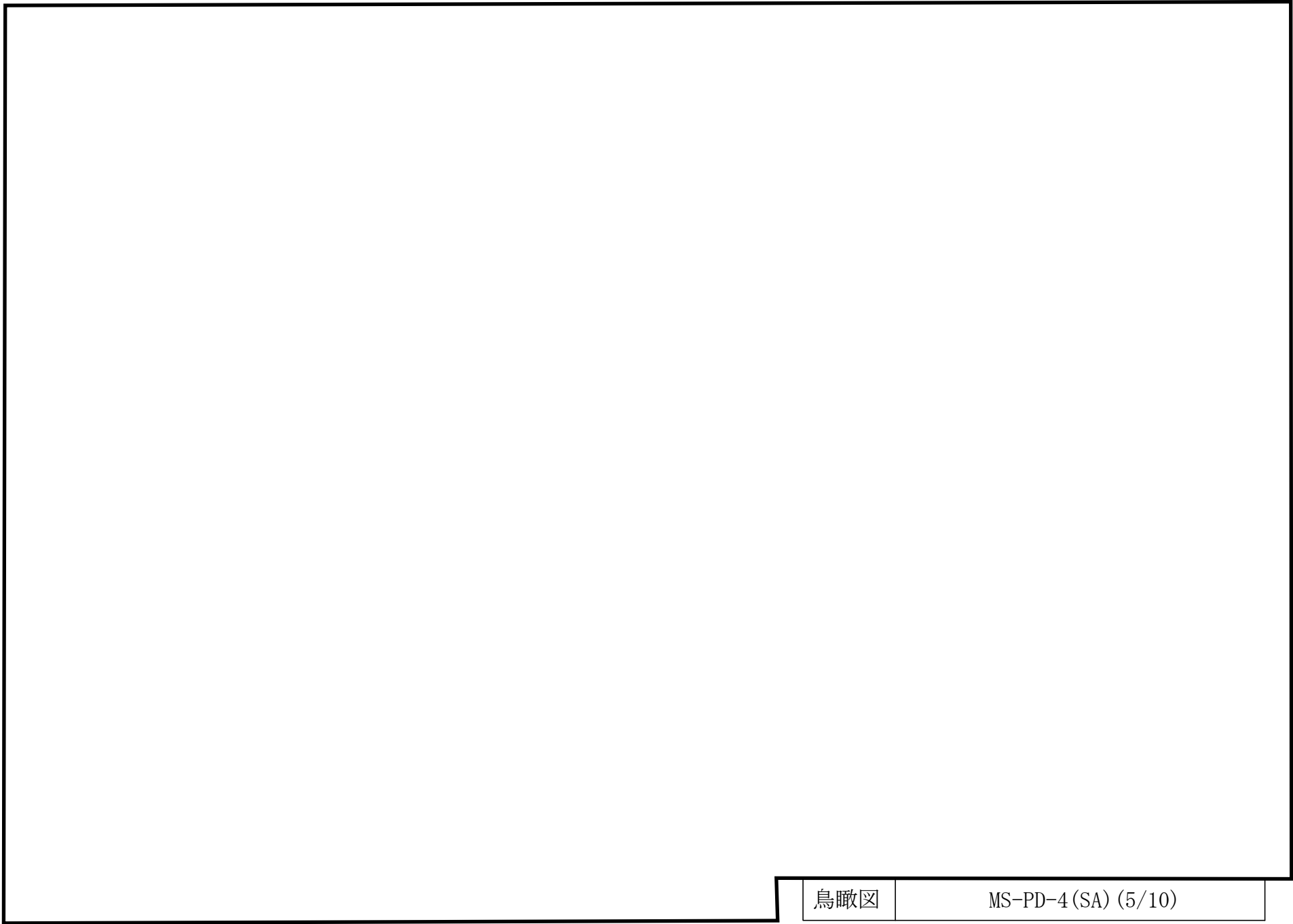
MS-PD-4 (DB) (10/10)

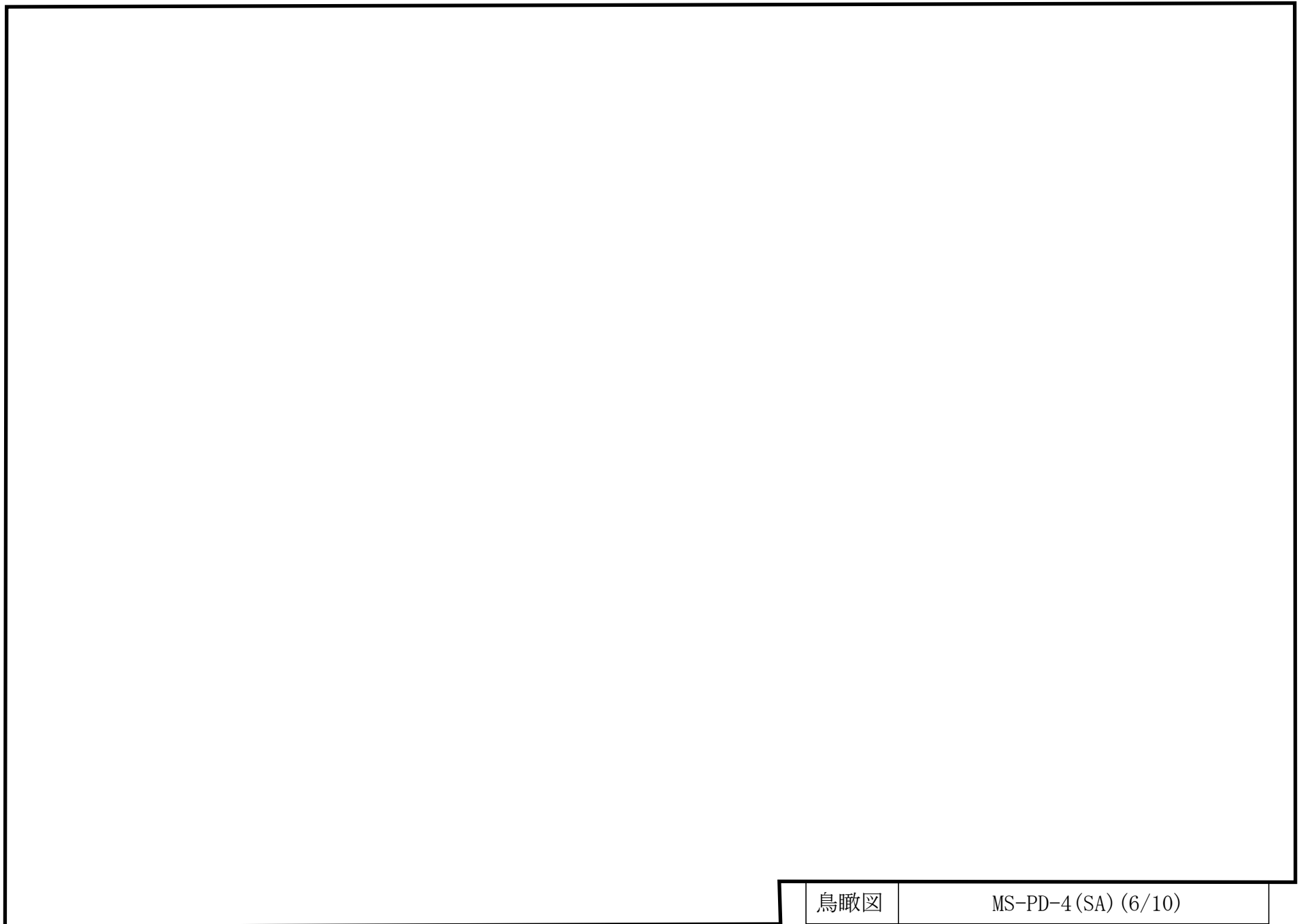


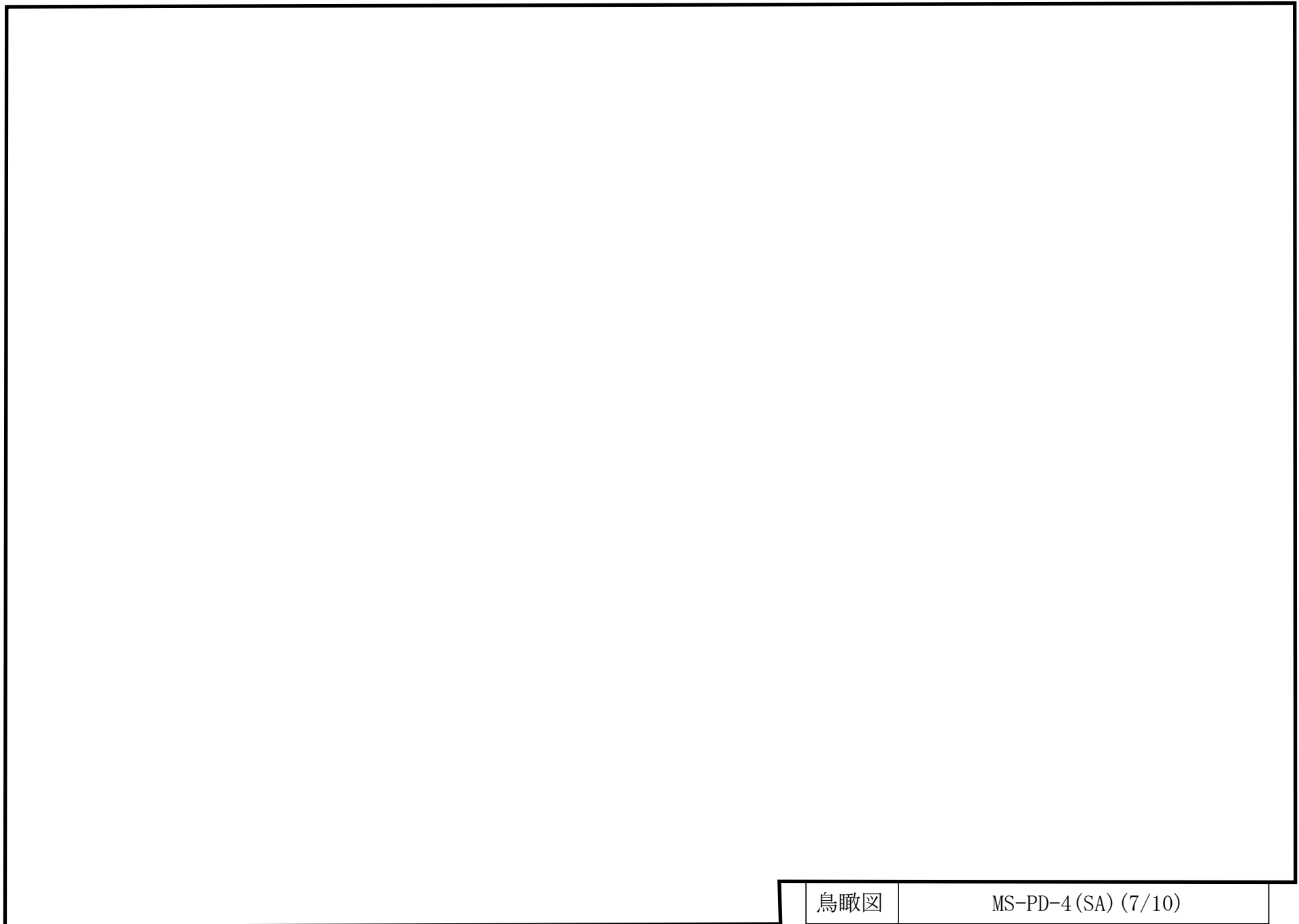


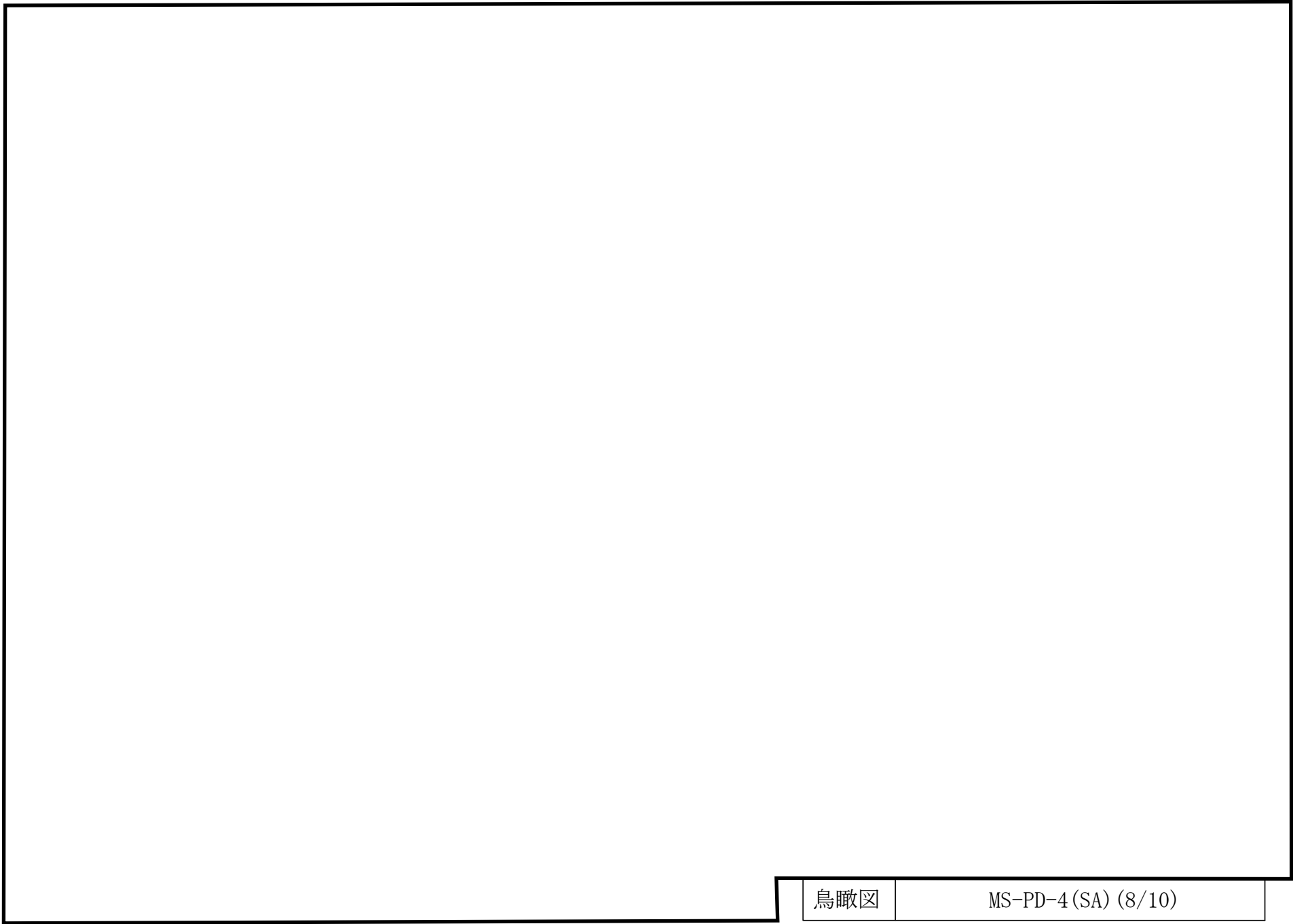


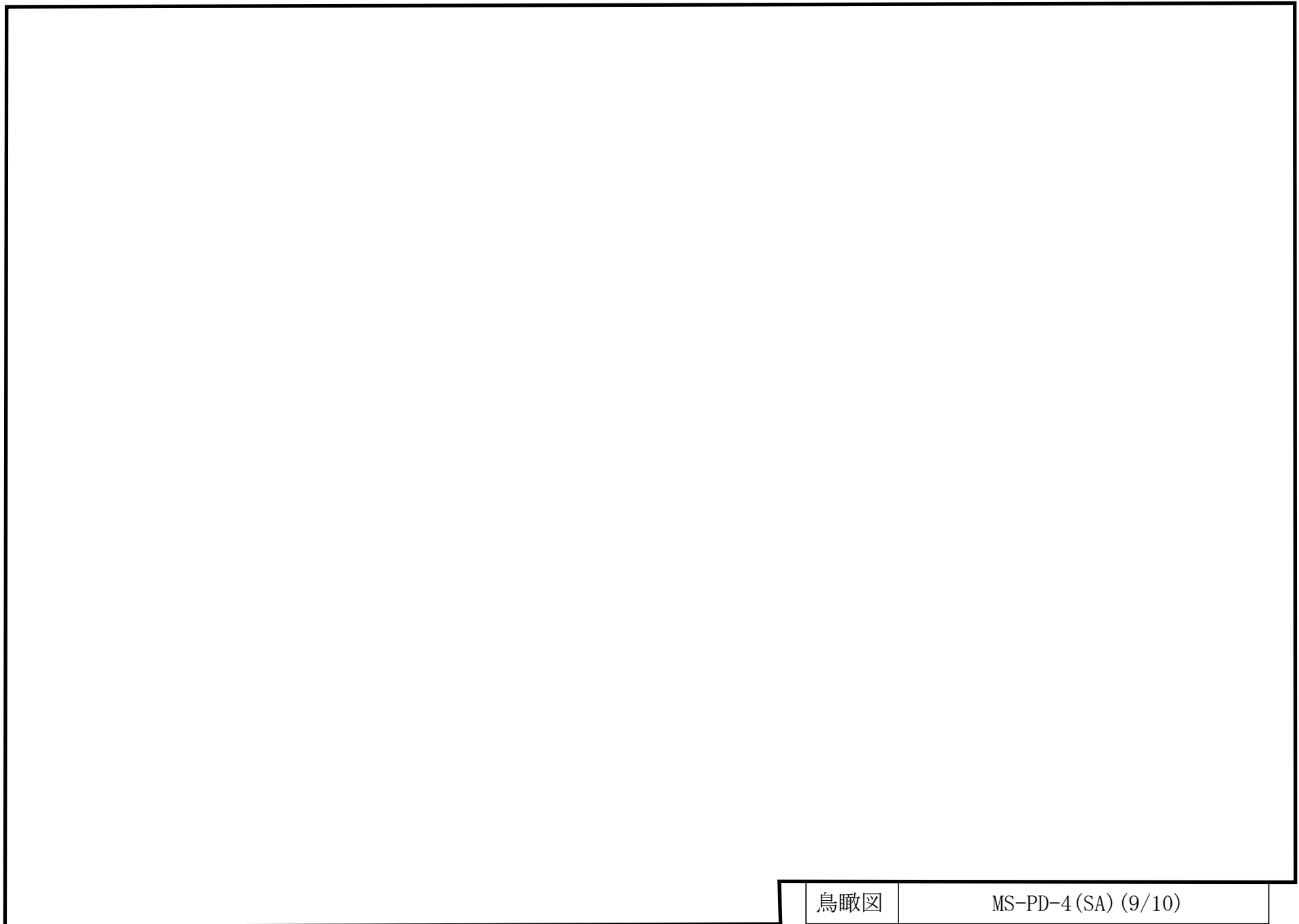


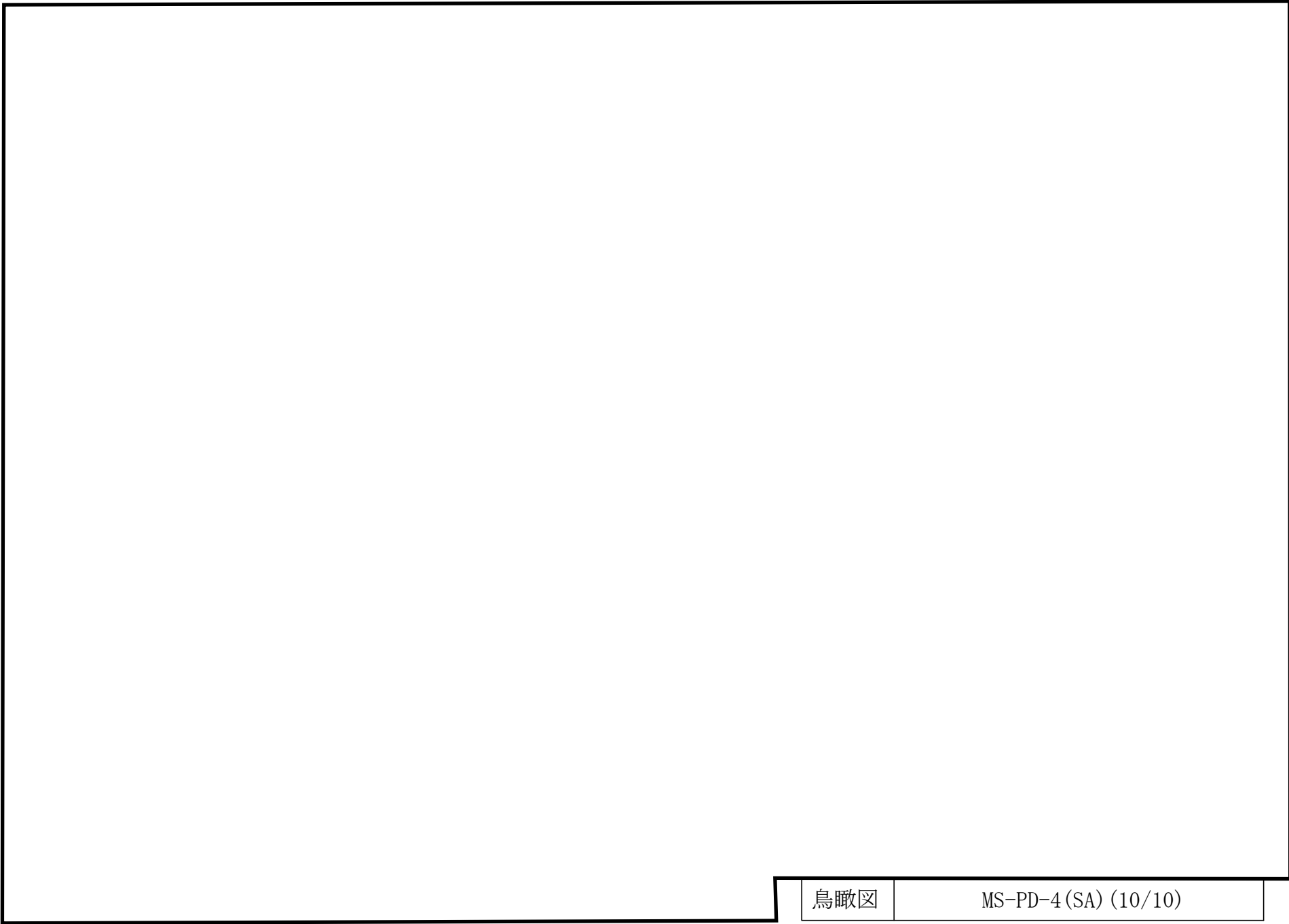






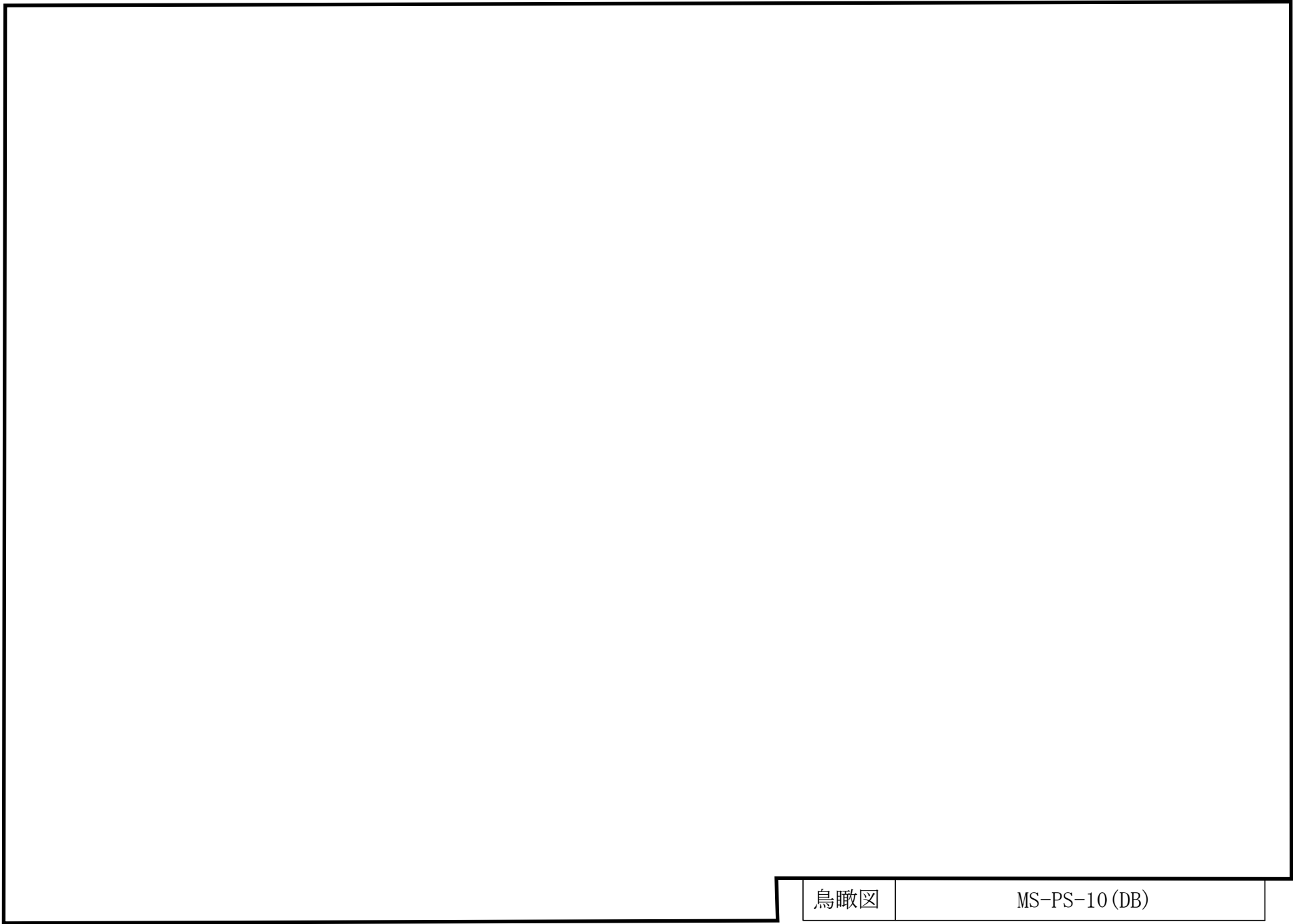






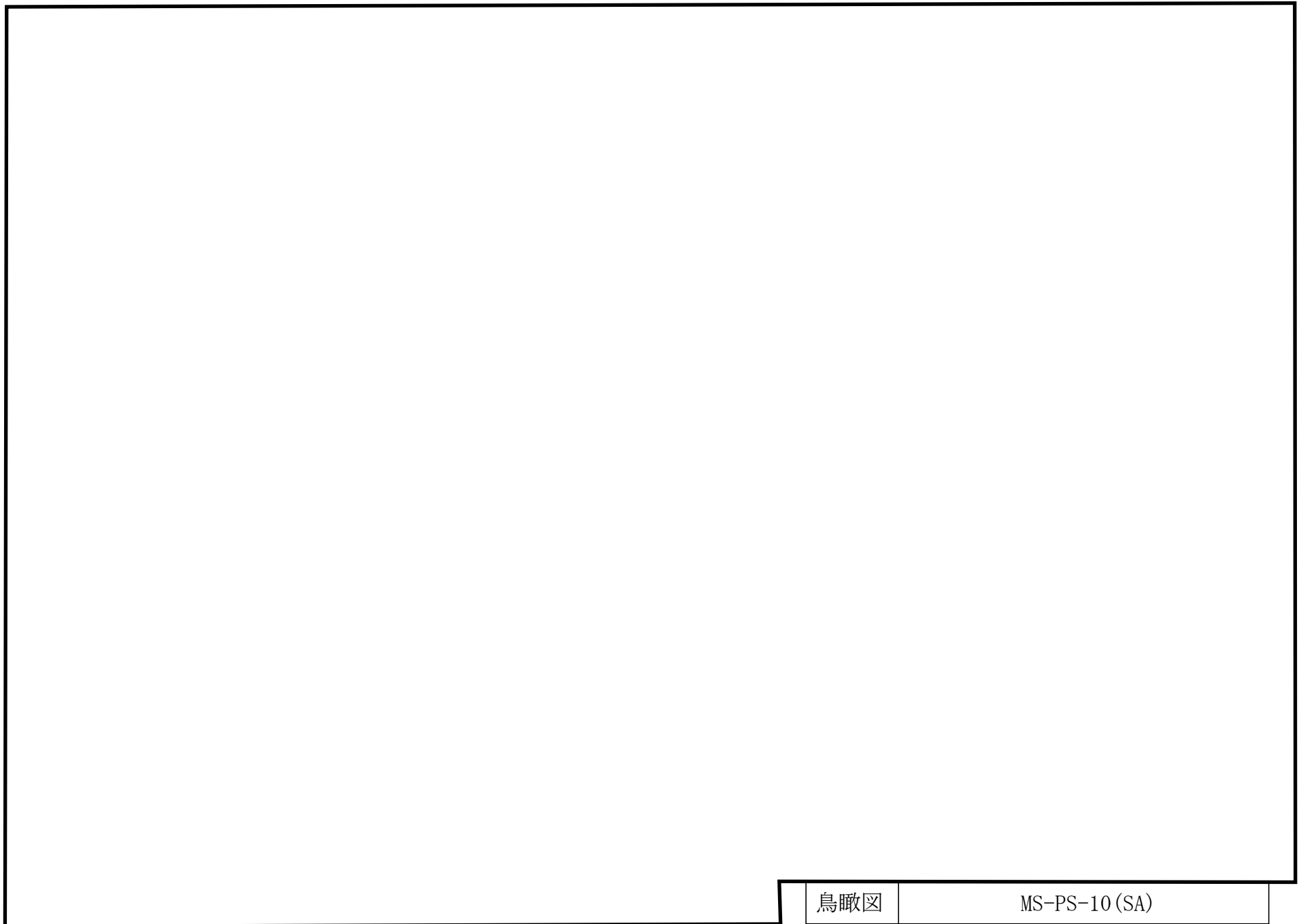
鳥瞰図

MS-PD-4 (SA) (10/10)



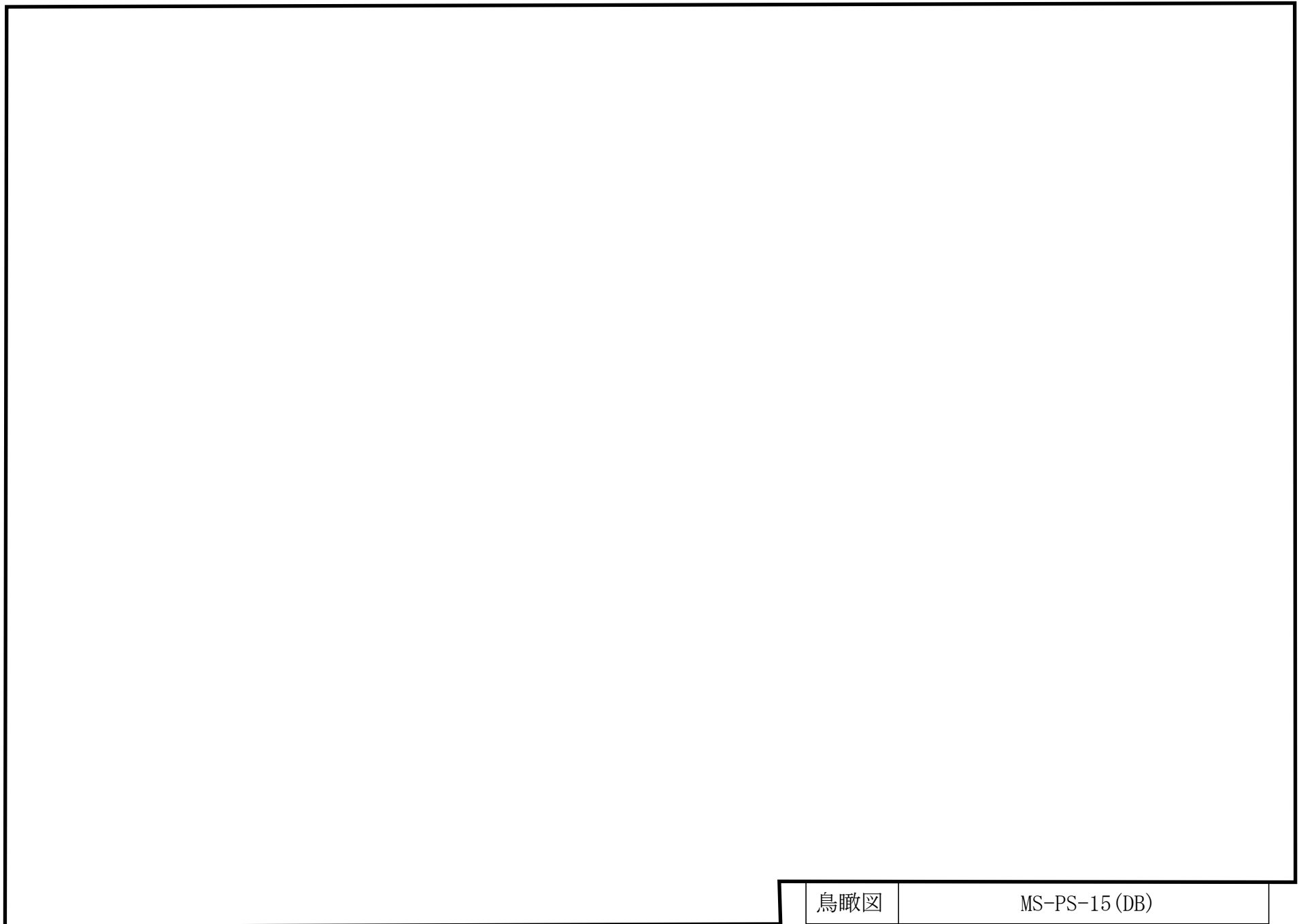
鳥瞰図

MS-PS-10 (DB)



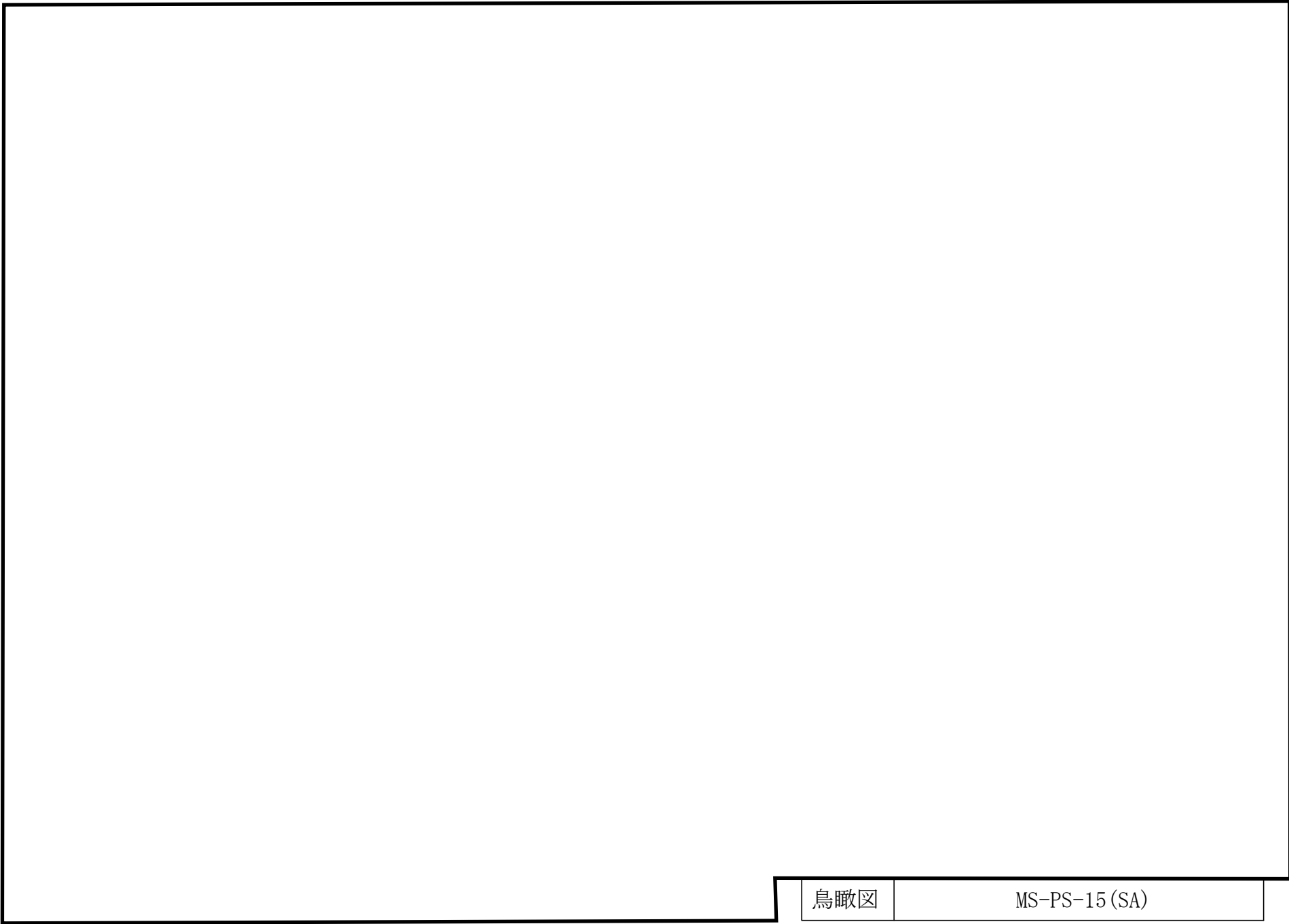
鳥瞰図

MS-PS-10 (SA)



鳥瞰図

MS-PS-15 (DB)



鳥瞰図

MS-PS-15 (SA)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	DB	—	クラス1管 クラス3管	S	$I_L + S_d$	III _A S
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
					$IV_L(L) + S_d^{*6}$	IV _A S		
					$I_L + S_s^{*7}$			
			クラス3管	B	$II_L + S_s^{*7}$			
					$I_L + S_s$	IV _A S		
			SA	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管		—	$II_L + S_s$
						$IV_L(L) + S_d^{*6}$		
						$V_L(L) + S_d^{*6}$		V _A S
						$V_L(LL) + S_s^{*6}$		
$V_L + S_s^{*8}$								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d	
							V _L (L) + S _d	V _A S
							V _L (L L) + S _s	
		原子炉隔離時冷却系	S A	常設/防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d	
							V _L (L) + S _d	V _A S
							V _L (L L) + S _s	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d	
							V _{L(L)} + S _d	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態，(LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリのみにおいて考慮する。

*7：原子炉格納容器への影響を保守的に考慮して，ドライウエル内の逃がし安全弁排気管の基準地震動S_sに対する評価を実施する。

*8：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~6	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	6~28	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	28~43	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
4	17~100, 20~200 24~300, 28~400	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	100~101, 200~201 300~301, 400~401	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
6	106~146, 306~344	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250
7	206~245, 406~437	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~6	609.6	30.9	STS42	S	185880
2	6~28	609.6	30.9	STS49	S	183880
3	28~43	609.6	30.9	STS49	S	183880
4	17~100, 20~200 24~300, 28~400	279.4	59.7	SFVC2B	S	185880
5	100~101, 200~201 300~301, 400~401	216.3	28.2	SFVC2B	S	185880
6	106~146, 306~344	267.4	15.1	STPT42	B	200400
7	206~245, 406~437	267.4	15.1	STPT42	—	200400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 MS-PD-1

質量	対応する評価点
	1N~2, 3001~8001, 9001~34, 3501~3802, 3803~3901 4101~4201
	2~3001, 8001~9001, 34~3501, 3802~3803, 3901~4101
	4201~43
	100~101, 200~201, 300~301, 400~401

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 MS-PD-1

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	106, 206, 306, 406

弁部の質量

鳥 瞰 図 MS-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	43～44, 44～47		43, 47, 52, 56
	44, 53		45, 54
	4501, 5401		46, 55
	4601, 5501		4602, 5502
	52～53, 53～56		102, 202, 302, 402
	104, 204, 304, 404		105, 205, 305, 405

弁部の寸法

鳥 瞰 図 MS-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
43~44				44~45			
45~4501				4501~46			
46~4601				4601~4602			
44~47				52~53			
53~54				54~5401			
5401~55				55~5500			
5500~5501				5501~5502			
53~56				101~102			
102~103				103~104			
104~105				102~106			
201~202				202~203			
203~204				204~205			
202~206				301~302			
302~303				303~304			
304~305				302~306			
401~402				402~403			
403~404				404~405			
402~406							

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
N1						
** 4 **						
** 5 **						
12						
** 1401 **						
** 15 **						
** 22 **						
** 26 **						
** 26 **						
** 31 **						
** 36 **						
** 36 **						
38						
42						
45						
4701						
** 4701 **						
5101						
5103						
54						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 5500 **						
** 1061 **						
** 1062 **						
** 109 **						
** 109 **						
1091						
112						
114						
115						
116						
** 119 **						
** 122 **						
123						
** 127 **						
** 127 **						
128						
** 1282 **						
** 1282 **						
** 135 **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 135 **						
** 139 **						
** 147N **						
** 147N **						
** 147N **						
** 2060 **						
** 2061 **						
** 209 **						
** 209 **						
2091						
2111						
** 2112 **						
** 212 **						
2170						
217						
** 2172 **						
** 2172 **						
220						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 2241 **						
** 2241 **						
2242						
** 231 **						
** 231 **						
** 238 **						
** 246N **						
** 246N **						
** 246N **						
** 3061 **						
** 3062 **						
3091						
** 309 **						
** 309 **						
310						
** 313 **						
3151						
3151						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 316 **						
** 316 **						
3181						
** 319 **						
** 320 **						
323						
330						
330						
** 337 **						
** 337 **						
** 345N **						
** 345N **						
** 345N **						
** 4061 **						
** 4062 **						
** 409 **						
** 409 **						
4091						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
412						
4141						
** 417 **						
** 417 **						
418						
** 425 **						
** 425 **						
** 430 **						
** 438N **						
** 438N **						
** 438N **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PD-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~4	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	4~6, 10~13	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	6~10	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
4	13~22	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	22~34	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
6	15~100, 22~200	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
7	100~101, 200~201	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PD-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	106～143	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250
9	206～245	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PD-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~4	609.6	30.9	STS42	S	185880
2	4~6, 10~13	609.6	30.9	SFVC2B	S	185880
3	6~10	627.8	40.0	SFVC2B	S	185880
4	13~22	609.6	30.9	STS49	S	183880
5	22~34	609.6	30.9	STS49	S	183880
6	15~100, 22~200	279.4	59.7	SFVC2B	S	185880
7	100~101, 200~201	216.3	28.2	SFVC2B	S	185880
8	106~143	267.4	15.1	STPT42	—	200400
9	206~245	267.4	15.1	STPT42	B	200400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 MS-PD-2

質量	対応する評価点
<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	1N~2, 301~6, 10~1001, 11~25, 2601~2901 2902~3001, 3201~3301
	2~301, 1001~11, 25~2601, 2901~2902, 3001~3201
	6~10
	3301~34
	100~101, 200~201

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 MS-PD-2

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	106, 206

弁部の質量

鳥 瞰 図 MS-PD-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	34～35, 35～38		34, 38, 42, 46
	35, 43		36, 44
	3601, 4401		37, 45
	3701, 4501		3702, 4502
	42～43, 43～46		102, 202
	104, 204		105, 205

弁部の寸法

鳥 瞰 図 MS-PD-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
34~35				35~36			
36~3601				3601~37			
37~3701				3701~3702			
35~38				42~43			
43~44				44~4401			
4401~45				45~4500			
4500~4501				4501~4502			
43~46				101~102			
102~103				103~104			
104~105				102~106			
201~202				202~203			
203~204				204~205			
202~206							

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
N1						
5						
** 7 **						
** 9 **						
1101						
** 1101 **						
** 18 **						
** 20 **						
** 20 **						
** 27 **						
** 27 **						
29						
33						
36						
3801						
3802						
4101						
4103						
44						
** 4500 **						
** 1062 **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 107 **						
** 1091 **						
110						
** 111 **						
** 116 **						
** 116 **						
** 119 **						
122						
** 122 **						
130						
138						
** 138 **						
** 144N **						
** 144N **						
** 144N **						
** 2061 **						
210						
210						
211						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
212						
** 215 **						
** 220 **						
** 222 **						
** 222 **						
224						
2240						
228						
** 228 **						
** 235 **						
** 235 **						
** 240 **						
** 246N **						
** 246N **						
** 246N **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PD-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~6	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	6~28	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	28~43	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
4	17~100, 20~200 24~300, 28~400	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	100~101, 200~201 300~301, 400~401	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
6	106~146, 306~342	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250
7	206~244, 406~433	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PD-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~6	609.6	30.9	STS42	S	185880
2	6~28	609.6	30.9	STS49	S	183880
3	28~43	609.6	30.9	STS49	S	183880
4	17~100, 20~200 24~300, 28~400	279.4	59.7	SFVC2B	S	185880
5	100~101, 200~201 300~301, 400~401	216.3	28.2	SFVC2B	S	185880
6	106~146, 306~342	267.4	15.1	STPT42	B	200400
7	206~244, 406~433	267.4	15.1	STPT42	—	200400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 MS-PD-4

質量	対応する評価点
	1N～2, 3001～8, 9～34, 3501～3801, 3802～3901 4101～4200
	2～3001, 8～9, 34～3501, 3801～3802, 3901～4101
	4200～43
	100～101, 200～201, 300～301, 400～401

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 MS-PD-4

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	106, 206, 306, 406

弁部の質量

鳥 瞰 図 MS-PD-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	43～44, 44～47		43, 47, 52, 56
	44, 53		45, 54
	4501, 5401		46, 55
	4601, 5501		4602, 5502
	52～53, 53～56		102, 202, 302, 402
	104, 204, 304, 404		105, 205, 305, 405

弁部の寸法

鳥 瞰 図 MS-PD-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	
43~44				44~45				
45~4501				4501~46				
46~4601				4601~4602				
44~47				52~53				
53~54				54~5401				
5401~55				55~5500				
5500~5501				5501~5502				
53~56				101~102				
102~103				103~104				
104~105				102~106				
201~202				202~203				
203~204				204~205				
202~206				301~302				
302~303				303~304				
304~305				302~306				
401~402				402~403				
403~404				404~405				
402~406								

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
N1						
** 4 **						
** 5 **						
12						
** 1501 **						
** 15 **						
** 22 **						
** 26 **						
** 26 **						
** 31 **						
** 36 **						
** 36 **						
38						
42						
45						
4701						
** 4701 **						
5101						
5103						
54						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 5500 **						
** 1061 **						
** 1061 **						
** 109 **						
** 109 **						
110						
110						
113						
114						
** 117 **						
** 117 **						
122						
1220						
123						
** 123 **						
132						
132						
134						
** 134 **						
** 139 **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1391 **						
** 147N **						
** 147N **						
** 147N **						
** 2061 **						
** 2061 **						
** 209 **						
** 209 **						
210						
213						
** 214 **						
** 217 **						
222						
2220						
223						
223						
** 230 **						
** 230 **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 237 **						
** 237 **						
** 245N **						
** 245N **						
** 245N **						
** 3061 **						
** 3061 **						
** 309 **						
** 309 **						
310						
3121						
315						
315						
316						
3161						
** 319 **						
** 319 **						
** 324 **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 330 **						
** 330 **						
** 335 **						
** 343N **						
** 343N **						
** 343N **						
** 4061 **						
** 4062 **						
** 4081 **						
** 409 **						
410						
** 413 **						
** 413 **						
** 4171 **						
424						
** 4281 **						
428						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 434N **						
** 434N **						
** 434N **						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PS-10

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	2～15	Ⅲ _A S	3.73	250
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250
2	16～18, 17～22	Ⅲ _A S	3.73	250
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250
3	18～21, 22～25	Ⅲ _A S	3.73	250
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PS-10

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2～15	267.4	15.1	STPT42	S	202000
2	16～18, 17～22	349.6	30.0	SCPL1	S	202000
3	18～21, 22～25	323.8	17.4	SCS19	S	194000

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PS-10

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
** 7 **						
** 10 **						
** 10 **						
12						
** 17 **						
** 17 **						
** 17 **						
** 19 **						
** 19 **						
** 23 **						
** 23 **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PS-15

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	2~9	Ⅲ _A S	3.73	250
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250
2	10~12, 11~16	Ⅲ _A S	3.73	250
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250
3	12~15, 16~19	Ⅲ _A S	3.73	250
		Ⅳ _A S	3.73	250
		Ⅴ _A S	3.73	250

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MS-PS-15

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2～9	267.4	15.1	STPT42	S	202000
2	10～12, 11～16	349.6	30.0	SCPL1	S	202000
3	12～15, 16～19	323.8	17.4	SCS19	S	194000

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PS-15

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
** 6 **						
** 11 **						
** 11 **						
** 11 **						
** 13 **						
** 13 **						
** 17 **						
** 17 **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STS42	302	122	—	—	—
STS49	302	138	—	—	—
SFVC2B	302	125	—	—	—
STPT42	250	—	197	404	—
SCPL1	250	—	197	407	—
SCS19	250	—	116	304	76

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
MS-PD-1	ガンマ線遮蔽壁	EL <input type="text"/>			
MS-PD-2	ガンマ線遮蔽壁	EL <input type="text"/>			
MS-PD-4	ガンマ線遮蔽壁	EL <input type="text"/>			
MS-PS-10	サプレッション チェンバ (補強リング及び サポート)	EL <input type="text"/> ~ EL <input type="text"/>			
MS-PS-15	サプレッション チェンバ (補強リング及び サポート)	EL <input type="text"/> ~ EL <input type="text"/>			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
11次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MS-PD-1

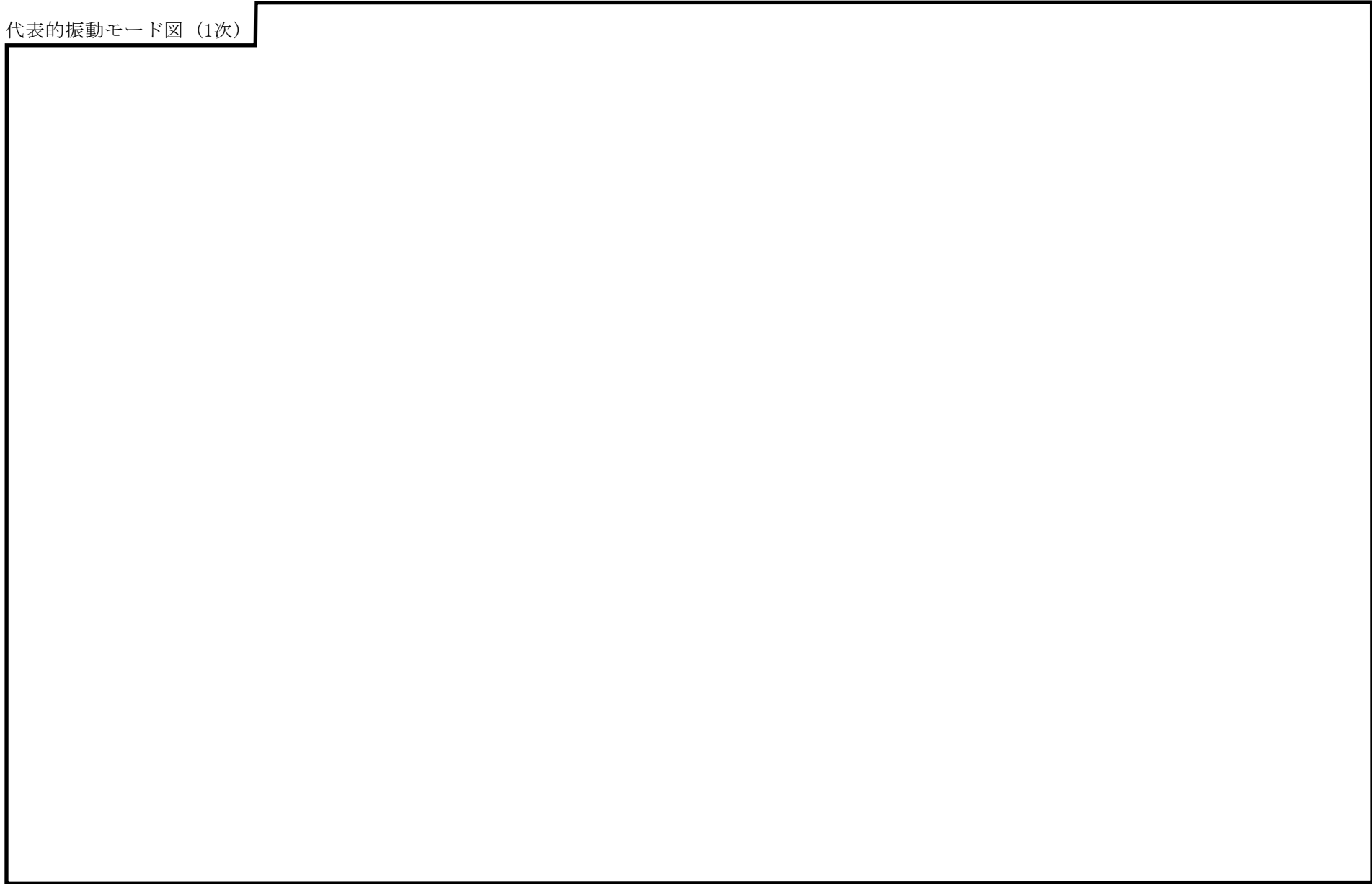
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
11次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

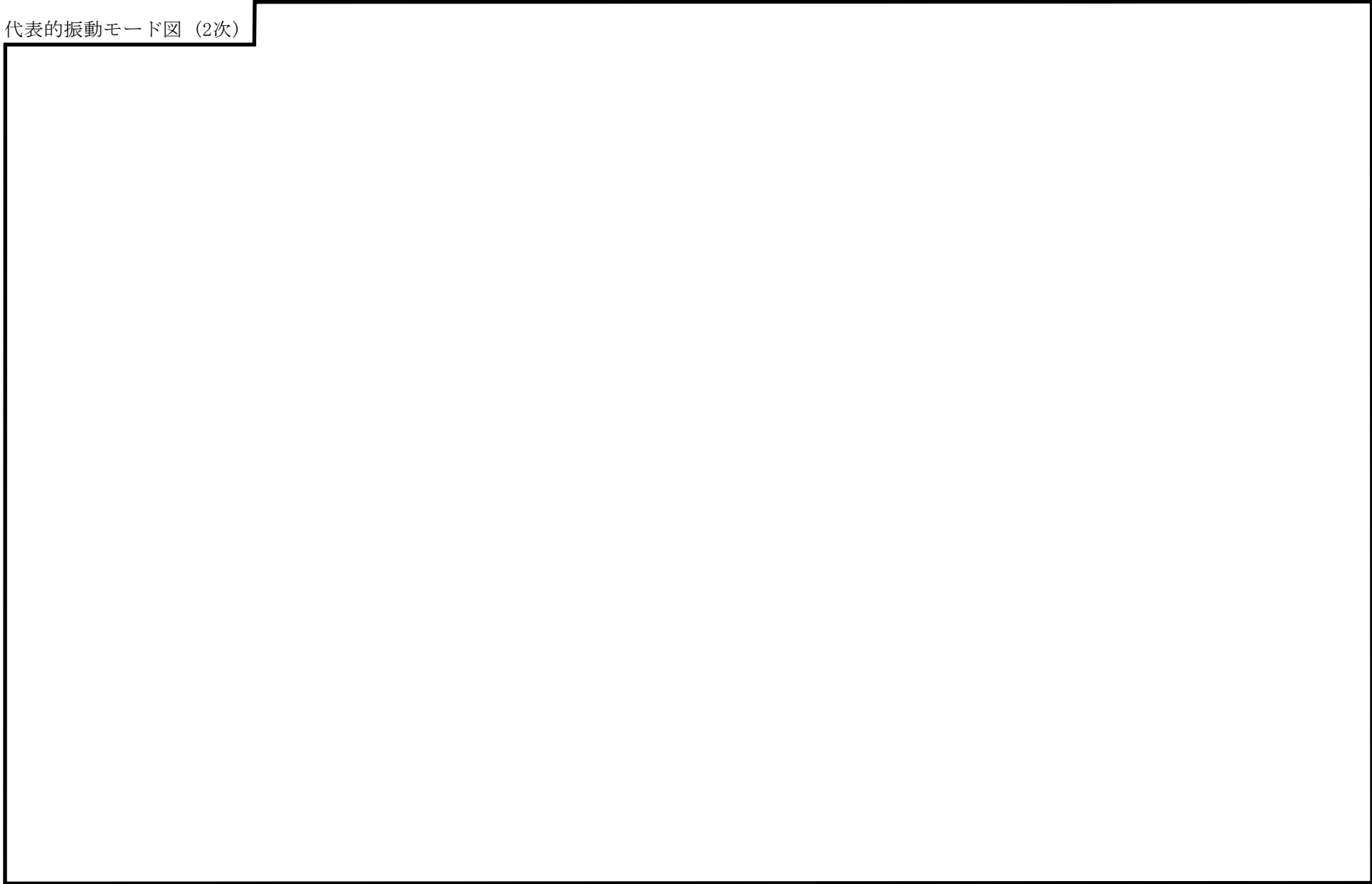
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

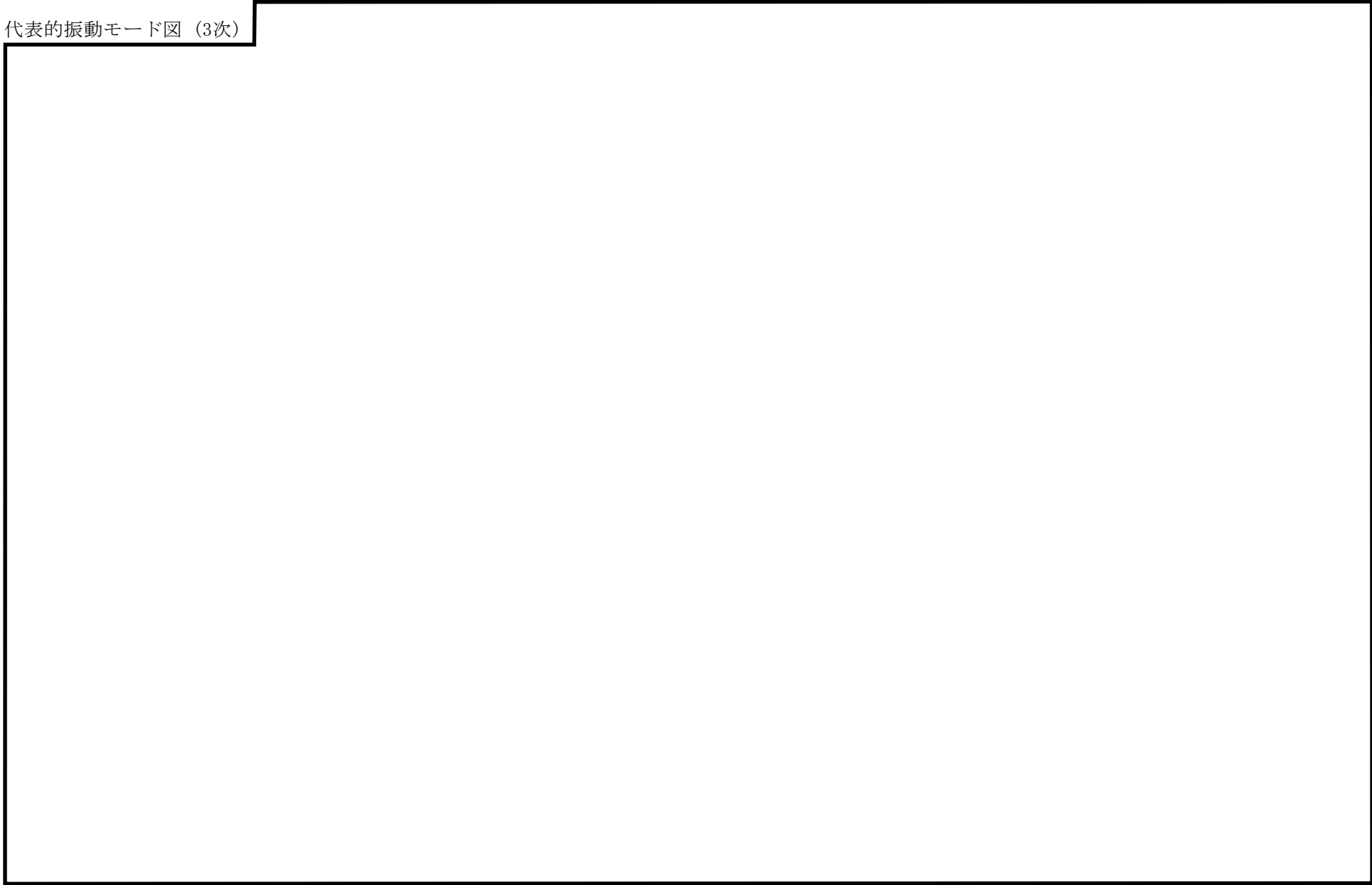
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-PD-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MS-PD-2

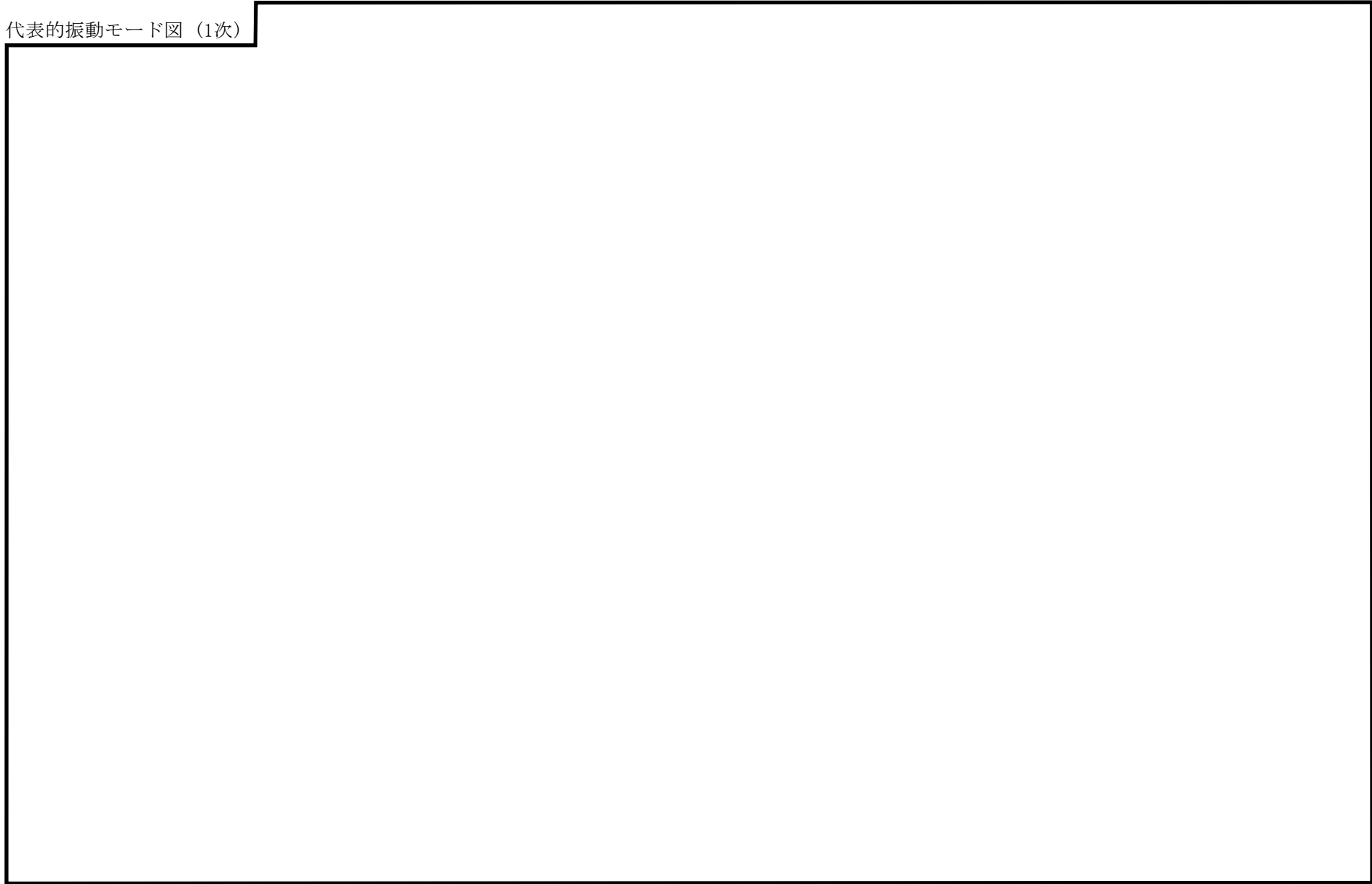
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

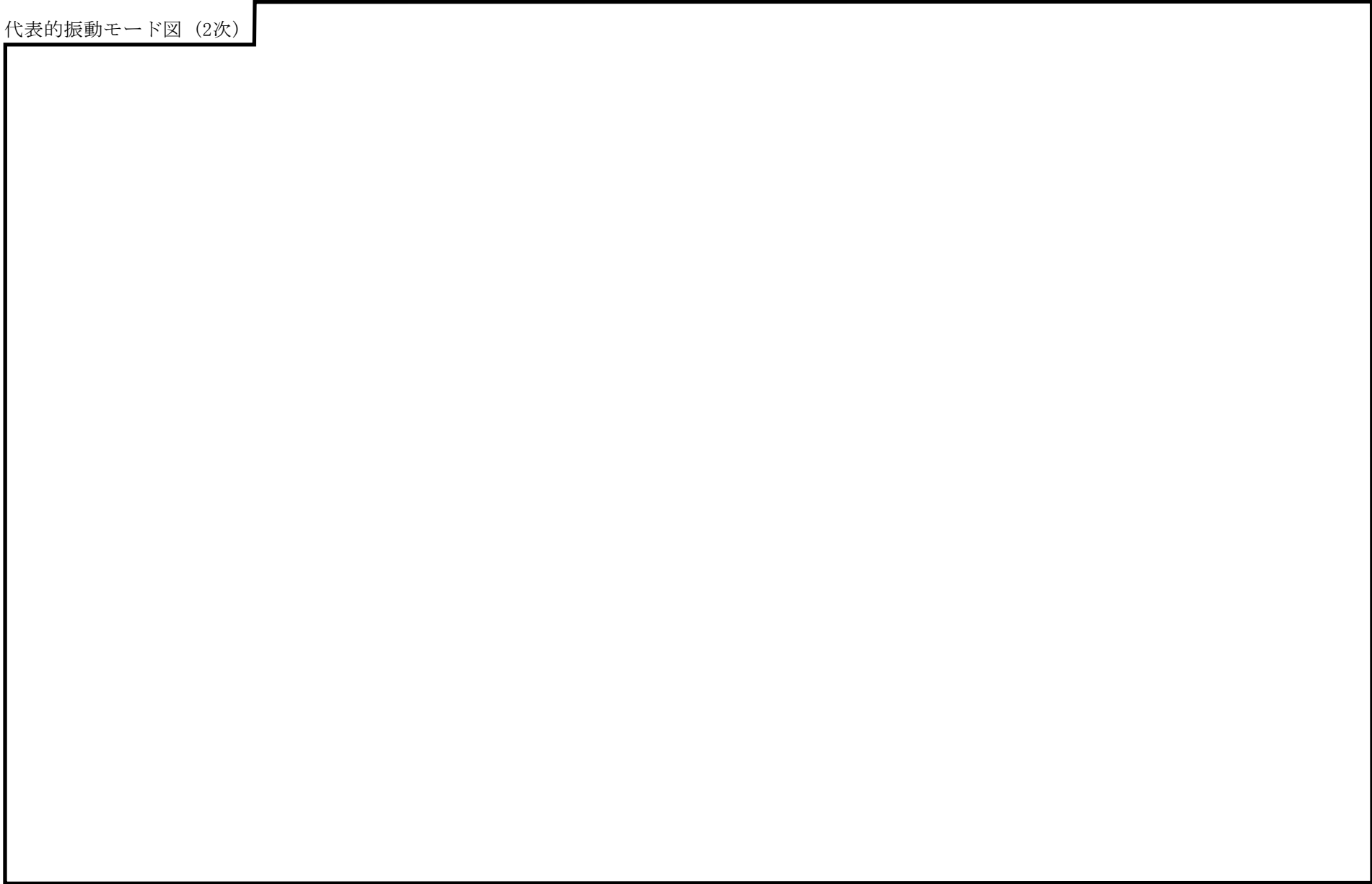
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

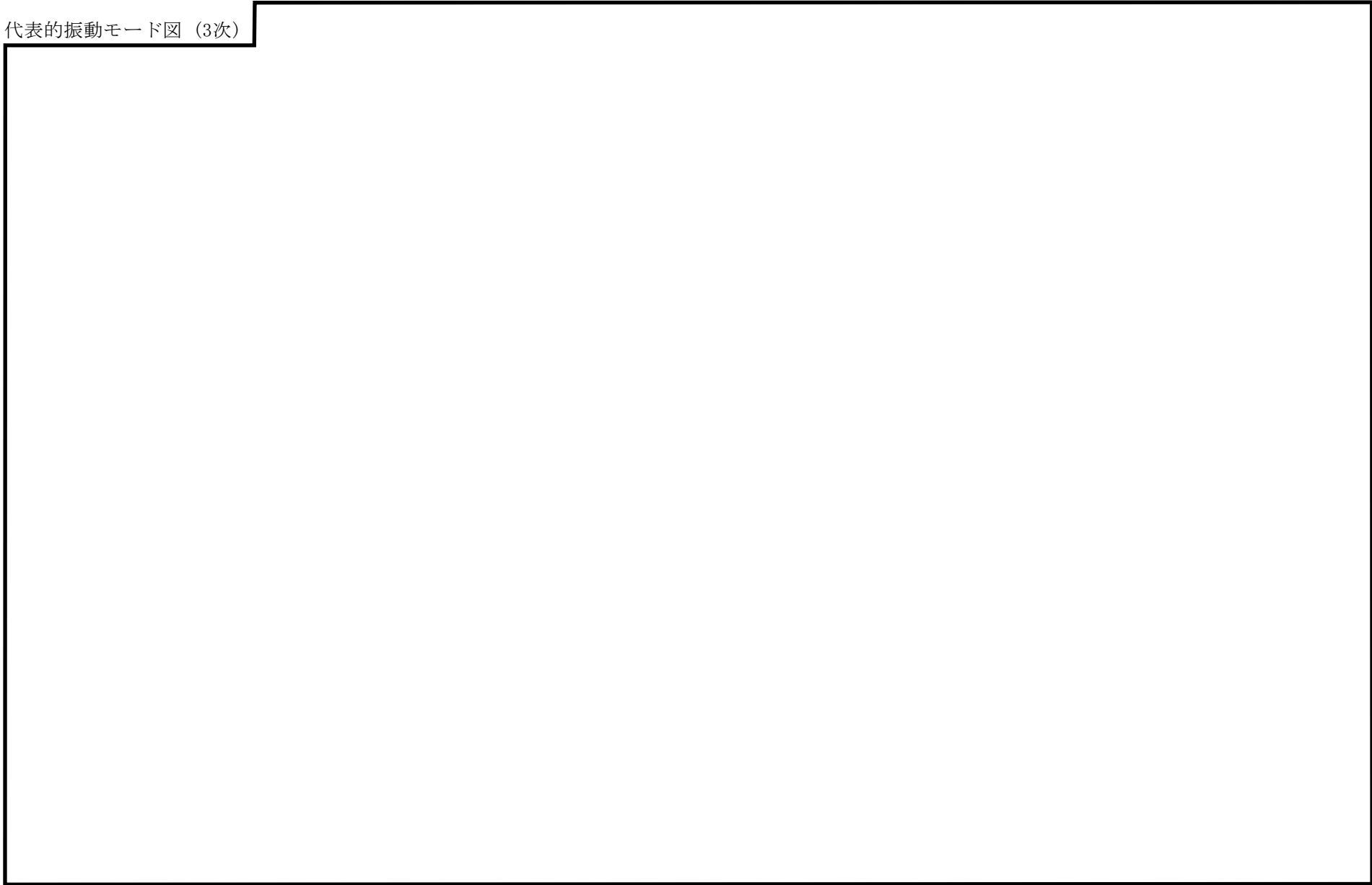
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-PD-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
11次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MS-PD-4

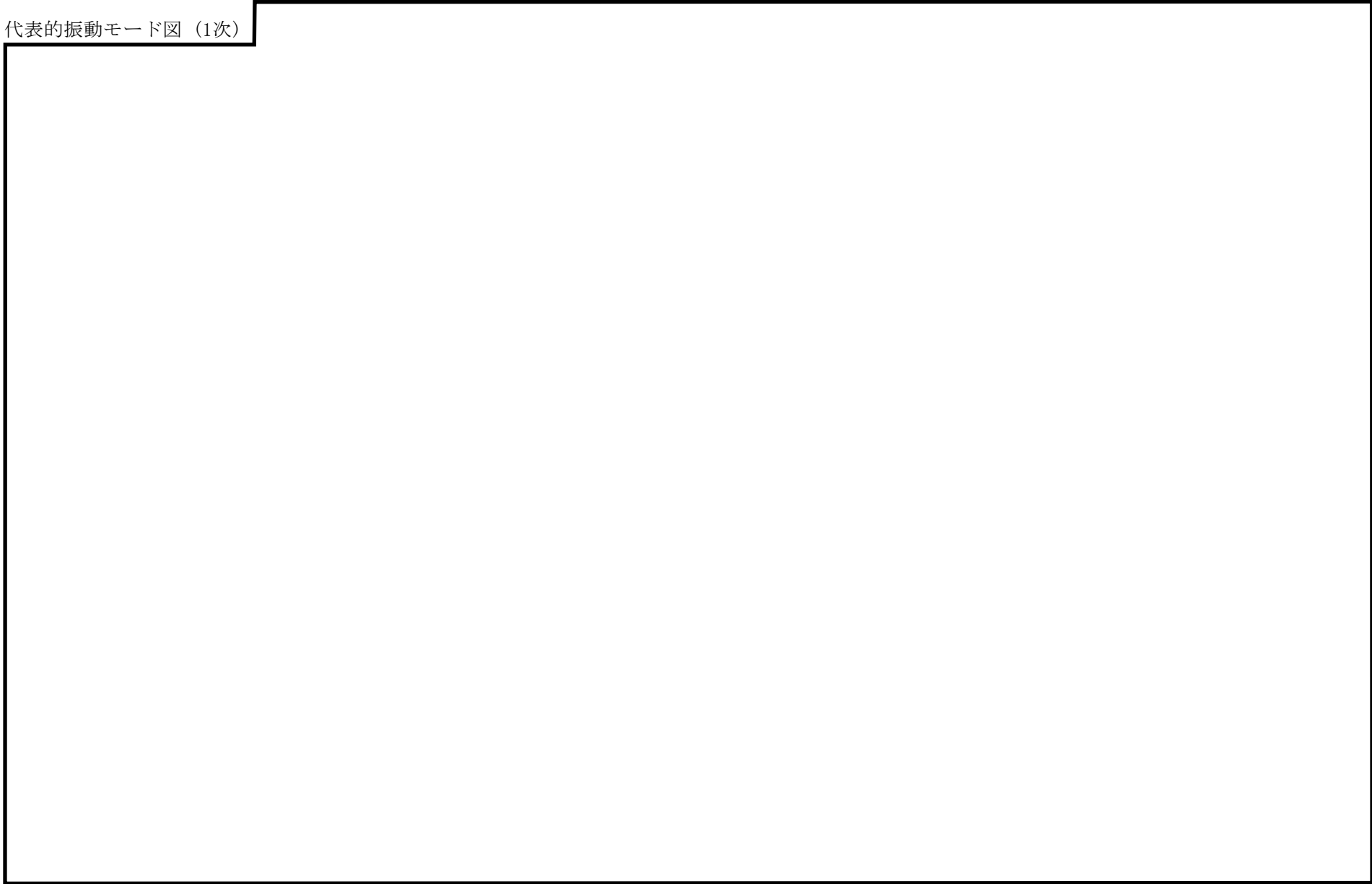
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
11次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

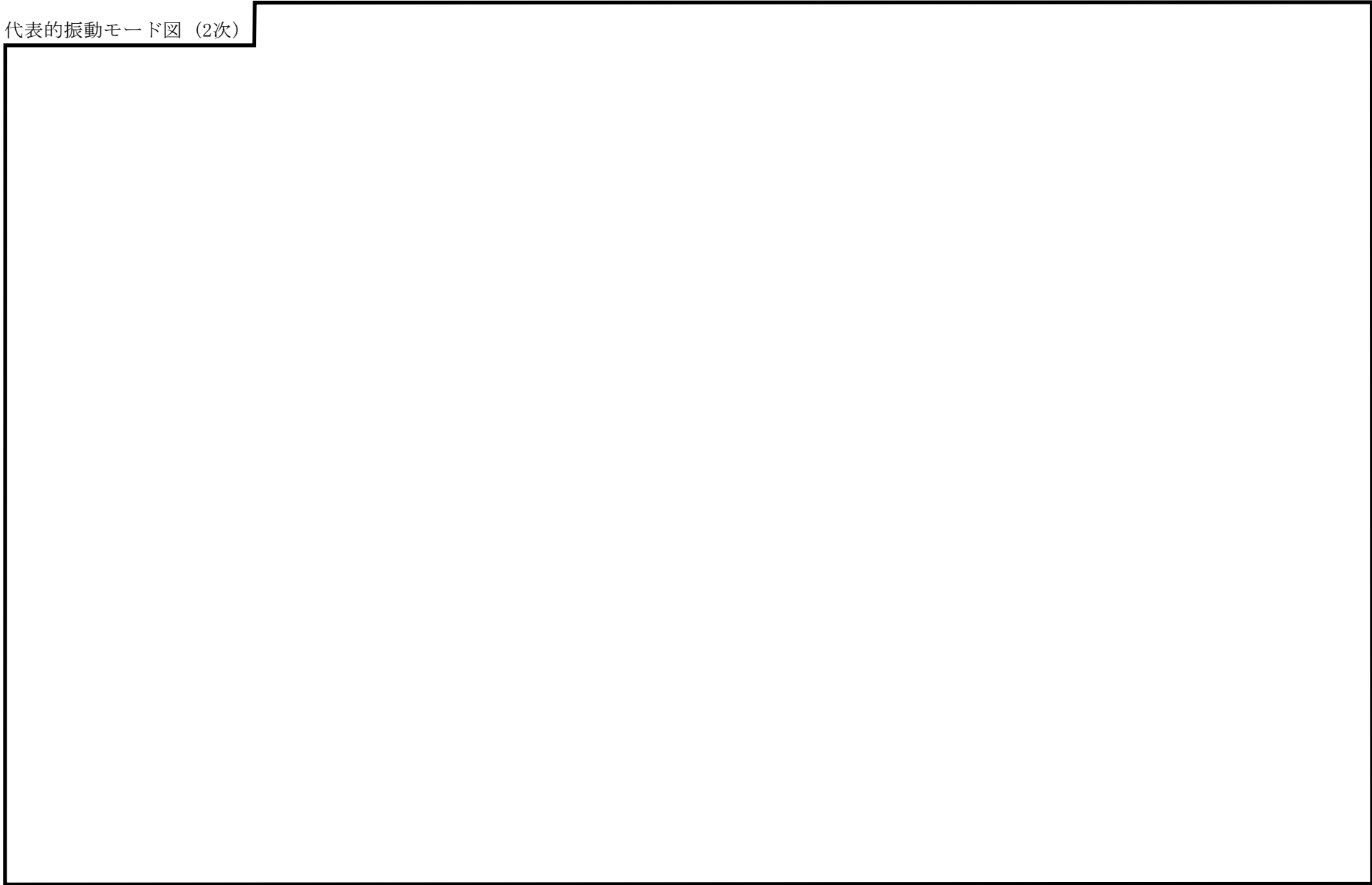
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

130

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-PS-10

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*2, *3							
静的震度*4							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

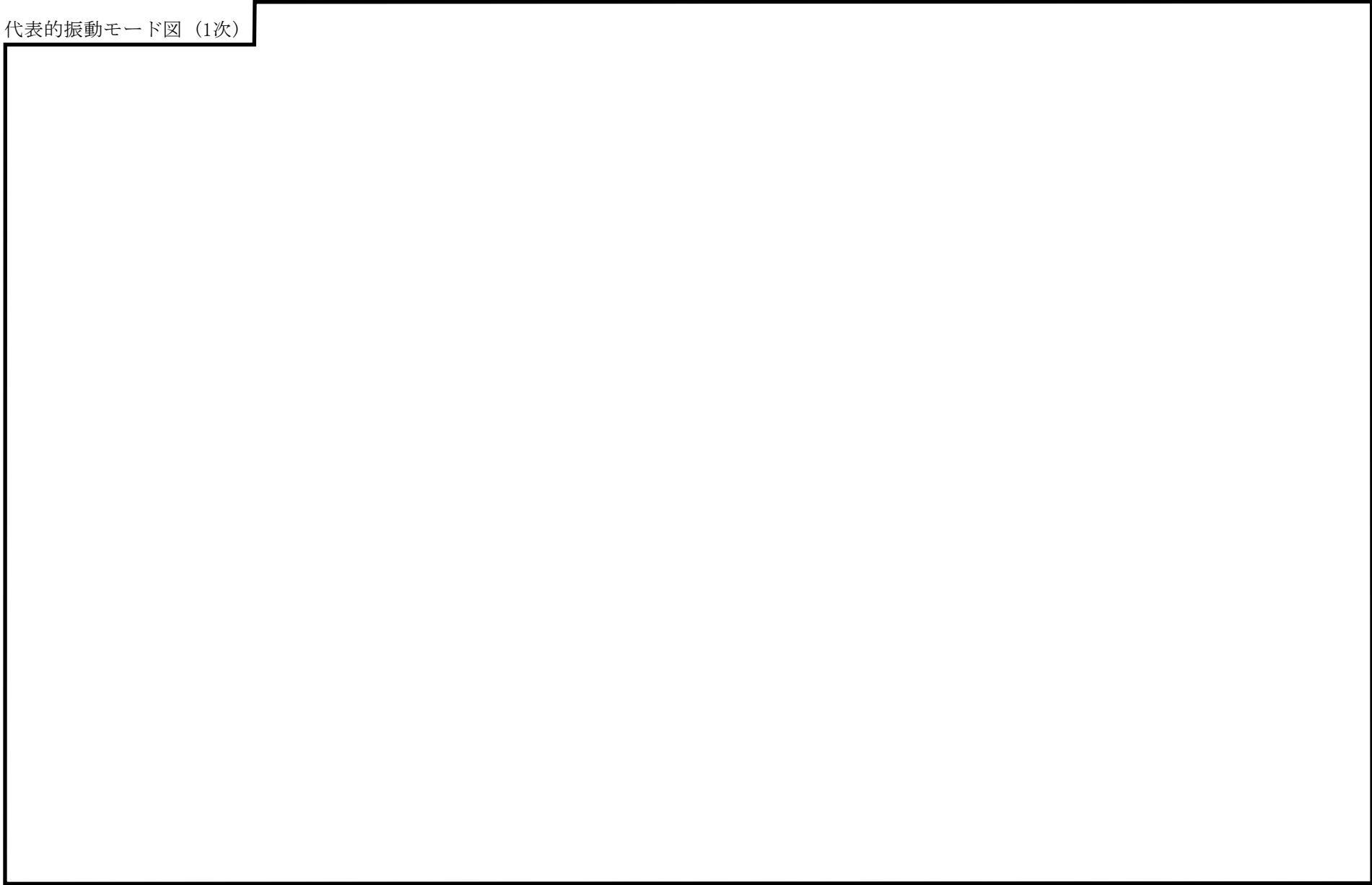
*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

*4： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



133

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-PS-15

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*2, *3							
静的震度*4							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

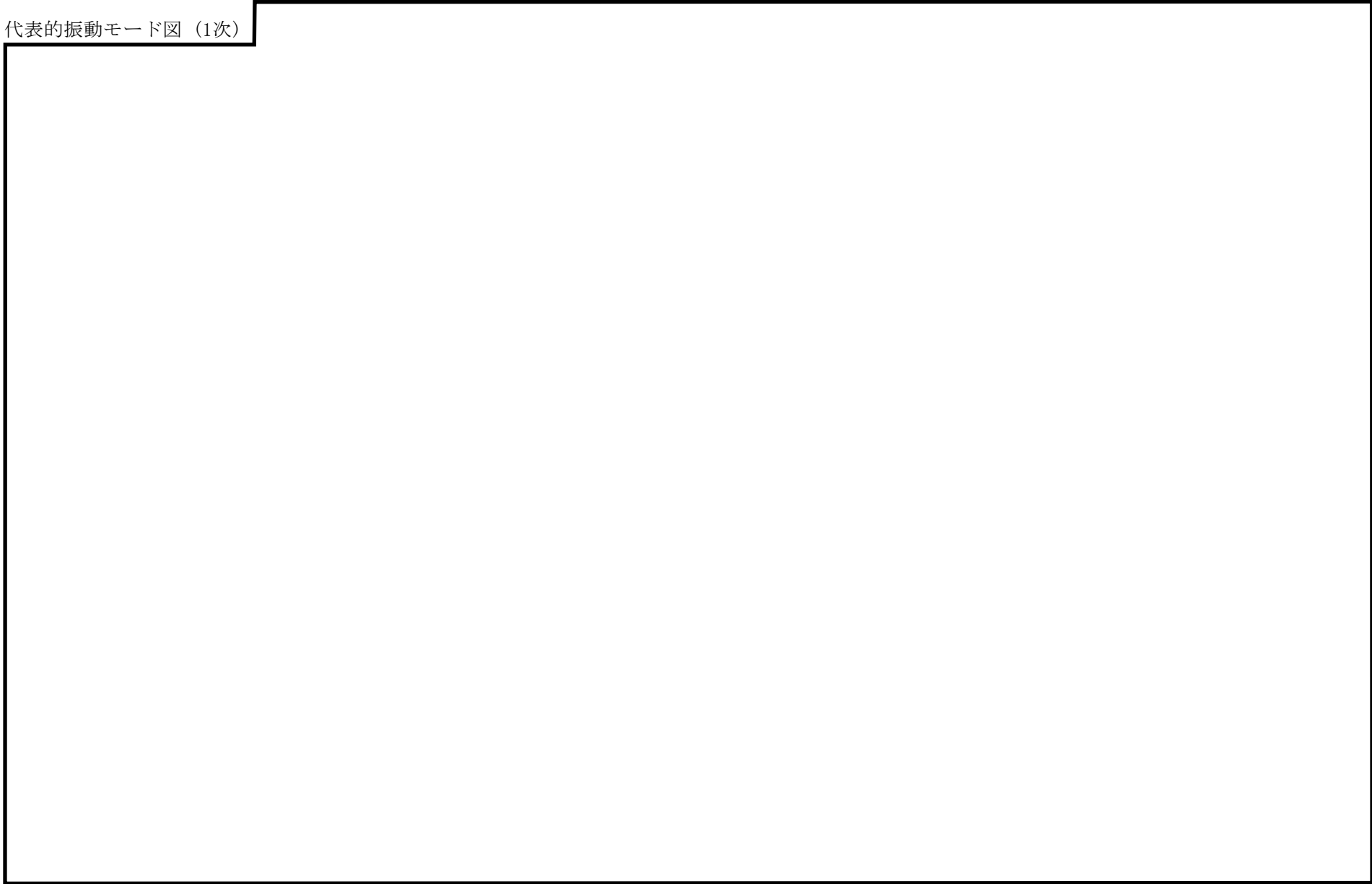
*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

*4： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (2.25 \cdot S m)$	MS-PD-4	400	ST. PIP	221	281	—
		ねじり $S_t (0.55 \cdot S m)$	MS-PD-4	300	ST. PIP	69	68	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (1.8 \cdot S m)$	MS-PD-4	300	ST. PIP	134	225	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		MS-PD-4	28	TEE	407	375	0.0808
	疲労累積係数 $U + U S d$		MS-PD-4	28	TEE	—	—	0.0808
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (3 \cdot S m)$	MS-PD-4	400	ST. PIP	328	375	—
		ねじり $S_t (0.73 \cdot S m)$	MS-PD-4	300	ST. PIP	112	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (2.4 \cdot S m)$	MS-PD-4	300	ST. PIP	211	300	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		MS-PD-4	28	TEE	762	375	0.6307
	疲労累積係数 $U + U S s$		MS-PD-4	28	TEE	—	—	0.6307

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S_m)$	MS-PD-4	400	ST.PIP	328	375	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	MS-PD-4	300	ST.PIP	112	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	MS-PD-4	300	ST.PIP	211	300	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		MS-PD-4	28	TEE	762	375	0.6307
	疲労累積係数 $U + U S_s$		MS-PD-4	28	TEE	—	—	0.6307
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S_m)$	MS-PD-4	400	ST.PIP	328	375	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	MS-PD-4	300	ST.PIP	112	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	MS-PD-4	300	ST.PIP	211	300	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		MS-PD-4	28	TEE	762	375	0.6307
	疲労累積係数 $U + U S_s$		MS-PD-4	28	TEE	—	—	0.6307

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	MS-PS-15	9	103	197	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	MS-PS-10	5	291	394	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	MS-PD-2	222	163	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	MS-PD-1	146	302	394	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	MS-PD-2	222	163	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	MS-PD-1	146	302	394	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	MS-PD-2	222	163	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	MS-PD-1	146	302	394	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
SNM-MS-187	メカニカルスナッパ	SMS-25×2*3	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	302	326	750	—
SNO-MS-126	オイルスナッパ	SN-40			377	600	—
RE-MS-258	ロッドレストレイント	RTS-60			597	1080	—
SH-MS-27	スプリングハンガ	VSL4B-18×2*3			72	108	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点、同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
GD-MS-12	レストレイント	ラグ	SGV480	302	0	831	305	69	0	0	組合せ	112	137
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}					
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
AV202-1A	主蒸気隔離弁	α (S s)	5.7	4.9	—	10.0	6.2	—	—	—	—	—	—
RV202-1F	逃がし安全弁	α (S s) β (S s)	16.8	5.3	17.6	9.6	6.1	20.0	20.0	クーリング スプール	組合せ	246	305
RV202-1H	逃がし安全弁	α (S s) β (S s)	14.2	5.8	15.3	9.6	6.1	20.0	20.0	クーリング スプール	組合せ	211	305

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動S s，弾性設計用地震動S d時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動S s，弾性設計用地震動S d後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	MS-PD-1	24	196	281	1.43	—	24	362	375	1.03	—	20	0.0580	—
2	MS-PD-2	15	197	281	1.42	—	15	376	375	0.99	—	15	0.0672	—
3	MS-PD-3	100	206	281	1.36	—	12	355	375	1.05	—	12	0.0539	—
4	MS-PD-4	400	221	281	1.27	○	28	407	375	0.92	○	28	0.0808	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	MS-PD-1	300	312	375	1.20	—	24	709	375	0.52	—	24	0.5620	—
2	MS-PD-2	100	311	375	1.20	—	15	693	375	0.54	—	15	0.5256	—
3	MS-PD-3	100	286	375	1.31	—	12	726	375	0.51	—	12	0.5354	—
4	MS-PD-4	400	328	375	1.14	○	28	762	375	0.49	○	28	0.6307	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	MS-PD-1	300	312	375	1.20	—	24	709	375	0.52	—	24	0.5620	—
2	MS-PD-2	100	311	375	1.20	—	15	693	375	0.54	—	15	0.5256	—
3	MS-PD-3	100	286	375	1.31	—	12	726	375	0.51	—	12	0.5354	—
4	MS-PD-4	400	328	375	1.14	○	28	762	375	0.49	○	28	0.6307	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	MS-PD-1	300	312	375	1.20	—	24	709	375	0.52	—	24	0.5620	—
2	MS-PD-2	100	311	375	1.20	—	15	693	375	0.54	—	15	0.5256	—
3	MS-PD-3	100	286	375	1.31	—	12	726	375	0.51	—	12	0.5354	—
4	MS-PD-4	400	328	375	1.14	○	28	762	375	0.49	○	28	0.6307	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	MS-PS-7	9	89	197	2.21	—	9	168	394	2.34	—	—
2	MS-PS-9	7	52	197	3.78	—	7	143	394	2.75	—	—
3	MS-PS-10	10	76	197	2.59	—	5	291	394	1.35	—	○
4	MS-PS-12	10	75	197	2.62	—	5	291	394	1.35	—	—
5	MS-PS-15	9	103	197	1.91	○	9	148	394	2.66	—	—
6	MS-PS-17	7	52	197	3.78	—	7	143	394	2.75	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅳ _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	MS-PD-1	123	160	363	2.26	—	146	302	394	1.30	—	○
2	MS-PD-2	222	163	363	2.22	○	222	224	394	1.75	—	—
3	MS-PD-3	215	162	363	2.24	—	215	212	394	1.85	—	—
4	MS-PD-4	146	144	363	2.52	—	146	284	394	1.38	—	—
5	MS-PS-7	9	117	363	3.10	—	9	228	394	1.72	—	—
6	MS-PS-9	7	80	363	4.53	—	7	202	394	1.95	—	—
7	MS-PS-10	10	94	363	3.86	—	5	293	394	1.34	—	—
8	MS-PS-12	10	93	363	3.90	—	5	294	394	1.34	—	—
9	MS-PS-15	9	150	363	2.42	—	9	208	394	1.89	—	—
10	MS-PS-17	7	80	363	4.53	—	7	202	394	1.95	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	MS-PD-1	123	160	363	2.26	—	146	302	394	1.30	—	○
2	MS-PD-2	222	163	363	2.22	○	222	224	394	1.75	—	—
3	MS-PD-3	215	162	363	2.24	—	215	212	394	1.85	—	—
4	MS-PD-4	424	148	363	2.45	—	146	284	394	1.38	—	—
5	MS-PS-6	10	90	363	4.03	—	5	228	394	1.72	—	—
6	MS-PS-7	9	117	363	3.10	—	9	228	394	1.72	—	—
7	MS-PS-8	10	95	363	3.82	—	5	237	394	1.66	—	—
8	MS-PS-9	7	80	363	4.53	—	7	202	394	1.95	—	—
9	MS-PS-10	10	94	363	3.86	—	5	293	394	1.34	—	—
10	MS-PS-11	9	154	363	2.35	—	9	238	394	1.65	—	—
11	MS-PS-12	10	93	363	3.90	—	5	294	394	1.34	—	—
12	MS-PS-13	9	154	363	2.35	—	9	216	394	1.82	—	—
13	MS-PS-14	10	90	363	4.03	—	5	228	394	1.72	—	—
14	MS-PS-15	9	150	363	2.42	—	9	208	394	1.89	—	—
15	MS-PS-16	10	95	363	3.82	—	5	237	394	1.66	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	MS-PS-17	7	80	363	4.53	—	7	202	394	1.95	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	MS-PD-1	123	160	363	2.26	—	146	302	394	1.30	—	○
2	MS-PD-2	222	163	363	2.22	○	222	224	394	1.75	—	—
3	MS-PD-3	215	162	363	2.24	—	215	212	394	1.85	—	—
4	MS-PD-4	424	148	363	2.45	—	146	284	394	1.38	—	—
5	MS-PS-6	10	90	363	4.03	—	5	228	394	1.72	—	—
6	MS-PS-7	9	117	363	3.10	—	9	228	394	1.72	—	—
7	MS-PS-8	10	95	363	3.82	—	5	237	394	1.66	—	—
8	MS-PS-9	7	80	363	4.53	—	7	202	394	1.95	—	—
9	MS-PS-10	10	94	363	3.86	—	5	293	394	1.34	—	—
10	MS-PS-11	9	154	363	2.35	—	9	238	394	1.65	—	—
11	MS-PS-12	10	93	363	3.90	—	5	294	394	1.34	—	—
12	MS-PS-13	9	154	363	2.35	—	9	216	394	1.82	—	—
13	MS-PS-14	10	90	363	4.03	—	5	228	394	1.72	—	—
14	MS-PS-15	9	150	363	2.42	—	9	208	394	1.89	—	—
15	MS-PS-16	10	95	363	3.82	—	5	237	394	1.66	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	MS-PS-17	7	80	363	4.53	—	7	202	394	1.95	—	—

VI-2-5-3-2 給水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書
(給水系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	21
3.1 計算方法	21
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	22
3.3 設計条件	25
3.4 材料及び許容応力	47
3.5 設計用地震力	48
4. 解析結果及び評価	49
4.1 固有周期及び設計震度	49
4.2 評価結果	61
4.2.1 管の応力評価結果	61
4.2.2 支持構造物評価結果	65
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	66
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	67

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、給水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






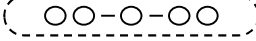

(3) 弁

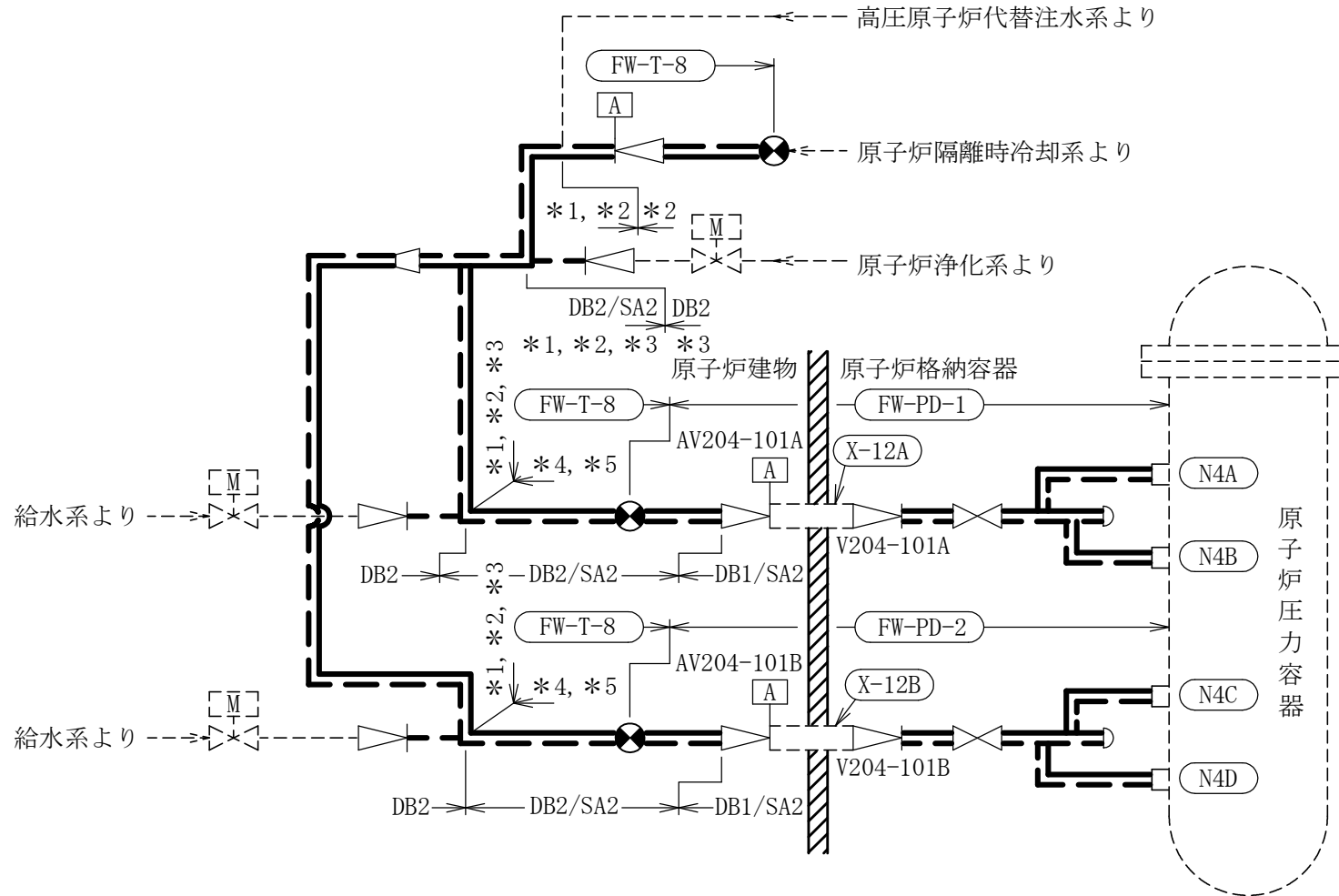
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管


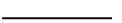
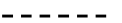


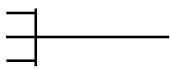
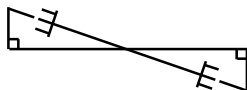
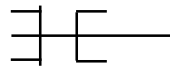
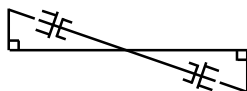

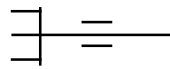
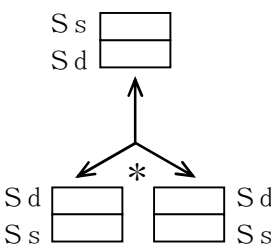


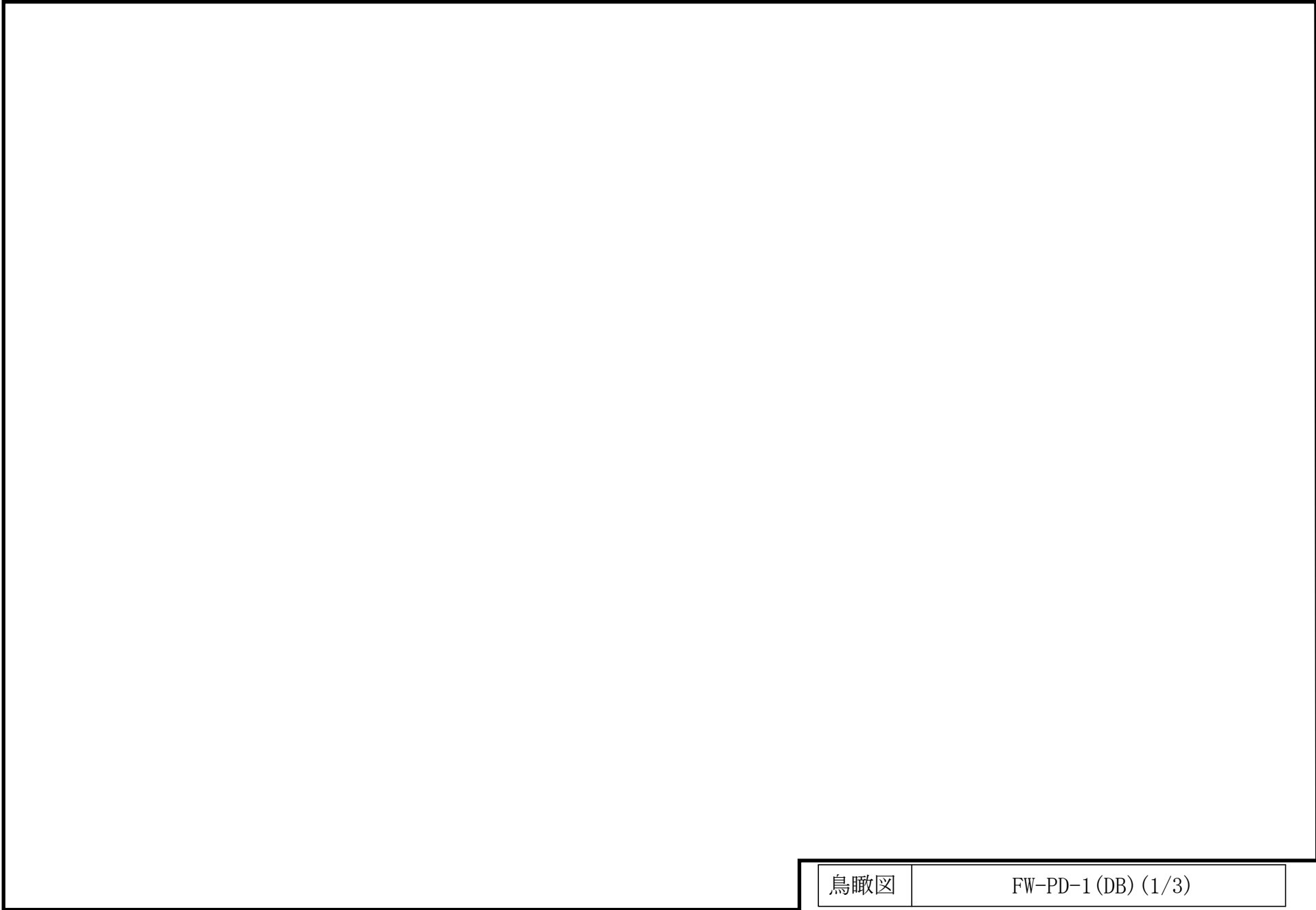
- 注記*1：高圧原子炉代替注水系の申請範囲であるが、計算結果は本系統に含めて示す。
 *2：原子炉隔離時冷却系の申請範囲であるが、計算結果は本系統に含めて示す。
 *3：原子炉浄化系の申請範囲であるが、計算結果は本系統に含めて示す。
 *4：高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *5：原子炉隔離時冷却系との兼用範囲である。

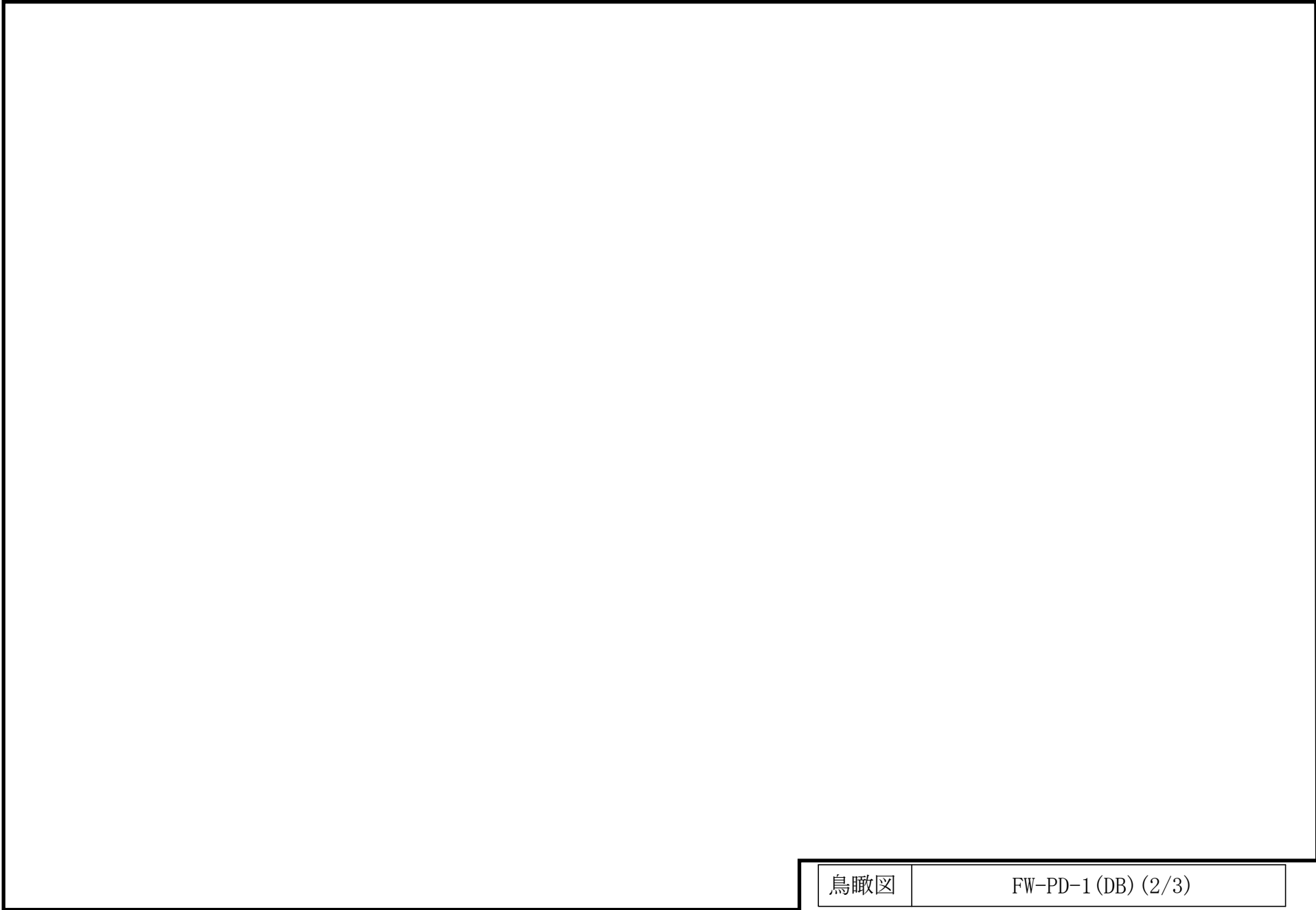
給水系概略系統図

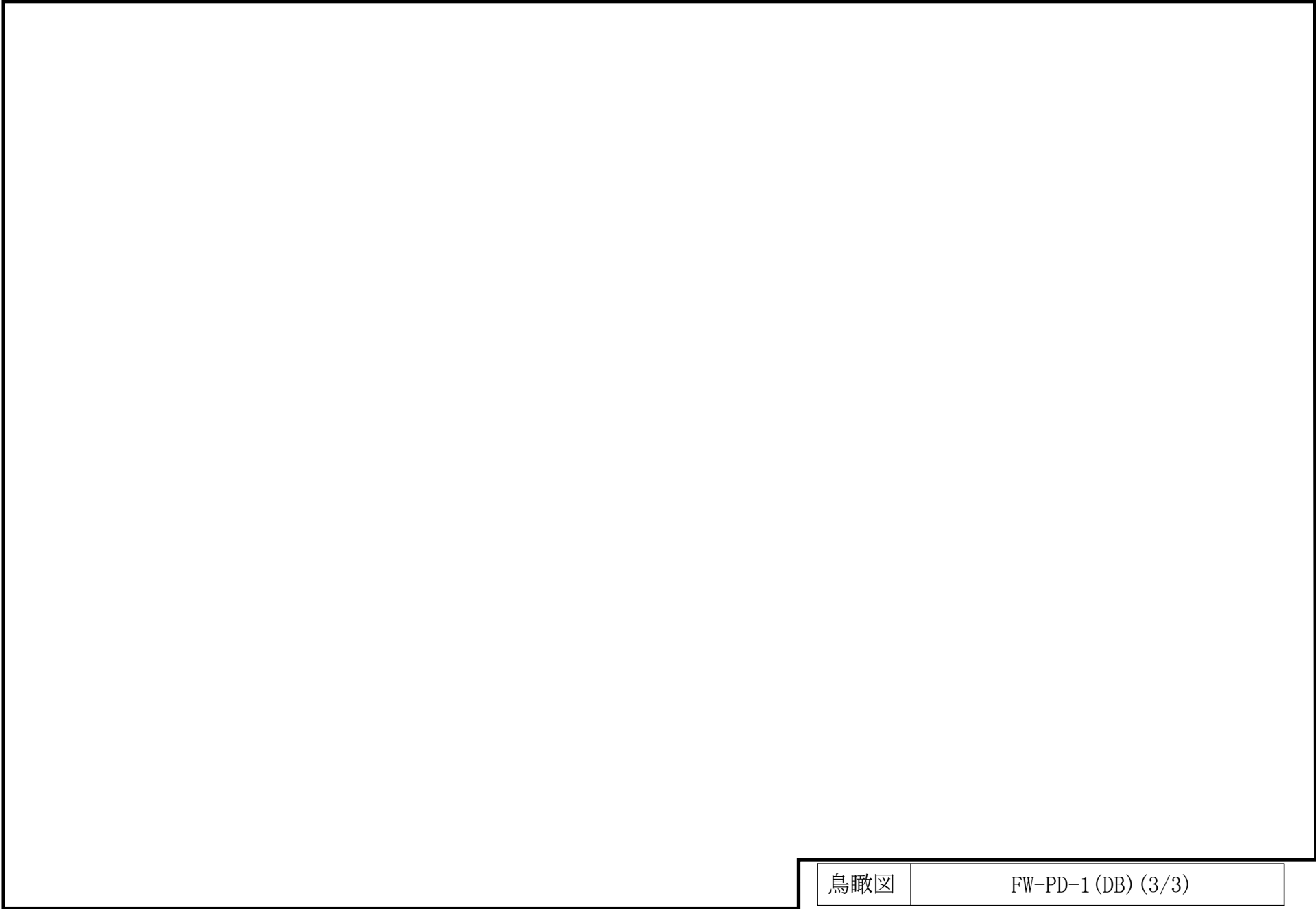
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



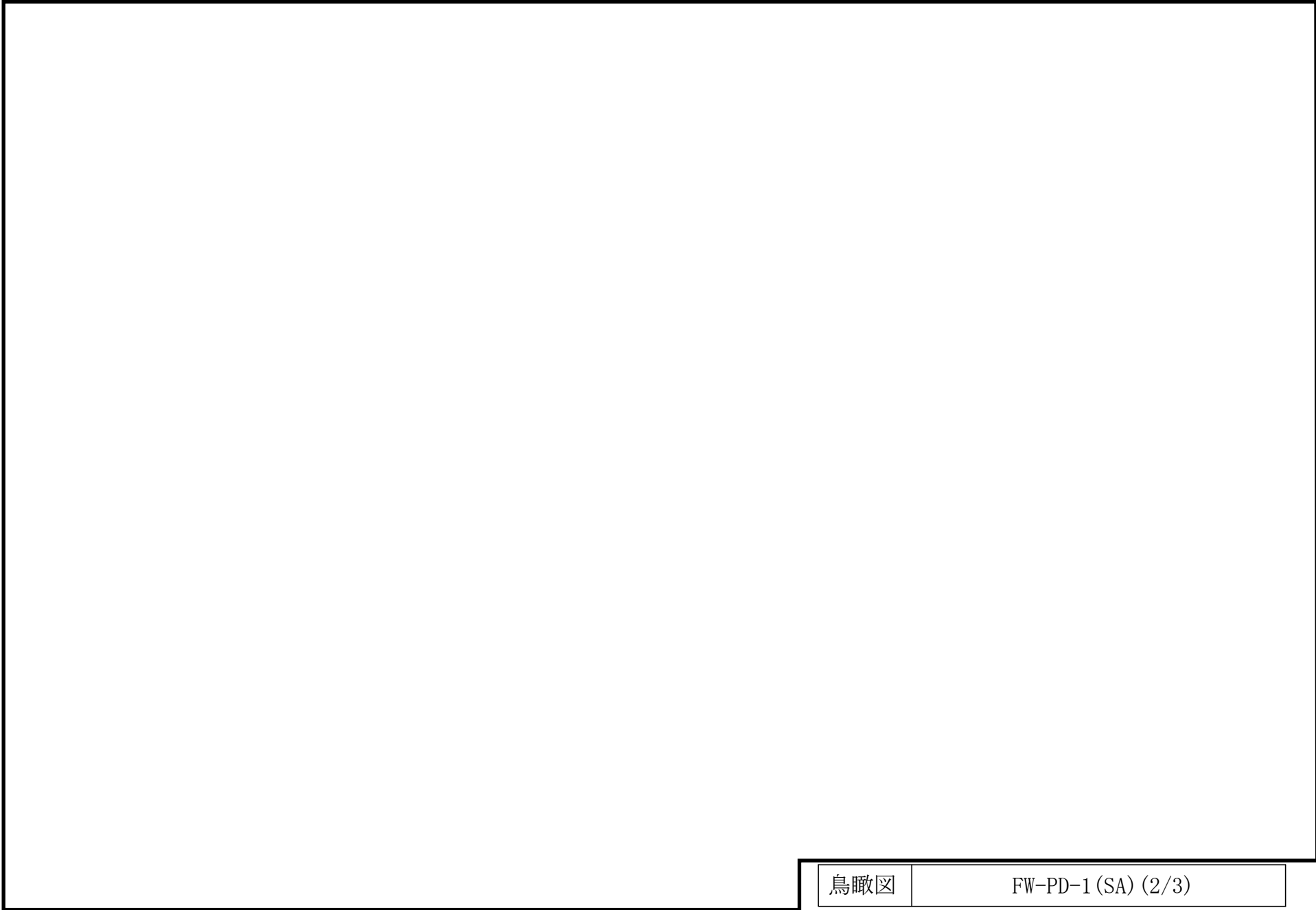


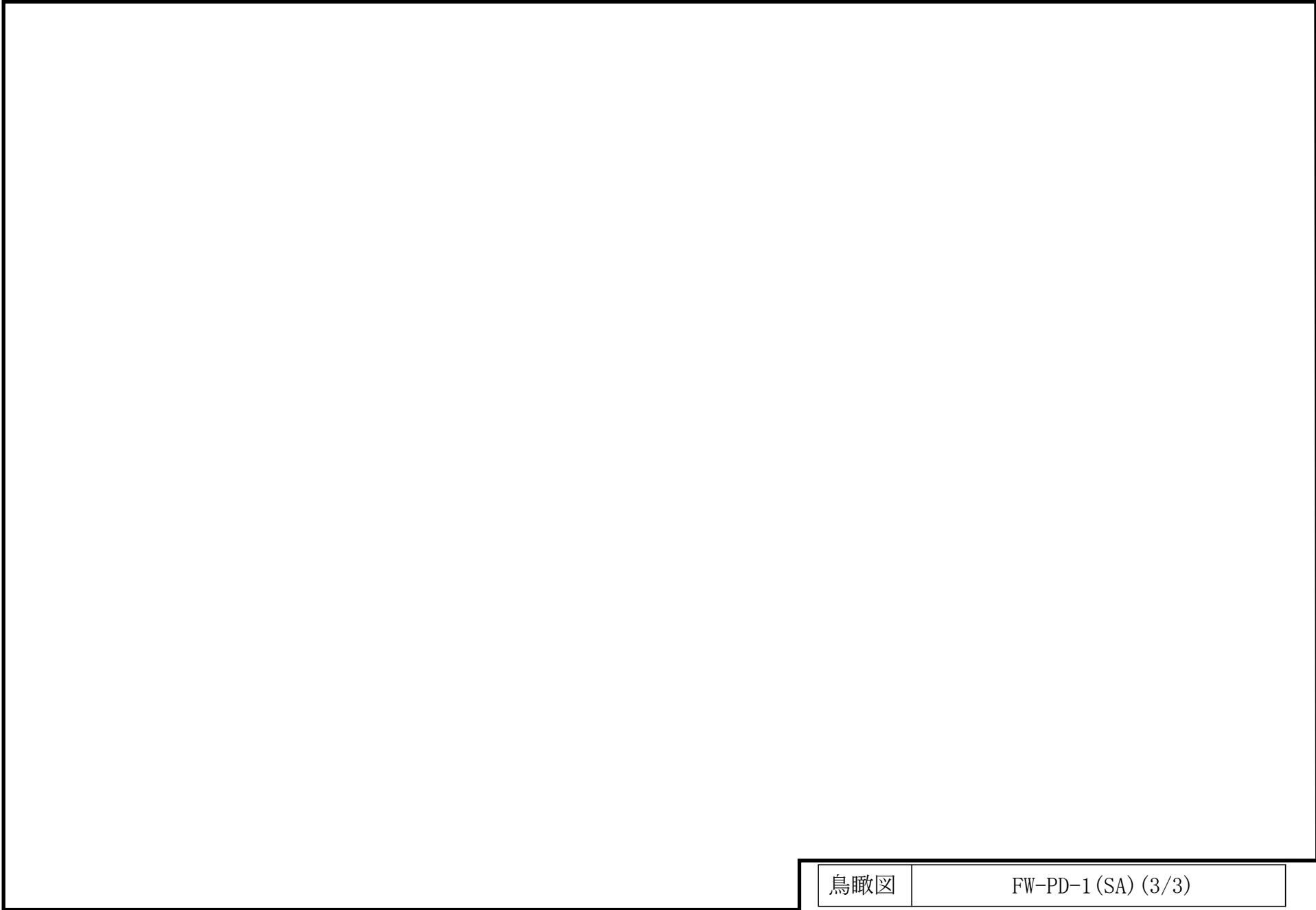


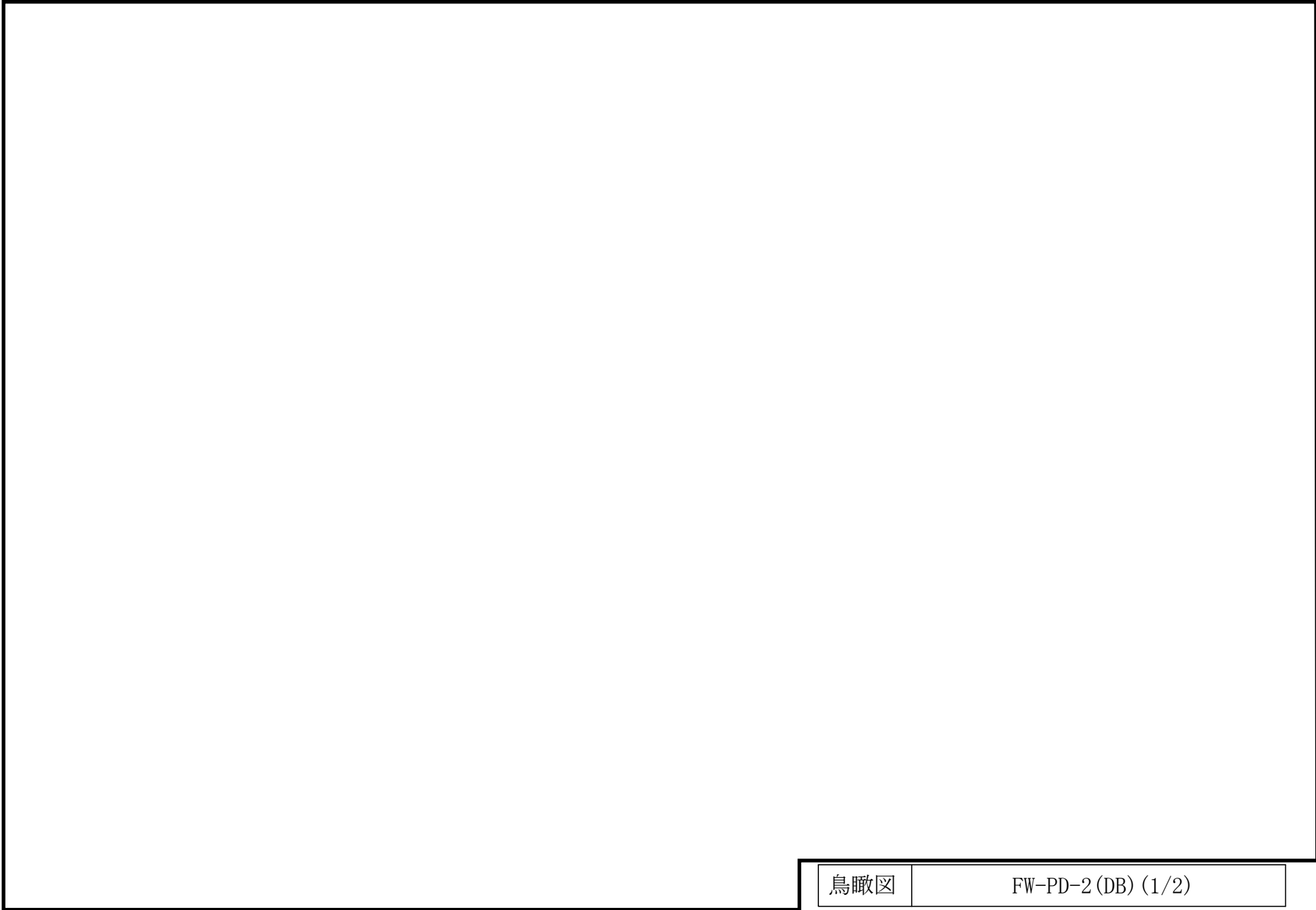
∞

鳥瞰図

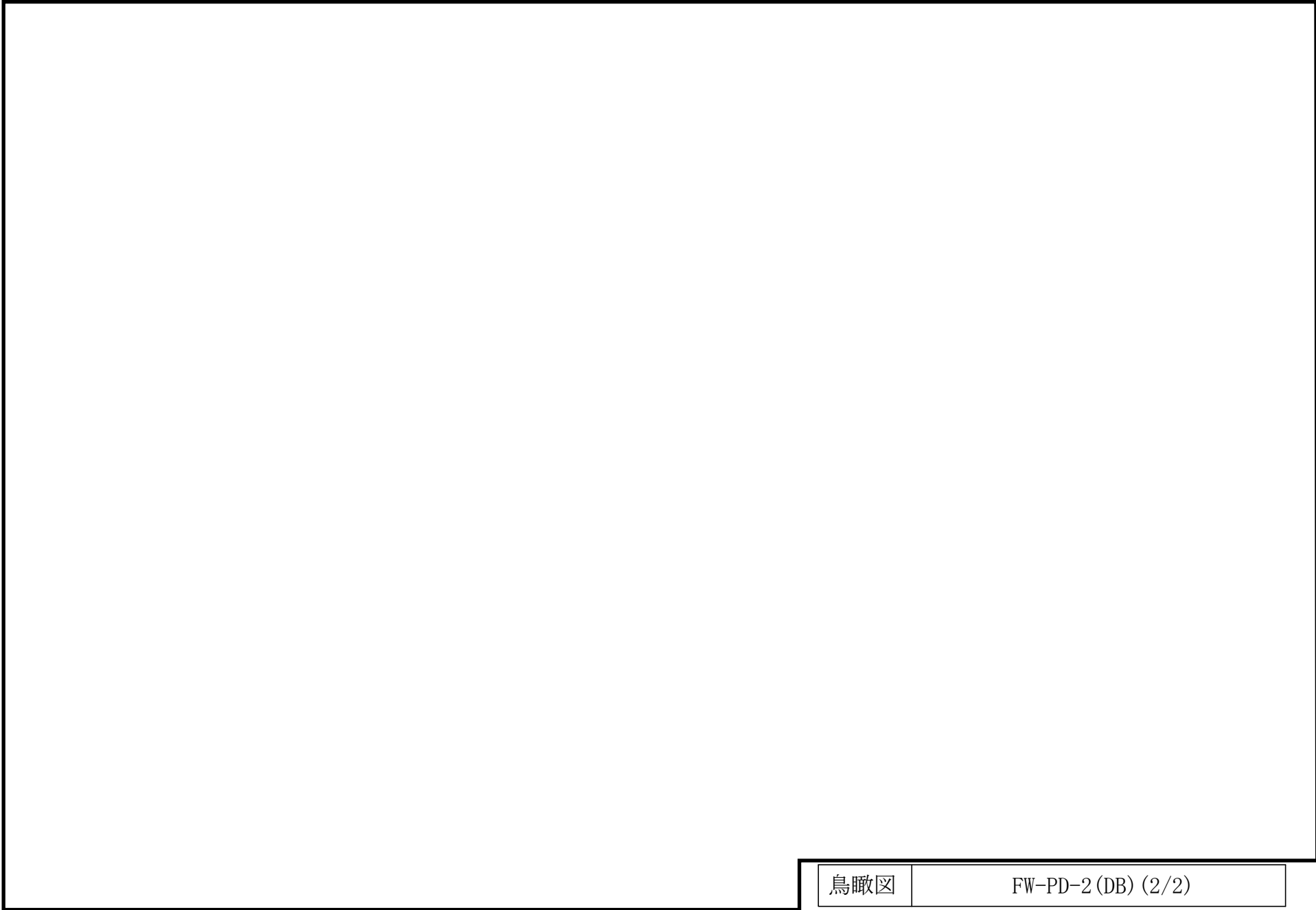
FW-PD-1 (SA) (1/3)

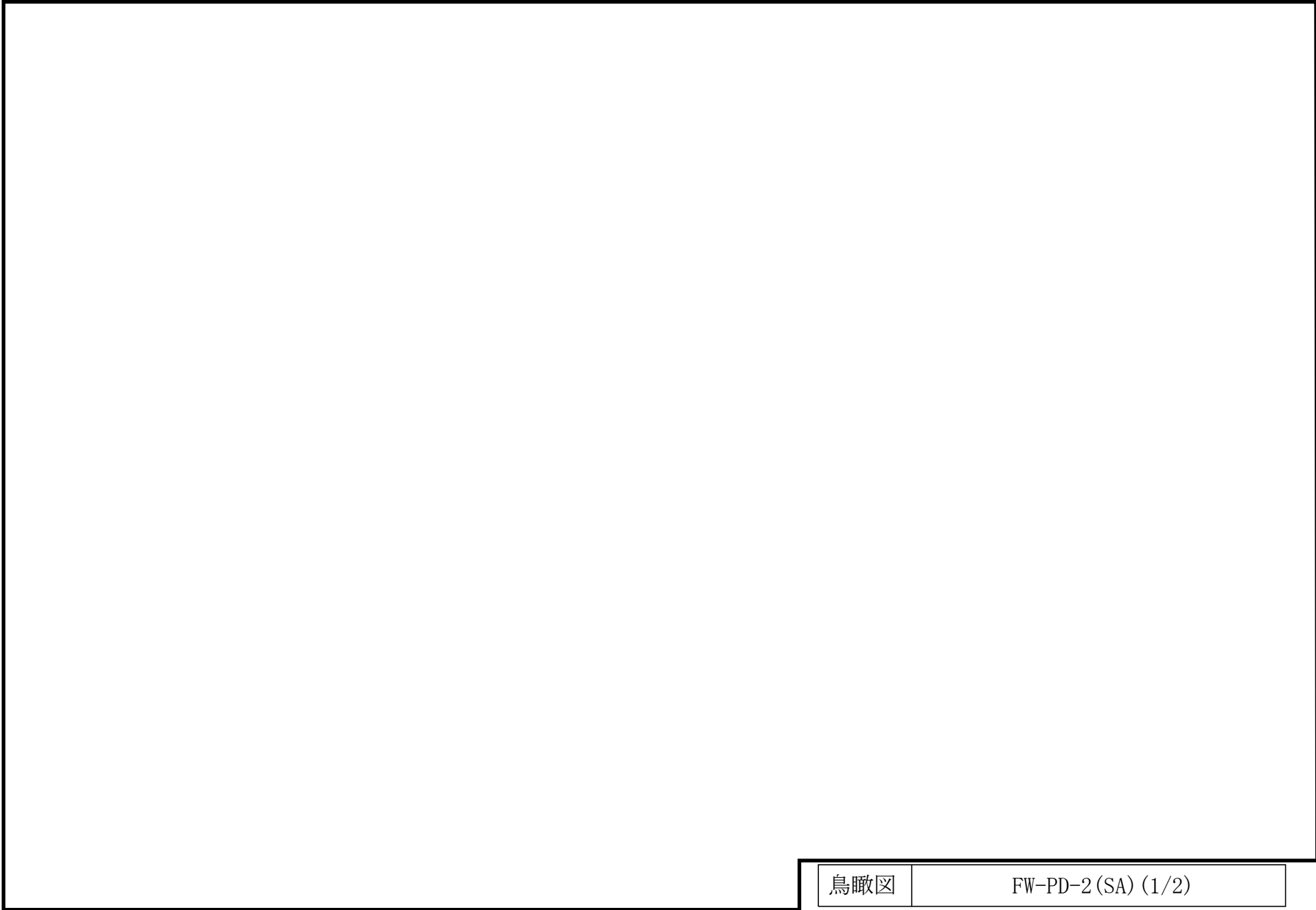




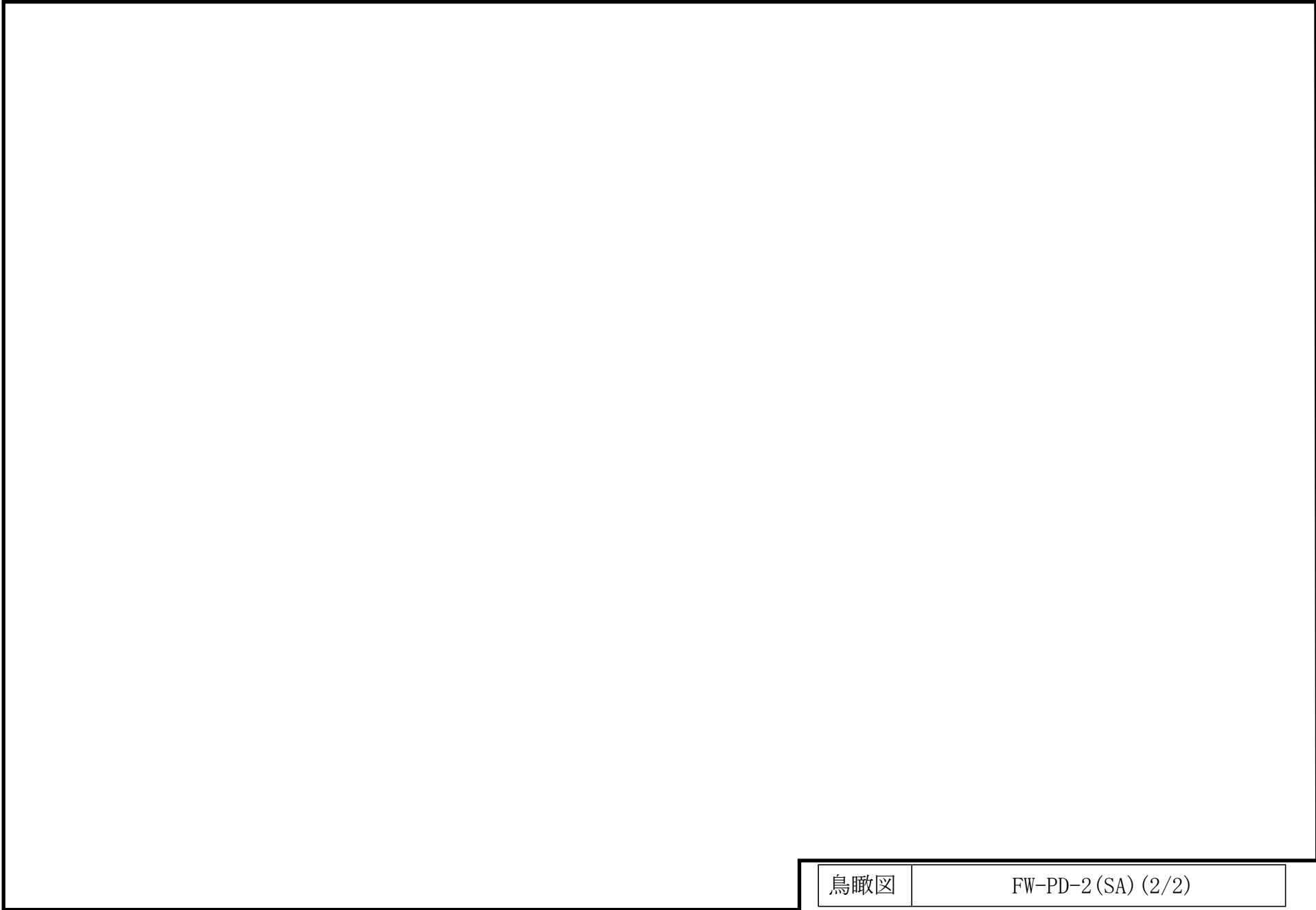


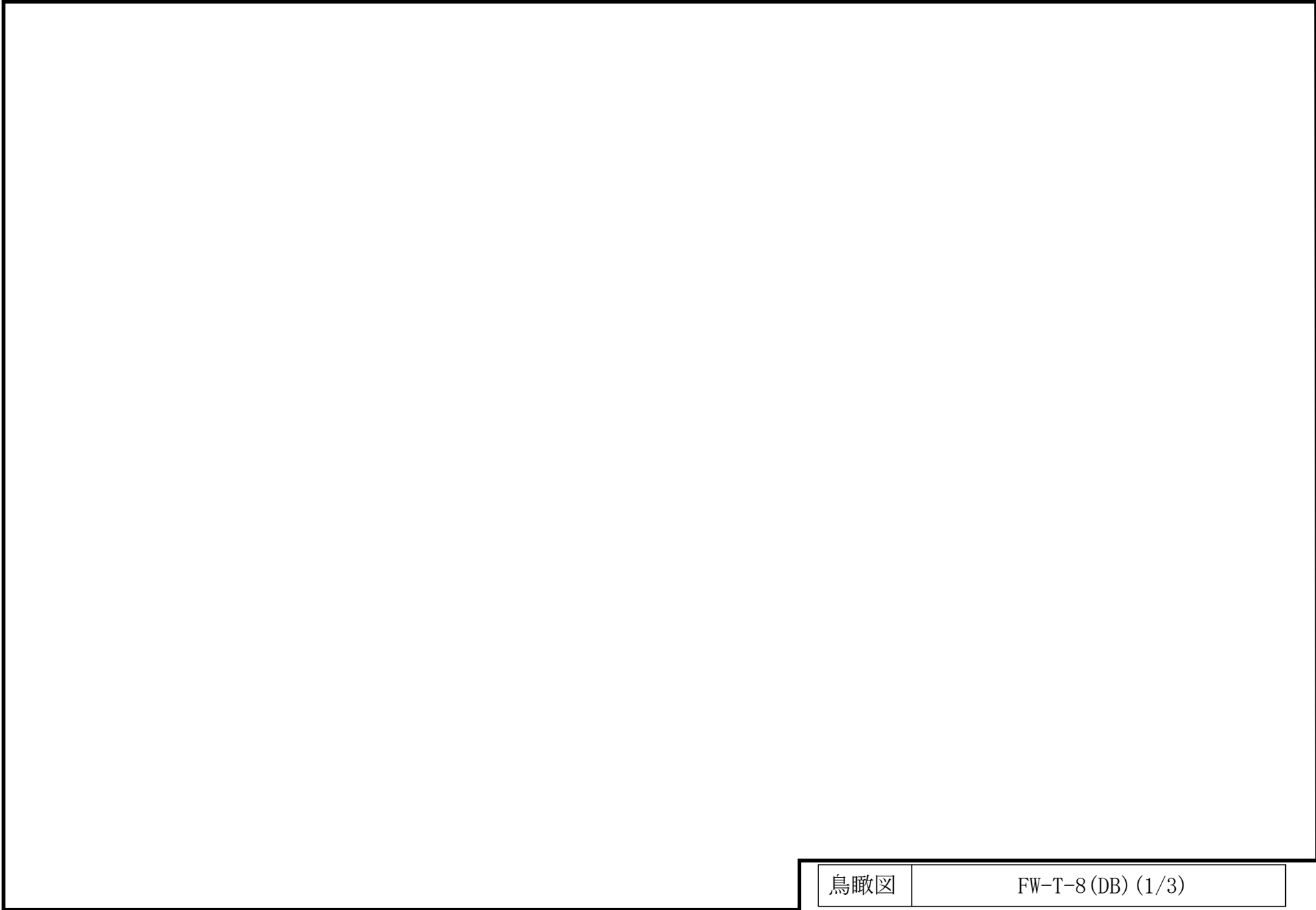
鳥瞰図	FW-PD-2 (DB) (1/2)
-----	--------------------

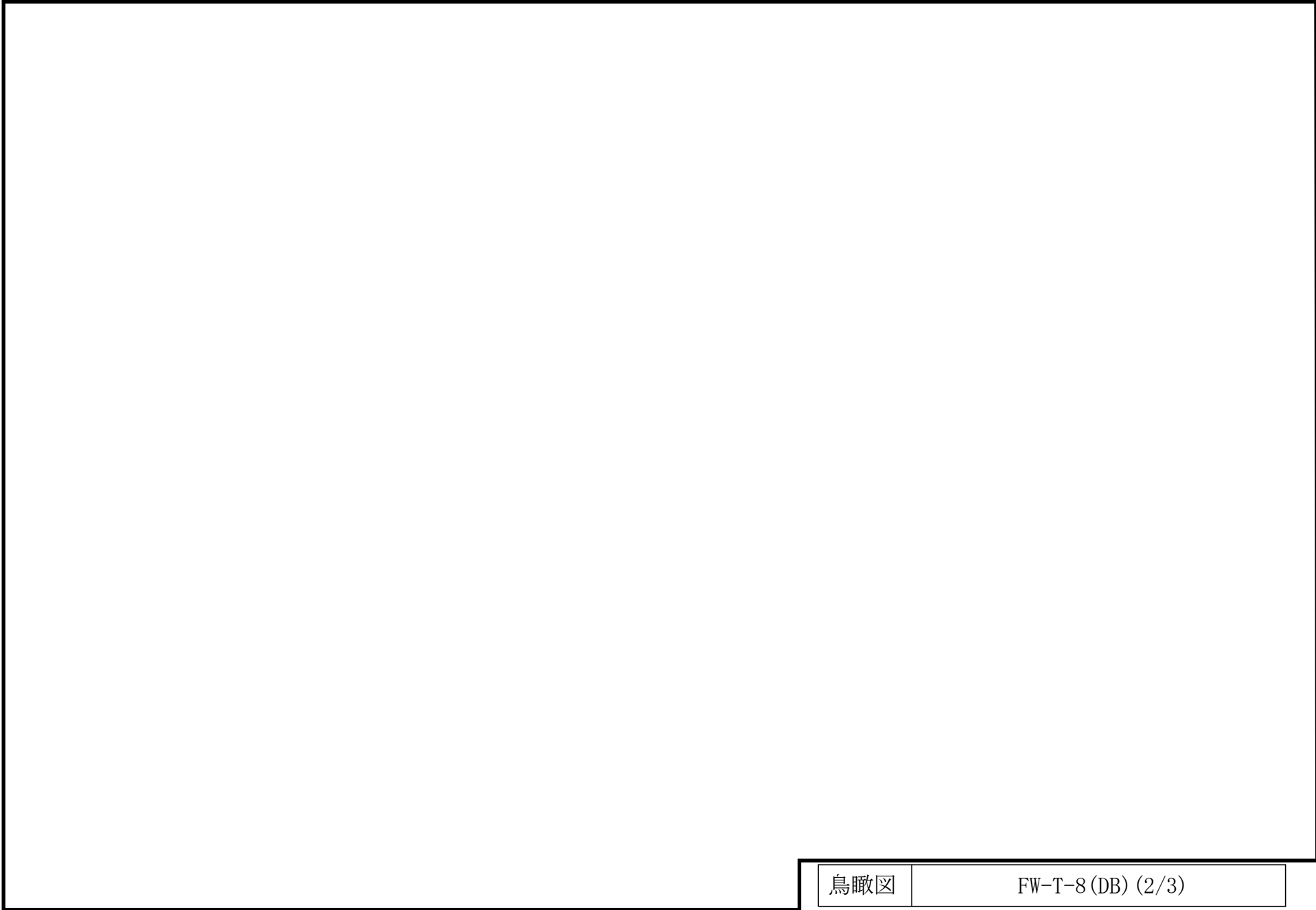


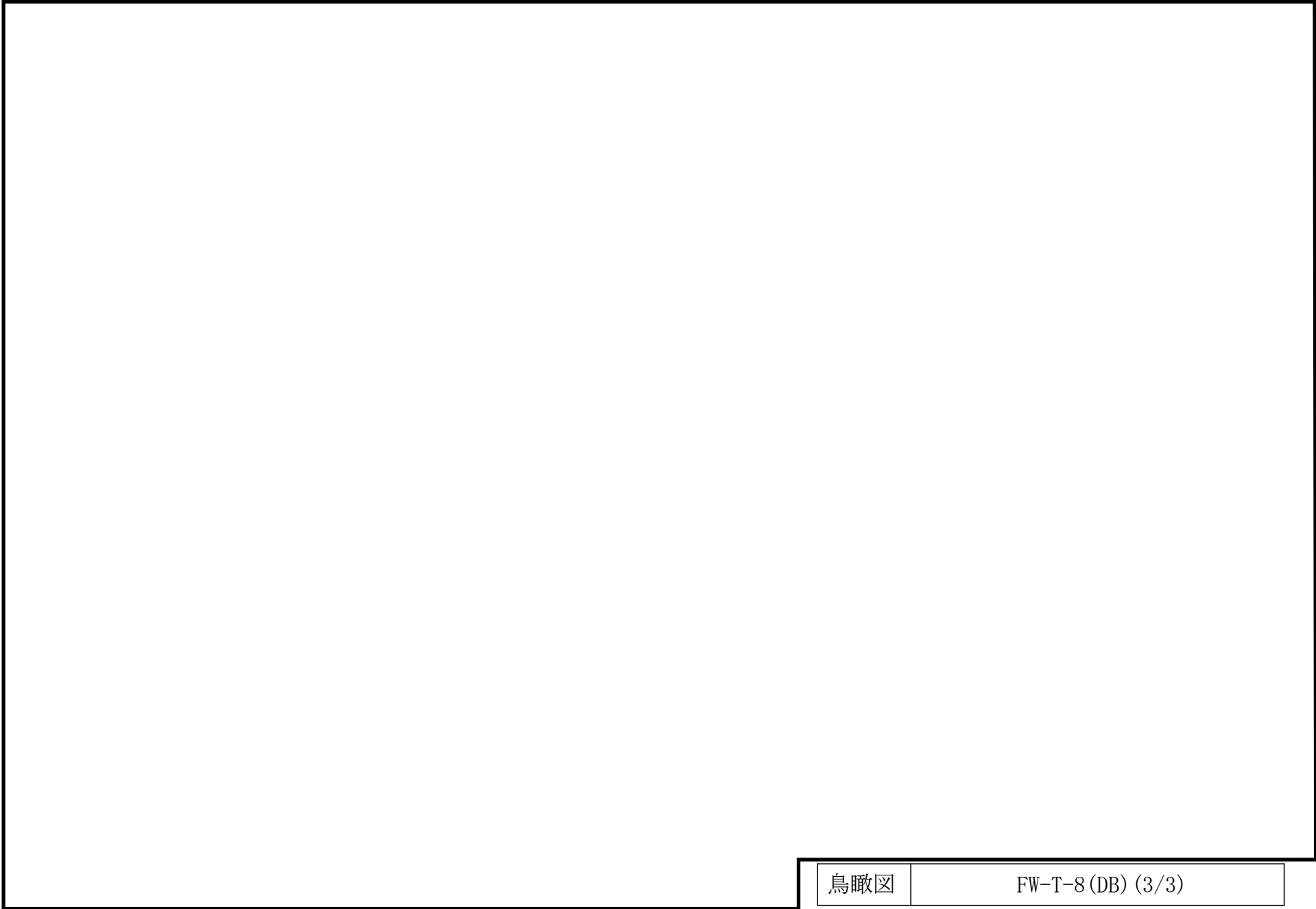


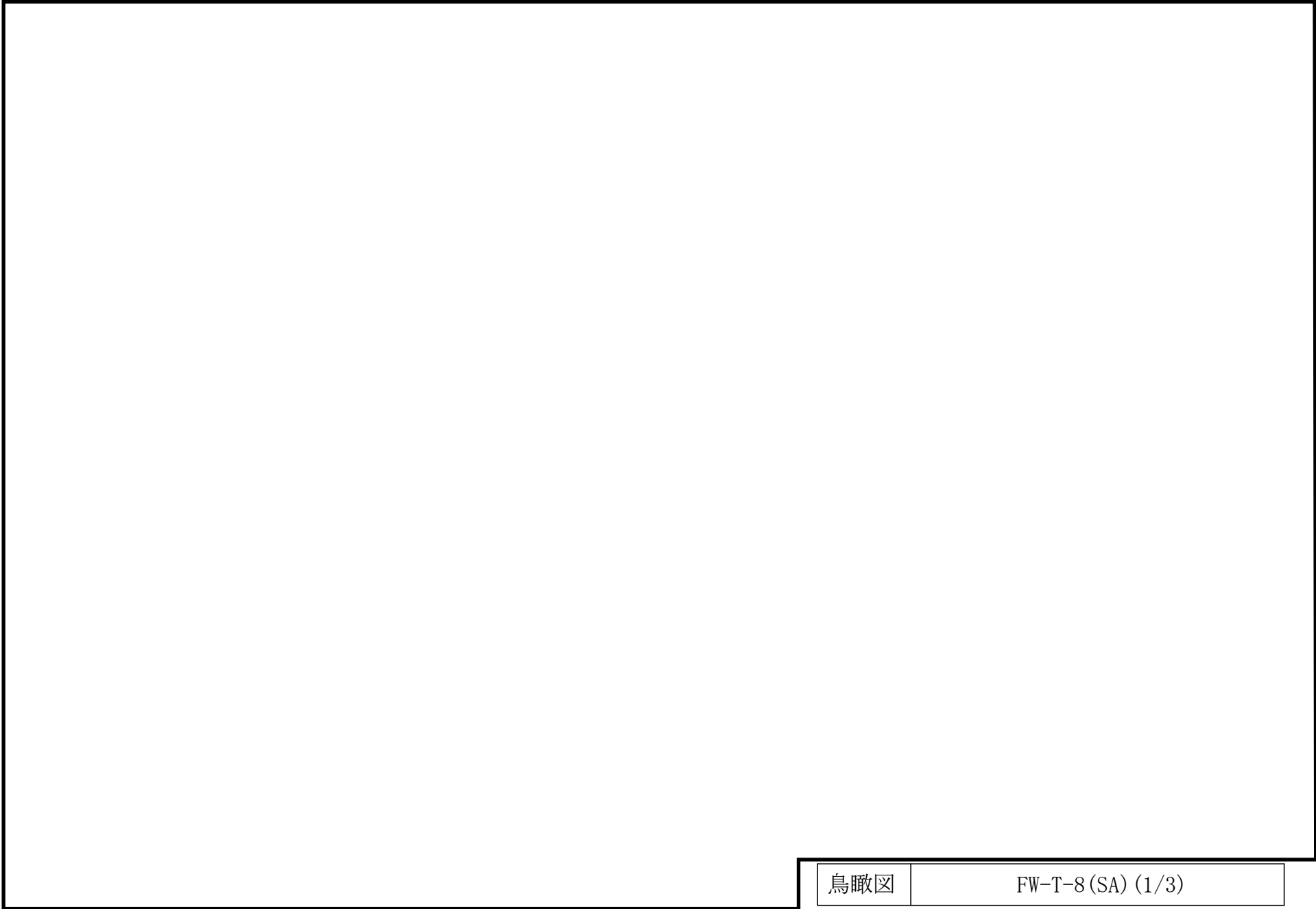
鳥瞰図	FW-PD-2 (SA) (1/2)
-----	--------------------

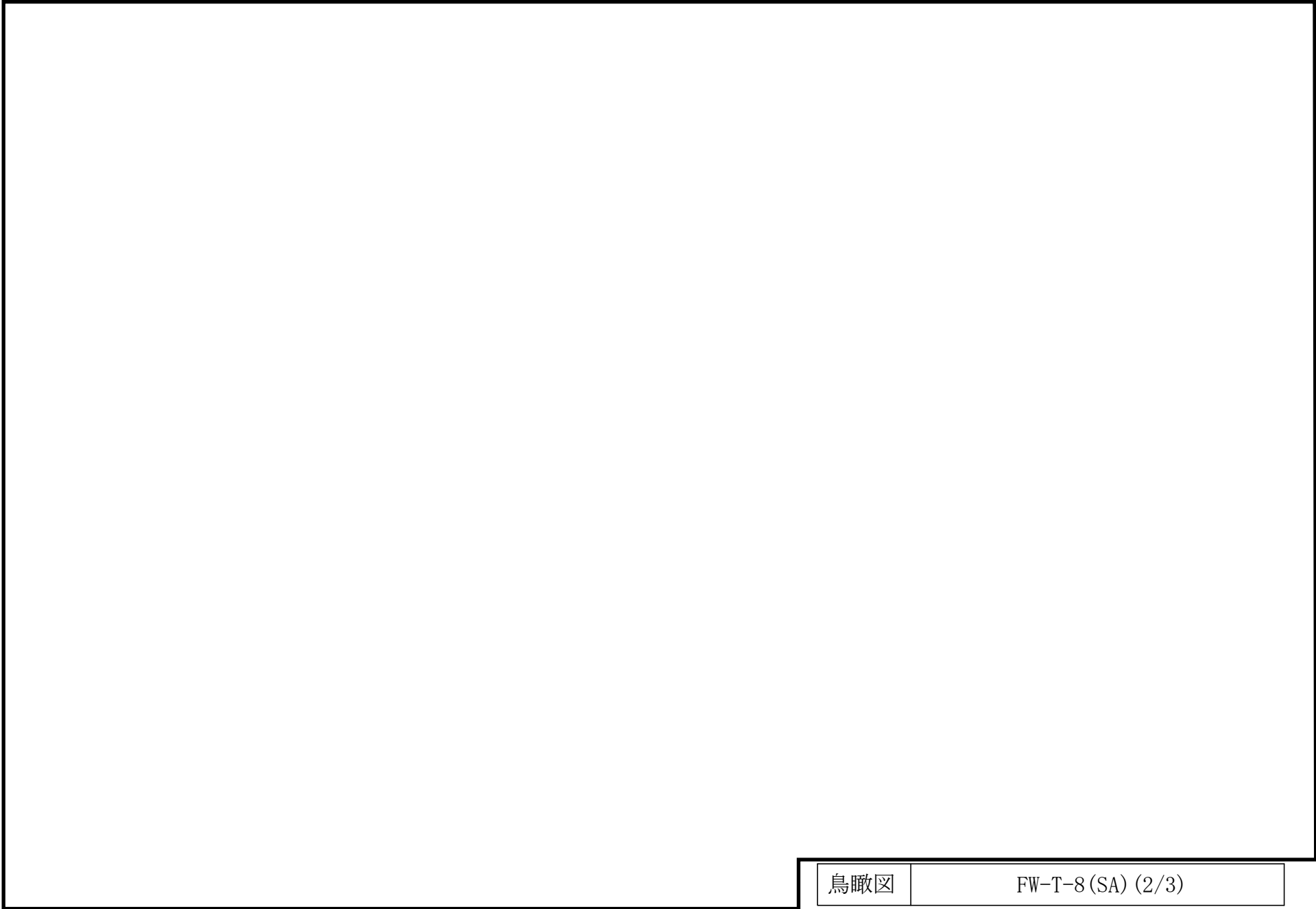




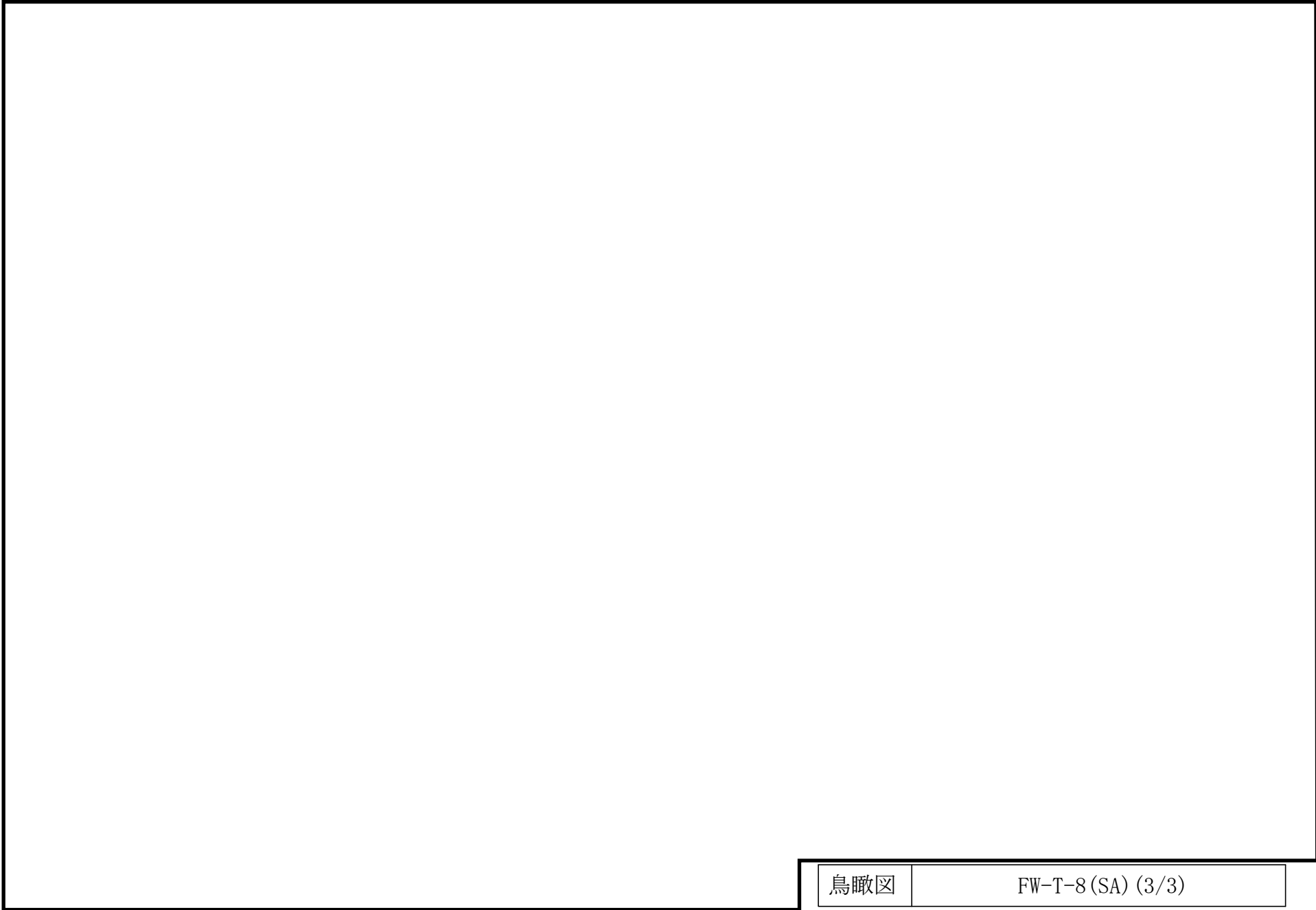








鳥瞰図	FW-T-8(SA) (2/3)
-----	------------------



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	給水系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
							Ⅳ _L (L)+S _d ^{*6}	
	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
	原子炉冷却材浄化設備	原子炉浄化系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
Ⅱ _L +S _s								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IVAS
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
		$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	VAS					
		$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$						
		$V_L + S_s^{*11}$						
	原子炉隔離時冷却系	S A	常設/防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IVAS	
						$II_L + S_s$		
						$IV_L(L) + S_d^{*6}$		
						$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	VAS	
$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$								
$V_L + S_s^{*11}$								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$	
$V_L + S_s^{*11}$								

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止 (D B 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2, 10~12 13~17	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	17~21, 23~32 34~35	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	21~23, 32~34	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
4	22~36, 33~46	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	36~45N, 46~54N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2, 10~12 13~17	457.2	23.8	STS49	S	188720
2	17~21, 23~32 34~35	457.2	23.8	SFVC2B	S	190360
3	21~23, 32~34	489.6	40.0	SFVC2B	S	190360
4	22~36, 33~46	318.5	21.4	SFVC2B	S	190360
5	36~45N, 46~54N	318.5	21.4	STS42	S	190360

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FW-PD-1

質量	対応する評価点
	1A～2, 1401～1601, 1701～1801, 2401～2502, 2801～3101
	10～12, 13～1401, 1601～1701, 1801～21, 23～2401 2502～2801, 3101～32, 34～35
	21～23, 32～34
	22～3601, 3803～3901, 4101～4200, 4400～45N, 33～4601 4702～4801, 5011～5102, 5300～54N
	3601～3803, 3901～4101, 4601～4702, 4801～5011
	4200～4400, 5102～5300

弁部の質量

鳥 瞰 図 FW-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	2~3	<input type="text"/>	9~10
<input type="text"/>	12~13		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FW-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				9~10			
12~13							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
4						
** 11 **						
** 11 **						
1301						
** 16 **						
** 16 **						
** 1702 **						
** 1703 **						
** 2101 **						
2101						
** 2402 **						
** 2403 **						
** 2403 **						
** 2501 **						
** 2503 **						
** 2503 **						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 28 **						
** 30 **						
** 3102 **						
3801						
3801						
39						
N458						
** 4602 **						
** 4602 **						
4701						
48						
N548						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-PD-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2, 10~12 13~17	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	17~21, 23~32 34~35	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	21~23, 32~34	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
4	22~36, 33~46	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	36~45N, 46~54N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-PD-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2, 10~12 13~17	457.2	23.8	STS49	S	188720
2	17~21, 23~32 34~35	457.2	23.8	SFVC2B	S	190360
3	21~23, 32~34	489.6	40.0	SFVC2B	S	190360
4	22~36, 33~46	318.5	21.4	SFVC2B	S	190360
5	36~45N, 46~54N	318.5	21.4	STS42	S	190360

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FW-PD-2

質量	対応する評価点
	1A～2, 1501～1601, 1701～1801, 2402～2501, 2801～3101
	10～12, 13～1501, 1601～1701, 1801～21, 23～2402 2501～2801, 3101～32, 34～35
	21～23, 32～34
	22～3601, 3803～3901, 4101～4200, 4400～45N, 33～4601 4701～4801, 5011～5102, 5302～54N
	3601～3803, 3901～4101, 4601～4701, 4801～5011
	4200～4400, 5102～5302

弁部の質量

鳥 瞰 図 FW-PD-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	2~3	<input type="text"/>	9~10
<input type="text"/>	12~13		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FW-PD-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				9~10			
12~13							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
4						
** 11 **						
** 11 **						
1301						
** 16 **						
** 16 **						
1702						
** 1703 **						
** 2101 **						
2101						
** 2401 **						
** 2403 **						
** 2404 **						
** 26 **						
** 26 **						
** 28 **						
** 30 **						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 30 **						
** 3801 **						
** 3801 **						
39						
N18						
** 4602 **						
** 4602 **						
48						
N28						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-T-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	160～161, 255～256	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
2	161～162, 256～257	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
3	162～163, 257～258	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
4	163～165A, 258～260A	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	162～301, 454～257	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
6	301～312, 451～454	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
7	313～315	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-T-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	315～317	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
9	317～318	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
10	318～319	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
11	317～401	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
12	401～403, 406～407 408～419S	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
13	403～406	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
14	419S～424A	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-T-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
15	314～451	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

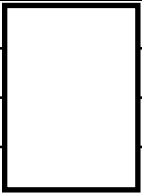
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-T-8

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	160～161, 255～256	457.2	23.8	SFVAF11A	S	191280
2	161～162, 256～257	457.2	23.8	STPA23	S	191280
3	162～163, 257～258	457.2	23.8	STPA23	S	191280
4	163～165A, 258～260A	457.2	23.8	STS49	S	188560
5	162～301, 454～257	114.3	11.1	SFVAF11A	S	190440
6	301～312, 451～454	114.3	11.1	STPT42	S	188880
7	313～315	216.3	18.2	STS42	S	188880
8	315～317	216.3	18.2	STPA23	S	190440
9	317～318	216.3	18.2	STPA23	S	190440
10	318～319	216.3	18.2	SFVAF11A	S	190440
11	317～401	114.3	11.1	SFVAF11A	S	202200
12	401～403, 406～407 408～419S	114.3	11.1	STPT42	S	200600
13	403～406	114.3	11.1	STPT410	S	200600
14	419S～424A	114.3	11.1	STPT42	S	201667
15	314～451	114.3	11.1	STS42	S	188880

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FW-T-8

質量	対応する評価点
	160～165A, 255～260A
	162～312, 314～257
	313～319
	317～407, 408～424A

弁部の質量

鳥 瞰 図 FW-T-8

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	159～160, 254～255		319～320
	407～408		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FW-T-8

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
159~160				254~255			
319~320				407~408			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-T-8

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
165A						
260A						
** 302 **						
307						
309						
311						
318						
4081						
4081						
413						
422						
424A						
453						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STS49	302	138	209	423	—
SFVC2B	302	125	—	—	—
STS42	302	122	182	404	—
SFVAF11A	302	—	218	427	—
STPA23	302	—	163	400	—
STPT42	302	—	182	404	—
STPT410	302	—	182	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
FW-PD-1	ガンマ線遮蔽壁	EL			
FW-PD-2	ガンマ線遮蔽壁	EL			
FW-T-8	原子炉建物	EL			
	タービン建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FW-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*2, *3							
静的震度*4							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

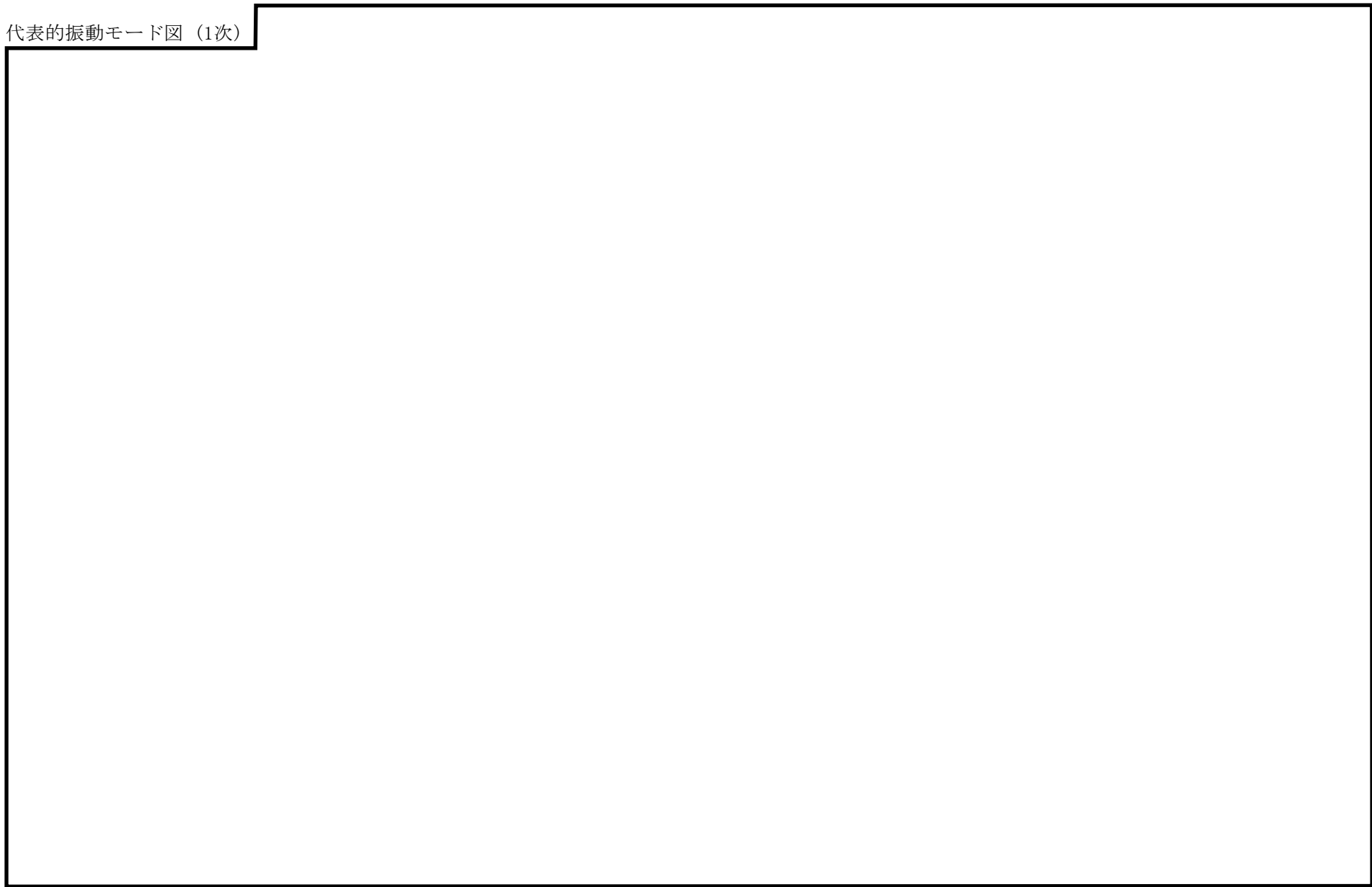
*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

*4： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FW-PD-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*2, *3							
静的震度*4							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

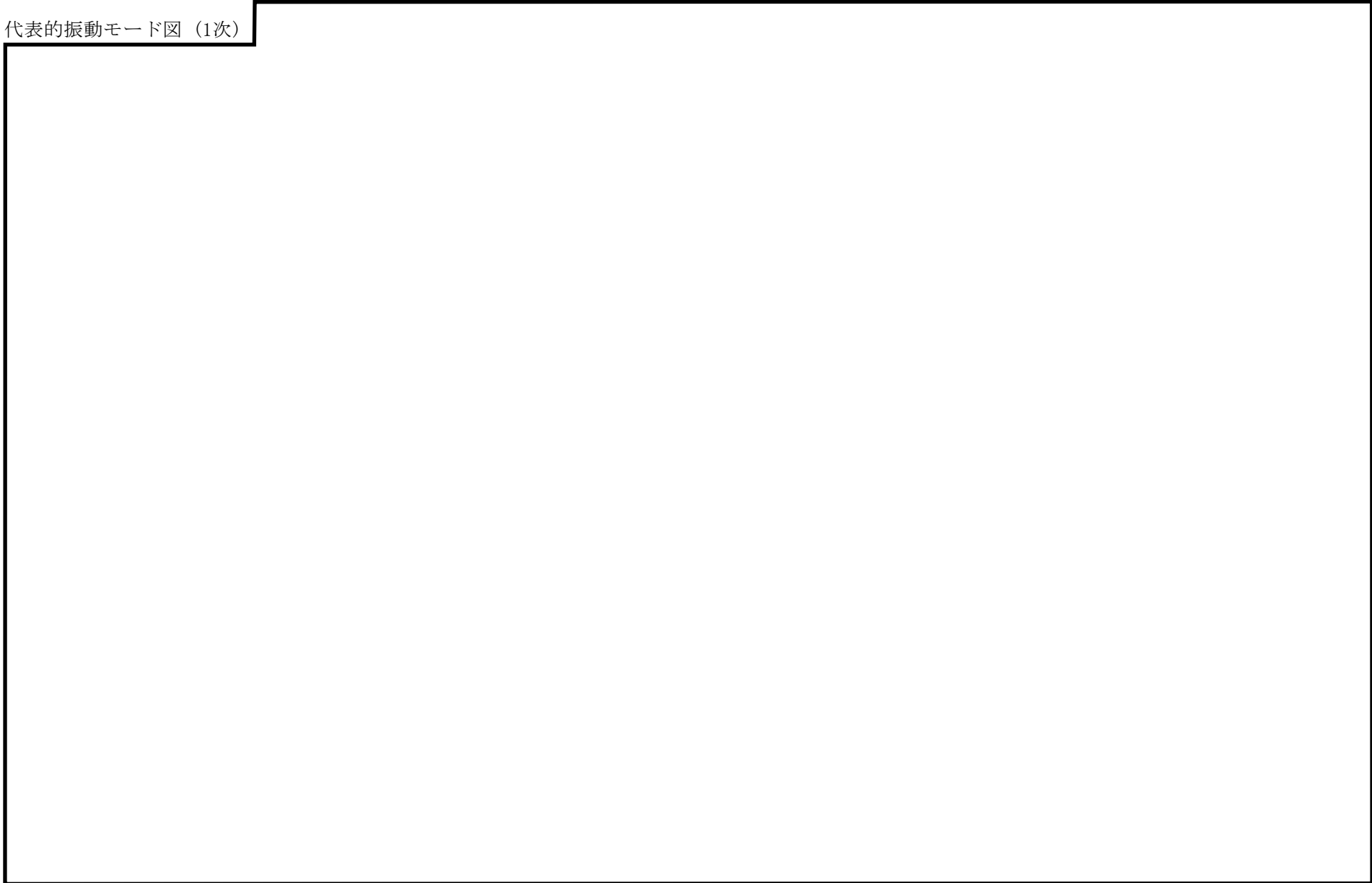
*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

*4： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FW-T-8

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
19次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FW-T-8

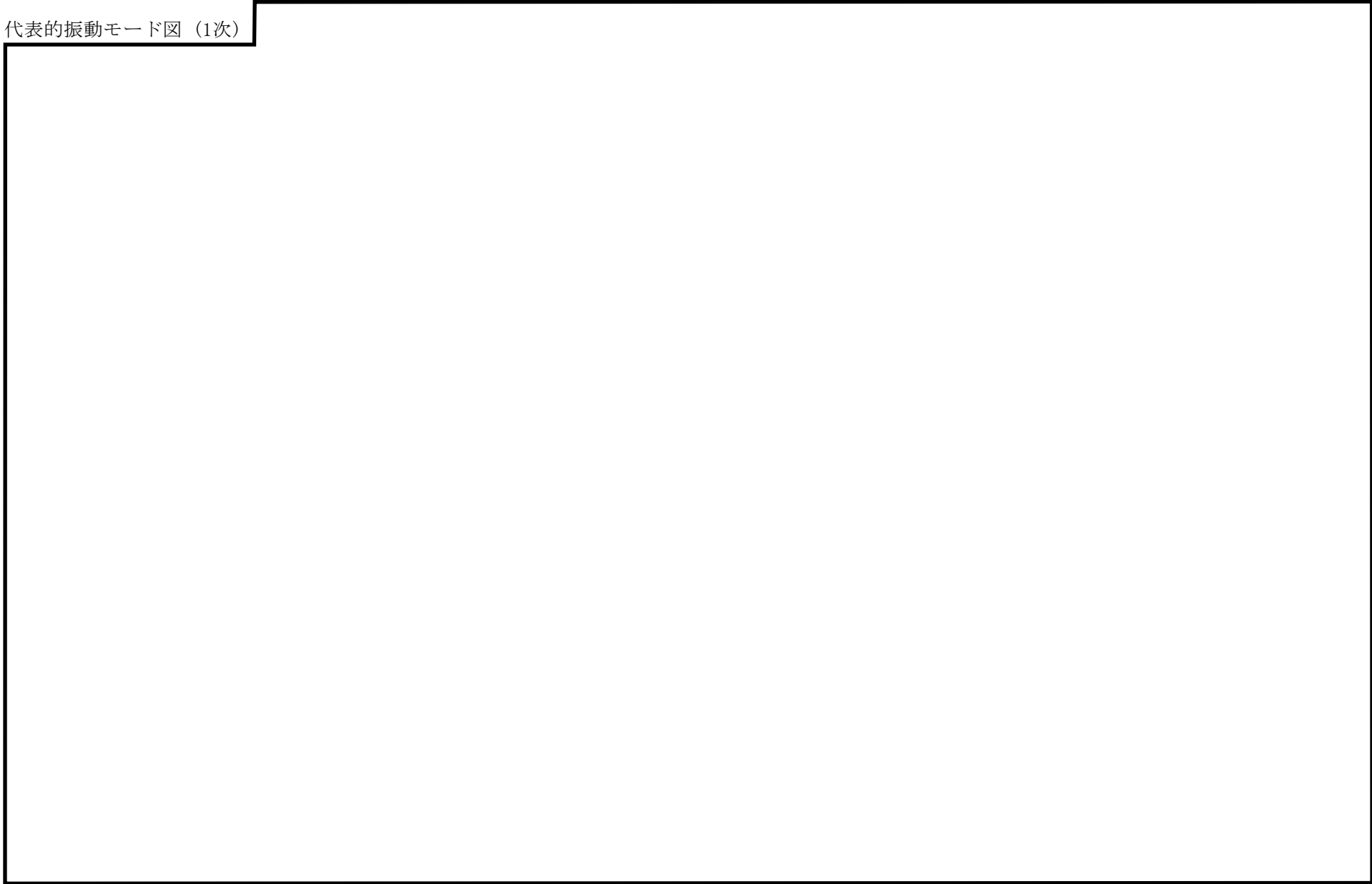
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
19次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

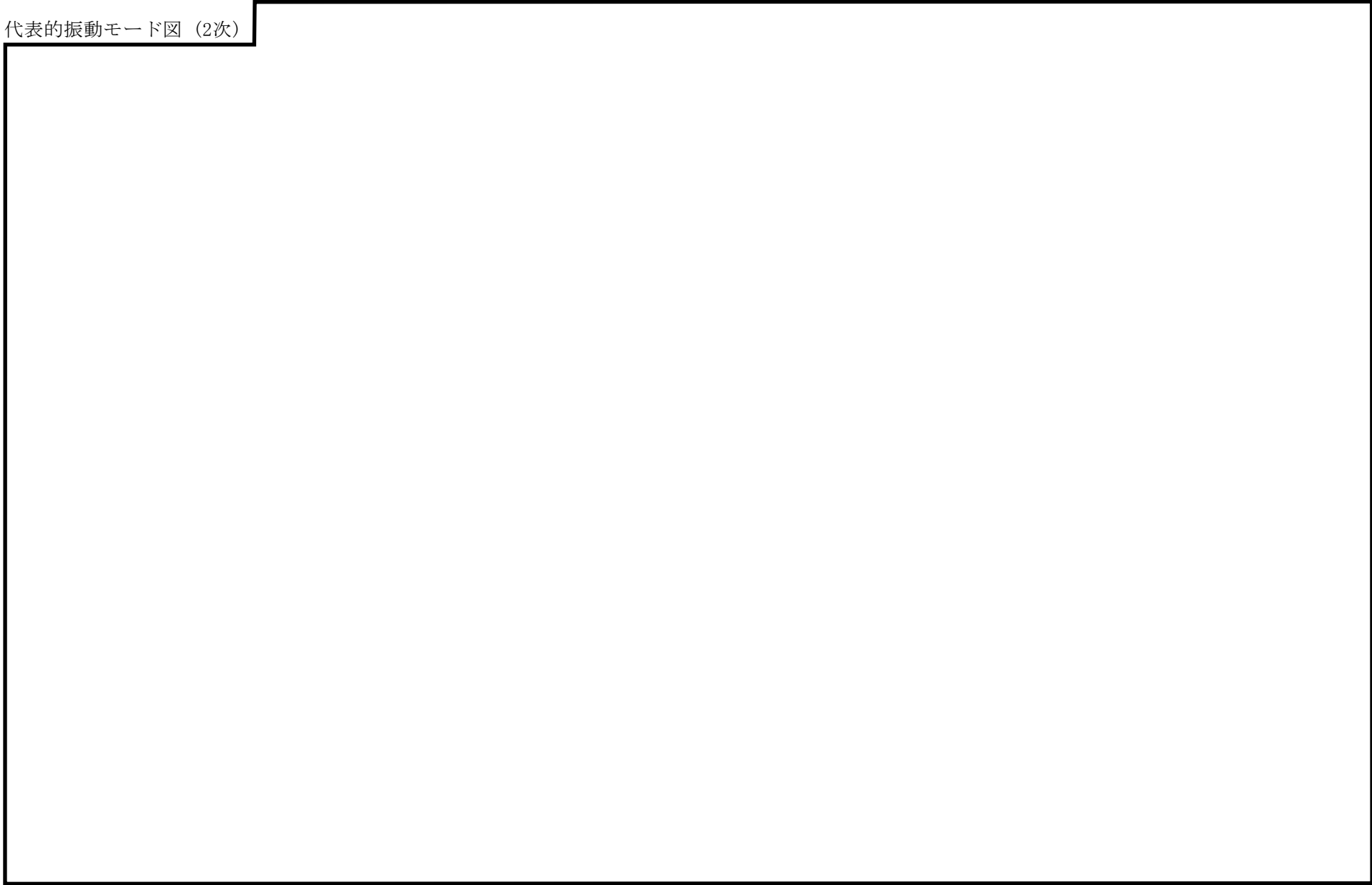
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

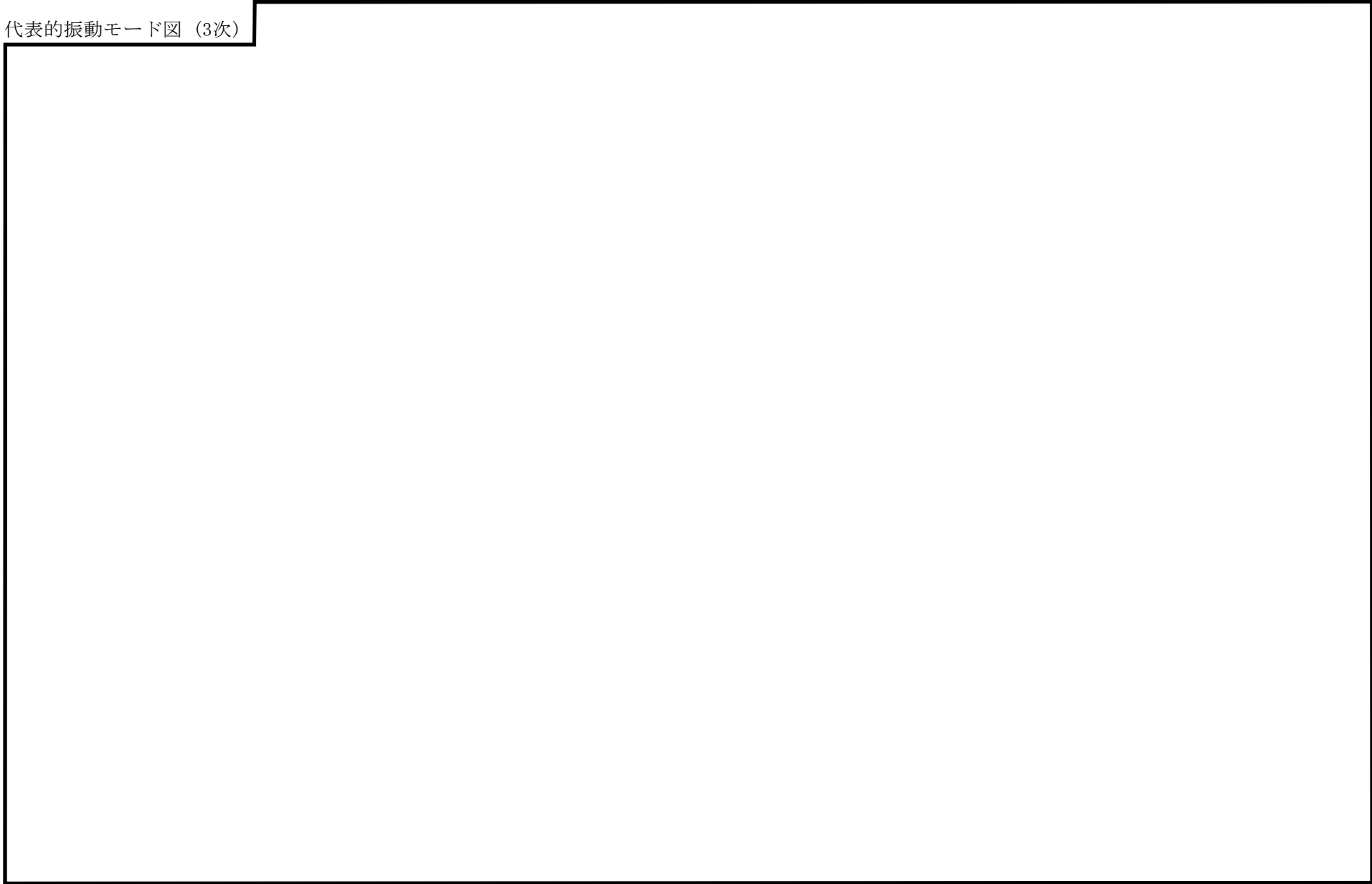


58

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



60

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(2.25 \cdot S m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	281	—
		ねじり $S_t(0.55 \cdot S m)$	FW-PD-2	1801	ELBOW	8	68	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(1.8 \cdot S m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		FW-PD-1	1401	ELBOW	129	414	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	375	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	10	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		FW-PD-2	14	ELBOW	237	414	—
	疲労累積係数 $U + U S s$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	375	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	10	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		FW-PD-2	14	ELBOW	237	414	—
	疲労累積係数 $U + U_{S_s}$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	375	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	10	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		FW-PD-2	14	ELBOW	237	414	—
	疲労累積係数 $U + U_{S_s}$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	FW-T-8	255	76	218	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	255	59	436	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FW-T-8	255	101	384	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	255	108	436	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	FW-T-8	260A	87	380	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	317	99	326	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	FW-T-8	260A	87	380	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	317	99	326	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-FW-3	オイルスナッパ	SN-25		302	375	—	
—	ロッドレストレイント	—		—	—	—	
SH-FW-21	スプリングハンガ	VS4B-19×2*3		124	144		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点、同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-FW-202	レストレイント	パイプバンド	SKTR400	302	0	151	167	—	—	—	圧縮	30	99
AN-FW-803	アンカ	ラグ	SGV480	302	939	105	74	32	78	152	組合せ	49	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
AV204-101A	空気作動逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
AV204-101B	空気作動逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
V204-101A	逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
V204-101B	逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	19	77	281	3.64	—	1401	129	414	3.20	○	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	281	3.60	○	14	129	414	3.20	—	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	19	76	375	4.93	—	1401	236	414	1.75	—	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	375	4.80	○	14	237	414	1.74	○	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	19	76	375	4.93	—	1401	236	414	1.75	—	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	375	4.80	○	14	237	414	1.74	○	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	19	76	375	4.93	—	1401	236	414	1.75	—	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	375	4.80	○	14	237	414	1.74	○	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	209	3.21	—	2	20	418	20.90	—	—
2	FW-PD-2	2	65	209	3.21	—	2	20	418	20.90	—	—
3	FW-T-8	255	76	218	2.86	○	255	59	436	7.38	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	380	5.84	—	2	34	418	12.29	—	—
2	FW-PD-2	2	66	380	5.75	—	2	35	418	11.94	—	—
3	FW-T-8	255	101	384	3.80	○	255	108	436	4.03	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	380	5.84	—	2	34	418	12.29	—	—
2	FW-PD-2	2	66	380	5.75	—	2	35	418	11.94	—	—
3	FW-T-8	260A	87	380	4.36	○	317	99	326	3.29	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	380	5.84	—	2	34	418	12.29	—	—
2	FW-PD-2	2	66	380	5.75	—	2	35	418	11.94	—	—
3	FW-T-8	260A	87	380	4.36	○	317	99	326	3.29	—	○

VI-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1 残留熱除去系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	4
2.3 適用規格・基準等	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度と数値の丸め方	13
3. 評価部位	13
4. 固有周期	14
4.1 固有周期の計算方法	14
4.2 固有周期の計算条件	24
4.3 固有周期の計算結果	24
5. 構造強度評価	24
5.1 構造強度評価方法	24
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	24
5.3 設計用地震力	31
5.4 計算方法	32
5.5 計算条件	49
5.6 応力の評価	49
6. 評価結果	51
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	51
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	51
7. 引用文献	51

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

残留熱除去系熱交換器は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。胴の水平方向の変位を拘束する下部サポートは、固有周期の計算及び構造強度評価において考慮しない。

表 2-1 構造計画 (その 1)

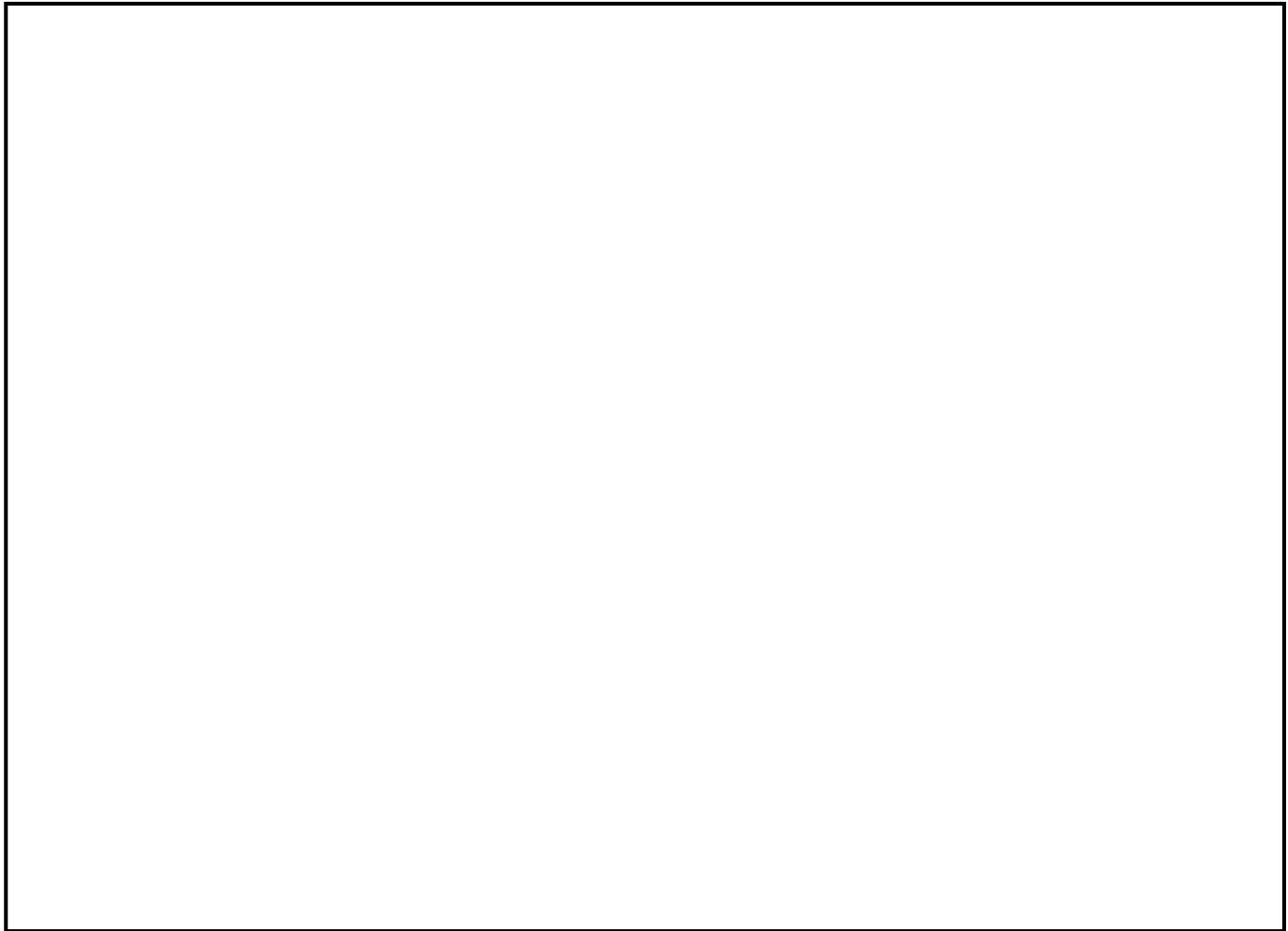
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p> 胴は 4 個のラグ で支持され、下 部サポートによ り水平方向の変 位を拘束され る。ラグは基礎 ボルトで基礎に 据え付けるとと もに、ラグの回 転を拘束する耐 震補強サポ一 トに支持される。 耐震補強サポ一 トは追設基礎ボ ルトで基礎に据 え付ける。 </p>	<p> たて置 U 字管式 (上面及び下面 に鏡板を有する ラグ支持たて置 円筒形容器) </p>	

表 2-2 構造計画 (その 2)

概略構造図



2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す残留熱除去系熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器の耐震評価フローを図2-1に示す。

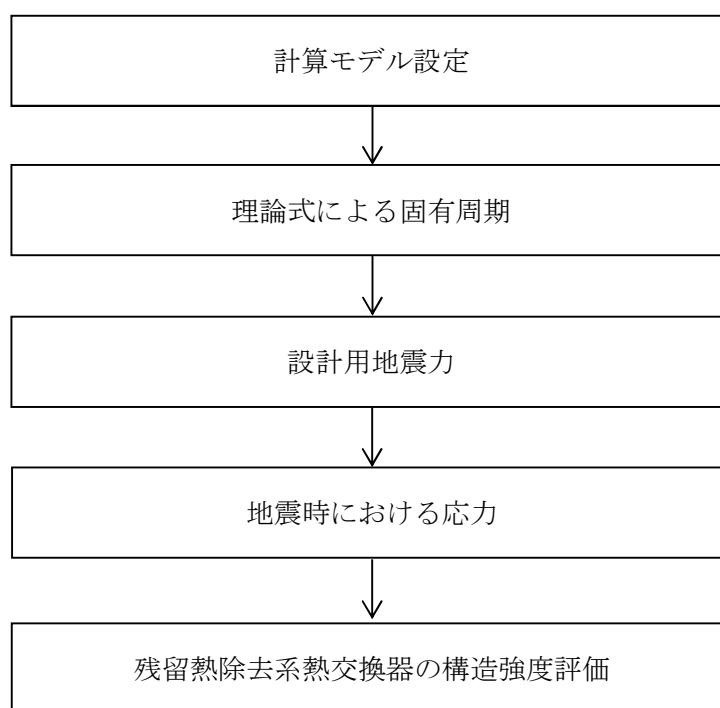


図2-1 残留熱除去系熱交換器の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の断面積	mm ²
A _a	追設基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _{b e}	基礎ボルトの有効断面積	mm ²
A _e	胴の有効せん断断面積	mm ²
A _{s 1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
A _{s 2}	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm ²
a	ラグの半径方向端面から胴板の厚さの中心までの距離	mm
b	ラグの半径方向端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
C ₁	ラグの胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C ₂	ラグの胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
C _{c j}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j=1：周方向応力， j=2：軸方向応力）	—
C _i	静的震度	—
C _{ℓ j}	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j=1：周方向応力， j=2：軸方向応力）	—
c	基礎端面から基礎ボルト中心までの距離	mm
D _i	胴の内径	mm
d	基礎ボルト中心間の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E _b	基礎ボルトの縦弾性係数	MPa
e	ラグ底板幅の2分の1	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)又はSSB-3131に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F ₀	振動モデル系における水平力	N
F ₁	振動モデル系の上部重心における水平力	N
F ₂	振動モデル系の下部重心における水平力	N
F _{0 1}	運転時質量により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1 D}	鉛直下向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1 U}	鉛直上向き地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 1 V}	鉛直方向地震力により基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{0 2}	運転時質量により基礎端面に作用する鉛直方向反力	N
F _{0 2 U}	鉛直上向き地震力により基礎端面に作用する鉛直方向反力	N
F _{1 1}	水平力F ₁ 及びF ₂ により第1ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F _{1 2}	水平力F ₁ 及びF ₂ により第1ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N

記号	記号の説明	単位
F_{21}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_{22}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの半径方向端面に作用する鉛直方向反力	N
F_{31}, F_{32}	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの基礎ボルトに作用する鉛直方向反力	N
F_a	耐震補強サポートの質量により作用する水平力	N
F_v	単位鉛直力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sba}	せん断力のみを受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	ラグの許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力(許容組合せ応力)	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H_1	ラグのアタッチメント中心より上部重心までの距離	mm
H_2	ラグのアタッチメント中心より下部重心までの距離	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm ⁴
K_c	胴のラグ付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数(引用文献(1)より得られる値)	—
K_l	胴のラグ付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数(引用文献(1)より得られる値)	—
k_1	胴の中心軸の傾きに対するばね定数	N・mm/rad
k_2	胴の中心軸の水平移動に対するばね定数	N/mm
k_3	上部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数	N/mm
k_4	下部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数	N/mm
k_5	胴の鉛直方向変位に対するばね定数	N/mm
k_6	鉛直荷重による上部胴の伸び変形によるばね定数	N/mm
k_7	鉛直荷重による下部胴の伸び変形によるばね定数	N/mm
k_c	引用文献(2)による局部ばね定数のアタッチメントパラメータの周方向の補正係数	—
k_{cj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの周方向の補正係数(j=1:周方向応力, j=2:軸方向応力)	—
k_l	引用文献(2)による局部ばね定数のアタッチメントパラメータの軸方向の補正係数	—
k_{lj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの軸方向の補正係数(j=1:周方向応力, j=2:軸方向応力)	—
L_b	基礎ボルトの有効長さ	mm
M_0	鉛直方向荷重による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_1, M_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_3	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部のねじりモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_c	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の周方向モーメント	N・mm
M_ℓ	運転時質量による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell D}$	鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell U}$	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
$M_{\ell V}$	鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の鉛直方向モーメント	N・mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N・mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N・mm
m_a	耐震補強サポート1枚当たりの質量	kg
m_o	容器の運転時質量	kg
m_1	ラグのアタッチメント中心より上部の運転時質量	kg
m_2	ラグのアタッチメント中心より下部の運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
n	ラグ1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_a	耐震補強サポート1枚当たりの追設基礎ボルトの本数	—
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	水平力 F_1 及び F_2 による胴のラグ付け根部の周方向荷重	N
R	運転時質量によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_o	鉛直方向荷重によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_1	水平力 F_1 及び F_2 によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_D	鉛直下向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_U	鉛直上向き地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
R_V	鉛直方向地震力によるラグ付け根部の鉛直方向反力	N
r_m	胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
T_H	2質点系振動の固有周期(水平方向)	s
T_{H1}	2質点系振動の1次固有周期(水平方向)	s
T_{H2}	2質点系振動の2次固有周期(水平方向)	s
T_V	2質点系振動の固有周期(鉛直方向)	s
t	胴の厚さ	mm
$Z_{s\ell}$	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sp}	ラグのねじり断面係数	mm ³
Z_{st}	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm ³

記号	記号の説明	単位
$\beta, \beta_1, \beta_2, \beta_c, \beta_l$	引用文献(1)又は(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)又は(2)によるシェルパラメータ	—
Δ_{x1}	水平力 F_1 及び F_2 による胴の中心軸の水平方向変位量	mm
Δ_{x2}	水平力 F_1 による上部胴の曲げ及びせん断変形による水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力 F_2 による下部胴の曲げ及びせん断変形による水平方向変位量	mm
δ_{11}	上部重心へ単位水平力をかけた場合の上部重心の水平方向変位量	mm
δ_{11V}	上部重心へ単位鉛直力をかけた場合の上部重心の鉛直方向変位量	mm
δ_{12}	上部重心へ単位水平力をかけた場合の下部重心の水平方向変位量	mm
δ_{12V}	上部重心へ単位鉛直力をかけた場合の下部重心の鉛直方向変位量	mm
δ_{21}	下部重心へ単位水平力をかけた場合の上部重心の水平方向変位量	mm
δ_{21V}	下部重心へ単位鉛直力をかけた場合の上部重心の鉛直方向変位量	mm
δ_{22}	下部重心へ単位水平力をかけた場合の下部重心の水平方向変位量	mm
δ_{22V}	下部重心へ単位鉛直力をかけた場合の下部重心の鉛直方向変位量	mm
ε	拘束係数 (ラグの回転を拘束する場合: 1, ラグの回転を拘束しない場合: 0)	—
θ	水平力 F_1 及び F_2 による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_0	運転時質量による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_{0U}	鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_1	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第1ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_2	水平力 F_1 及び F_2 による胴の第3ラグ付け根部の局部傾き角	rad
θ_3	水平力 F_1 及び F_2 による第2ラグ及び第4ラグの周方向ねじれ角	rad
θ_{s0}	運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s0U}	鉛直上向き地震力によるラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s1}	水平力 F_1 及び F_2 による第1ラグの基礎に対する傾き角	rad
θ_{s2}	水平力 F_1 及び F_2 による第3ラグの基礎に対する傾き角	rad
π	円周率	—
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{11} \sim \sigma_{16}$	水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{17} \sim \sigma_{110}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_2	地震力のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{21} \sim \sigma_{26}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{27} \sim \sigma_{210}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の組合せ一次+二次応力の変動値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1} \sim \sigma_{b3}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b4}, σ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{1s} \sim \sigma_{3s}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_{4s}, σ_{5s}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合のラグの組合せ応力	MPa
σ_s	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{s2} \sim \sigma_{s4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s5}, σ_{s6}	水平方向地震力（X方向）によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{s7}	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
$\sigma_{xx1} \sim \sigma_{xx4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{xz1} \sim \sigma_{xz6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1} \sim \sigma_{\phi x4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z1} \sim \sigma_{\phi z6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{2xx1} \sim \sigma_{2xx4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2xz1} \sim \sigma_{2xz6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の軸方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi x1} \sim \sigma_{2\phi x4}$	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi z1} \sim \sigma_{2\phi z6}$	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の周方向一次応力+二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}, \sigma_{x1}$	内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}, \sigma_{x3}$	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{\phi 5}, \sigma_{x5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 5}, \sigma_{2x5}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 6}, \sigma_{x6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 6}, \sigma_{2x6}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 7}, \sigma_{x7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 7}, \sigma_{2x7}$	水平方向地震力（Z方向）が作用した場合の周方向モーメントによる第2及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 8}, \sigma_{x8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 8}, \sigma_{2x8}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第1及び第4ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}, \sigma_{x9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 9}, \sigma_{2x9}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の鉛直方向モーメントによる第2及び第3ラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}, \sigma_{x10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の胴の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 10}, \sigma_{2x10}$	水平方向地震力（X方向）が作用した場合の周方向モーメントによるラグ付け根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
σ_{x11}	鉛直方向地震力による胴断面に生じる引張応力	MPa
$\sigma_{\phi 12D}, \sigma_{x12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12U}, \sigma_{x12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 12}, \sigma_{x12}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12D}, \sigma_{2x12D}$	鉛直下向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12U}, \sigma_{2x12U}$	鉛直上向き地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
$\sigma_{2\phi 12}, \sigma_{2x12}$	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向の二次応力	MPa
τ_3	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_6	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_a	追設基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b2}	水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b4}, τ_{b5}	水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{l1}	運転時質量により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l2}	水平方向地震力（Z方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l5}	水平方向地震力（X方向）により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l6D}	鉛直下向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l6U}	鉛直上向き地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{l6}	鉛直方向地震力により胴のラグ付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s2} \sim \tau_{s4}$	水平方向地震力（Z方向）によるラグのせん断応力	MPa
$\tau_{s5} \sim \tau_{s6}$	水平方向地震力（X方向）によるラグのせん断応力	MPa
τ_{s7}	鉛直方向地震力によるラグのせん断応力	MPa
ω_H	水平方向振動系の角速度	rad/s
ω_V	鉛直方向振動系の角速度	rad/s

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-3に示すとおりである。

表2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力	MPa	—	—	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	—	小数点以下第1位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
角度	rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

残留熱除去系熱交換器の耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、ラグ、基礎ボルト及び追設基礎ボルトについて評価を実施する。残留熱除去系熱交換器の耐震評価部位については、表2-1及び表2-2の概略構造図に示す。

4. 固有周期

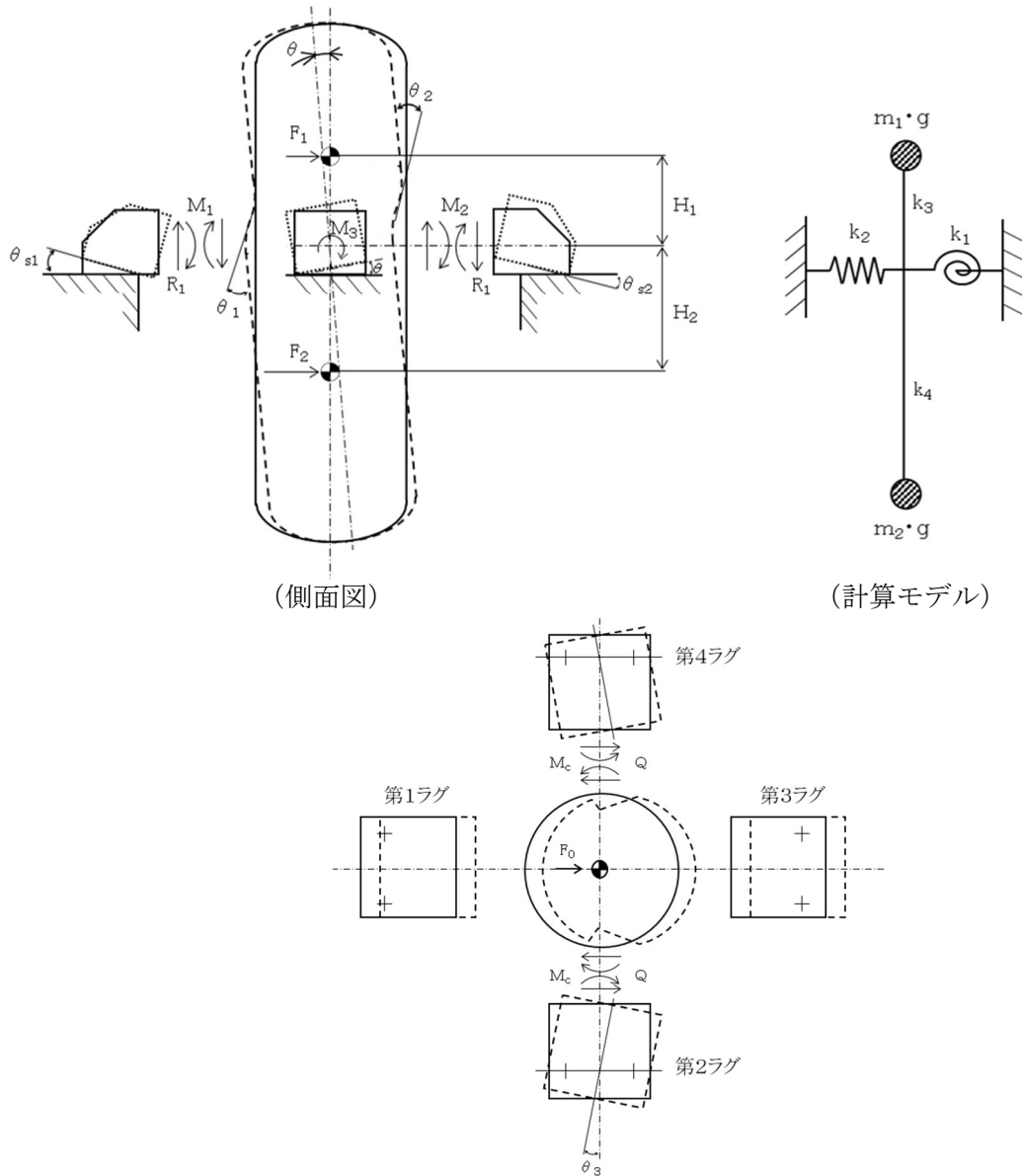
4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- a. 容器及び内容物の質量はラグの中心を基準にして，上部側，下部側に分け，それぞれの全質量が，それぞれの重心に集中するものとする。
- b. ラグの基礎への据え付けは，基礎ボルトで行っており，鉛直方向荷重に対しては，ラグと基礎との据え付け部でボルトの伸びを考慮する。
- c. ラグは，胴の半径方向にスライドすることから半径方向の荷重は受けもたない。
- d. 本機器は，ラグが外部サポートの支持により回転しない構造となっているため，ラグの回転を無視する。
- e. 水平方向は，胴をはりと考え，変形モードは胴の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- f. 胴板とラグの付け根部において胴板の局部変形を考慮する。
- g. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

計算モデルを図4-1に示す。



(平面図：ラグの回転を拘束しない場合)

図4-1 水平方向変形モード及び計算モデル図

(2) 水平方向の固有周期

2 質点系振動の固有周期は次式で求める。

$$T_H = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_H} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

水平方向振動系における角速度 ω_H は 2 質点系の自由振動の式より求める。

$$10^{-6} \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot (\delta_{11} \cdot \delta_{22} - \delta_{12} \cdot \delta_{21}) \cdot \omega_H^4 - 10^{-3} \cdot (\delta_{11} \cdot m_1 + \delta_{22} \cdot m_2) \cdot \omega_H^2 + 1 = 0 \dots \dots \dots (4.1.2)$$

ここで、(4.1.1) 式と (4.1.2) 式で求めた T_H のうち、大きい方の固有周期を T_{H1} 、小さい方の固有周期を T_{H2} とする。

δ_{11} 及び δ_{21} は容器上部重心の位置へ単位水平力をかけた場合の上部及び下部重心の水平変位量で、 δ_{12} 及び δ_{22} は容器下部重心の位置へ単位水平力をかけた場合の上部及び下部重心の水平変位量である。これらは、次式で表すことができる。

$$\delta_{11} = \frac{H_1^2}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\delta_{21} = \delta_{12} = \frac{1}{k_2} - \frac{H_1 \cdot H_2}{k_1} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$\delta_{22} = \frac{H_2^2}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_4} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ばね定数 k_1 , k_2 , k_3 及び k_4 は次により求める。

a. ばね定数 k_1

胴の中心軸の傾きに対するばね定数 k_1 は、次式で表される。

$$k_1 = \frac{|F_1 \cdot H_1 - F_2 \cdot H_2|}{\theta} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

ここで、 θ はラグ、基礎ボルト及び胴について、それぞれの荷重、モーメント及び変位量の釣合い条件の方程式を作ることにより、次のようにして求める。

(a) 胴への荷重、モーメント及び胴の変位量の釣合い条件の方程式

水平力の釣合いより

$$F_0 = F_1 + F_2 = 2 \cdot Q \dots\dots\dots (4.1.7)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$F_1 \cdot H_1 - F_2 \cdot H_2 - M_1 - M_2 + 2 \cdot M_3 - 2 \cdot R_1 \cdot r_m = 0 \dots\dots\dots (4.1.8)$$

ここで、 r_m は次による。

$$r_m = \frac{D_i + t}{2} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

転倒モーメントによる第1ラグ及び第3ラグの胴の付け根部の局部傾き角は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、引用文献(1)の表より値を求めることにより、次のようにして求めることができる。

$$\gamma = \frac{r_m}{t} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m} \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$\beta_\ell = k_\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.1.13)$$

局部傾き角は次式で求められる。

$$\theta_1 = \frac{-M_1 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.14)$$

$$\theta_2 = \frac{-M_2 \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角の関係を図4-2に示す。

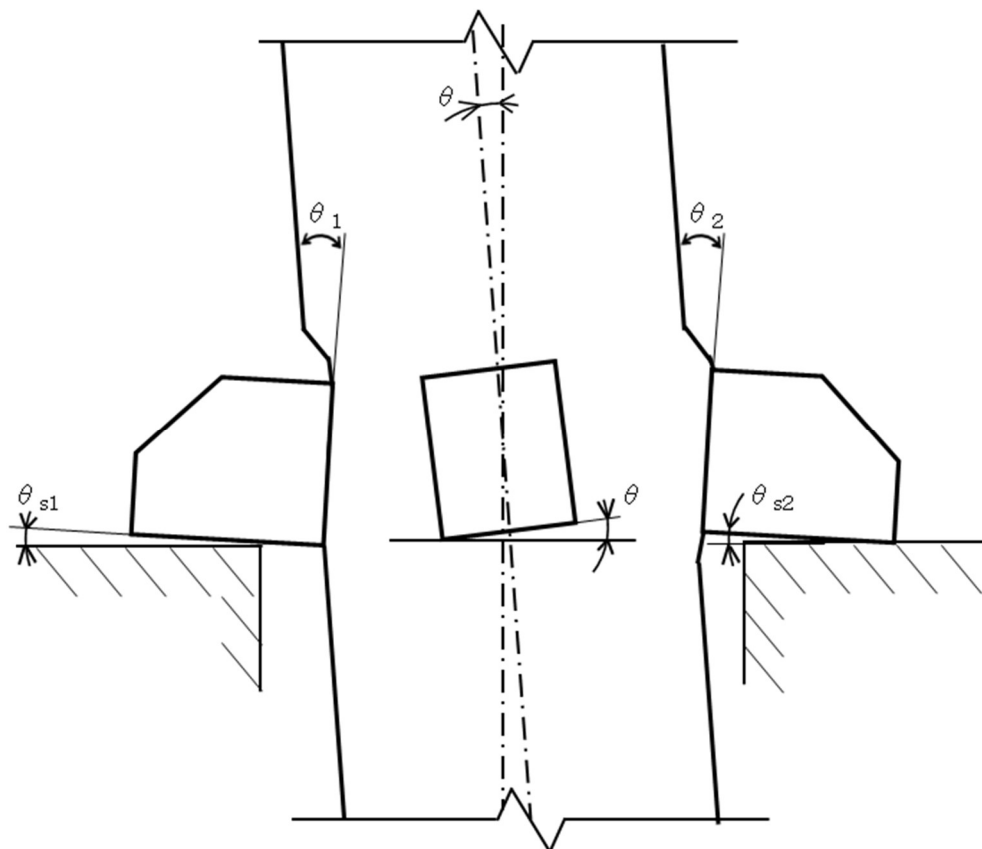


図4-2 転倒モーメントによる胴及びラグの傾き角

(b) 第1ラグのモーメントと鉛直力の釣合い条件の方程式

モーメントの釣合いより

$$F_{12} \cdot (a-b-c) - F_{11} \cdot (a-b) + M_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.16)$$

鉛直力の釣合いより

$$F_{12} - F_{11} + R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.17)$$

第1ラグに作用するモーメントと力の関係を図4-3に示す。

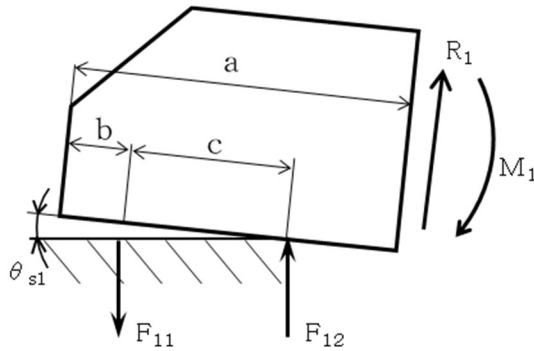


図4-3 第1ラグに作用するモーメントと力

(c) 第3ラグのモーメントと鉛直力の釣合い条件の方程式

モーメントの釣合いより

$$F_{21} \cdot (a-b) - F_{22} \cdot a + M_2 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.18)$$

鉛直力の釣合いより

$$F_{22} - F_{21} - R_1 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.19)$$

第3ラグに作用するモーメントと力の関係を図4-4に示す。

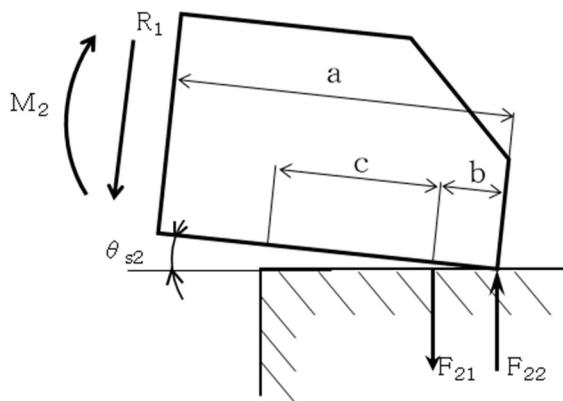


図4-4 第3ラグに作用するモーメントと力

(d) 第2及び第4ラグのモーメント及び鉛直力の釣合い条件の方程式

モーメントの釣合いより

$$-F_{31} \cdot \frac{d}{2} + F_{32} \cdot \frac{d}{2} + (F_{31} + F_{32}) \cdot e + M_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.20)$$

基礎ボルトの伸びと力の関係より

$$\frac{F_{31}}{e - \frac{d}{2}} = \frac{F_{32}}{e + \frac{d}{2}} \quad \dots\dots\dots (4.1.21)$$

第2及び第4ラグに作用するモーメントと力の関係を図4-5に示す。

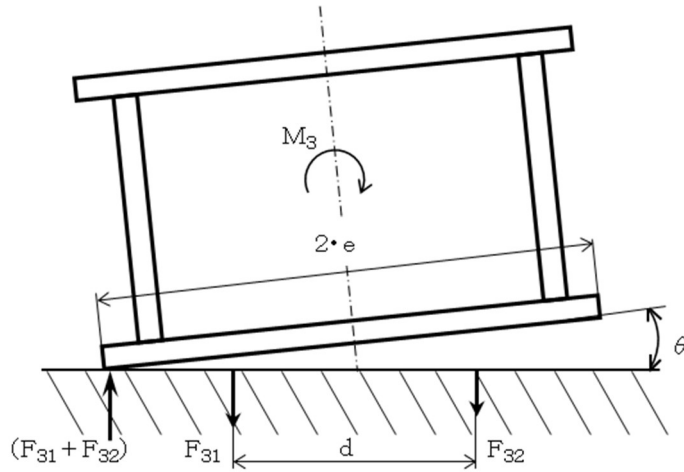


図4-5 第2ラグ及び第4ラグに作用するモーメントと力

ラグの基礎に対する傾き角は、ボルトの伸びと力の平衡条件より求められる。

第1ラグについて

$$\theta_{s1} = \frac{F_{11} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (4.1.22)$$

第3ラグについて

$$\theta_{s2} = \frac{F_{21} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \quad \dots\dots\dots (4.1.23)$$

第2及び第4ラグについて

$$\theta = \frac{F_{32} \cdot L_b}{A_{be} \cdot E_b \cdot \left(e + \frac{d}{2} \right)} \quad \dots\dots\dots (4.1.24)$$

胴中心軸の傾き角 θ ，ラグ付け根部の局部傾き角 θ_1 及び θ_2 並びにラグの基礎に対する傾き角 θ_{s1} 及び θ_{s2} の間には次の関係が成立する。

$$\theta_{s1} - \theta_1 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.25)$$

$$\theta_{s2} - \theta_2 + \theta = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.26)$$

$$(a - b - c) \cdot \theta_{s1} - 2r_m \cdot \theta + a \cdot \theta_{s2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.27)$$

胴中心軸の傾き角 θ は以上の式を連立させて解くことにより求められる。

b. ばね定数 k_2

胴の水平方向移動に対するばね定数 k_2 は、次式で表される。

$$k_2 = \frac{F_0}{\Delta_{x1}} \quad \dots\dots\dots (4.1.28)$$

ここで、 F_0 は (4.1.7) 式で求められる値であり、 Δ_{x1} は次式で表される。

$$\Delta_{x1} = (a - b) \cdot \theta_3 \quad \dots\dots\dots (4.1.29)$$

水平力による胴中心軸の変位量の関係を図4-6に示す。 θ_3 は (4.1.7) 式で求められる Q の値を用いることにより、以下により求める。

第2ラグ及び第4ラグの曲げモーメントの釣合いより

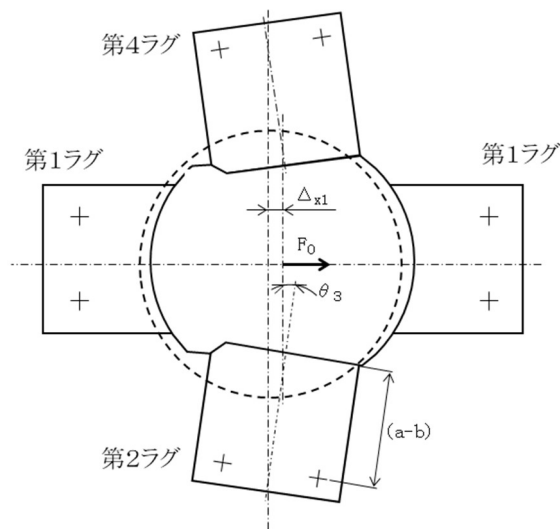
$$M_c = Q \cdot (a - b) \cdot (1 - \varepsilon) \quad \dots\dots\dots (4.1.30)$$

水平力による第2ラグ及び第4ラグの胴の付け根部の局部傾き角 θ_3 は、(4.1.14) 式の θ_1 又は (4.1.15) 式の θ_2 と同様にして、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、引用文献(2)の表より値を求めることにより、次式で求められる。

$$\theta_3 = \frac{M_c \cdot K_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.31)$$

ここで、 β_c は次による。

$$\beta_c = k_c \cdot \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots\dots\dots (4.1.32)$$



(ラグの回転を拘束しない場合)

図4-6 水平力による胴中心軸の変位量

胴の水平方向移動に対するばね定数 k_2 の逆数は、(4.1.29)式～(4.1.31)式より次式で表される。

$$\frac{1}{k_2} = \frac{Q}{F_0} \cdot \frac{(a-b)^2 \cdot K_c}{r_m^3 \cdot \beta_c^2 \cdot E} \cdot (1-\varepsilon) \quad \dots\dots\dots (4.1.33)$$

本機器は耐震補強サポートの支持によりラグが回転しない構造となっているため、拘束係数 $\varepsilon=1$ とする。

したがって、

$$\frac{1}{k_2} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.34)$$

となる。また、拘束係数 $\varepsilon=1$ であるため、(4.1.30)式において $M_c=0$ となる。

c. ばね定数 k_3

水平力による上部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数 k_3 は、次式で表される。

$$k_3 = \frac{F_1}{\Delta_{x2}} \quad \dots\dots\dots (4.1.35)$$

ここで、 Δ_{x2} は

$$\Delta_{x2} = \frac{F_1 \cdot H_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F_1 \cdot H_1}{G \cdot A_e} \quad \dots\dots\dots (4.1.36)$$

胴の断面二次モーメント及び有効せん断断面積は、それぞれ次のように表される。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.37)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.38)$$

d. ばね定数 k_4

水平力による下部胴の曲げ及びせん断による変形ばね定数 k_4 は、次式で表される。

$$k_4 = \frac{F_2}{\Delta_{x3}} \quad \dots\dots\dots (4.1.39)$$

ここで、 Δ_{x3} は以下による。

$$\Delta_{x3} = \frac{F_2 \cdot H_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{F_2 \cdot H_2}{G \cdot A_e} \quad \dots\dots\dots (4.1.40)$$

(3) 鉛直方向の固有周期

2質点系振動の固有周期は次式で求める。

$$T_v = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_v} \dots\dots\dots (4.1.41)$$

$$10^{-6} \cdot m_1 \cdot m_2 \cdot (\delta_{11V} \cdot \delta_{22V} - \delta_{12V} \cdot \delta_{21V}) \cdot \omega_v^4 - 10^{-3} \cdot (\delta_{11V} \cdot m_1 + \delta_{22V} \cdot m_2) \cdot \omega_v^2 + 1 = 0 \dots\dots\dots (4.1.42)$$

ここで、 δ_{11V} 及び δ_{21V} は容器上部重心の位置へ単位鉛直力をかけた場合の上部及び下部重心の鉛直変位量で、 δ_{12V} 及び δ_{22V} は容器下部重心の位置へ単位鉛直力をかけた場合の上部及び下部重心の鉛直変位量である。これらは、次式で表すことができる。鉛直方向の固有周期の計算モデルを図4-7に示す。

$$\delta_{11V} = \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_6} \dots\dots\dots (4.1.43)$$

$$\delta_{21V} = \delta_{12V} = \frac{1}{k_5} \dots\dots\dots (4.1.44)$$

$$\delta_{22V} = \frac{1}{k_5} - \frac{1}{k_7} \dots\dots\dots (4.1.45)$$

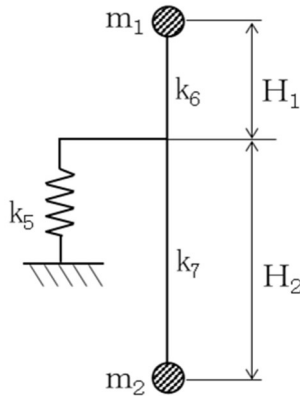


図4-7 鉛直方向の固有周期の計算モデル

a. ばね定数 k_5

図4-8の鉛直方向の力の釣合いより

$$4 \cdot R_0 - F_v = 0 \dots\dots\dots (4.1.46)$$

ラグについて、図4-9のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$(a-b-c) \cdot F_{02} - (a-b) \cdot F_{01} - M_0 = 0 \dots\dots\dots (4.1.47)$$

$$F_{02} - F_{01} - R_0 = 0 \dots\dots\dots (4.1.48)$$

ラグ付け根部の局部傾き及びラグの基礎に対する傾き角は次式で表すことができる。

$$\theta_0 = \frac{M_0 \cdot K_\ell}{r_m^2 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \dots\dots\dots (4.1.49)$$

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \dots\dots\dots (4.1.50)$$

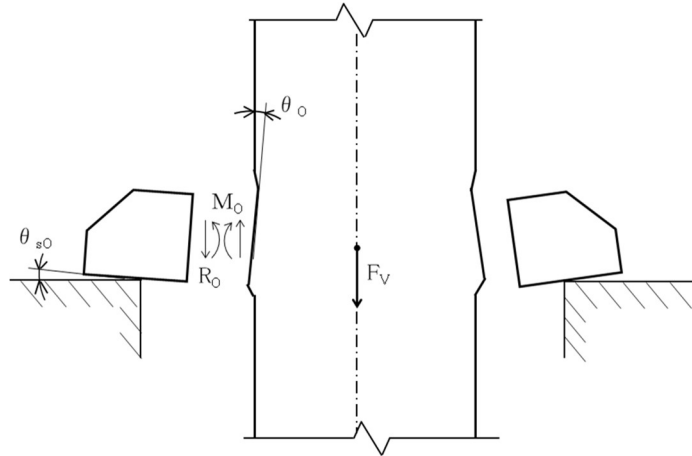


図4-8 鉛直下方荷重により胴に生じるモーメントと力

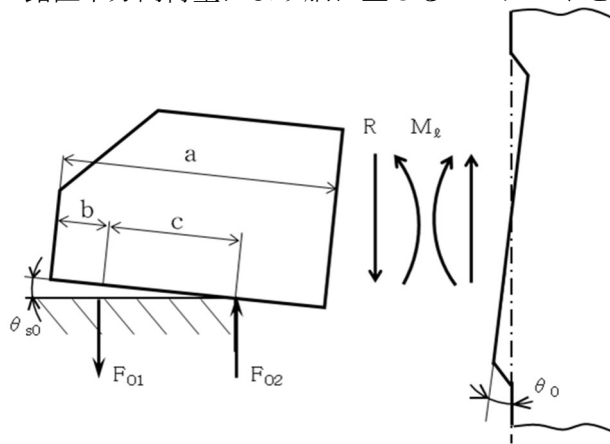


図4-9 鉛直下方荷重によりラグに作用するモーメントと力

ラグ付け根部の局部傾きとラグの基礎に対する傾き角は等しいので

$$\theta_0 = \theta_{s0} \quad \dots\dots\dots (4.1.51)$$

以上の式を連立させて解くことより θ_{s0} が得られる。したがって、鉛直方向変位に対するばね定数 k_5 は、次式により与えられる。

$$k_5 = \frac{F_V}{(a - b - c) \cdot \theta_{s0}} \quad \dots\dots\dots (4.1.52)$$

b. ばね定数 k_6

鉛直荷重による上部胴の伸び変形によるばね定数 k_6 は、次式により与えられる。

$$\frac{1}{k_6} = \frac{H_1}{A \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.53)$$

ここで、胴の断面積は次のように表される。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \dots\dots\dots (4.1.54)$$

c. ばね定数 k_7

鉛直荷重による下部胴の伸び変形によるばね定数 k_7 は、次式により与えられる。

$$\frac{1}{k_7} = \frac{H_2}{A \cdot E} \quad \dots\dots\dots (4.1.55)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。水平方向の固有周期は、0.05 秒を超えており柔構造であることを確認した。また、鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平方向(1次)	
水平方向(2次)	
鉛直方向	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項a.～c.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、原則として強度評価において組み合わせる。なお、基礎ボルト及び追設基礎ボルトは、作用する荷重の算出において組み合わせる。
- (2) 水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を用いる。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

残留熱除去系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 及び表 5-4 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系 熱交換器	S	クラス 2 容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

注記* : クラス 2 容器の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）（1/2）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	残留熱除去系 熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)
	原子炉補機 冷却設備	残留熱除去系 熱交換器	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)
	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水 設備	残留熱除去系 熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 容器*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）（2/2）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	残留熱除去系 熱交換器	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
	原子炉格納 容器安全設備 原子炉格納 容器スプレイ 設備				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)
	圧力低減設備 その他の安全 設備	残留熱除去系 熱交換器	常設／緩和	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
	原子炉格納 容器安全設備 残留熱代替 除去系				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界を 用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表5-3 許容応力 (クラス2, 3容器及び重大事故等クラス2容器)

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	*2 基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表5-4 許容応力（クラス2，3支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-5 使用材料の許容応力 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SGV49* ¹	最高使用温度	85	—	242	441	—
ラグ	SM41A* ² (40mm<厚さ≤75mm)	最高使用温度	85	—	199	377	—
基礎ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	66	—	730	868	—
追設基礎 ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	66	—	730	868	—

注記*1 : SGV480 相当

*2 : SM400A 相当

表 5-6 使用材料の許容応力 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SGV49* ¹	最高使用温度	140	—	233	425	—
ラグ	SM41A* ² (40mm<厚さ≤75mm)	最高使用温度	140	—	183	373	—
基礎ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	140	—	659	847	—
追設基礎 ボルト	SCM435 (径≤60mm)	周囲環境温度	140	—	659	847	—

注記*1 : SGV480 相当

*2 : SM400A 相当

5.3 設計用地震力

残留熱除去系熱交換器の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-8 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建物 EL 23.8* ¹					
固有周期 (s)		水平： <input type="text"/> * ² 鉛直： <input type="text"/>					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴	応答水平震度* ⁵		応答鉛直震度* ⁵
		NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	
1次	<input type="text"/>	3.02	2.56	—	5.85	5.16	—
動的震度* ⁶ , * ⁷		1.10	1.19	1.10	1.73	1.71	2.07
静的震度* ⁸		0.75	0.76	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S d）より得られる震度

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）より得られる震度

*6：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8：3.6・C_i 及び 1.2・C_v より定めた震度

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)		原子炉建物 EL 23.8* ¹					
固有周期 (s)		水平：□ * ² 鉛直：□					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度* ⁴		応答鉛直震度* ⁴
		NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	
1次	□	—	—	—	5.85	5.16	—
動的震度* ⁵ , * ⁶		—	—	—	1.73	1.71	2.07
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）より得られる震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) 運転時質量による応力

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_o \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

(3) 鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

$$\sigma_{x 11} = \frac{m_o \cdot g \cdot C_v}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

(4) 運転時質量による胴のラグ付け根部の応力

運転時質量 m_0 による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R - m_0 \cdot g = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

上式を変形して

$$R = \frac{m_0 \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

また、ラグについて図5-1のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02} \cdot (a - b - c) - F_{01} \cdot (a - b) - M_\ell = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

$$F_{02} - F_{01} - R = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

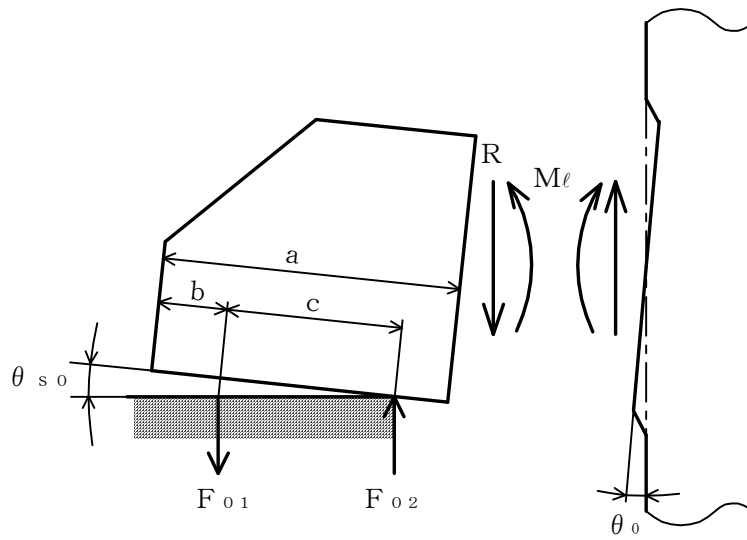


図5-1 鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

(5.4.1.1.8) 式へ (5.4.1.1.9) 式を代入して

$$F_{01} = \frac{R \cdot (a - b - c) - M_\ell}{c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

運転時質量によるラグの付け根部の傾き角 θ_0 は次式で求める。

$$\theta_0 = \frac{M_\ell \cdot K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta_\ell^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

運転時質量によるラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0} は次式で求める。

$$\theta_{s0} = \frac{F_{01} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_0 とラグの傾き角 θ_{s0} は等しいので

$$\theta_0 = \theta_{s0} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

以上の式を連立させて解くことにより、次式が求まる。

$$M_{\ell} = \frac{R \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

運転時質量による鉛直方向曲げモーメント M_{ℓ} により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、パラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β によって、引用文献(2)の表より値を求める(以下、*を付記する)ことにより、次式で求めることができる。

$$\sigma_{\phi 3} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.15)$$

$$\sigma_{x 3} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell}}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta_{\ell}} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.16)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} は次式で表される。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

反力Rによるせん断応力は

$$\tau_{\ell 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直方向地震力による胴のラグ付け根部の応力は、a. 項及びb. 項より得られる

$\sigma_{\phi 1 2 D}$, $\sigma_{\phi 1 2 U}$, $\sigma_{x 1 2 D}$, $\sigma_{x 1 2 U}$, $\sigma_{2 \phi 1 2 D}$, $\sigma_{2 \phi 1 2 U}$, $\sigma_{2 x 1 2 D}$, $\sigma_{2 x 1 2 U}$, $\tau_{\ell 6 D}$ 及び $\tau_{\ell 6 U}$ を用いて以下のように求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{\phi 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{\phi 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

$$\sigma_{x 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{x 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{x 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{2 \phi 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{2 \phi 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

$$\sigma_{2 x 1 2} = \text{Max} \left[\left| \sigma_{2 x 1 2 D} \right|, \left| \sigma_{2 x 1 2 U} \right| \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

反力によるせん断応力

$$\tau_{\ell 6} = \text{Max} \left[\tau_{\ell 6 D}, \tau_{\ell 6 U} \right] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

a. 鉛直下向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直下向き地震荷重により生じる応力は5.4.1.1(4)で与えられた連立方程式において、 $m_0 \cdot g$ を $m_0 \cdot g \cdot C_v$ に置き換えて解くことにより求められる。 R_D 、 $M_{\ell D}$ 及び F_{01D} は次式で求める。

$$R_D = \frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{4} \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$M_{\ell D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c)}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot c^2}{r_m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

$$F_{01D} = \frac{R_D \cdot (a - b - c) - M_{\ell D}}{c} \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell D}$ により生じる周方向応力及び軸方向応力はシェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} によって引用文献(2)の表より値を求める（以下、*を付記する）ことにより、次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2 D} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots (5.4.1.1.27)$$

$$\sigma_{x 1 2 D} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell D} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell D}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots (5.4.1.1.28)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2 D} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6M_{\ell D}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

$$\sigma_{2 x 1 2 D} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell D} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6M_{\ell D}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に $k_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.31)$$

反力 R_D によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6 D} = \frac{R_D}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

b. 鉛直上向き地震力による胴のラグ付け根部の応力

鉛直上向き地震力 $(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g$ による鉛直方向の力の平衡条件より

$$4 \cdot R_U - (C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

また、ラグについて図5-2のように傾いたとき、モーメントと力の平衡条件より

$$F_{02U} \cdot a - F_{01U} \cdot (a - b) + M_{\ell U} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.34)$$

$$F_{02U} - F_{01U} + R_U = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

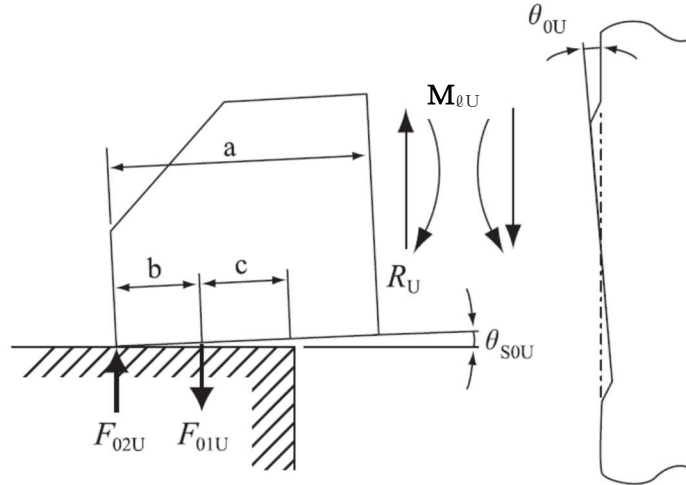


図5-2 鉛直上向き荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} は、

$$\theta_{0U} = \frac{M_{\ell U} \cdot K_{\ell}}{r m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

ラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0U} は、

$$\theta_{s0U} = \frac{F_{01U} \cdot L_b}{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

ここで、ラグ付け根部の局部傾き角 θ_{0U} とラグの基礎に対する傾き角 θ_{s0U} は等しいので

$$\theta_{0U} = \theta_{s0U} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

以上の式を連立させて解くことにより R_U , $M_{\ell U}$, F_{01U} は次式で求める。

$$R_U = \frac{(C_V - 1) \cdot m_0 \cdot g}{4} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

$$M_{\ell U} = \frac{R_U \cdot a}{1 + \frac{n \cdot A_{be} \cdot E_b \cdot K_{\ell} \cdot b^2}{r m^3 \cdot \beta_{\ell}^2 \cdot E \cdot L_b}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

$$F_{01U} = \frac{-R_U \cdot a + M_{\ell U}}{b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

鉛直上向き地震力による鉛直方向曲げモーメント $M_{\ell U}$ により生じる周方向応力及び軸方向応力は、シェルパラメータ γ 及びアタッチメントパラメータ β_{ℓ} によって引用文献(2)の表より値を求める(以下、*を付記する)ことによって次式で求められる。

一次応力

$$\sigma_{\phi 1 2 U} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \quad \dots \quad (5.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x 1 2 U} = \left\{ \frac{N_x}{M_{\ell U} / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_{\ell U}}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.43)$$

二次応力

$$\sigma_{2 \phi 1 2 U} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{2 x 1 2 U} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell U} / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell U}}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.45)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に $k_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.46)$$

反力 R_U によるせん断応力は次式で表される。

$$\tau_{\ell 6 U} = \frac{R_U}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.4.1.1.47)$$

(6) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{x 4} = \frac{C_H \cdot m_2 \cdot g \cdot H_2 \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \quad \dots \quad (5.4.1.1.48)$$

ここで、胴の断面二次モーメント I は次のように求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \dots \quad (5.4.1.1.49)$$

(7) 水平方向地震力(Z方向)による胴のラグ付け根部の応力

「4.1 固有周期の計算方法」における水平力 F_1 を $C_H \cdot m_1 \cdot g$ に、 F_2 を $C_H \cdot m_2 \cdot g$ に置き換えて得られる M_1 、 M_2 、 R_1 及び M_3 の値を使用する。

鉛直方向モーメント M_1 及び M_2 により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は
(5.4.1.1.15) 式の $\sigma_{\phi 3}$ 及び (5.4.1.1.16) 式の $\sigma_{x 3}$ と同様にして

一次応力

$$\sigma_{\phi 5} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots \dots \dots (5.4.1.1.50)$$

$$\sigma_{x 5} = \left\{ \frac{N_x}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_1|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.51)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 5} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.1.52)$$

$$\sigma_{2x 5} = \left\{ \frac{M_x}{M_1 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_1|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.1.53)$$

一次応力

$$\sigma_{\phi 6} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots \dots \dots (5.4.1.1.54)$$

$$\sigma_{x 6} = \left\{ \frac{N_x}{M_2 / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_2|}{r_m^2 \cdot \beta_{\ell} \cdot t} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.55)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 6} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.1.56)$$

$$\sigma_{2x 6} = \left\{ \frac{M_x}{M_2 / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_2|}{r_m \cdot \beta_{\ell} \cdot t^2} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.1.57)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_{ℓ} は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に $k_{\ell j}$ を乗じた値とする。

$$\beta_{\ell} = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots \dots \dots (5.4.1.1.58)$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は
一次応力

$$\sigma_{\phi 7} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots \quad (5.4.1.1.59)$$

$$\sigma_{x7} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_c|}{r_m^2 \cdot \beta_c \cdot t} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.60)$$

二次応力

$$\sigma_{2\phi 7} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.61)$$

$$\sigma_{2x7} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |M_c|}{r_m \cdot \beta_c \cdot t^2} \right) \quad \dots \quad (5.4.1.1.62)$$

ここで、アタッチメントパラメータ β_c は次式で表される。ただし、二次応力を求める場合は更に k_{c_j} を乗じた値とする。

$$\beta_c = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.63)$$

周方向せん断力 Q によるせん断応力は

$$\tau_{c1} = \frac{|Q|}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots \quad (5.4.1.1.64)$$

鉛直方向せん断力 R_1 によるせん断応力

$$\tau_{l2} = \frac{|R_1|}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.4.1.1.65)$$

モーメント M_3 により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3 = \frac{|M_3|}{2 \cdot \pi \cdot C_1^2 \cdot t} \quad \dots \quad (5.4.1.1.66)$$

(8) 水平方向地震力（X方向）による胴のラグ付け根部の応力

鉛直方向曲げモーメント M_1 により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi 8} &= \sigma_{\phi 5} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x8} = \sigma_{x5} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi 8} &= \sigma_{2\phi 5} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x8} = \sigma_{2x5} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

鉛直方向曲げモーメント M_2 により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi 9} &= \sigma_{\phi 6} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x9} = \sigma_{x6} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi 9} &= \sigma_{2\phi 6} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x9} = \sigma_{2x6} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

周方向曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸応力は

$$\begin{aligned} \sigma_{\phi 10} &= \sigma_{\phi 7} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{x10} = \sigma_{x7} / \sqrt{2}, \\ \sigma_{2\phi 10} &= \sigma_{2\phi 7} / \sqrt{2}, \quad \sigma_{2x10} = \sigma_{2x7} / \sqrt{2} \end{aligned}$$

周方向せん断力Qによるせん断応力は

$$\tau_{c4} = \tau_{c1} / \sqrt{2}$$

鉛直方向せん断力R₁によるせん断応力は

$$\tau_{l5} = \tau_{l2} / \sqrt{2}$$

ねじりモーメントM₃による胴のせん断応力は

$$\tau_6 = \tau_3 / \sqrt{2}$$

(9) 組合せ応力

(1)～(8)によって算出される胴のラグ付け根部に生じる応力は、以下により組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_0 = \text{Max}(\sigma_{0\phi}, \sigma_{0x}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.67)$$

$$\sigma_{0\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{0x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x11}^2 + \sigma_{x4}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.69)$$

b. 一次膜応力

$$\sigma_1 = \text{Max}(\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17}, \sigma_{18}, \sigma_{19}, \sigma_{110}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.70)$$

胴の評価点を図5-3に示す。

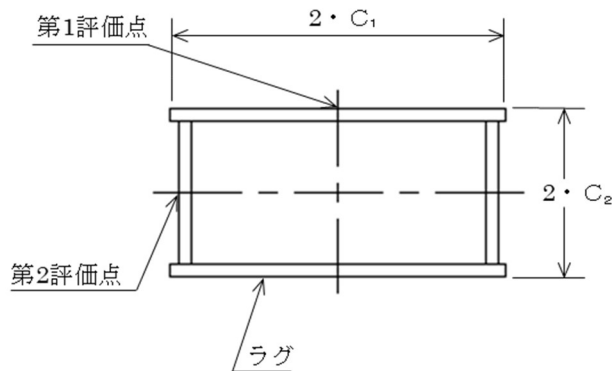


図5-3 胴の評価点

(a) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力

イ 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 5}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.71)$$

$$\sigma_{x z 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 5})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.72)$$

$$\sigma_{1 1} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 1} + \sigma_{x z 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 1} - \sigma_{x z 1})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.73)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.74)$$

$$\sigma_{x z 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.75)$$

$$\sigma_{1 2} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 2} + \sigma_{x z 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 2} - \sigma_{x z 2})^2 + (4 \cdot [\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 6}^2}]^2)} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.76)$$

ロ 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.77)$$

$$\sigma_{\phi x z 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.78)$$

$$\sigma_{1 3} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 3} + \sigma_{x z 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 3} - \sigma_{x z 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.79)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 7}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.80)$$

$$\sigma_{\phi z 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.81)$$

$$\sigma_{1 4} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_3^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.82)$$

ハ 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 6}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.83)$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 6})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.84)$$

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.85)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.86)$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.87)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{\tau_{\ell 2}^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.88)$$

(b) 水平方向地震力 (X方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の組合せ一次応力

イ 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 8}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.89)$$

$$\sigma_{x x 1} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.90)$$

$$\sigma_{17} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.91)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 1 0}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.92)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.93)$$

$$\sigma_{18} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.94)$$

ロ 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 3} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 9}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.95)$$

$$\sigma_{x x 3} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 9})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.96)$$

$$\sigma_{19} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 3} + \sigma_{x x 3} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 3} - \sigma_{x x 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.97)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 4} = \sigma_{\phi 1} + \sqrt{\sigma_{\phi 10}^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.98)$$

$$\sigma_{x x 4} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 10})^2 + \sigma_{x 11}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.99)$$

$$\sigma_{110} = \frac{1}{2} \cdot \{ \sigma_{\phi x 4} + \sigma_{x x 4} + \sqrt{(\sigma_{\phi x 4} - \sigma_{x x 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \sqrt{(\tau_{\ell 5} + \tau_6)^2 + \tau_{\ell 6}^2})^2} \} \dots\dots\dots (5.4.1.1.100)$$

c. 一次+二次応力の変動値

$$\sigma_2 = \text{Max} (\sigma_{21}, \sigma_{22}, \sigma_{23}, \sigma_{24}, \sigma_{25}, \sigma_{26}, \sigma_{27}, \sigma_{28}, \sigma_{29}, \sigma_{210}) \dots\dots\dots (5.4.1.1.101)$$

(a) 水平方向地震力 (Z方向) 及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次+二次応力の変動値

イ 第1ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 5} + \sigma_{2\phi 5})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 12} + \sigma_{2\phi 12})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.102)$$

$$\sigma_{2x z 1} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{2x 5})^2 + (\sigma_{x 11} + \sigma_{x 12} + \sigma_{2x 12})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.103)$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{2\phi z 1} + \sigma_{2x z 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 1} - \sigma_{2x z 1})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.104)$$

第2評価点について

$$\sigma_{2\phi z 2} = \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.105)$$

$$\sigma_{2x z 2} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 11}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.106)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{2\phi z 2} + \sigma_{2x z 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 2} - \sigma_{2x z 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6}^2 + \tau_{\ell 2}^2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.107)$$

ロ 第2ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 3} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.108)$$

$$\sigma_{2xz 3} = \sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.109)$$

$$\sigma_{23} = \sigma_{2\phi z 3} + \sigma_{2xz 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 3} - \sigma_{2xz 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 1} + \tau_3)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.110)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 7} + \sigma_{2\phi 7})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.111)$$

$$\sigma_{2xz 4} = \sqrt{(\sigma_{x 7} + \sigma_{2x 7})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.112)$$

$$\sigma_{24} = \sigma_{2\phi z 4} + \sigma_{2xz 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 4} - \sigma_{2xz 4})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6}^2 + \tau_3^2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.113)$$

ハ 第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi z 5} = \sqrt{(\sigma_{\phi 6} + \sigma_{2\phi 6})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \dots\dots (5.4.1.1.114)$$

$$\sigma_{2xz 5} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 6} + \sigma_{2x 6})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.115)$$

$$\sigma_{25} = \sigma_{2\phi z 5} + \sigma_{2xz 5} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 5} - \sigma_{2xz 5})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.116)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi z 6} = \sigma_{\phi 2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.117)$$

$$\sigma_{2xz 6} = \sqrt{\sigma_{x 4}^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.118)$$

$$\sigma_{26} = \sigma_{2\phi z 6} + \sigma_{2xz 6} + \sqrt{(\sigma_{2\phi z 6} - \sigma_{2xz 6})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 6}^2 + \tau_{\ell 2}^2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.119)$$

(b) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震力のみによる一次+二次応力の変動値

イ 第1ラグ及び第4ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 1} = \sqrt{(\sigma_{\phi 8} + \sigma_{2\phi 8})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \dots\dots (5.4.1.1.120)$$

$$\sigma_{2xx 1} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 8} + \sigma_{2x 8})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2})^2} \dots\dots (5.4.1.1.121)$$

$$\sigma_{27} = \sigma_{2\phi x 1} + \sigma_{2xx 1} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 1} - \sigma_{2xx 1})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \dots\dots (5.4.1.1.122)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 2} = \sqrt{(\sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.123)$$

$$\sigma_{2xx 2} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2x 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.124)$$

$$\sigma_{28} = \sigma_{2\phi x 2} + \sigma_{2xx 2} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 2} - \sigma_{2xx 2})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.125)$$

ロ 第2ラグ及び第3ラグの付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{2\phi x 3} = \sqrt{(\sigma_{\phi 9} + \sigma_{2\phi 9})^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 1 2} + \sigma_{2\phi 1 2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.126)$$

$$\sigma_{2xx 3} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 9} + \sigma_{2x 9})^2 + (\sigma_{x 1 1} + \sigma_{x 1 2} + \sigma_{2x 1 2})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.127)$$

$$\sigma_{29} = \sigma_{2\phi x 3} + \sigma_{2xx 3} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 3} - \sigma_{2xx 3})^2 + 4 \cdot (\tau_{c 4} + \tau_6)^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.128)$$

第2評価点については

$$\sigma_{2\phi x 4} = \sqrt{(\sigma_{\phi 1 0} + \sigma_{2\phi 1 0})^2 + \sigma_{\phi 2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.129)$$

$$\sigma_{2xx 4} = \sqrt{(\sigma_{x 4} + \sigma_{x 1 0} + \sigma_{2x 1 0})^2 + \sigma_{x 1 1}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.130)$$

$$\sigma_{210} = \sigma_{2\phi x 4} + \sigma_{2xx 4} + \sqrt{(\sigma_{2\phi x 4} - \sigma_{2xx 4})^2 + 4 \cdot (\tau_6 + \tau_{\ell 5} + \tau_{\ell 6})^2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.131)$$

5.4.1.2 ラグの応力

(1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{M_{\ell}}{Z_{s t}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$\tau_{s 1} = \frac{R}{A_{s 1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{s 7} = \frac{M_{\ell V}}{Z_{s t}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

$$\tau_{s 7} = \frac{R_V}{A_{s 1}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

ここで、 $M_{\ell V}$ 、 R_V は下式より求める。

$$M_{\ell V} = \text{Max}(|M_{\ell D}|, |M_{\ell U}|) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

$$R_V = \text{Max}(|R_D|, |R_U|) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

(3) 水平方向地震力 (Z方向) による応力

第1ラグについて

$$\sigma_{s2} = \frac{|M_1|}{Z_{st}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

$$\tau_{s2} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s3} = \frac{|M_c|}{Z_{sl}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

$$\tau_{s3} = \frac{|M_3|}{Z_{sp}} + \frac{|Q|}{A_{s2}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{s4} = \frac{|M_2|}{Z_{st}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.11)$$

$$\tau_{s4} = \frac{|R_1|}{A_{s1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.12)$$

(4) 水平方向地震力 (X方向) による応力

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{s5} = \frac{|M_1|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sl}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.13)$$

$$\tau_{s5} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.14)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{s6} = \frac{|M_2|}{\sqrt{2} \cdot Z_{st}} + \frac{|M_c|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sl}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.15)$$

$$\tau_{s6} = \frac{|R_1|}{\sqrt{2} \cdot A_{s1}} + \frac{|M_3|}{\sqrt{2} \cdot Z_{sp}} + \frac{|Q|}{\sqrt{2} \cdot A_{s2}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.16)$$

(5) 組合せ応力

ラグの最大応力は次式で求める。

$$\sigma_s = \text{Max}(\sigma_{1s}, \sigma_{2s}, \sigma_{3s}, \sigma_{4s}, \sigma_{5s}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.17)$$

- a. 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグについて

$$\sigma_{1s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s2}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.18)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{2s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s3}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.19)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{3s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s4}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s4}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.20)$$

- b. 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{4s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s5}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s5}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.21)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{5s} = \sqrt{\left(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s6}^2 + \sigma_{s7}^2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\tau_{s1} + \sqrt{\tau_{s6}^2 + \tau_{s7}^2}\right)^2} \quad \dots (5.4.1.2.22)$$

5.4.1.3 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの最大引張応力及び最大せん断応力は次式で求める。

$$\sigma_b = \text{Max}(\sigma_{b1}, \sigma_{b2}, \sigma_{b3}, \sigma_{b4}, \sigma_{b5}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

$$\tau_b = \text{Max}(\tau_{b2}, \tau_{b4}, \tau_{b5}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

- (1) 水平方向地震力（Z方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合
第1ラグについて

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{11}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

第2ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b2} = \sqrt{\left(\frac{\text{Max}[|F_{31}|, |F_{32}|]}{A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

$$\tau_{b2} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

第3ラグについて

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{01} + \sqrt{F_{21}^2 + F_{01V}^2}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

ここで、 F_{01V} は、 F_{01D} 、 F_{01U} を用いて下式で求める。

$$F_{01V} = \text{Max}(F_{01D}, F_{01U}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.7)$$

(2) 水平方向地震力（X方向）及び鉛直方向地震力が作用した場合

第1ラグ及び第4ラグについて

$$\sigma_{b4} = \sqrt{\left(\frac{|F_{11}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\text{Max}[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.8)$$

$$\tau_{b4} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.9)$$

第2ラグ及び第3ラグについて

$$\sigma_{b5} = \sqrt{\left(\frac{|F_{21}|}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} + \frac{\text{Max}[|F_{31}|, |F_{32}|]}{\sqrt{2} \cdot A_b}\right)^2 + \left(\frac{F_{01V}}{n \cdot A_b}\right)^2} + \frac{F_{01}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.10)$$

$$\tau_{b5} = \frac{|Q| \cdot (1 - \varepsilon)}{\sqrt{2} \cdot n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.11)$$

5.4.1.4 追設基礎ボルトの応力

耐震補強サポートは、ラグから周方向荷重 Q を水平方向荷重として受ける。また、耐震補強サポートの質量により作用する力は、水平方向地震力により以下の式で求める。

$$F_a = m_a \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

したがって、追設基礎ボルトに生じる最大せん断応力 τ_a は以下の式となる。

$$\tau_a = \frac{Q + F_a}{n_a \cdot A_a} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1項で求めた胴の組合せ応力が最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重と の組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 $1.2 \cdot S$ の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	$0.6 \cdot S_u$
一 次 応 力	上記の1.5倍の値	
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。	

5.6.2 ラグの応力評価

5.4.1.2項で求めたラグの組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.3 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.4 追設基礎ボルトの応力評価

5.4.1.4項で求めた追設基礎ボルトのせん断応力 τ_a はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sba} 以下であること。ただし、 f_{sba} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sba}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

- (1) Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 1955.
- (2) Local Stress in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107/August 1965.

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱除去系 熱交換器	S	原子炉建物 EL 23.8 ^{*1}			C _H =1.19 ^{*2} 又は*3	C _V =1.10 ^{*2}	C _H =1.73 ^{*4} 又は*5	C _V =2.07 ^{*4}	1.37	85	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S_d）より得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）より得られる震度

1.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E ^{*1} (MPa)	E _b ^{*2} (MPa)	G ^{*1} (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)	ε
			1800	38.0	199000	202000	76500	1048	1929	600	300	600	1

k _θ	k _{θ1}	k _{θ2}	k _c	k _{c1}	k _{c2}	C _{θ1}	C _{θ2}	C _{c1}	C _{c2}	K _θ	K _c

n	n _a	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	A _b (mm ²)	A _{b e} (mm ²)	A _a (mm ²)	m _a (kg)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s θ} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
2		906	325	312.5	850	715	1810	1470			4.688×10 ⁴	8.363×10 ⁴	5.470×10 ⁷	4.454×10 ⁷	3.110×10 ⁷

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)
242 ^{*1}	441 ^{*1}	199 ^{*1} (40mm<厚さ≤75mm)	377 ^{*1} (40mm<厚さ≤75mm)	199	239

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)	S _y (追設基礎ボルト) (MPa)	S _u (追設基礎ボルト) (MPa)	F (追設基礎ボルト) (MPa)	F* (追設基礎ボルト) (MPa)
730 ^{*2} (径≤60mm)	868 ^{*2} (径≤60mm)	607	607	730 ^{*2} (径≤60mm)	868 ^{*2} (径≤60mm)	607	607

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 胴に生じる応力一次一般膜応力 (弾性設計用地震動 S d 又は静的震度)

(単位: MPa)

応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
		自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	$\sigma_0 = 38$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 4} = 19$	$\sigma_{x 1 1} = 3$	

(2) 胴に生じる応力一次一般膜応力 (基準地震動 S s)

(単位: MPa)

応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
		自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	$\sigma_0 = 55$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 1 1} = 4$	

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(3) 胴に生じる一次応力 (弾性設計用地震動 S d 又は静的震度)

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力	
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力		
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 8$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{11} = 43$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x5} = 4$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$		
		第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 46$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 7$			$\tau_{\theta 6} = 3$			
		第 2 及び第 4 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{13} = 54$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$	
			せん断	—	—		$\tau_3 = 17, \tau_{c1} = 7$			—			
		第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0$	—	—	$\sigma_{14} = 47$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0$	$\sigma_{x11} = 3$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_3 = 17$			$\tau_{\theta 6} = 3$			
		第 3 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 17$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{15} = 52$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x6} = 8$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$	
			第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 46$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—	$\sigma_{x11} = 3$	—	
				せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 7$			$\tau_{\theta 6} = 3$		

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 6$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{17} = 57$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x8} = 3$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$			—			
		第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{18} = 55$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 3$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 5, \tau_6 = 12$			$\tau_{\theta 6} = 3$			
	第 2 及び第 3 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 12$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 2$	$\sigma_{19} = 62$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x9} = 6$	—	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$			—			
		第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{110} = 55$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 3$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 5, \tau_6 = 12$			$\tau_{\theta 6} = 3$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(4) 胴に生じる一次応力 (基準地震動 S s)

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力		
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力			
基準地震動 S s	Z 方向及び鉛直方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{11} = 62$		
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x5} = 7$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$			
			第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—		—	$\sigma_{12} = 64$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{x11} = 4$	—			
				せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$				
			第2及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—		$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{13} = 79$
		軸方向			$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$			
		せん断			—	—		$\tau_3 = 32, \tau_{c1} = 14$			—				
		第2評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0$	—	—	$\sigma_{14} = 63$		
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—			
				せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_3 = 32$			$\tau_{\theta 6} = 5$				
		第3ラゲ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{15} = 70$		
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x6} = 14$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$			
			第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 64$		
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{x11} = 4$	—			
				せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$				

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動 S s	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 10$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{17} = 86$
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$			—			
		第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{18} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$			$\tau_{\theta 6} = 5$			
	第 2 及び第 3 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{19} = 95$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$			—			
		第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{110} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$			$\tau_{\theta 6} = 5$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(5) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力 (弾性設計用地震動 S d 又は静的震度)

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力 (変動値)
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第1ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 8, \sigma_{2\phi 5} = 9$	—	$\sigma_{21} = 81$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x5} = 4, \sigma_{2x5} = 18$	—		
			第2評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—	$\sigma_{22} = 46$
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 3$		$\tau_{\phi 2} = 7$				
		第2及び4ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	—	—	$\sigma_{23} = 57$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	—	—	—		
			せん断	—		$\tau_3 = 17, \tau_{c1} = 7$				
		第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0, \sigma_{2\phi 7} = 0$	$\sigma_{24} = 41$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0, \sigma_{2x7} = 0$		
			せん断	—		$\tau_3 = 17, \tau_6 = 12$				
		第3ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 17, \sigma_{2\phi 6} = 20$	—	$\sigma_{25} = 135$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x6} = 8, \sigma_{2x6} = 42$	—		
			第2評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	—	—	$\sigma_{26} = 46$
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 3$		$\tau_{\phi 2} = 7$				

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ 一次+二次応力 (変動値)
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	X 方向及び鉛直方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 6, \sigma_{2\phi 8} = 7$	—	$\sigma_{27} = 87$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x8} = 3, \sigma_{2x8} = 13$	—	
			せん断	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$			—	
		第2評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{28} = 62$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—		
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 3$		$\tau_{\phi 5} = 5, \tau_6 = 12$				—
	第2及び第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 2, \sigma_{2\phi 12} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 12, \sigma_{2\phi 9} = 14$	—	$\sigma_{29} = 123$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	$\sigma_{x12} = 1, \sigma_{2x12} = 4$	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x9} = 6, \sigma_{2x9} = 30$	—		
			せん断	—		$\tau_{c4} = 5, \tau_6 = 12$				—
		第2評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{210} = 62$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 3$	—	$\sigma_{x4} = 19$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—		
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 3$		$\tau_{\phi 5} = 5, \tau_6 = 12$				—

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(6) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力 (基準地震動 S s)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力 (変動値)
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S s	Z 方向及び鉛直方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15, \sigma_{2\phi 5} = 17$	—	$\sigma_{21} = 159$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x5} = 7, \sigma_{2x5} = 35$	—		
			第2評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{22} = 88$
			せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 2} = 14$				
		第2及び4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	—	—	$\sigma_{23} = 120$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	—	—	—	
			せん断	—		$\tau_3 = 32, \tau_{c1} = 14$				
			第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0, \sigma_{2\phi 7} = 0$	$\sigma_{24} = 78$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0, \sigma_{2x7} = 0$	
				せん断	—		$\tau_3 = 32, \tau_6 = 23$			
		第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33, \sigma_{2\phi 6} = 39$	—	$\sigma_{25} = 263$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x6} = 14, \sigma_{2x6} = 80$	—	
			第2評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{26} = 88$
				せん断	$\tau_{\theta 6} = 5$		$\tau_{\theta 2} = 14$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力(変動値)
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S s	X 方向及び鉛直方向	第1及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 8} = 10, \sigma_{2\phi 8} = 12$	—	$\sigma_{27} = 170$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5, \sigma_{2x8} = 25$	—	
				せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$			
		第2評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{28} = 119$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—		
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 5$		$\tau_{\phi 5} = 10, \tau_6 = 23$				
		第2及び第3ラグ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23, \sigma_{2\phi 9} = 28$	—	$\sigma_{29} = 239$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10, \sigma_{2x9} = 57$	—	
				せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$			
		第2評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{210} = 119$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—		
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 5$		$\tau_{\phi 5} = 10, \tau_6 = 23$				

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

1.3.2 ラグに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
			曲 げ	せん断	曲 げ	せん断	曲 げ	せん断	
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s2} = 3$	$\tau_{s2} = 7$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{1s} = 17$
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s3} = 0$	$\tau_{s3} = 15$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{2s} = 29$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s4} = 5$	$\tau_{s4} = 7$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{3s} = 17$
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s5} = 2$	$\tau_{s5} = 15$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{4s} = 30$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s6} = 4$	$\tau_{s6} = 15$	$\sigma_{s7} = 1$	$\tau_{s7} = 3$	$\sigma_{5s} = 30$
基準地震動 S _s	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s2} = 4$	$\tau_{s2} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{1s} = 29$
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s3} = 0$	$\tau_{s3} = 28$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{2s} = 52$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s4} = 10$	$\tau_{s4} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{3s} = 30$
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s5} = 3$	$\tau_{s5} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{4s} = 54$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s6} = 7$	$\tau_{s6} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{5s} = 55$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{b1} = 37$	—
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b2} = 200$	$\tau_{b2} = 0$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{b3} = 129$	—
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b4} = 158$	$\tau_{b4} = 0$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{b5} = 226$	$\tau_{b5} = 0$
基準地震動 S _s	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	$\sigma_{b1} = 57$	—
		第 2 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b2} = 374$	$\tau_{b2} = 0$
		第 3 ラグ側	$\sigma_{b3} = 237$	—
	X 方向及び鉛直方向	第 1 及び第 4 ラグ側	$\sigma_{b4} = 292$	$\tau_{b4} = 0$
		第 2 及び第 3 ラグ側	$\sigma_{b5} = 425$	$\tau_{b5} = 0$

1.3.4 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	せん断応力
弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\tau_a = 92$
基準地震動 S _s	$\tau_a = 178$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

水平方向(1次)	$T_{H1} =$	
水平方向(2次)	$T_{H2} =$	
鉛直方向	$T_v =$	

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV49	一次一般膜	$\sigma_0 = 38$	$S_a = 242$	$\sigma_0 = 55$	$S_a = 265$
		一次	$\sigma_1 = 62$	$S_a = 364$	$\sigma_1 = 95$	$S_a = 397$
		一次+二次	$\sigma_2 = 135$	$S_a = 485$	$\sigma_2 = 263$	$S_a = 485$
ラグ	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 30$	$f_{tm} = 199$	$\sigma_s = 55$	$f_{tm} = 239$
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_b = 226$	$f_{ts} = 455^*$	$\sigma_b = 425$	$f_{ts} = 455^*$
		せん断	$\tau_b = 0$	$f_{sb} = 350$	$\tau_b = 0$	$f_{sb} = 350$
追設基礎ボルト	SCM435	せん断	$\tau_a = 92$	$f_{sba} = 280$	$\tau_a = 178$	$f_{sba} = 280$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to}, -1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱除去系 熱交換器	常設耐震/防止 常設/緩和 常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 23.8*1			—	—	C _H =1.73*2 又は*3	C _V =2.07*2	1.37	140	140

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）より得られる震度

2.2 機器要目

m ₀ (kg)	m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	D _i (mm)	t (mm)	E*1 (MPa)	E _b *2 (MPa)	G*1 (MPa)	H ₁ (mm)	H ₂ (mm)	C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	e (mm)	ε
			1800	38.0	195000	197000	75000	1048	1929	600	300	600	1

k _ℓ	k _{ℓ1}	k _{ℓ2}	k _c	k _{c1}	k _{c2}	C _{ℓ1}	C _{ℓ2}	C _{c1}	C _{c2}	K _ℓ	K _c

n	n _a	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	L _b (mm)	A _b (mm ²)	A _{b e} (mm ²)	A _a (mm ²)	m _a (kg)	A _{s1} (mm ²)	A _{s2} (mm ²)	Z _{s p} (mm ³)	Z _{s ℓ} (mm ³)	Z _{s t} (mm ³)
2		906	325	312.5	850	715	1810	1470			4.688×10 ⁴	8.363×10 ⁴	5.470×10 ⁷	4.454×10 ⁷	3.110×10 ⁷

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (ラグ) (MPa)	S _u (ラグ) (MPa)	F (ラグ) (MPa)	F* (ラグ) (MPa)
233*1	425*1	183*1 (40mm<厚さ≤75mm)	373*1 (40mm<厚さ≤75mm)	—	220

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)	S _y (追設基礎ボルト) (MPa)	S _u (追設基礎ボルト) (MPa)	F (追設基礎ボルト) (MPa)	F* (追設基礎ボルト) (MPa)
659*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592	659*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 胴に生じる応力一次一般膜応力 (基準地震動 S s)

(単位: MPa)

応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ一次一般膜応力
		自重による応力	曲げモーメントによる応力	水平方向地震による応力	鉛直方向荷重による応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_0 = 55$
軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 11} = 4$		

(2) 胴に生じる一次応力 (基準地震動 S s)

(単位: MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力		
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力			
基準地震動 S s	Z 方向及び鉛直方向	第 1 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{11} = 62$	
				軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 5} = 7$	—	$\sigma_{x 11} = 4$	$\sigma_{x 12} = 3$		
			第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{12} = 64$
				軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 36$	—	—	$\sigma_{x 11} = 4$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$				
			第 2 及び第 4 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{13} = 79$
		軸方向			$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	—	—	—	$\sigma_{x 11} = 4$	$\sigma_{x 12} = 3$		
		せん断		—	—		$\tau_3 = 32, \tau_{c 1} = 14$			—				
		第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0$	—	—	$\sigma_{14} = 63$		
			軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	—	—	$\sigma_{x 7} = 0$	$\sigma_{x 11} = 4$	—			
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_3 = 32$			$\tau_{\theta 6} = 5$				
		第 3 ラグ側	第 1 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{15} = 70$	
				軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{x 4} = 36$	$\sigma_{x 6} = 14$	—	$\sigma_{x 11} = 4$	$\sigma_{x 12} = 3$		
			第 2 評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{16} = 64$	
				軸方向	$\sigma_{x 1} = 17$	$\sigma_{x 2} = 2$	—	$\sigma_{x 4} = 36$	—	—	$\sigma_{x 11} = 4$	—		
				せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 2} = 14$			$\tau_{\theta 6} = 5$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(単位：MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	静水頭又は内圧による応力	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動 S s	X 方向及び鉛直方向	第1及び第4ラグ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 8} = 11$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{17} = 86$
				軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$	
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$			—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{18} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$			$\tau_{\theta 6} = 5$			
	第2及び第3ラグ側	第1評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23$	—	—	$\sigma_{\phi 12} = 5$	$\sigma_{19} = 95$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	$\sigma_{x3} = 1$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10$	—	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3$		
			せん断	—	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$			—			
		第2評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1} = 34$	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0$	—	—	$\sigma_{110} = 81$	
			軸方向	$\sigma_{x1} = 17$	$\sigma_{x2} = 2$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	$\sigma_{x10} = 0$	$\sigma_{x11} = 4$	—		
			せん断	—	$\tau_{\theta 1} = 3$		$\tau_{\theta 5} = 10, \tau_6 = 23$			$\tau_{\theta 6} = 5$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次+二次応力 (基準地震動 S s)

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次+二次応力 (変動値)
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S s	Z 方向及び鉛直方向	第1ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 5} = 15, \sigma_{2\phi 5} = 17$	—	$\sigma_{21} = 159$
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x5} = 7, \sigma_{2x5} = 35$	—		
			第2評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{22} = 88$
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 5$		$\tau_{\phi 2} = 14$				
		第2及び4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	—	—	$\sigma_{23} = 120$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	—	—	—	
			せん断	—		$\tau_{\phi 3} = 32, \tau_{c1} = 14$				
			第2評価点	周方向	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7} = 0, \sigma_{2\phi 7} = 0$	$\sigma_{24} = 78$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	—	—	$\sigma_{x7} = 0, \sigma_{2x7} = 0$	
				せん断	—		$\tau_{\phi 3} = 32, \tau_{\phi 6} = 23$			
		第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 6} = 33, \sigma_{2\phi 6} = 39$	—	$\sigma_{25} = 263$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x6} = 14, \sigma_{2x6} = 80$	—	
			第2評価点	軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	—	—	$\sigma_{26} = 88$
				せん断	$\tau_{\phi 6} = 5$		$\tau_{\phi 2} = 14$			

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

(単位 : MPa)

地震の種類	地震の方向	評価点		応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ 一次+二次応力 (変動値)
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
基準地震動 S s	X方向及び鉛直方向	第1及び第4ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 8} = 11, \sigma_{2\phi 8} = 12$	—	$\sigma_{27} = 170$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x8} = 5, \sigma_{2x8} = 25$	—	
			せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$				
		第2評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{28} = 119$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—		
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 5$		$\tau_{\phi 5} = 10, \tau_6 = 23$				
		第2及び第3ラゲ側	第1評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 12} = 5, \sigma_{2\phi 12} = 6$	—	$\sigma_{\phi 9} = 23, \sigma_{2\phi 9} = 28$	—	$\sigma_{29} = 239$
				軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	$\sigma_{x12} = 3, \sigma_{2x12} = 12$	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x9} = 10, \sigma_{2x9} = 57$	—	
			せん断	—		$\tau_{c4} = 10, \tau_6 = 23$				
		第2評価点	周方向	—	—	—	$\sigma_{\phi 10} = 0, \sigma_{2\phi 10} = 0$	—	$\sigma_{210} = 119$	
			軸方向	$\sigma_{x11} = 4$	—	$\sigma_{x4} = 36$	$\sigma_{x10} = 0, \sigma_{2x10} = 0$	—		
			せん断	$\tau_{\phi 6} = 5$		$\tau_{\phi 5} = 10, \tau_6 = 23$				

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1

2.3.2 ラグに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
			曲 げ	せん断	曲 げ	せん断	曲 げ	せん断	
基準地震動 S s	Z方向及び 鉛直方向	第1ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s2} = 5$	$\tau_{s2} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{1s} = 29$
		第2及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s3} = 0$	$\tau_{s3} = 28$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{2s} = 52$
		第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s4} = 10$	$\tau_{s4} = 13$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{3s} = 30$
	X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s5} = 3$	$\tau_{s5} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{4s} = 54$
		第2及び第3ラグ側	$\sigma_{s1} = 1$	$\tau_{s1} = 3$	$\sigma_{s6} = 7$	$\tau_{s6} = 29$	$\sigma_{s7} = 2$	$\tau_{s7} = 5$	$\sigma_{5s} = 55$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	地震の方向		引張応力	せん断応力
			第1ラグ側	$\sigma_{b1} = 57$
基準地震動 S s	Z方向及び 鉛直方向	第2及び第4ラグ側	$\sigma_{b2} = 373$	$\tau_{b2} = 0$
		第3ラグ側	$\sigma_{b3} = 237$	—
		X方向及び 鉛直方向	第1及び第4ラグ側	$\sigma_{b4} = 291$
	第2及び第3ラグ側		$\sigma_{b5} = 424$	$\tau_{b5} = 0$

2.3.4 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震力の種類	せん断応力
基準地震動 S s	$\tau_a = 178$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

水平方向(1次)	$T_{H1} =$		
水平方向(2次)	$T_{H2} =$		
鉛直方向	$T_v =$		

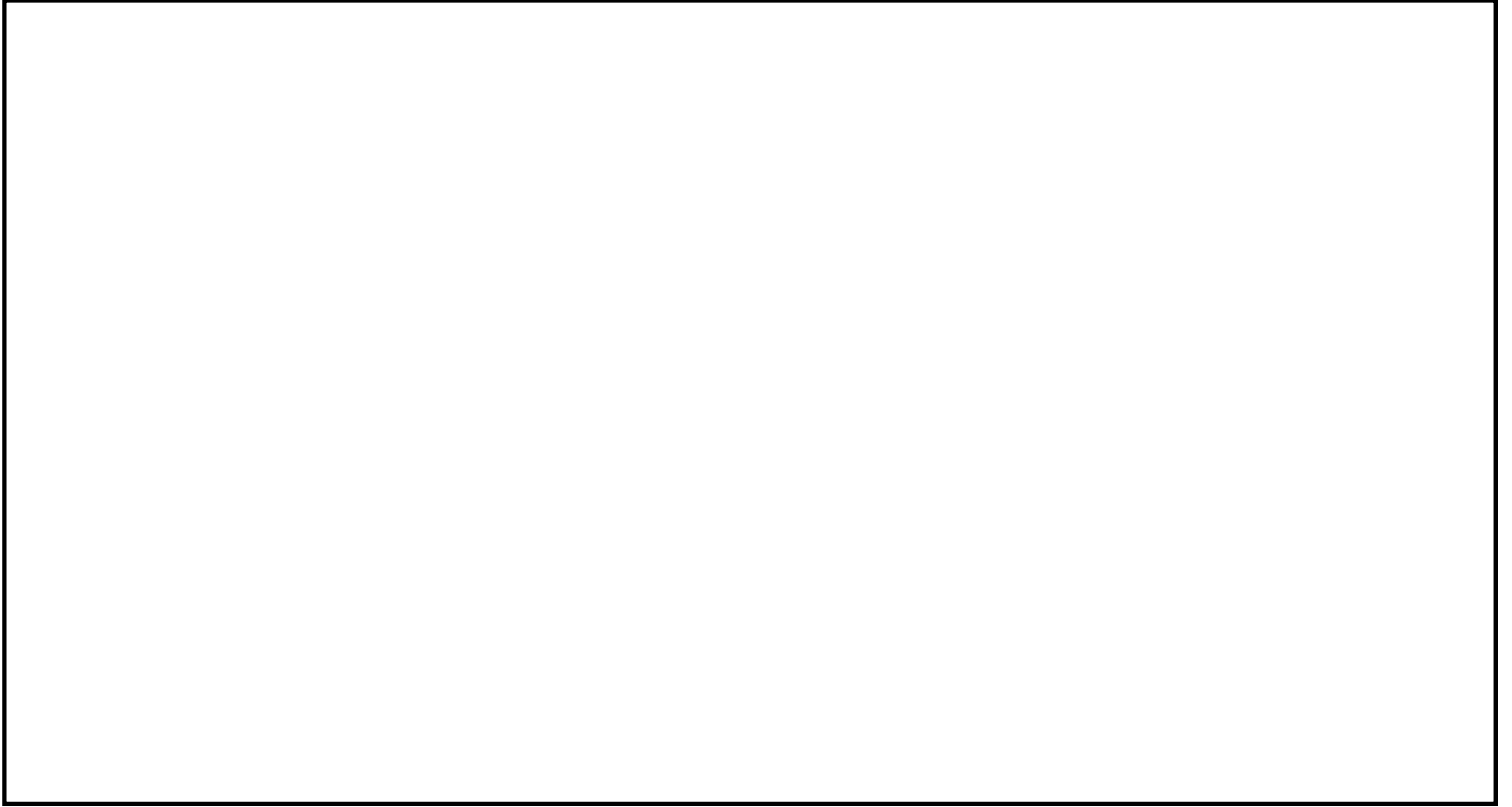
2.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力
胴板	SGV49	一次一般膜	$\sigma_0 = 55$	$S_a = 255$
		一次	$\sigma_1 = 95$	$S_a = 382$
		一次+二次	$\sigma_2 = 263$	$S_a = 466$
ラグ	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 55$	$f_{tm} = 220$
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_b = 424$	$f_{ts} = 444^*$
		せん断	$\tau_b = 0$	$f_{sb} = 341$
追設基礎ボルト	SCM435	せん断	$\tau_a = 178$	$f_{sba} = 272$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to}, -1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

S2 補 VI-2-5-4-1-1 R1E



VI-2-5-4-1-2 残留熱除去ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	10
3.4 固有周期	10
3.5 設計用地震力	11
3.6 計算条件	11
4. 機能維持評価	12
4.1 動的機能維持評価方法	12
5. 評価結果	13
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	13
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	13

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

残留熱除去ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、残留熱除去ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトで原動機台に固定され、原動機台は原動機台取付ボルトでポンプに固定する。ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。バレルケーシングは下部サポートに支持され、下部サポートは基礎に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ピットバレル形立形ポンプ)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

残留熱除去ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

残留熱除去ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱 除去設備	残留熱除去ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	残留熱 除去設備	残留熱除去ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)
	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	残留熱除去ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

(続き)

原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備 原子炉格納容器 安全設備	残留熱除去ポンプ*4	常設/防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1: 「常設/防止 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*2: 重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

*4: A, B-残留熱除去ポンプが対象

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と1.2・S との大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係 数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)			*2 S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	185	—	188	373
コラムパイプ	最高使用温度	185	—	188	373	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	185	—	635	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	185	—	635	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	185	—	635	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	

注記* :

□

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	185	—	—	373
コラムパイプ	最高使用温度	185	—	—	373	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	685	847	—	
ポンプ取付ボルト（下）	最高使用温度	185	—	635	847	—	
ポンプ取付ボルト（上）	最高使用温度	185	—	635	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	185	—	635	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	685	847	—	

注記* : □

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、バレルケーシング、ロータ及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【残留熱除去ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表3-7、振動モード図を図3-1に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.031	—	—	—

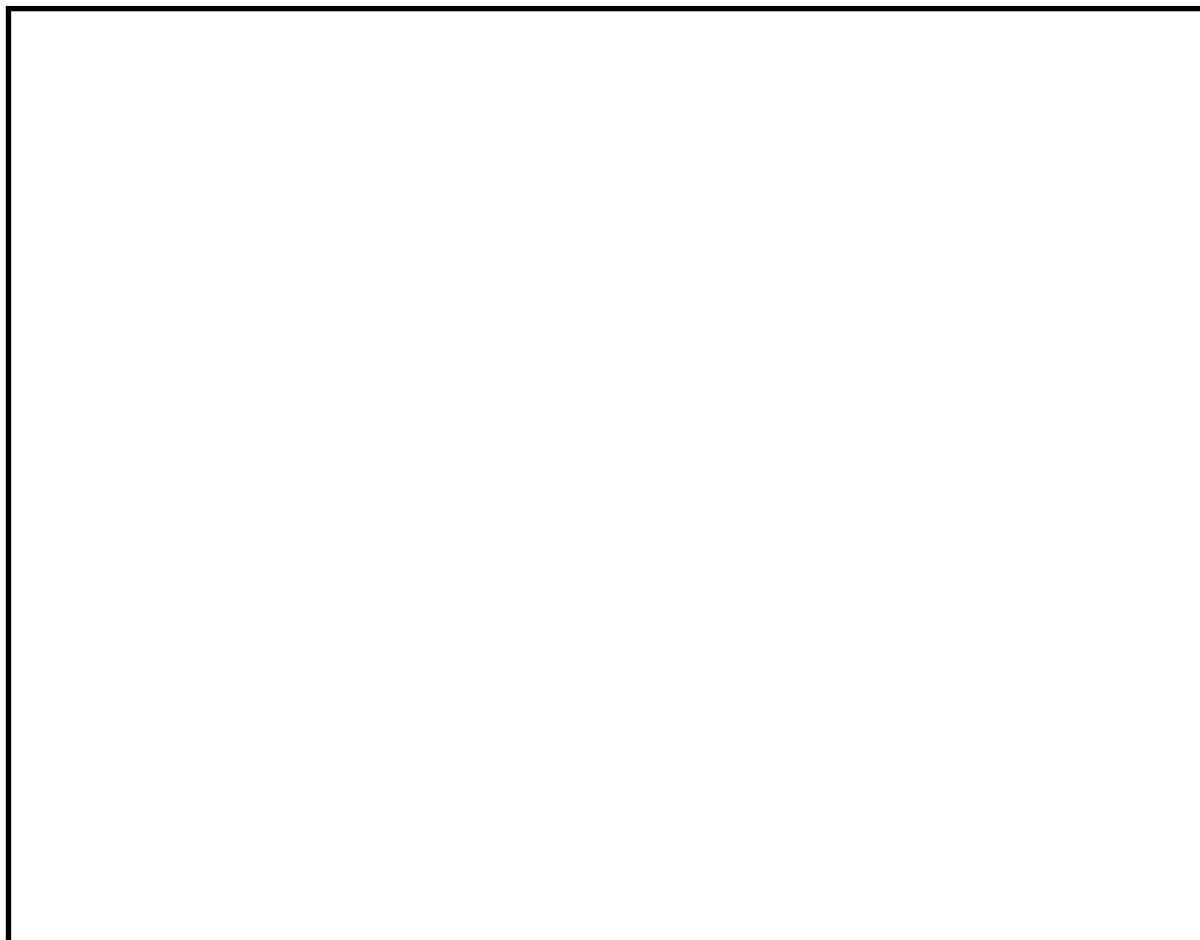


図3-1 振動モード図（1次 水平方向 0.031s）

3.5 設計用地震力

残留熱除去ポンプの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.031	0.05 以下	C _H =0.90 ^{*2}	C _V =0.47 ^{*2}	C _H =1.79 ^{*3}	C _V =0.94 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.031	0.05 以下	—	—	C _H =1.79 ^{*2}	C _V =0.94 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

残留熱除去ポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

残留熱除去ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
残留熱除去ポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3* ¹	0.031	0.05 以下	C _H =0.90* ²	C _V =0.47* ²	C _H =1.79* ³	C _V =0.94* ³	C _p =0.06	185	□	1.37	3.92

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 及び静的震度を上回る設計震度

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—	730* ¹ (径≦60mm)	868* ¹ (径≦60mm)	607	607
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	4.456×10 ⁶	635* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	4.456×10 ⁶	635* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	4.456×10 ⁶	635* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	4.456×10 ⁶	730* ¹ (径≦60mm)	868* ¹ (径≦60mm)	607	607

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	188* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	188* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

S2 補 VI-2-5-4-1-2 R1

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.031
鉛直方向	0.05 以下

15

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1} = 9$	$f_{ts1} = 455^*$	$\sigma_{b1} = 39$	$f_{ts1} = 455^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 13$	$f_{sb1} = 350$	$\tau_{b1} = 25$	$f_{sb1} = 350$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張	$\sigma_{b2} = 4$	$f_{ts2} = 444^*$	$\sigma_{b2} = 14$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 4$	$f_{sb2} = 342$	$\tau_{b2} = 8$	$f_{sb2} = 342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張	$\sigma_{b3} = 6$	$f_{ts3} = 444^*$	$\sigma_{b3} = 15$	$f_{ts3} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b3} = 3$	$f_{sb3} = 342$	$\tau_{b3} = 6$	$f_{sb3} = 342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張	$\sigma_{b4} = 8$	$f_{ts4} = 444^*$	$\sigma_{b4} = 20$	$f_{ts4} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b4} = 6$	$f_{sb4} = 342$	$\tau_{b4} = 11$	$f_{sb4} = 342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張	$\sigma_{b5} = 5$	$f_{ts5} = 455^*$	$\sigma_{b5} = 12$	$f_{ts5} = 455^*$
		せん断	$\tau_{b5} = 4$	$f_{sb5} = 350$	$\tau_{b5} = 7$	$f_{sb5} = 350$

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 46$	S _a = 188
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$	S _a = 223
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 23$	S _a = 188
		基準地震動 S _s	$\sigma = 23$	S _a = 223

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能維持の評価結果

 $(\times 9.8\text{m/s}^2)$

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-4-1-2 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10^6
2	2-3	1		8.291×10^6
3	3-4	1		1.886×10^7
4	4-5	1		1.886×10^7
5	5-6	1		1.886×10^7
6	6-7	1		1.630×10^7
7	7-8	1		1.630×10^7
8	8-9	1		1.886×10^7
9	9-10	1		4.909×10^6
10	10-11	3		8.942×10^7
11	11-12	5		5.967×10^6
12	12-13	5		2.485×10^7
13	13-14	5		1.536×10^7
14	15-16	2		9.025×10^8
15	16-17	2		2.884×10^9
16	17-18	2		2.884×10^9
17	18-19	2		3.336×10^9
18	19-20	2		3.336×10^9
19	20-21	2		1.559×10^9
20	21-22	2		1.559×10^9
21	22-23	2		1.559×10^9
22	23-36	2		1.559×10^9
23	24-25	2		1.569×10^{10}
24	25-26	2		1.569×10^{10}
25	26-27	2		1.569×10^{10}
26	27-28	2		1.569×10^{10}
27	28-29	2		1.569×10^{10}
28	29-30	2		1.569×10^{10}
29	30-31	2		1.569×10^{10}
30	32-33	4		2.014×10^{12}
31	33-34	2		1.025×10^{12}
32	34-35	2		5.432×10^{10}
33	35-36	2		5.432×10^{10}
34	36-37	4		3.766×10^{10}
35	37-38	5		9.961×10^9
36	38-39	5		9.961×10^9
37	39-40	5		1.385×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
1	15		
3	17		
6	20		
9	23		
12	38		
13	39		
17	27		
13	39		
31	33		
31	33		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	185	1.89×10 ⁵		0.3	
2	185	1.92×10 ⁵		0.3	
3		1.99×10 ⁵		0.3	
4		2.00×10 ⁵		0.3	
5		1.99×10 ⁵		0.3	

S2 補 VI-2-5-4-1-2 R1

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
残留熱除去ポンプ	常設/防止(D B 拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	0.031	0.05 以下	—	—	C _H =1.79*2	C _V =0.94*2	C _P =0.06	185	□	1.37	3.92

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト(i=1)					12	12	—	685*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(下)(i=2)					40	40	4.456×10 ⁶	635*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(上)(i=3)					40	40	4.456×10 ⁶	635*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
原動機台取付ボルト(i=4)					16	16	4.456×10 ⁶	635*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
原動機取付ボルト(i=5)					16	16	4.456×10 ⁶	685*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	—	592

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S(MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t(mm)
バレルケーシング	—	—	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	—	373*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N(rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—			
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—			
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—			
原動機取付ボルト (i=5)	—		—			

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.031
鉛直方向	0.05 以下

23

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=39$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=25$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=8$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=15$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4}=20$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=11$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張	—	—	$\sigma_{b5}=12$	$f_{ts5}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b5}=7$	$f_{sb5}=342$

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma=46$	$S_a=223$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma=23$	$S_a=223$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）により定まる加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-4-1-2 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10^6
2	2-3	1		8.291×10^6
3	3-4	1		1.886×10^7
4	4-5	1		1.886×10^7
5	5-6	1		1.886×10^7
6	6-7	1		1.630×10^7
7	7-8	1		1.630×10^7
8	8-9	1		1.886×10^7
9	9-10	1		4.909×10^6
10	10-11	3		8.942×10^7
11	11-12	5		5.967×10^6
12	12-13	5		2.485×10^7
13	13-14	5		1.536×10^7
14	15-16	2		9.025×10^8
15	16-17	2		2.884×10^9
16	17-18	2		2.884×10^9
17	18-19	2		3.336×10^9
18	19-20	2		3.336×10^9
19	20-21	2		1.559×10^9
20	21-22	2		1.559×10^9
21	22-23	2		1.559×10^9
22	23-36	2		1.559×10^9
23	24-25	2		1.569×10^{10}
24	25-26	2		1.569×10^{10}
25	26-27	2		1.569×10^{10}
26	27-28	2		1.569×10^{10}
27	28-29	2		1.569×10^{10}
28	29-30	2		1.569×10^{10}
29	30-31	2		1.569×10^{10}
30	32-33	4		2.014×10^{12}
31	33-34	2		1.025×10^{12}
32	34-35	2		5.432×10^{10}
33	35-36	2		5.432×10^{10}
34	36-37	4		3.766×10^{10}
35	37-38	5		9.961×10^9
36	38-39	5		9.961×10^9
37	39-40	5		1.385×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
1	15		
3	17		
6	20		
9	23		
12	38		
13	39		
17	27		
13	39		
31	33		
31	33		

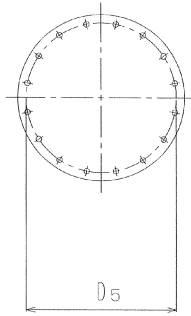
(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

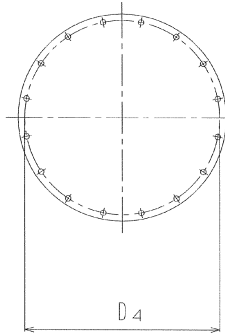
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	185	1.89×10 ⁵		0.3	
2	185	1.92×10 ⁵		0.3	
3		1.97×10 ⁵		0.3	
4		1.98×10 ⁵		0.3	
5		1.98×10 ⁵		0.3	

原動機取付ボルト



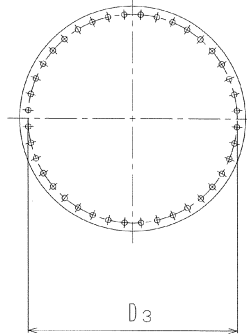
A~A矢視図

原動機台取付ボルト



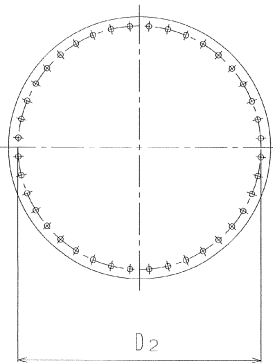
B~B矢視図

ポンプ取付ボルト (上)



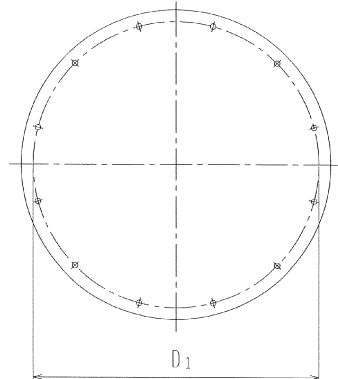
C~C矢視図

ポンプ取付ボルト (下)

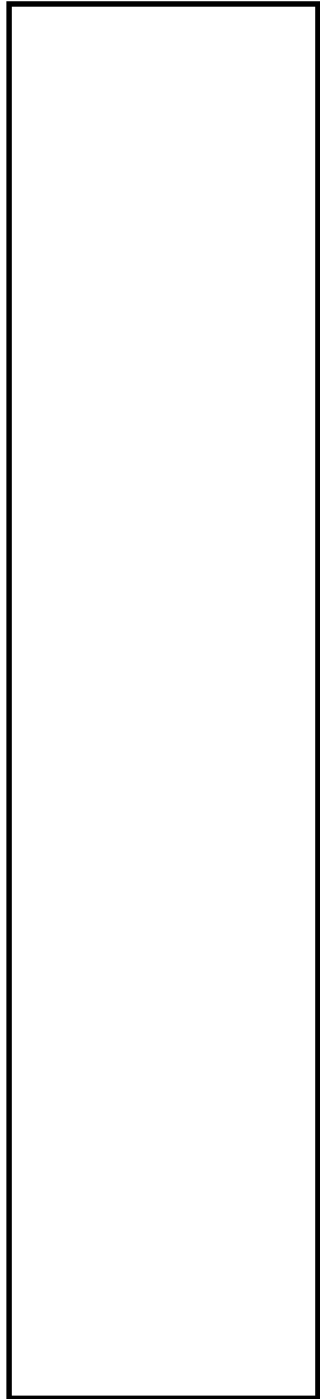
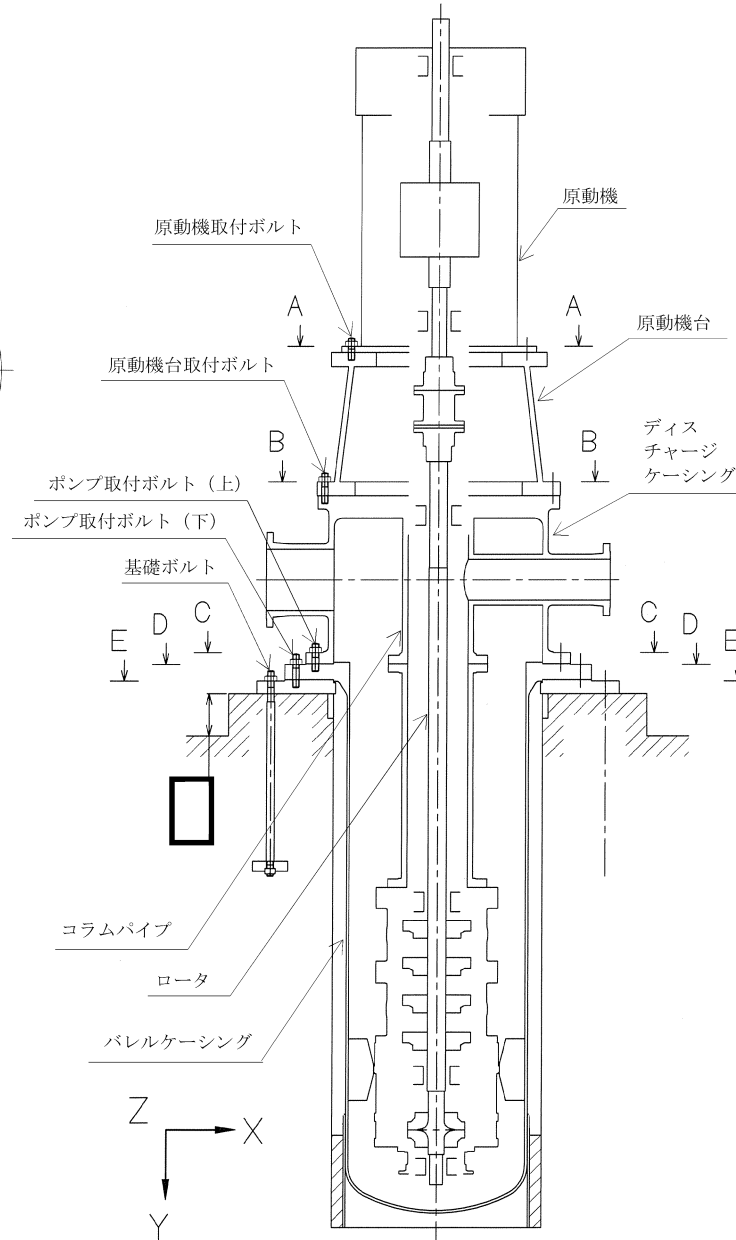


D~D矢視図

基礎ボルト



E~E矢視図



VI-2-5-4-1-3 残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
4.2.2 許容応力	13
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	14
4.2.4 設計荷重	20
4.3 解析モデル及び諸元	24
4.4 固有周期	30
4.5 設計用地震力	30
4.6 計算方法	35
4.6.1 応力評価点	35
4.6.2 応力の計算方法	37
4.7 計算条件	42
4.8 応力の評価	42
5. 評価結果	43
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	43
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	43
6. 引用文献	44

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、残留熱除去系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ストレーナは、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、残留熱除去系ストレーナが接続されるサプレッションチェンバ胴部の構造強度評価については、VI-2-9-2-11「配管貫通部の耐震性についての計算書」に代表配管貫通部の評価を示す。

残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナは同形状のストレーナを使用することから、本計算書では残留熱除去系ストレーナの解析モデルを採用する。また、そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ストレーナはサブプレッションプール内に水没された状態で設置されており、コネクタ又はサブプレッションチェンバ胴部に取り付けられたティーにフランジ及び取付ボルトにより据え付けられる。コネクタは、ストレーナとサブプレッションチェンバ補強リングとの干渉を回避するために設置される。	外径 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円錐支持ディスクで構成される鋼製構造物である。	<p>サブプレッションチェンバ胴部</p> <p>A~A矢視図 B~B矢視図 C~C矢視図</p> <p>サブプレッションチェンバ補強リング</p> °, EL."/> <p>側面図 側面図 側面図</p> <p>X-201 (残留熱除去系) X-202 (残留熱除去系) X-208 (低圧炉心スプレイ系)</p> <p>X-203 (残留熱除去系)</p> <p>X-210 (高圧炉心スプレイ系)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ストレーナの応力評価は、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

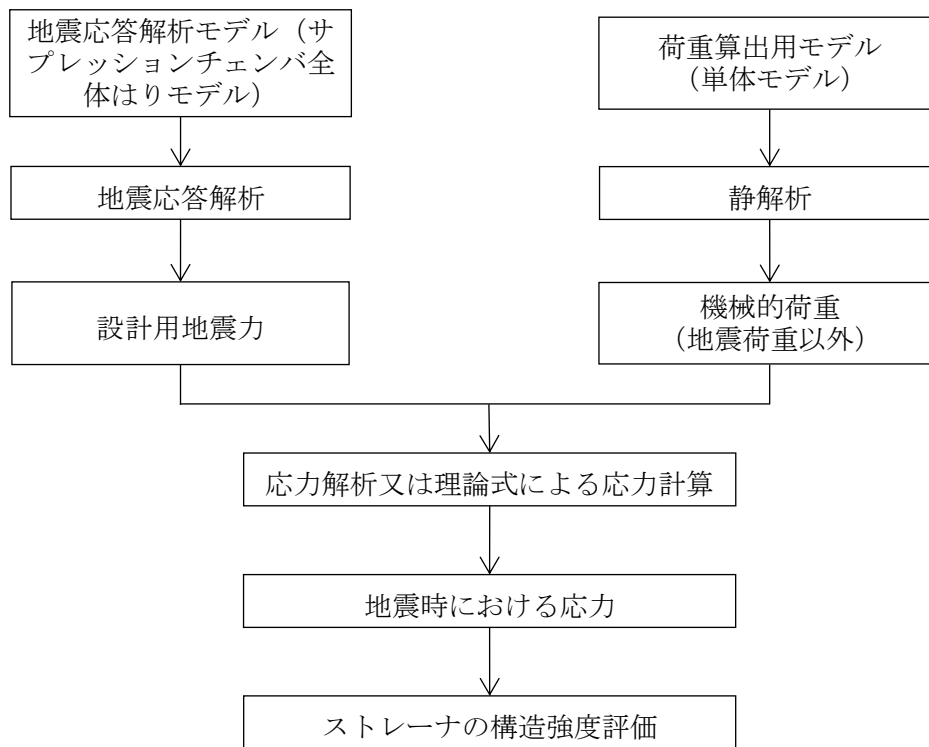


図 2-1 ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）
（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D _i	各部位の径* ¹	mm
d	孔径, ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f _t	ボルトの発生応力	MPa
L _i	各部位の長さ* ²	mm
ℓ	ディスク間ギャップ, ボルトのZ軸からの距離	mm
M	モーメント	N・mm
n	ボルトの本数	—
P	孔の間隔 (中心間)	mm
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	N
X	軸直角方向 (水平)	—
Y	軸方向	—
Z	軸直角方向 (鉛直)	—
β	形状係数	—
σ _r	曲げ応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

注記*1：D_iの添字iの意味は，以下のとおりとする。

- i = 1 : ディスクセット外径
- i = 2 : フランジ内径
- i = 3 : トップフランジ外径
- i = 4 : フランジ外径
- i = 5 : ボルト孔中心円直径

*2：L_iの添字iの意味は，以下のとおりとする。

- i = 1 : ディスクセット全高
- i = 2 : トップフランジ厚さ
- i = 3 : コンプレッションプレート高さ
- i = 4 : フランジ厚さ
- i = 5 : ストラップ長さ
- i = 6 : ストラップ幅

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位 ^{*1}
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*2}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

ストレーナの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、主要部品であるディスク、スペーサ、リブ、コンプレッションプレート、フィンガ、ストラップ、フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

ストレーナの全体配置、鳥観図、取付状況、形状及び主要寸法を図 3-1、図 3-2 に示し、ディスクセット幅及びスペーサ内径を表 3-1 に示す。

なお、ストレーナについては、サブプレッションチェンバ補強リングとの干渉を回避するため、コネクタを追加している。

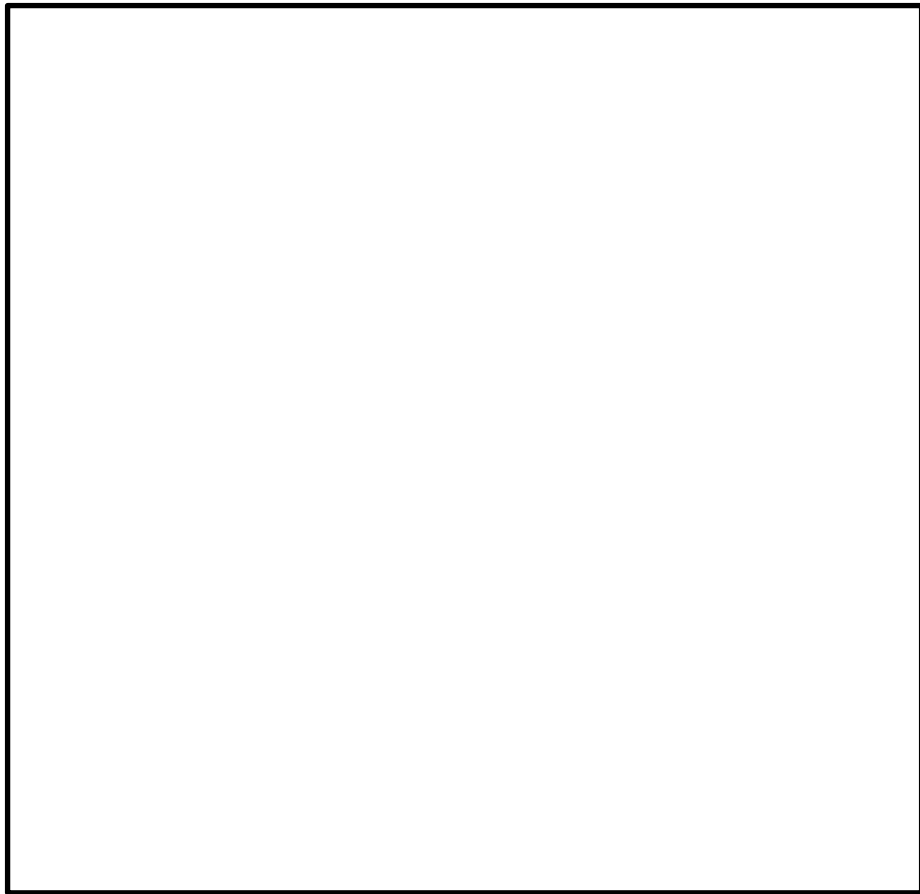


図 3-1(1) 全体配置図

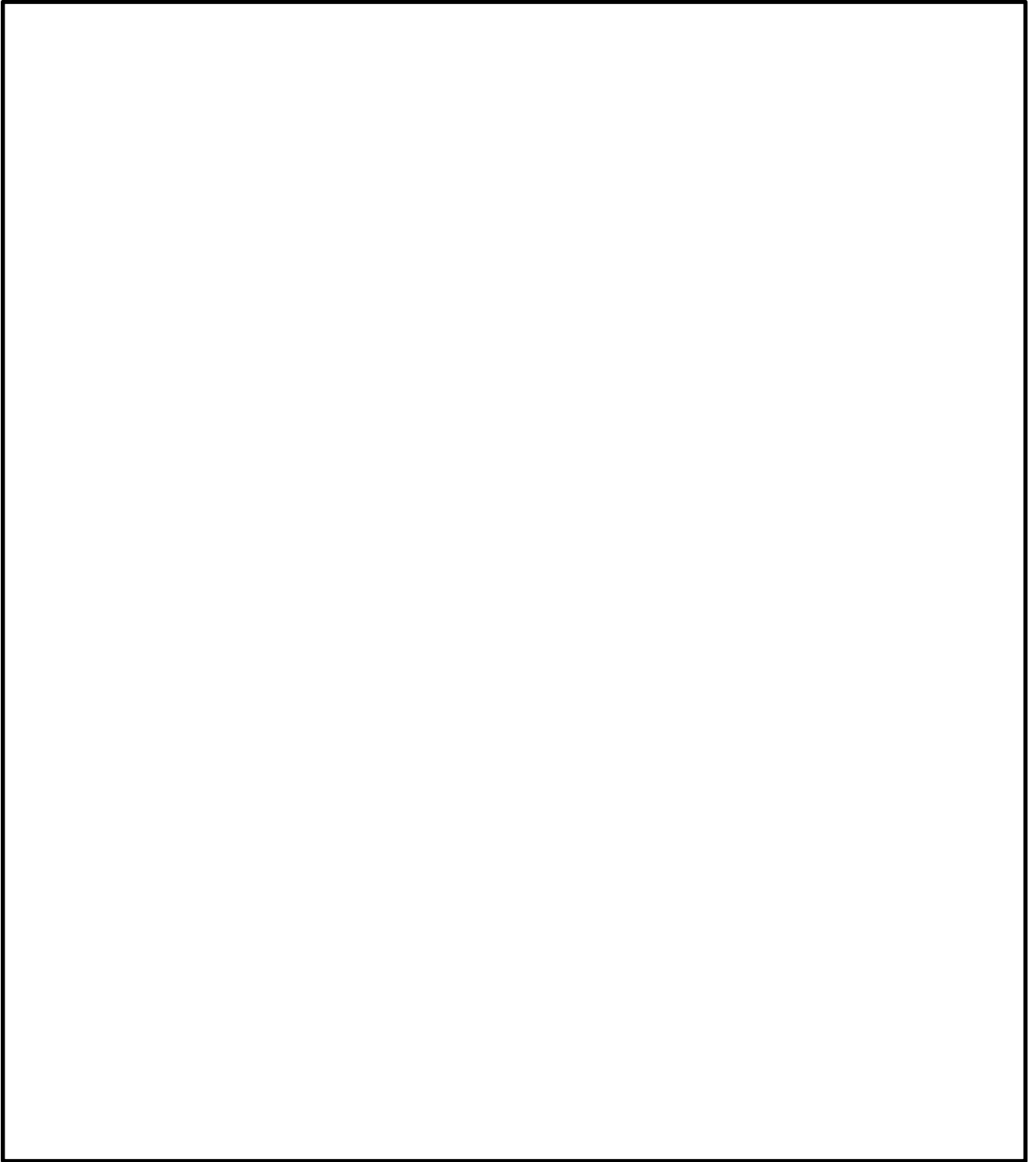


図 3-1(2) ストレーナ鳥観図

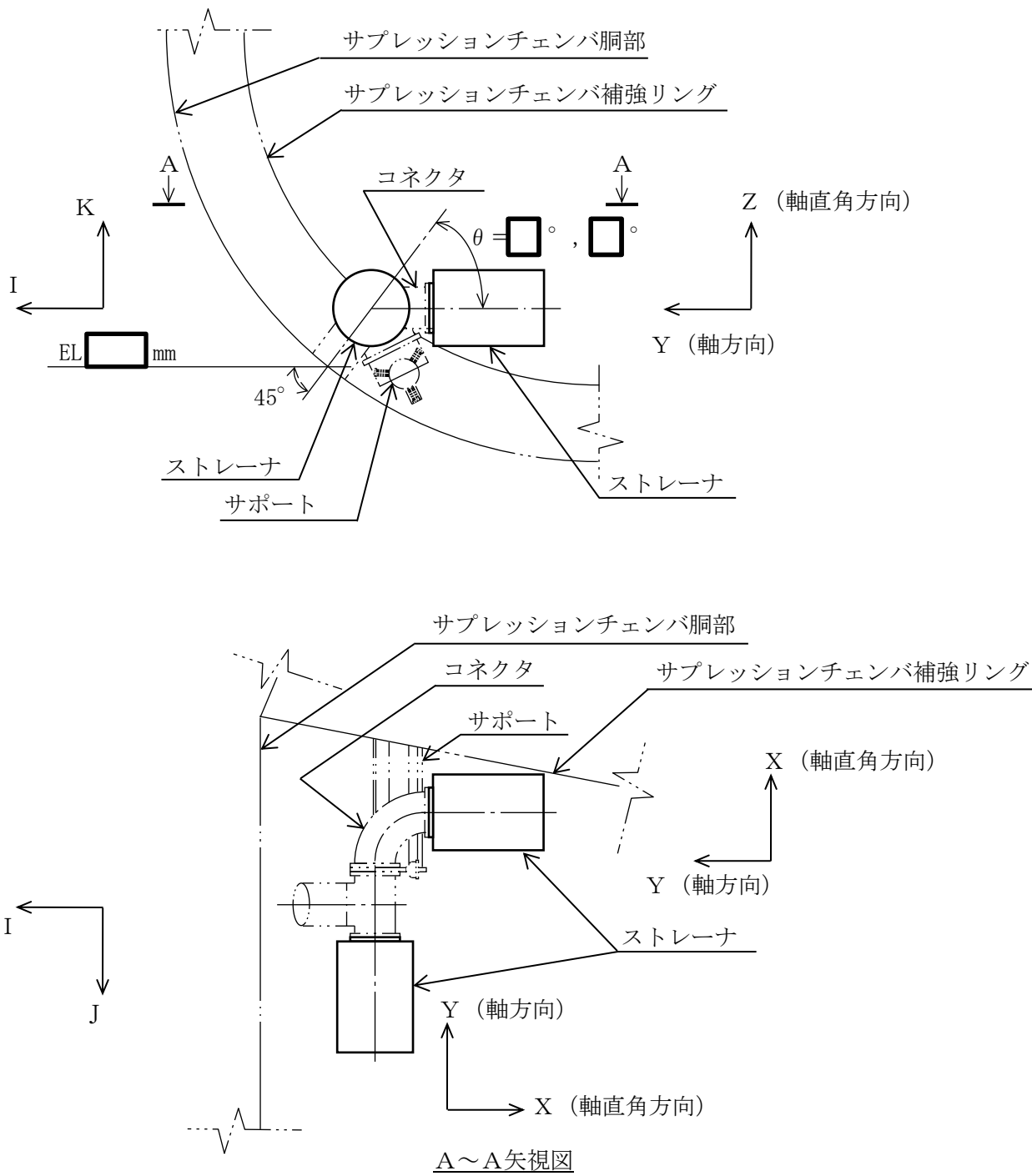


図 3-1(3) ストレーナの取付状況

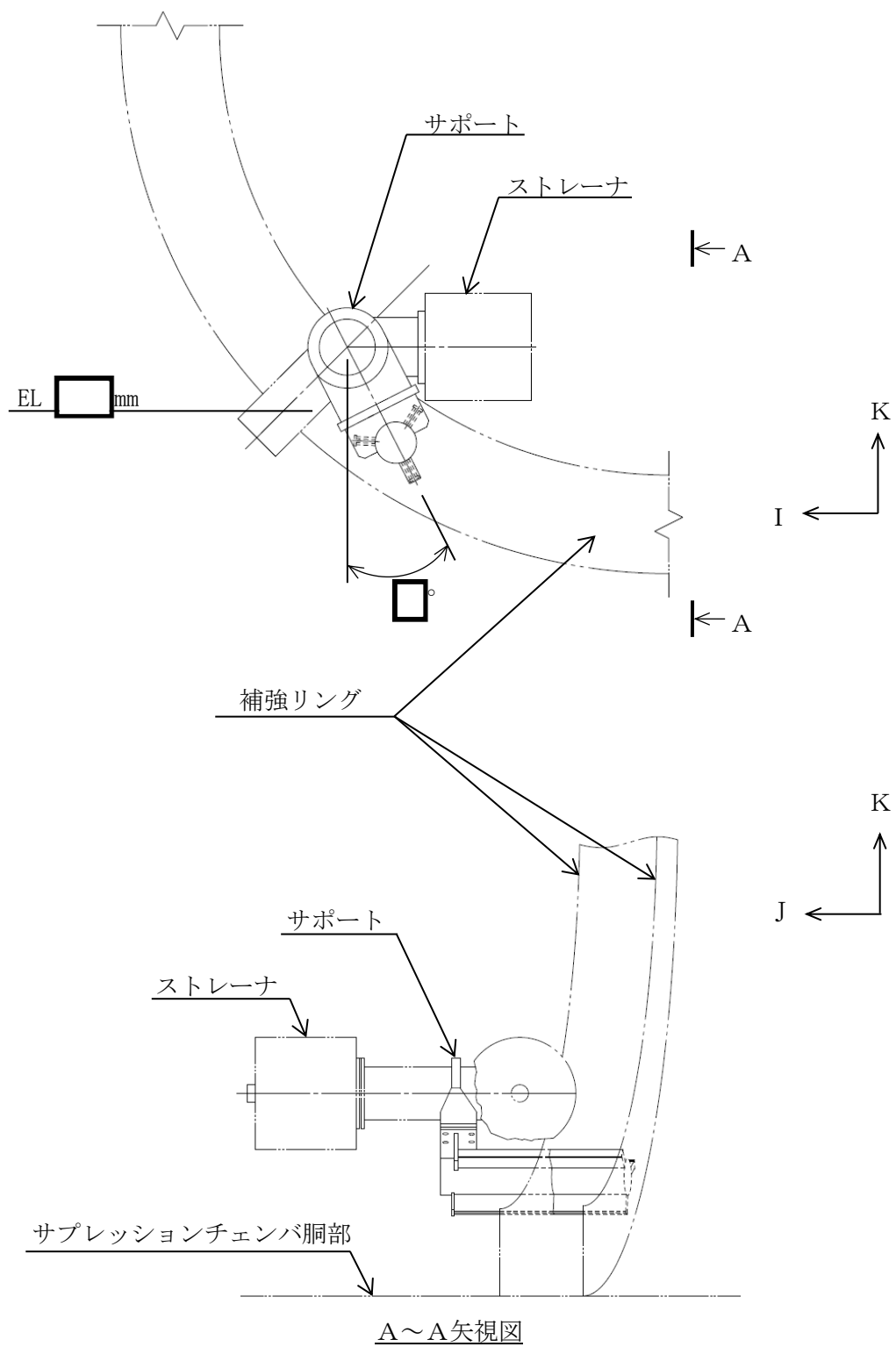
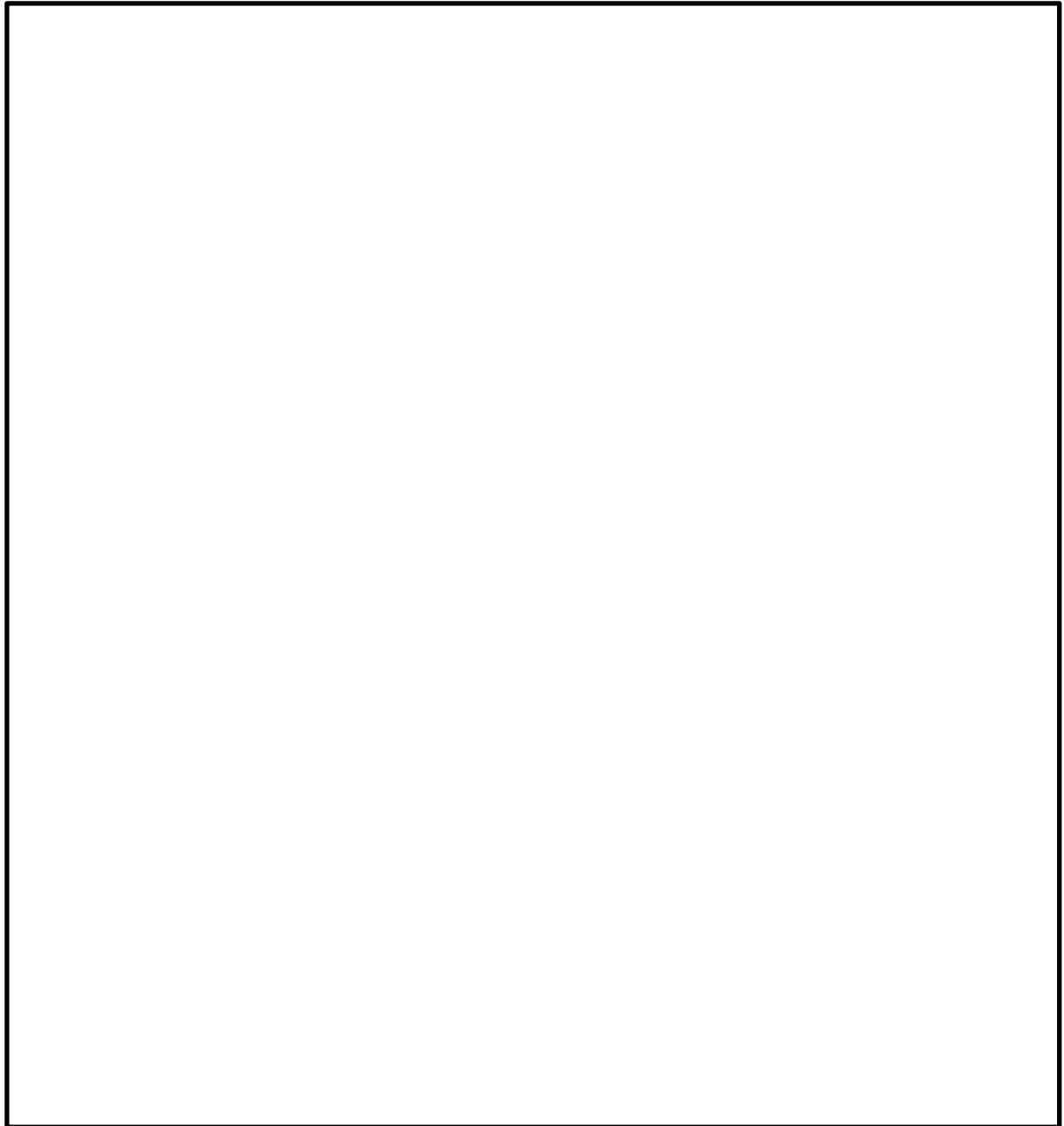


図 3-1(4) ストレナー取付部サポートの形状及び主要寸法



A～A矢視図

$D_1 =$ $D_2 =$ $D_3 =$ $D_4 =$ $L_1 =$ $L_2 =$ $L_3 =$
 $L_4 =$ $L_5 =$ $L_6 =$ $l =$ $d =$ $P =$

①ディスクセット 1

②中間ディスクセット (2～14)

③ディスクセット 15

④スペーサ (1～14)

⑤リブ (厚さ mm)

⑥コンプレッションプレート (厚さ mm)

⑦フィンガ* (厚さ mm)

⑧ディスクサポートリング (厚さ mm)

⑨ストラップ (厚さ mm)

⑩ボトムスペーサ

⑪フランジ, ストレーナ取付部ボルト

(①～④及び⑩は多孔プレート形状であり, 多孔プレートの厚さは mm である。)

注記*: ディスクセット 13～15におけるロングフィンガの厚さは mm である。

図 3-2 ストレーナの形状及び主要寸法 (単位: mm)

表 3-1 ディスクセット幅及びスペーサ内径

(単位：mm)

ディスクセット番号	ディスクセット幅	スペーサ内径

注：各部品寸法はインチから換算した値であるため，桁処理の影響で合計値が公称値と一致しない場合がある。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ストレーナの水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重は、コネクタ、ティー、原子炉格納容器貫通部及びサポートを介してサブプレッションチェンバに伝達される。
 ストレーナの構造強度評価における固有値解析、応答解析、及び応力計算は、三次元はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。
- (2) 地震荷重以外の荷重（死荷重及び水力学的動荷重）を 4.3(1)項に示す三次元はりモデル（以下「荷重算出用モデル（単体モデル）」という。）により算出する。
- (3) 固有値及び地震荷重を 4.3(2)項に示す三次元はりモデル（以下「地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）」という。）により算出する。
- (4) 4.6.2(1)項に示す三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）を用いてストレーナ本体、4.6.2(2)項及び 4.6.2(3)項に示す方法を用いてフランジ及びボルトの応力計算を行う。
- (5) ストレーナの質量には、ストレーナに付着する異物量を考慮し、荷重の算出において組み合わせるものとする。
- (6) 地震力は、地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。ストレーナの軸方向（図 3-1(3)の Y 方向）及び軸直角方向（図 3-1(3)の X 方向及び Z 方向）の荷重を算出し、軸直角方向荷重は二乗和平方根により合成する。また、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重（軸方向及び軸直角方向）の組み合わせには S R S S 法を適用する。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値に基づき設定する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また、荷重の組合せ整理表を表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 及び表 4-5 に示す。なお、評価対象は、構造又は形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分小さいため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ストレーナの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

多孔プレート	<input type="checkbox"/>
リブ	<input type="checkbox"/>
コンプレッションプレート	<input type="checkbox"/>
フィンガ	<input type="checkbox"/>
ストラップ	<input type="checkbox"/>
フランジ	<input type="checkbox"/>
ストレーナ取付部ボルト	<input type="checkbox"/>

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ	S	クラス 2	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ _A S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高压炉心スプレイ系 ストレーナ	S	クラス 2	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ _A S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低压炉心スプレイ系 ストレーナ	S	クラス 2	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ _A S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ	常設耐震／防止 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表4-3 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		許容 応力 状態
					運転時	中小 破断時	プール スウェル	蒸気 凝縮 (CO)	チャギング (CH)	S d* 荷重	S s 荷重	
DBA* ¹	DBA-1	運転状態 I	○							○		ⅢAS
	DBA-2	運転状態 I	○								○	ⅣAS
	DBA-3	運転状態 II	○			○				○		ⅢAS
	DBA-4	運転状態 II	○			○					○	ⅣAS
	DBA-5	運転状態Ⅳ (L)	○	○	○					○		ⅢAS
SA* ²	SA-1	運転状態Ⅴ (L) * ³	○	○	○					○		ⅤAS * ⁴
	SA-2	運転状態Ⅴ (LL)	○	○	○						○	ⅤAS * ⁴

17 注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ (L) の評価は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 178℃とした運転状態Ⅴ (LL) の評価で代表される。

*4：許容応力状態ⅤASとしてⅣASの許容応力を用いる。

表4-4 許容応力（クラス2管及び重大事故等クラス2管）

許容応力状態	許容限界*1		
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力*2
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	S_y ただし、オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	Sd又はSs地震動のみによる疲労解析を行 い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は 不要。
ⅣAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の1.5倍の値	
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)			Ss地震動のみによる疲労解析を行い、疲労 累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は 不要。

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表4-5 許容応力（クラス2耐圧部テンションボルト及び重大事故等クラス2耐圧部テンションボルト）

許容応力状態	許容限界
ⅢAS	$1.5 \cdot S$
ⅣAS	$2 \cdot S$
VAS (VASとしてⅣASの許容限界を用いる。)	

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
多孔プレート		最高使用温度	104				—
リブ, フランジ等		最高使用温度	104				—
ストレーナ取付ボルト		最高使用温度	104				—

表4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
多孔プレート		最高使用温度	178				—
リブ, フランジ等		最高使用温度	178				—
ストレーナ取付ボルト		最高使用温度	178				—

4.2.4 設計荷重

(1) 死荷重

ストレーナの自重による荷重及びストレーナに付着する異物の自重による異物荷重の 2 つの死荷重を考慮する。

ストレーナの自重 = N

異物荷重 = N

(2) 差圧

差圧による荷重*は、異物付着時のストレーナを通しての最大設計差圧より設定し、以下のとおりとする。

また、差圧による荷重の作用方向を図 4-1 に示す。

差圧荷重 = MPa

注記*：差圧による荷重は運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

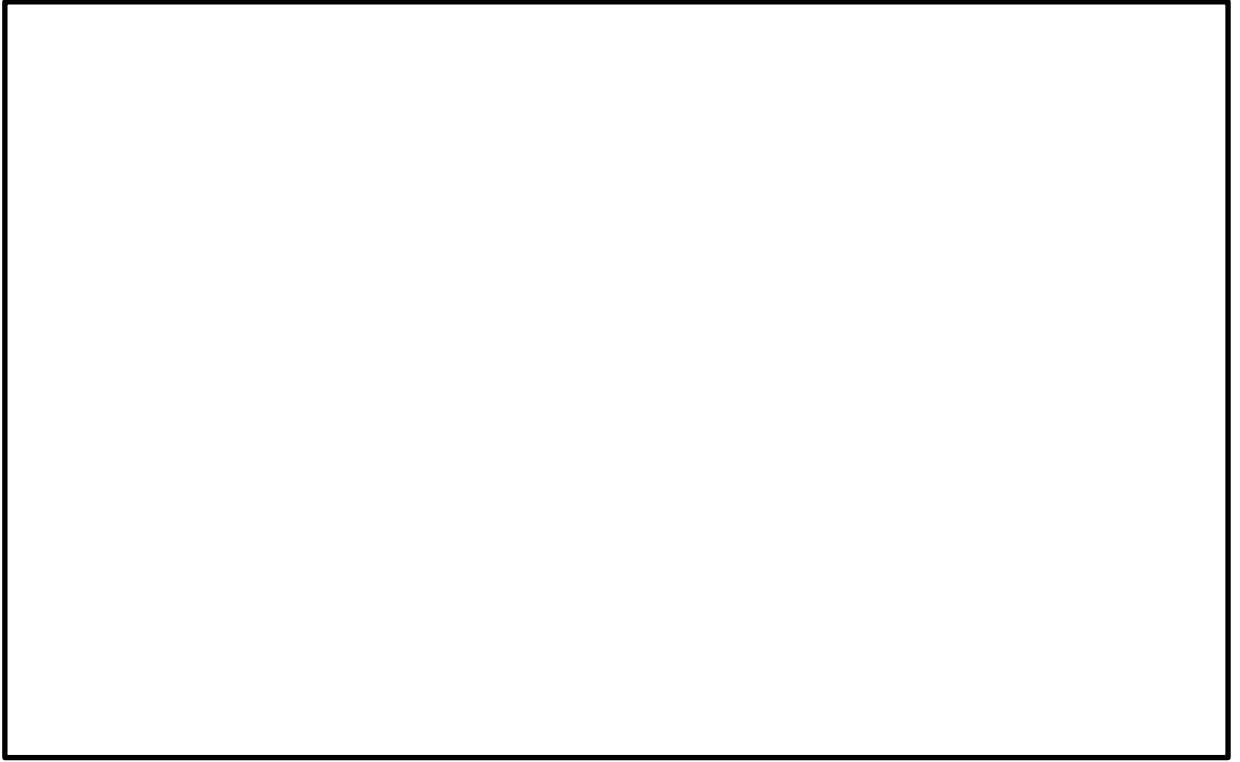


図 4-1 差圧荷重の作用方向

(3) 水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

逃がし安全弁作動時には、サプレッションチェンバ内の水中構造物に水力学的動荷重が作用する。この荷重については、原子力安全委員会が策定した評価指針（以下「MARK I 動荷重指針」という。）及び引用文献(1)～(3)に準じて荷重の評価を実施する。

MARK I 動荷重指針及び引用文献(1)～(3)に基づき、ストレーナに加わる水力学的動荷重を算出した結果を表4-8に示す。表4-8に示した荷重は、考慮すべき水力学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値であり、地震荷重と組み合わせる逃がし安全弁作動時荷重のみ記載する。

なお、ストレーナは、逃がし安全弁作動時荷重として、排気管内にたまっていた水の噴流による荷重（水ジェット）、排気管内にたまっていた非凝縮性ガスの膨張・収縮による荷重（気泡振動）、及び排気管から流入する蒸気の凝縮による荷重のうち、蒸気凝縮過程による荷重については十分小さいため評価対象としない。また、気泡振動による荷重は、流速の変化率によって生じる荷重（加速度ドラッグ荷重）と流速の大きさによって生じる荷重（定常ドラッグ荷重）の代数和とし、水ジェットによる荷重と気泡振動による荷重の包絡値を逃がし安全弁作動時荷重として用いる。

水力学的動荷重の作用方向を図4-2に示す。

軸方向の荷重は、引用文献(4)の考え方に基づき、最前列のディスクと最後列のディスクで軸方向荷重の1/2ずつを受け持つとし、この荷重を最前列と最後列のディスクの投影面積で除算し、軸方向の圧力荷重として作用させる。

軸直角方向の荷重は、ストレーナの片面のみで荷重を受け持つとし、ストレーナの片面の投影面積で軸直角方向荷重を除算し、軸直角方向の圧力荷重として作用させる。

表4-8 水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

（単位：N）

荷重名称	軸方向荷重	軸直角方向荷重
SRV荷重（運転時）		

注1：方向は図3-1(3)参照。ただし、軸直角方向（水平方向X及び鉛直方向Z）については、二乗和平方根としている。

注2：加速度ドラッグ荷重と定常ドラッグ荷重との代数和としている。

注3：水ジェットによる荷重と気泡振動による荷重の包絡値としている。

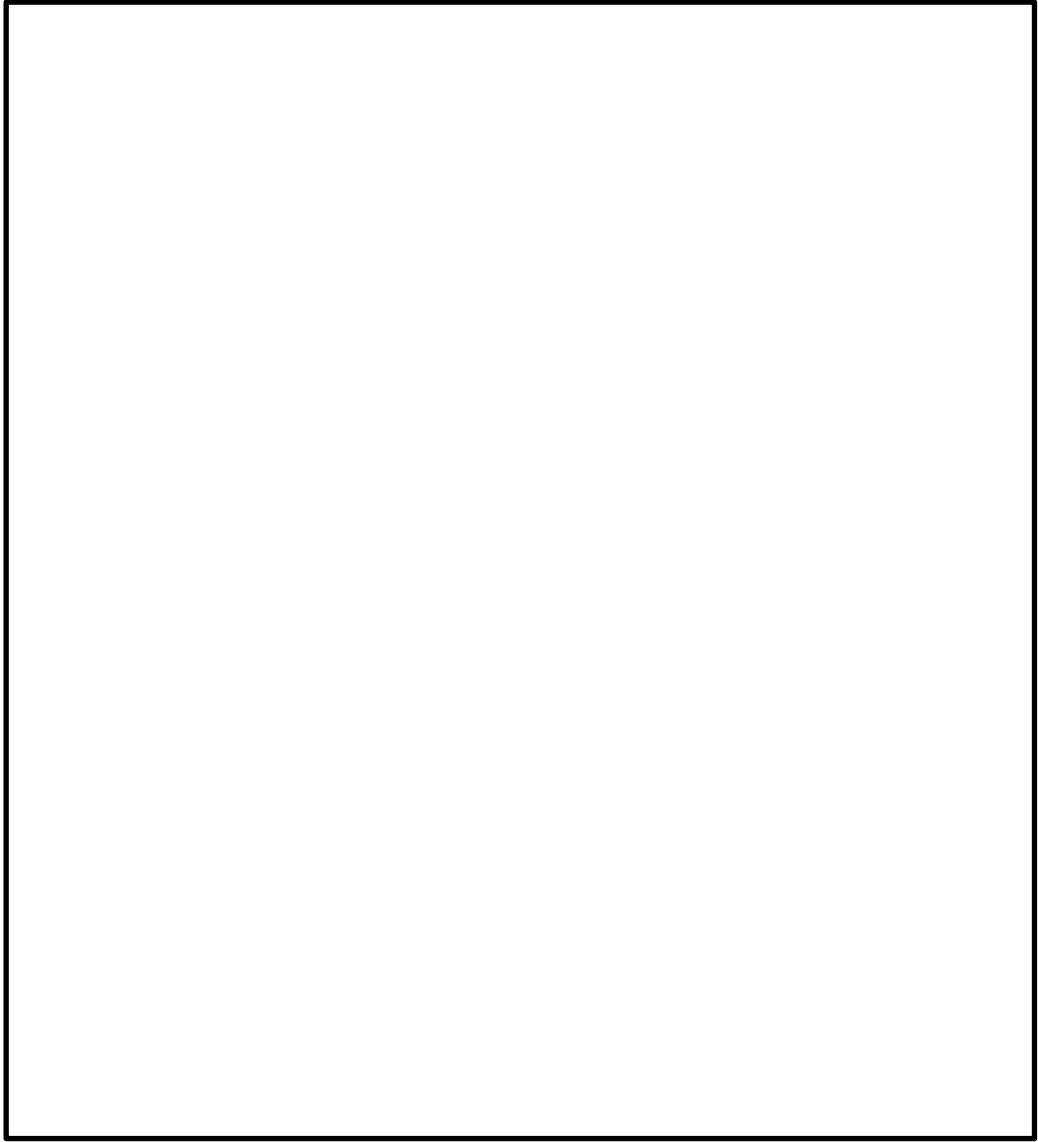


図 4-2 水力的動的荷重の作用方向

4.3 解析モデル及び諸元

本項においては、荷重算出用モデル（単体モデル）及び地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）について説明する。なお、ストレーナ本体の応力計算に用いた応力解析用モデルについては、4.6.2項で説明する。

(1) 荷重算出用モデル（単体モデル）

ストレーナの荷重算出用モデル（単体モデル）を図 4-3(1)及び図 4-3(2)に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目、解析モデルの諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算結果】の解析モデルの諸元に示す。なお、本モデルは、VI-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示す荷重算出用モデル（単体モデル）と同じモデルである。また、4.3(2)項に示す地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）では、サプレッションチェンバを模擬したはり要素に本モデルを接続している。

- a. 荷重算出用モデル（単体モデル）ではストレーナからサプレッションチェンバ胴部までをはり要素を用いた三次元はりモデルとしてモデル化して解析を行い、地震荷重以外の荷重（死荷重及び水力学的動荷重）を算出する。
- b. ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており、構造上十分に剛性が高いため、剛体としてモデル化する。また、ストレーナ取付角度に応じた2種類の解析モデルによる解析結果を包絡した荷重を用いる。
- c. ストレーナ部ティーとサプレッションチェンバ胴部は溶接構造で取り付けられている。荷重算出用モデル（単体モデル）では、ストレーナ部ティーの付根部はサプレッションチェンバ胴部の局部剛性を模擬し、剛性の影響の大きいサプレッションチェンバ胴部の面外方向（貫通部スリーブ軸方向及び軸直角2軸回り回転方向）のばねを設定する。ばねとサプレッションチェンバ胴部の接続部は完全拘束する。

サプレッションチェンバ胴部の面外方向ばね定数設定には、図 4-3(3)に示すような、サプレッションチェンバ胴部及び貫通部スリーブをシェル要素でモデル化した有限要素法による解析を実施している。

図 4-3(3)に示すとおり、貫通部スリーブ先端に単位荷重を負荷し、解析結果として変位又は変位角を得る。ばね定数は、入力単位荷重と解析結果の変位又は変位角の比として設定される。

- d. ストレーナ取付部サポートはサポートプレート及びサポートパイプにより構成されており、サポートプレートはストレーナ部ティーとストレーナ取付部コネクタの間に挟まる形で取り付けられ、サポートパイプはサプレッションチェンバ補強リングに溶接構造で接続されている。荷重算出用モデル（単体モデル）では、サポートパイプを模擬したはり要素にサポートプレートの剛性を模擬したばねを接続する。サポートプレートの剛性としては、剛性の影響の大きい方向（並進3方向）のばねを設定する。また、サポートパイプには補

強リブを考慮した剛性を設定する。サポートパイプとサプレッションチェンバ補強リングの接続部は完全拘束する。

サポートプレートのばね定数設定には、図 4-3(4)に示すような、サポートプレートをシェル要素でモデル化した有限要素法による解析を実施している。これは、荷重算出用モデル（単体モデル）においてばね要素でモデル化しているサポートプレートをシェル要素に置き換えたもので、サポートプレートのモデル化以外は荷重算出用モデル（単体モデル）と同じものである。

図 4-3(4)に示すとおり、サポートプレートとストレーナ部ティの接続部に単位荷重を負荷し、解析結果としてサポートプレートの負担荷重及び変位を得る。ばね定数は、サポートプレートの負担荷重と、荷重出力点と荷重入力点の相対変位の比として設定される。

- e. ストレーナ取付部サポートを除く各部の質量は、各部の重心位置（図 4-3(1)及び図 4-3(2)の○の節点）に集中質量を与える。また、ストレーナ取付部サポートのサポートプレート部の質量はサポートプレートを模擬したばねの両端に集中質量を与え、サポートパイプ部の質量は密度をはり要素に与える。
- f. 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため、荷重算出用モデル（単体モデル）では内包水の質量及び付加質量（機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量）をストレーナ質量に含める。また、異物の質量も応答解析において考慮する。
- g. モデル全体に鉛直方向の重力加速度を入力し、各評価部位の死荷重を算出する。また、各部に作用する水学的動的荷重を各部の重心位置に入力し、各評価部位の水学的動的荷重を算出する。
- h. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値及び荷重を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

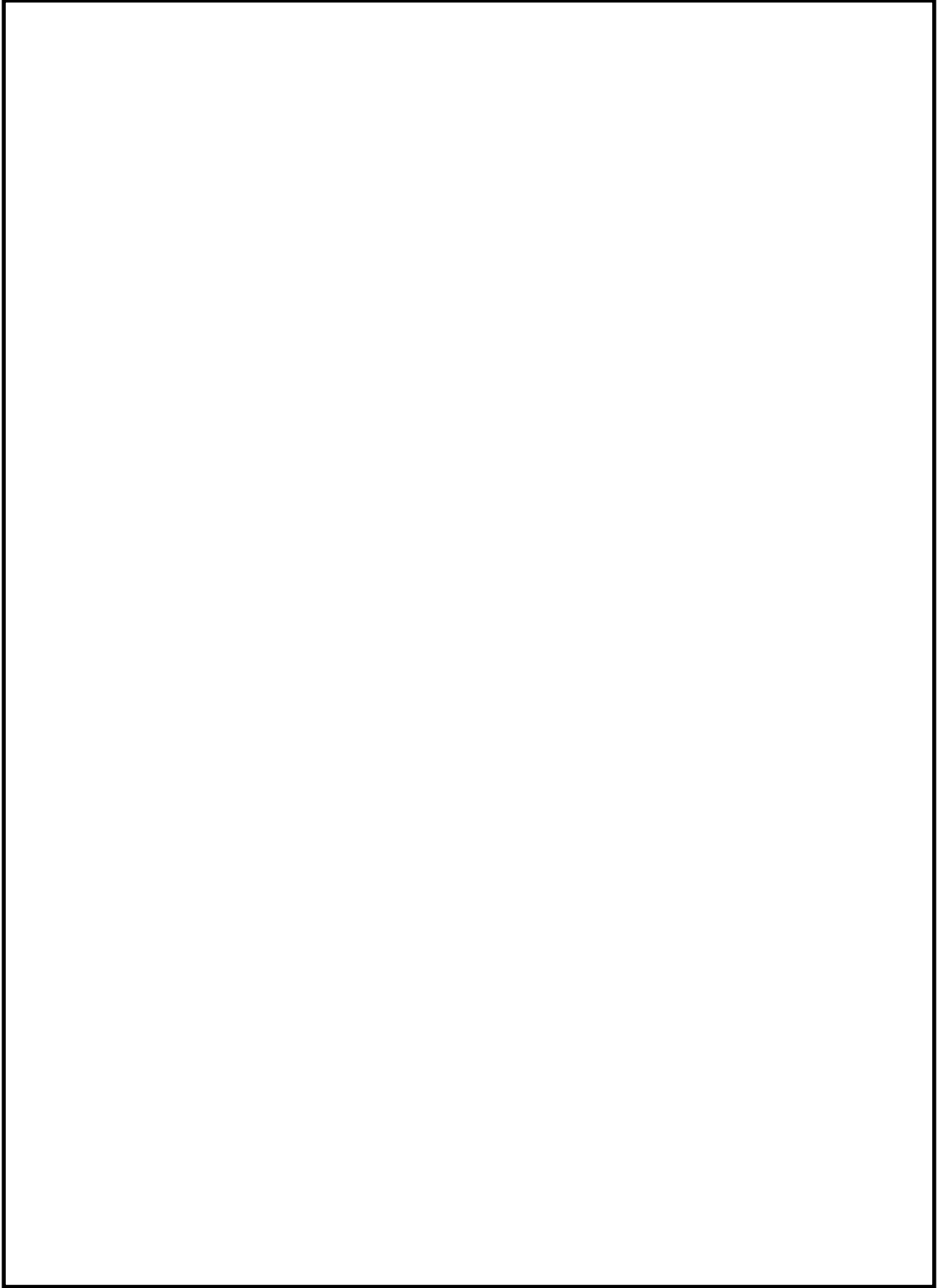


図 4-3(1) 荷重算出用モデル (単体モデル)

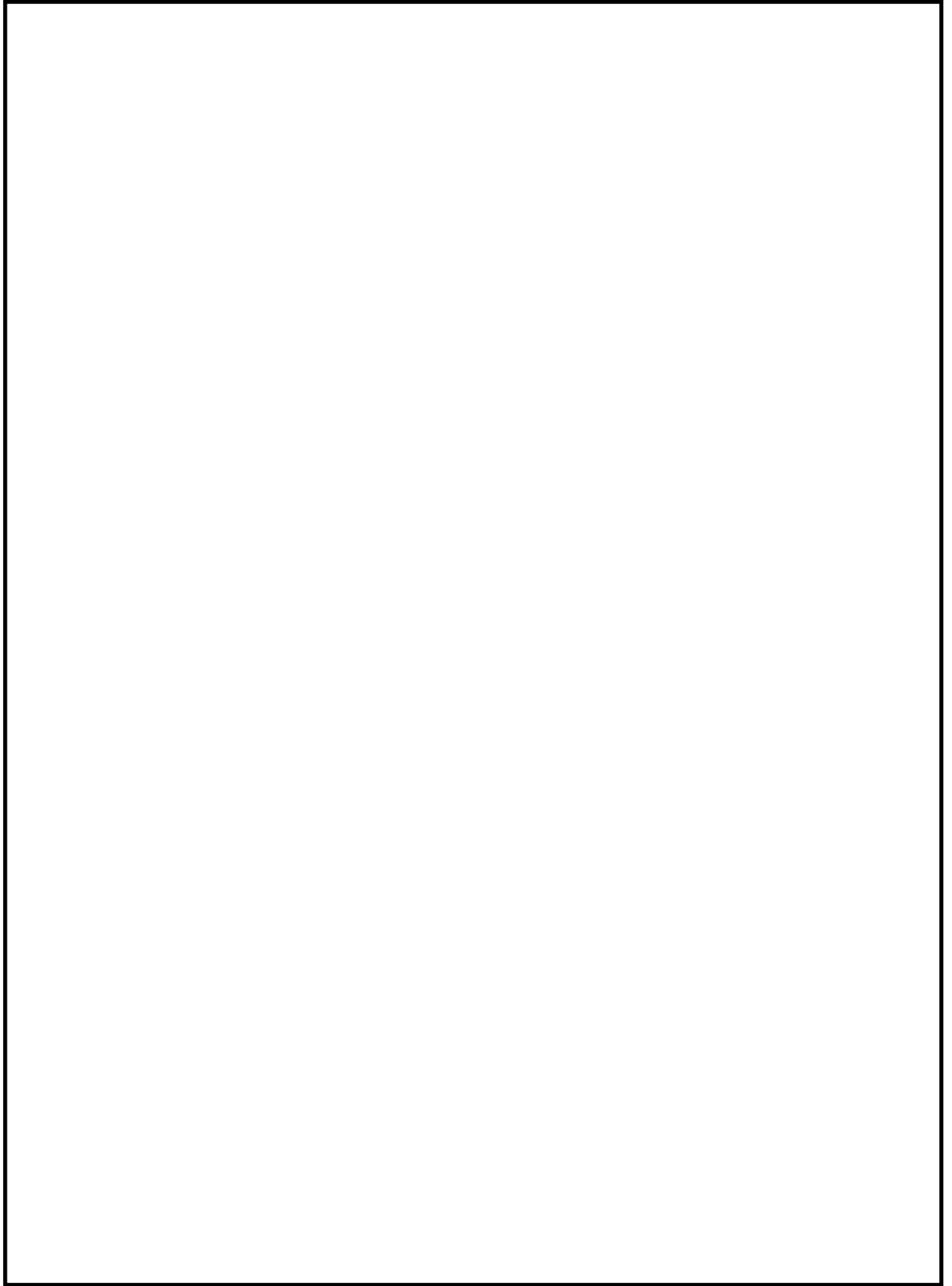


図 4-3(2) 荷重算出用モデル (単体モデル)

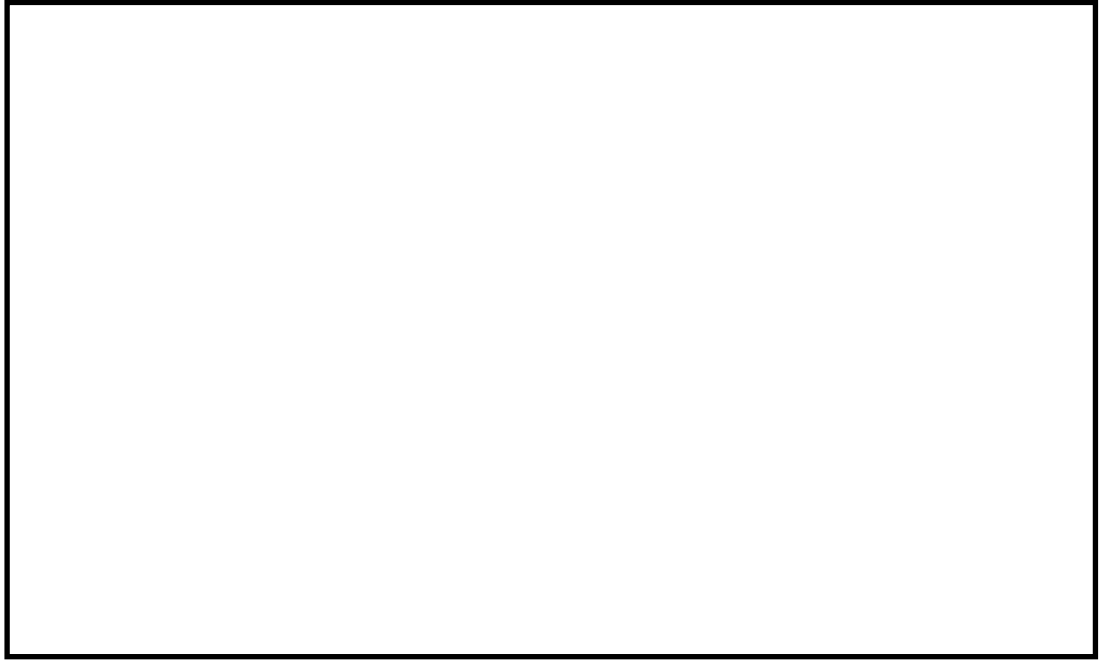


図 4-3(3) サプレッションチェンバ胴部ばね定数設定モデル

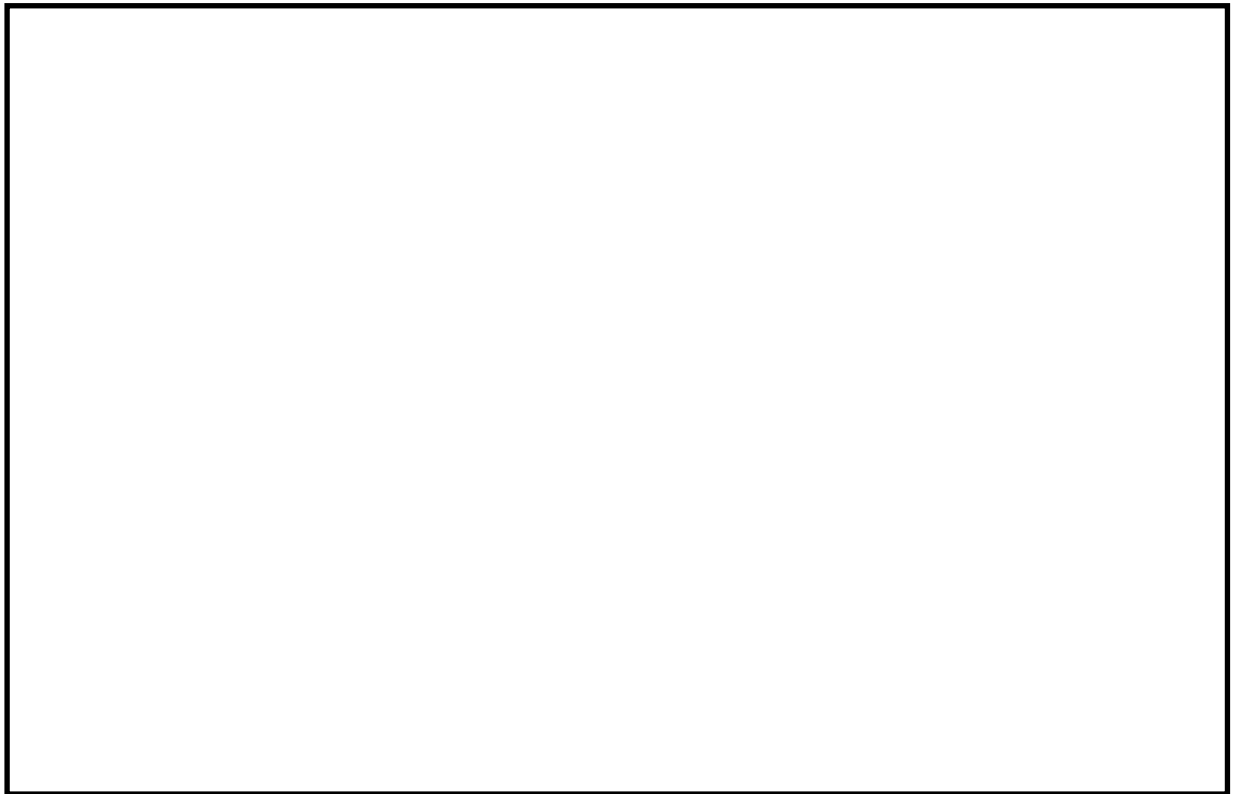


図 4-3(4) サポートプレートばね定数設定モデル

(2) 地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）

ストレーナの地震応答解析には、VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）を適用する。地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）では、サブプレッションチェンバを模擬したはり要素に、4.3(1)項に示す残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ、低圧炉心スプレイ系ストレーナの荷重算出用モデル（単体モデル）を結合した三次元はりモデルを用いて解析を行い、固有値及び地震荷重を算出する。

荷重算出用モデル（単体モデル）において、拘束点と設定しているサブプレッションチェンバ胴部及びサブプレッションチェンバ補強リングとの接続点でサブプレッションチェンバを模擬したはり要素に結合する。

なお、地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）では、サブプレッションチェンバ内部水の質量が水平方向と鉛直方向で地震時の有効質量が異なることを考慮し、水平方向と鉛直方向の2つの解析モデルを用いる。

本モデルの概要及び機器の諸元は、VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」にて説明するため、ここでは記載を省略する。

4.4 固有周期

地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）を用いた固有値解析の結果は、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。なお、荷重算出用モデル（単体モデル）における固有値解析結果を図4-4に示す。



図4-4 固有値解析結果（単体モデル）

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-9及び表4-10、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-11及び表4-12に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。なお、図3-1(3)に示す軸方向及び軸直角方向に作用する地震力を表4-13に示す。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：－					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度*4		応答鉛直 震度	応答水平震度*5		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>		－	<input type="text"/>		－
2次				－			－
3次				－			－
4次				－			－
5次				－			－
6次				－			－
7次				－			－
8次				－			－
9次				－			－
10次				－			－
11次				－			－
12次				－			－
13次				－			－
14次				－			－
15次				－			－
16次				－			－
17次				－			－
動的震度*6,*7		0.51	0.52	－	1.03	1.06	－
静的震度		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-10 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)					
固有周期(s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> * ²					
減衰定数(%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁴	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>
2次		—	—		—	—	
3次		—	—		—	—	
4次		—	—		—	—	
5次		—	—		—	—	
6次		—	—		—	—	
7次		—	—		—	—	
8次		—	—		—	—	
9次		—	—		—	—	
10次		—	—		—	—	
11次		—	—		—	—	
12次		—	—		—	—	
13次		—	—		—	—	
14次		—	—		—	—	
15次		—	—		—	—	
16次		—	—		—	—	
17次		—	—		—	—	
18次		—	—		—	—	
19次		—	—		—	—	
20次		—	—		—	—	
動的震度* ^{6, *7}		—	—	0.38	—	—	0.77
静的震度* ⁸		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

*8：3.6・C_i及び1.2・C_vより定めた震度

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：－					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度*4		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	—	
2次		—	—	—		—	
3次		—	—	—		—	
4次		—	—	—		—	
5次		—	—	—		—	
6次		—	—	—		—	
7次		—	—	—		—	
8次		—	—	—		—	
9次		—	—	—		—	
10次		—	—	—		—	
11次		—	—	—		—	
12次		—	—	—		—	
13次		—	—	—		—	
14次		—	—	—		—	
15次		—	—	—		—	
16次		—	—	—		—	
17次		—	—	—		—	
動的震度*5,*6		—	—	—	1.03	1.06	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-12 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期(s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> *2					
減衰定数(%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度*4
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	—	—	—	—	—	<input type="text"/>
2次		—	—	—	—	—	
3次		—	—	—	—	—	
4次		—	—	—	—	—	
5次		—	—	—	—	—	
6次		—	—	—	—	—	
7次		—	—	—	—	—	
8次		—	—	—	—	—	
9次		—	—	—	—	—	
10次		—	—	—	—	—	
11次		—	—	—	—	—	
12次		—	—	—	—	—	
13次		—	—	—	—	—	
14次		—	—	—	—	—	
15次		—	—	—	—	—	
16次		—	—	—	—	—	
17次		—	—	—	—	—	
18次		—	—	—	—	—	
19次		—	—	—	—	—	
20次		—	—	—	—	—	
動的震度*5,*6		—	—	—	—	—	0.77
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-13 ストレーナに作用する地震力

取付位置 EL <input type="text"/> m		
地震荷重	軸方向震度	軸直角方向震度
S d *		
S s		

注：方向は図 3-1(3)参照。ただし，軸直角方向（X方向及びZ方向）については，二乗和平方根としている。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ストレーナは，図 3-2 に示すとおり，リブ及びフィンガが主強度部材となり各ディスクを支える構造になっている。各ディスクの表面は多孔プレートとなっており，ろ過装置としての機能を果たしている。作用する荷重の大部分は，フィンガにより支えられた各ディスクの多孔プレート表面に加わり，負荷された荷重は最終的にはリブに伝達される。したがって，ここではストレーナの主要構成部材である多孔プレート，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトの構造，形状を考慮した応力評価点を選定し，評価を実施する。

応力評価点を表 4-14 及び図 4-5 に示す。

表 4-14 応力評価点

名称		応力評価点番号	応力評価点
多孔 プレート	ディスク	P1	全ディスクセットの多孔プレート
	スペーサ*	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート
リブ		P3	リブ
コンプレッションプレート		P4	コンプレッションプレート
フィンガ		P5	フィンガ
ストラップ		P6	ストラップ
フランジ		P7	フランジ
ストレーナ取付部ボルト		P8	ボルト

注記* : ボトムスペーサを含む。



図 4-5 応力評価点

4.6.2 応力の計算方法

応力計算方法について、以下に示す。なお、フランジ及びボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1) ストレーナ（応力評価点 P1～P6）

ストレーナの応力計算は応力解析用モデルにより行う。ストレーナの応力解析用モデルを図 4-6 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目、解析モデルの諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算結果】の解析モデルの諸元に示す。

- a. 応力解析用モデルではストレーナをシェル要素を用いた三次元シェルモデルとしてモデル化して解析を行う。
- b. 計算モデルの各部材は溶接により接合されており、溶接部は健全性が確保されるよう設計する。
- c. 多孔プレートの等価縦弾性係数、等価ポアソン比及び応力増倍率は、引用文献(5)の考え方にに基づき設定する。
- d. 各部の質量は、各シェル要素に密度を与える。
- e. ストレーナ軸方向の単位加速度、軸直方向の単位加速度、軸方向の単位荷重、軸直方向の単位荷重、及び単位差圧を個別に入力し、各部位の応力を算出する。また、得られた各入力に対する応力に、設計荷重と単位荷重との比、設計用地震力と単位加速度の比、又は設計差圧と単位差圧の比をかけた後、荷重の組み合わせを考慮した加算を行い、各評価点の応力強さを算出する。
- f. 4.2.4 項で設定した設計荷重及び設計用地震力により残留熱除去系ストレーナに生じる応力は、解析コード「MSC NASTRAN」を使用して計算する。

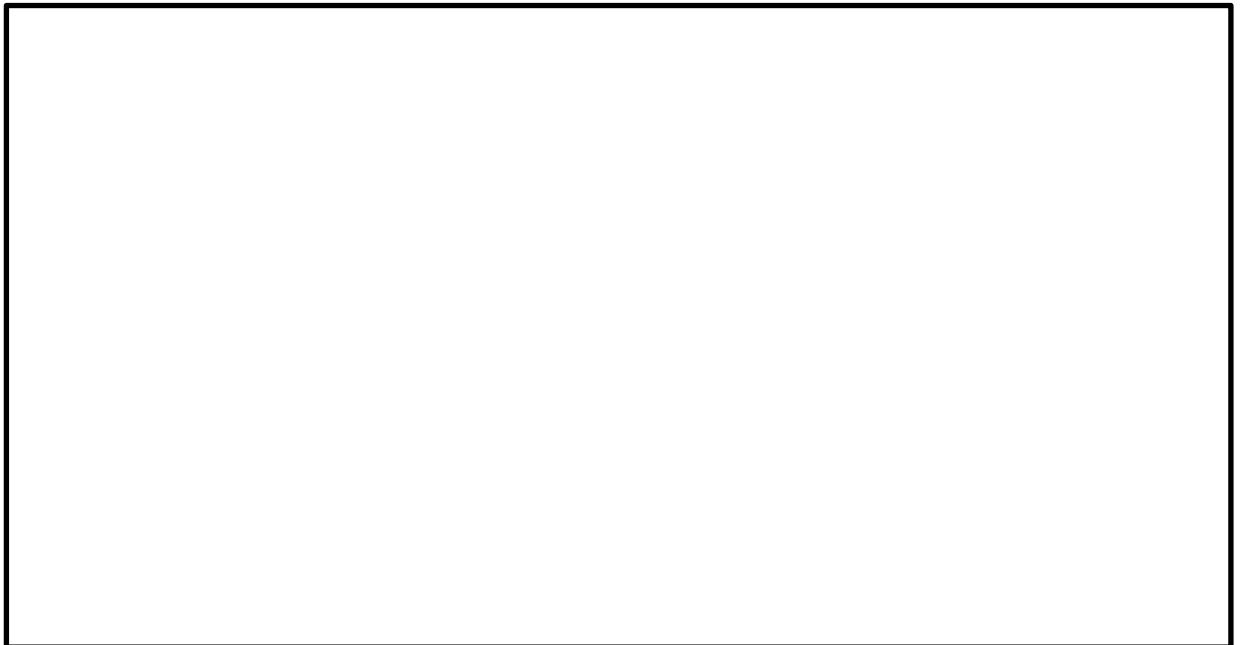


図 4-6 ストレーナの応力解析用モデル

(2) フランジ (応力評価点 P7)

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部フランジは、一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで、フランジを以下のようにモデル化する。

フランジを外周 (ボルト穴中心円直径) が固定された平板と考え、表 4-15 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献(6)より、図 4-7 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに、 σ_r : 曲げ応力 (MPa)

M_{fmax} : 表 4-15 に示すモーメント (N・mm)

a : ボルト穴中心円半径 = ÷ 2 = (mm)

b : フランジ内半径 = (mm)

t : フランジ板厚 = (mm)

β : b/a (=) から決まる計算上の係数 =

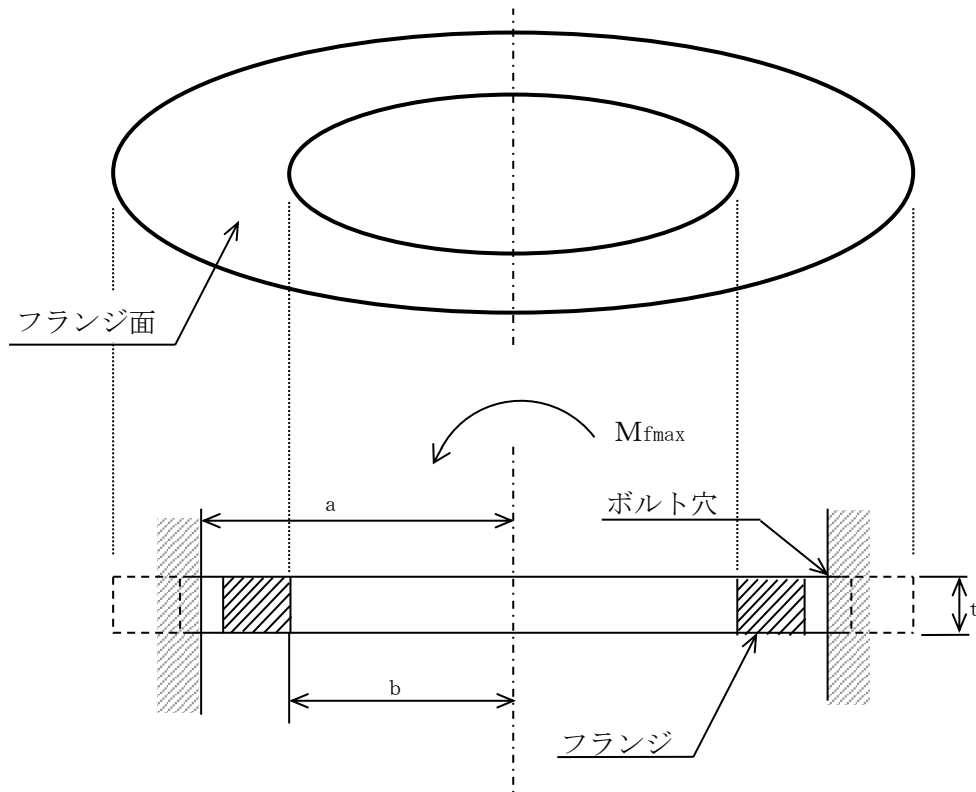


図 4-7 フランジ断面の計算モデル

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は、応答解析より得られるモーメントを用いる。ここでのモーメントとは、図 4-8 に示すように、ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算されるモーメントであり、フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから、フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため、ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4-15 に示す。

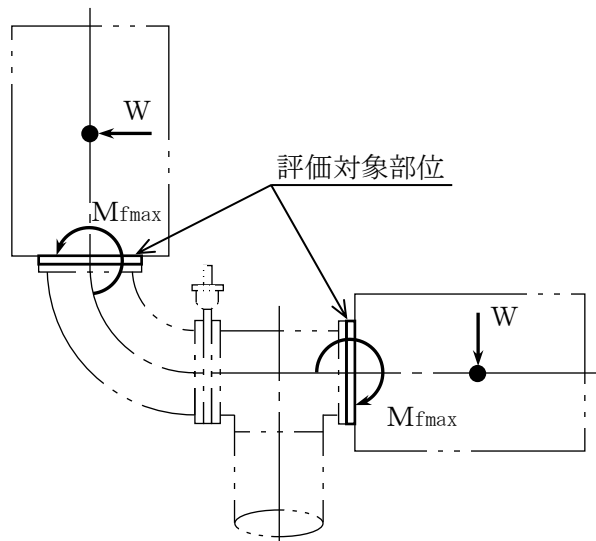


図 4-8 フランジに作用するモーメント

表 4-15 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧	
4	S R V 荷重	
5	ストレーナ S d*地震荷重	
6	ストレーナ S s 地震荷重	
7	異物 S d*地震荷重*2	
8	異物 S s 地震荷重*2	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

(3) ストレーナ取付部ボルト（応力評価点 P8）

ボルトには，フランジに作用するモーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより，ボルトに生じる軸力は，以下のように算出する。

図 4-9 に示すフランジの中心を通る中立軸（Z 軸）まわりのモーメントを考える。このとき，Z 軸まわりのモーメントは，各ボルトに発生する軸力とボルトの Z 軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで，軸方向荷重によって中立軸が移動するが，軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため，軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって，Z 軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$MZ = \sum_{k=1}^n F_{tk} \cdot \ell_k$$

ここに，MZ : Z 軸まわりのモーメント (N・mm)

F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力 (N)

ℓ_k : 任意のボルト k における Z 軸からの距離 (mm)

n : ボルトの本数 =

なお，ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

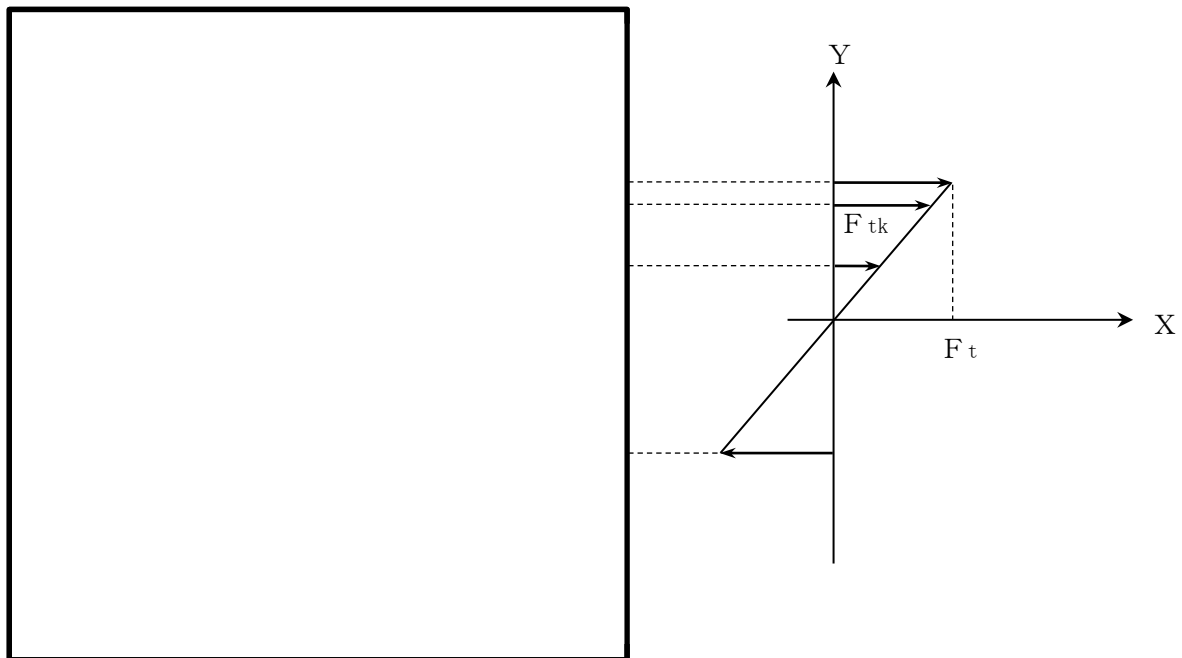


図 4-9 各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また、ボルト軸力のZ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり、図 4-9 に示すように、曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合、ボルトに発生する最大の軸力を F_t とすると、各ボルトに発生する軸力 F_{tk} は下記となる。

$$F_{tk} = F_t \cdot \frac{\ell_k}{D_5/2}$$

ここに、 F_t : 最大の軸力が発生するボルトの軸力(N)

F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力(N)

D_5 : ボルト孔中心円直径 = (mm)

以上より、 n が偶数の場合、Z軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_z = \frac{2 \cdot F_t \cdot \sum_{k=1}^n \ell_k^2}{D_5} = \frac{F_t \cdot D_5 \cdot n}{4}$$

ただし、 $\ell_k = \frac{D_5}{2} \cdot \sin\left\{\frac{2 \cdot \pi}{n} \cdot (k-1)\right\}$

よって、フランジに作用するモーメントから、ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t = \frac{4 \cdot M_{fmax}}{D_5 \cdot n}$$

したがって、ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t = \frac{F_t}{A_s} + \frac{F_{axl}}{A_s \cdot n}$$

ここに、 f_t : ボルトの発生応力(MPa)

A_s : ボルトの有効断面積 = $\frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$ (mm²)

d_b : ボルトのねじ部谷径 = (mm)

F_{axl} : 表 4-16 に示す軸方向荷重(N)

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は、ストレーナとコネクタ間、ティーとコネクタ間、及びティーとストレーナ間で発生する荷重及びモーメントを包絡させた荷重及びモーメントを用い、フランジに作用する最大モーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため、ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。なお、これら荷重及びモーメントは、応答解析より得られた荷重及びモーメントを用いる。

ボルトの設計荷重を表 4-16 に示す。

表 4-16 ボルトの設計荷重

荷重		軸方向荷重 (N)	モーメント (N・mm)
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	S R V 荷重		
5	ストレーナ S d *地震荷重		
6	ストレーナ S s 地震荷重		
7	異物 S d *地震荷重*2		
8	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-4、表 4-5、表 4-6 及び表 4-7 で定めた許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、各許容応力状態ⅢA S及びⅣA Sで、発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、許容応力状態V A Sで、発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

- (1) NEDO-21888, “Mark I Containment Program Load Definition Report”, General Electric, November 1981.
- (2) NEDO-21471, “Analytical Model for Estimating Drag Forces on Rigid Submerged Structures Caused by LOCA and Safety Relief Valve Ramshead Air Discharges”, General Electric, September 1977.
- (3) MARK-I 型格納容器の動荷重評価について
MARK-I 型格納容器評価検討会 昭和 59 年 9 月
- (4) NEDO-32721, “Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer” Licensing Topical Report, General Electric, March 2003.
- (5) ASME B&PV CODE, Section III, Division 1, Appendices, Article A-8000, “Stresses in Perforated Flat Plates,” 1989 Edition, No Addenda.
- (6) Warren C. Young, Richard G. Budynas
“Roark’s Formulas for Stress and Strain” 7th Edition

【残留熱除去系ストレナーナの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 ^{*2} (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレナーナ	S	原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300 ^{*1})	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=0.58^{*3}$ 又は*5	$C_V=0.38^{*4}$ 又は*5	$C_H=1.03^{*6}$ (NS 方向) $C_H=1.06^{*6}$ (EW 方向) 又は*7	$C_V=0.77^{*6}$ 又は*7	104	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

1.2 機器要目 (単位: mm)

D1	D2	D3	D4
[Redacted]			

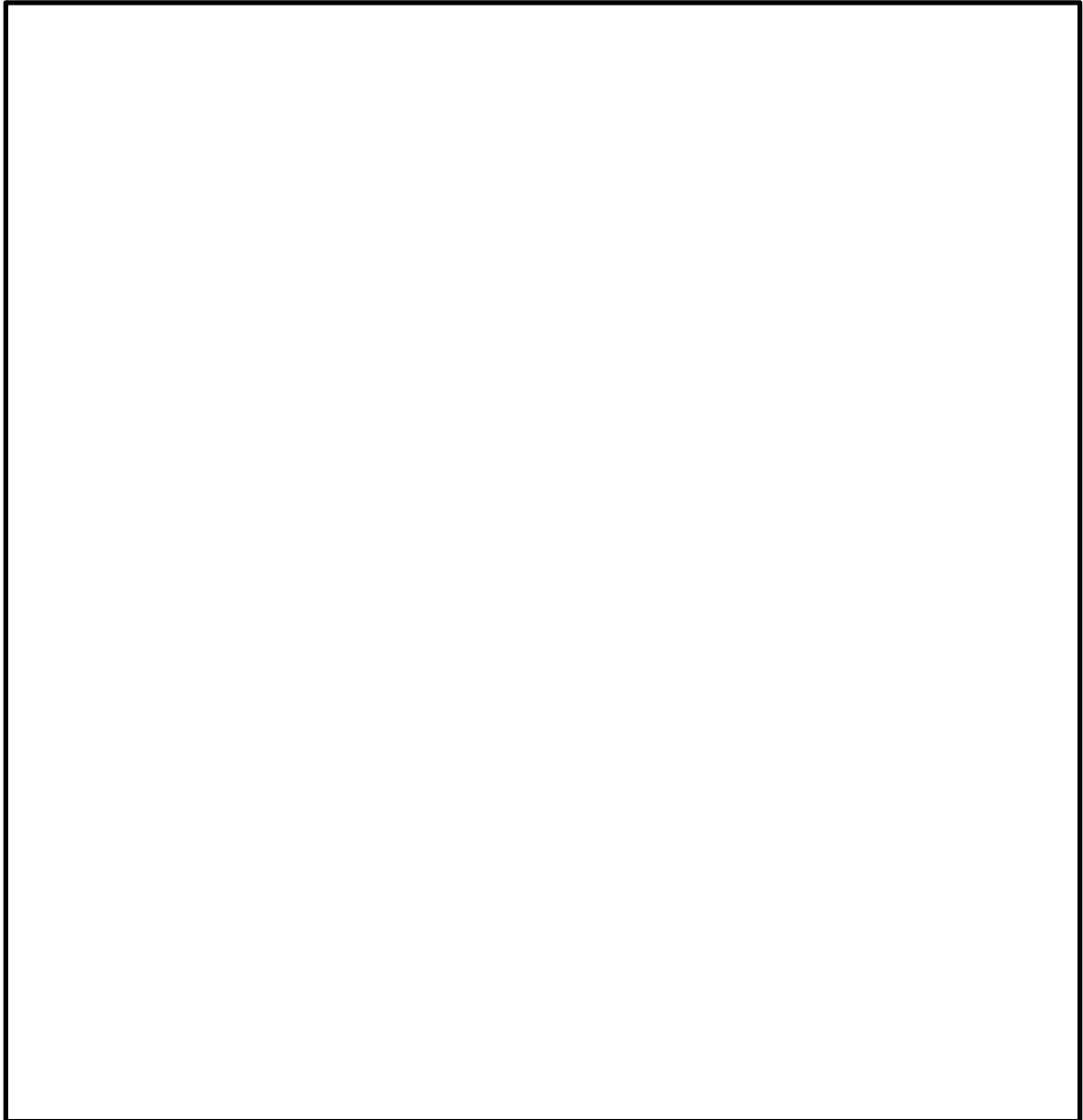
(単位: mm)

L1	L2	L3	L4
[Redacted]			

(単位: mm)

L5	L6	ℓ	d
[Redacted]			

P (mm)
[Redacted]



(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナの材質	—	
ストレーナの質量	kg/個	
ストレーナの 内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ 1 個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

項目	単位	入力値
壁面回転ばね (i 1 軸周り)	N・mm/rad	
壁面回転ばね (j 1 軸周り)	N・mm/rad	
壁面並進ばね (k 1 軸方向)	N/mm	
サポートプレート並進ばね (i 2 軸方向)	N/mm	
サポートプレート並進ばね (j 2 軸方向)	N/mm	
サポートプレート並進ばね (k 2 軸方向)	N/mm	

部位	断面積		断面二次モーメント	
	単位	入力値	単位	入力値
ストレーナ	剛体として扱う			
コネクタ	mm ²		mm ⁴	
ストレーナ部ティール	mm ²		mm ⁴	
貫通部スリーブ	mm ²		mm ⁴	
サポートパイプ	mm ²		mm ⁴	

(解析モデルの諸元 (応力解析用モデル))

項目	単位	入力値
ストレーナの材質	—	
ストレーナの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	
多孔プレートの応力増倍率	—	
要素数	個	
節点数	個	

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サブプレッションチェンバ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

(単位 : MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (R T)
多孔プレート	SUS304L				
リップ, フランジ等	SUS304				
取付ボルト	SUS304				

1.3 計算数値

1.3.1 水力的動荷重 (逃がし安全弁作動時荷重) (単位: N)

荷重名称	軸方向荷重	軸直角方向荷重
S R V 荷重		

1.3.2 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	異物荷重 (N)	差圧 (MPa)

1.3.3 フランジの設計荷重 (単位: N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧	
4	S R V 荷重	
5	ストレーナ S d *地震荷重	
6	ストレーナ S s 地震荷重	
7	異物 S d *地震荷重*2	
8	異物 S s 地震荷重*2	

注記*1: 異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2: 異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

1.3.4 ボルトの設計荷重

荷重		軸方向荷重 (N)	モーメント (N・mm)
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	S R V 荷重		
5	ストレーナ S d *地震荷重		
6	ストレーナ S s 地震荷重		
7	異物 S d *地震荷重*2		
8	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1: 異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2: 異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

注：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	Ⅲ A S			Ⅳ A S		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレナー	P1	全ディスクセットの 多孔プレート		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	91	143	DBA-3	132	365	DBA-4
	P2	ディスクセット間の 円筒形多孔プレート		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	100	143	DBA-3	142	365	DBA-4
	P3	リブ		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	131	169	DBA-3	187	395	DBA-4
	P4	コンプレッションプレート		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	40	169	DBA-3	56	395	DBA-4
	P5	フィンガ		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	111	169	DBA-3	162	395	DBA-4
	P6	ストラップ		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	33	169	DBA-3	46	395	DBA-4
	P7	フランジ		曲げ応力	112	169	DBA-3	164	395	DBA-4
	P8	ボルト		引張応力	54	157	DBA-3	87	210	DBA-4

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期* ² (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレーナ	常設/防止 (DB拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =1.03* ³ (NS 方向) C _H =1.06* ³ (EW 方向) 又は* ⁴	C _V =0.77* ³ 又は* ⁴	178	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

2.2 機器要目 (単位：mm)

D1	D2	D3	D4
[Redacted]			

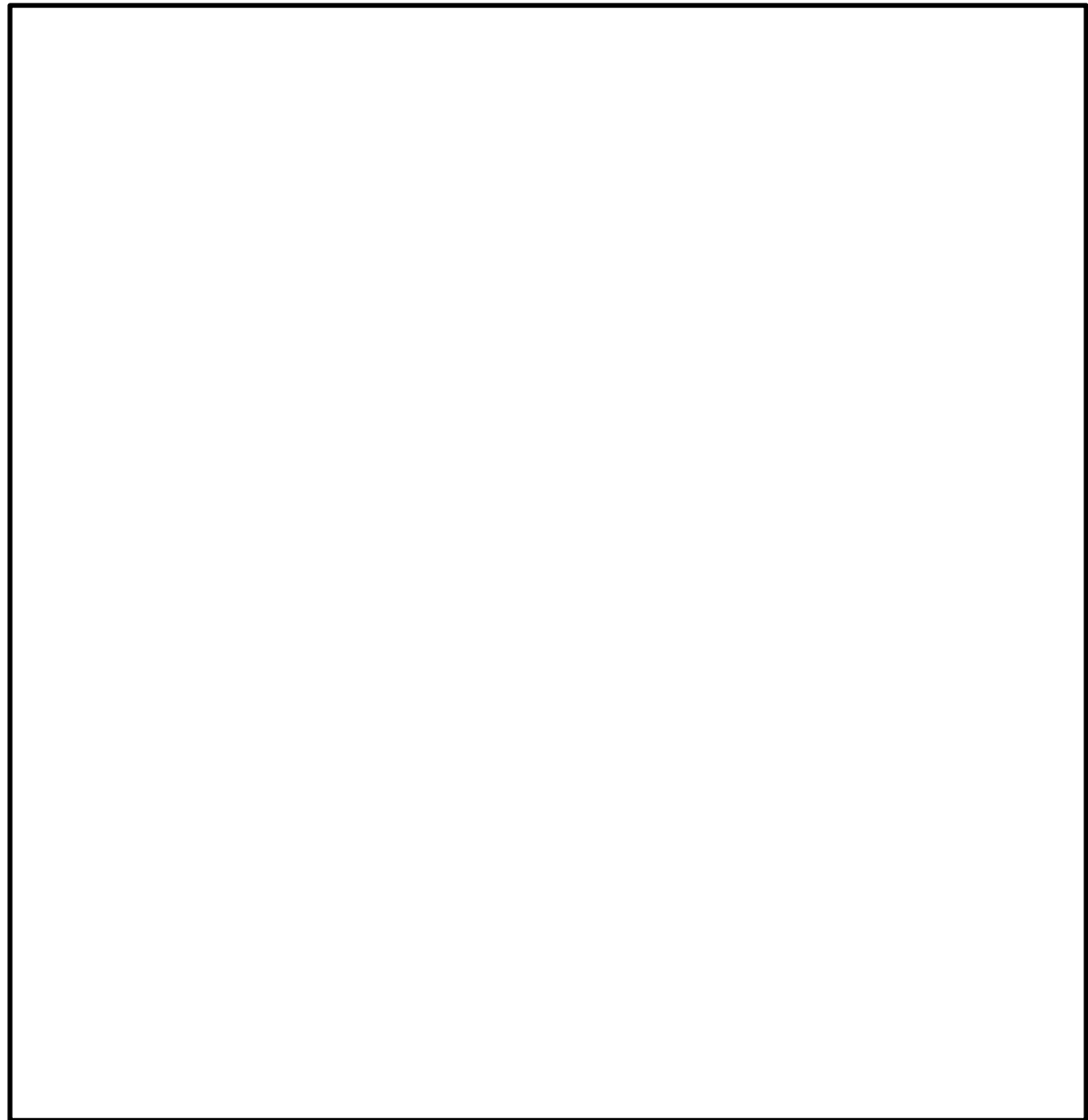
(単位：mm)

L1	L2	L3	L4
[Redacted]			

(単位：mm)

L5	L6	ℓ	d
[Redacted]			

P (mm)
[Redacted]



(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナの材質	—	
ストレーナの質量	kg/個	
ストレーナの 内包水質量及び付加質量	kg/個	
ストレーナ1個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

項目	単位	入力値
壁面回転ばね(i ₁ 軸周り)	N・mm/rad	
壁面回転ばね(j ₁ 軸周り)	N・mm/rad	
壁面並進ばね(k ₁ 軸方向)	N/mm	
サポートプレート並進ばね(i ₂ 軸方向)	N/mm	
サポートプレート並進ばね(j ₂ 軸方向)	N/mm	
サポートプレート並進ばね(k ₂ 軸方向)	N/mm	

部位	断面積		断面二次モーメント	
	単位	入力値	単位	入力値
ストレーナ	剛体として扱う			
コネクタ	mm ²		mm ⁴	
ストレーナ部ティール	mm ²		mm ⁴	
貫通部スリーブ	mm ²		mm ⁴	
サポートパイプ	mm ²		mm ⁴	

(解析モデルの諸元 (応力解析用モデル))

項目	単位	入力値
ストレーナの材質	—	
ストレーナの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	
多孔プレートの応力増倍率	—	
要素数	個	
節点数	個	

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サブプレッションチェンバ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

(単位 : MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (R T)
多孔プレート	SUS304L				
リップ, フランジ等	SUS304				
取付ボルト	SUS304				

2.3 計算数値

2.3.1 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	異物荷重 (N)	差圧 (MPa)

2.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧	
4	ストレーナ S s 地震荷重	
5	異物 S s 地震荷重*2	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

2.3.3 ボルトの設計荷重

荷重		軸方向荷重 (N)	モーメント (N・mm)
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	ストレーナ S s 地震荷重		
5	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

注：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

2.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	V A S		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレナ	P1	全ディスクセットの 多孔プレート		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	97	341	SA-2
	P2	ディスクセット間の 円筒形多孔プレート		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	103	341	SA-2
	P3	リブ		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	130	369	SA-2
	P4	コンプレッションプレート		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	40	369	SA-2
	P5	フィンガ		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	115	369	SA-2
	P6	ストラップ		一次膜応力＋ 一次曲げ応力	31	369	SA-2
	P7	フランジ		曲げ応力	116	369	SA-2
	P8	ボルト		引張応力	73	184	SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書
(残留熱除去系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	7
3. 計算条件	30
3.1 計算方法	30
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	31
3.3 設計条件	36
3.4 材料及び許容応力	79
3.5 設計用地震力	80
4. 解析結果及び評価	81
4.1 固有周期及び設計震度	81
4.2 評価結果	116
4.2.1 管の応力評価結果	116
4.2.2 支持構造物評価結果	120
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	121
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	123

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、残留熱除去系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全26モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

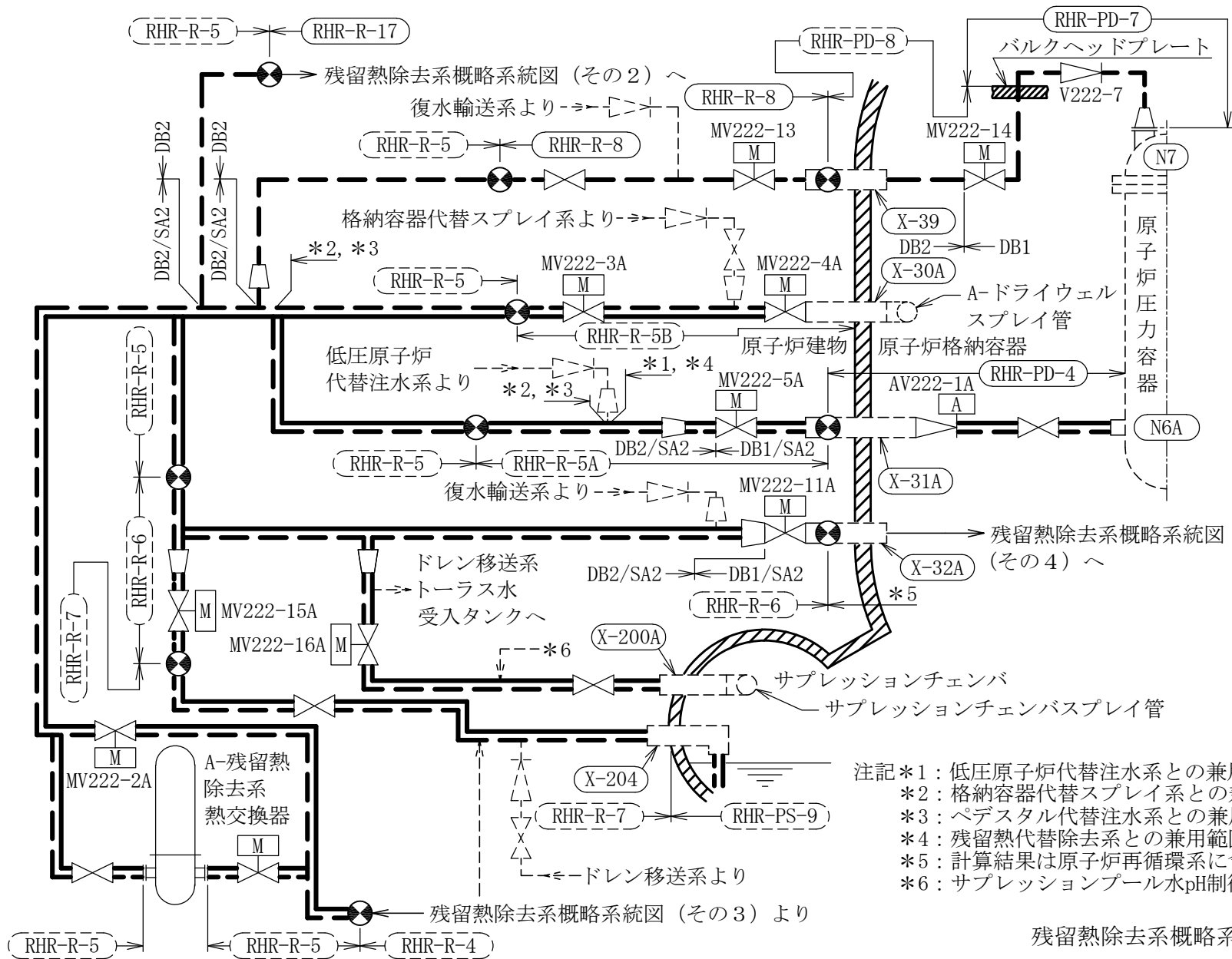
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

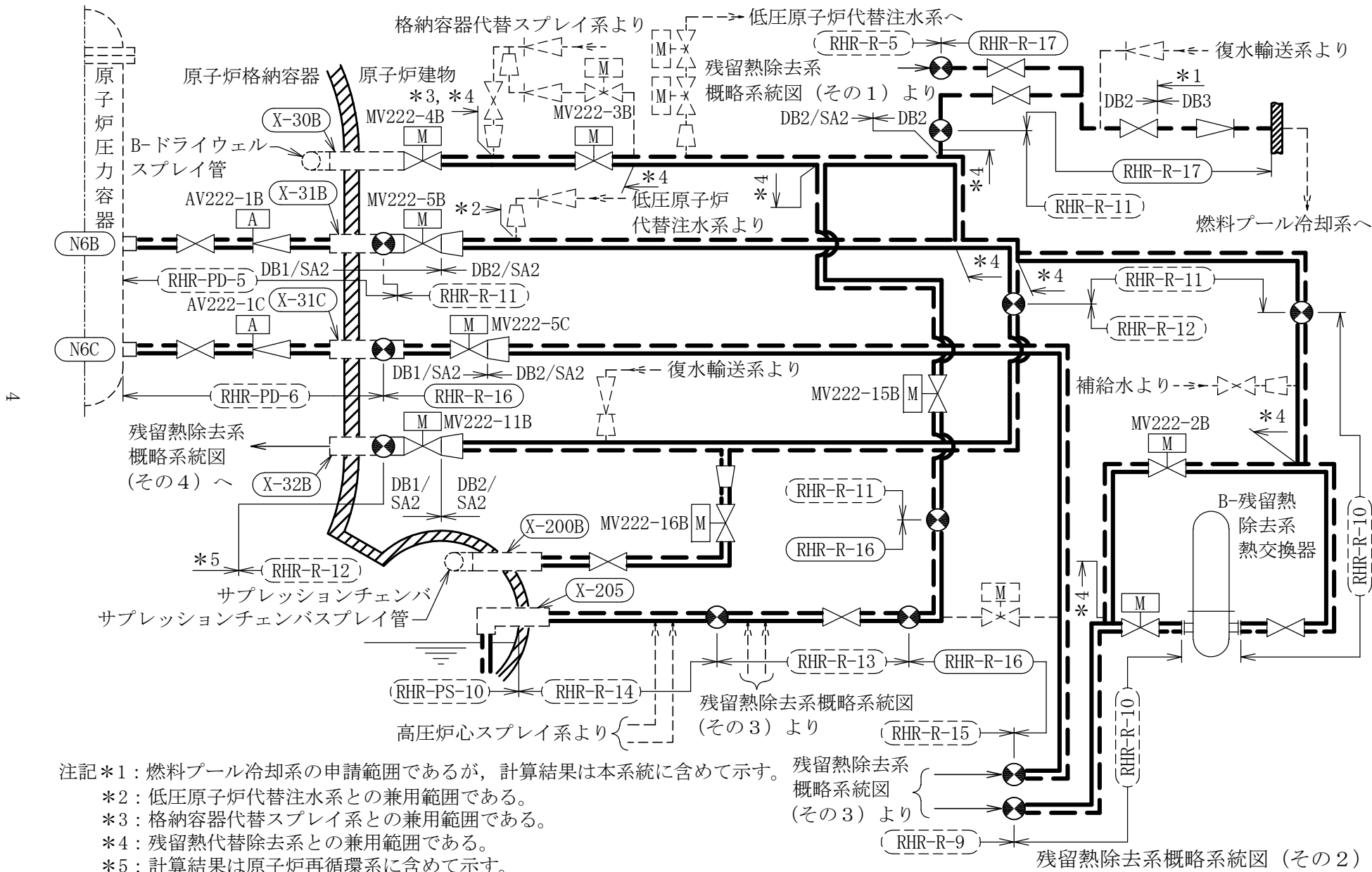
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

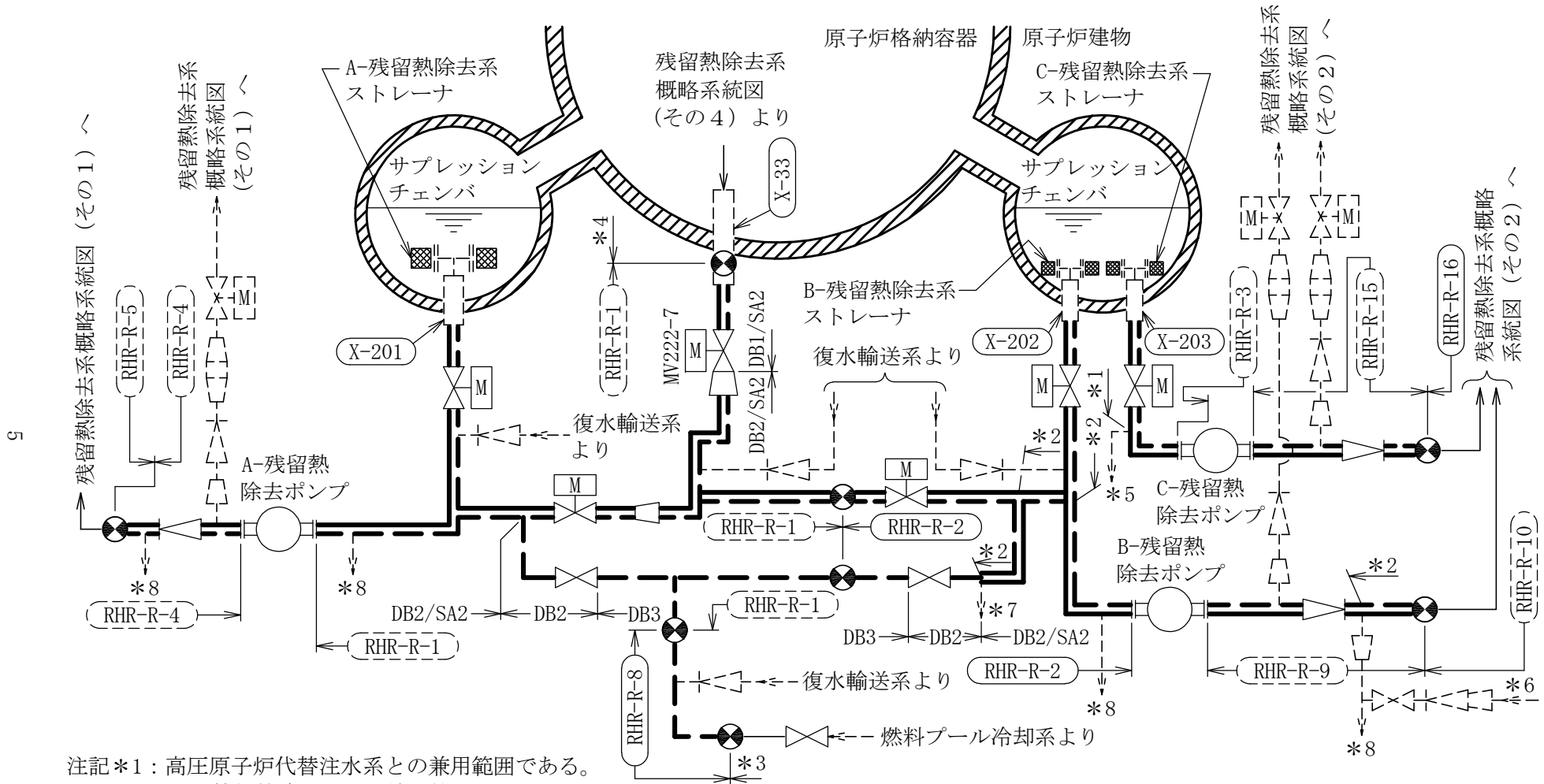


- 注記*1: 低圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *2: 格納容器代替スプレイ系との兼用範囲である。
 *3: ペDESTAL代替注水系との兼用範囲である。
 *4: 残留熱代替除去系との兼用範囲である。
 *5: 計算結果は原子炉再循環系に含めて示す。
 *6: サプレッションプール水pH制御系より



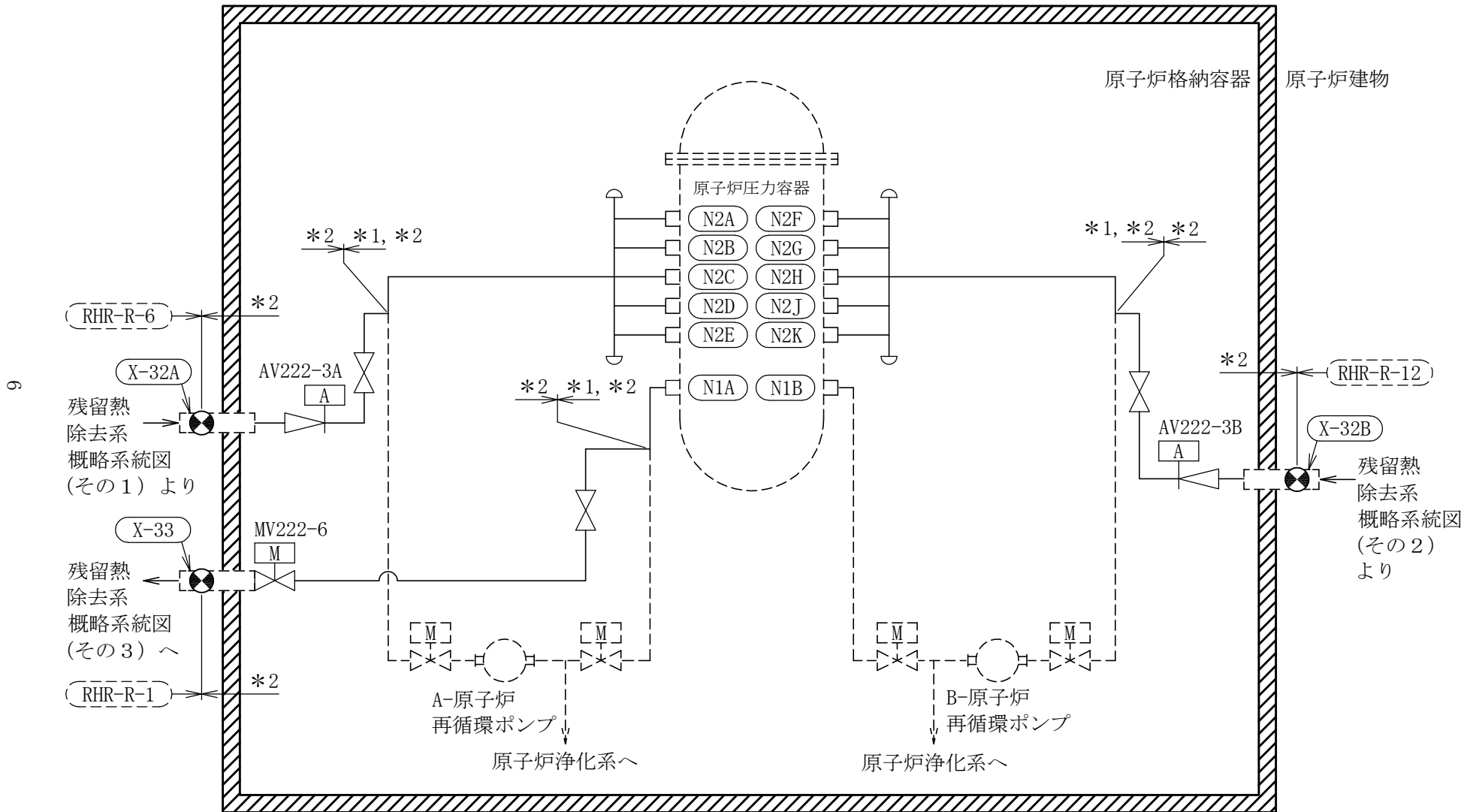
注記*1：燃料プール冷却系の申請範囲であるが、計算結果は本系統に含めて示す。
 *2：低圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *3：格納容器代替スプレィ系との兼用範囲である。
 *4：残留熱代替除去系との兼用範囲である。
 *5：計算結果は原子炉再循環系に含めて示す。

残留熱除去系概略系統図(その2)
 残留熱除去系概略系統図(その3)より
 残留熱除去系概略系統図(その3)より
 残留熱除去系概略系統図(その2)



- 注記 *1 : 高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *2 : 残留熱代替除去系との兼用範囲である。
 *3 : 計算結果は燃料プール冷却系に含めて示す。
 *4 : 計算結果は原子炉再循環系に含めて示す。
 *5 : 高圧原子炉代替注水系へ
 *6 : 残留熱代替除去系より
 *7 : 残留熱代替除去系へ
 *8 : RHRフラッシング用サンプルタンクへ

残留熱除去系概略系統図 (その3)




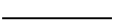
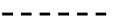


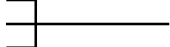
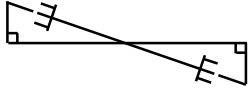
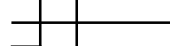
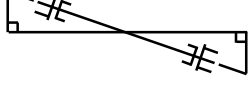

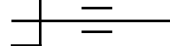
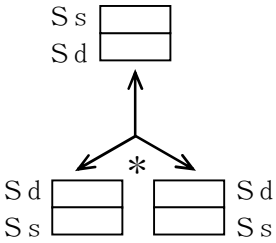
注記*1：原子炉再循環系との兼用範囲である。

*2：計算結果は原子炉再循環系に含めて示す。

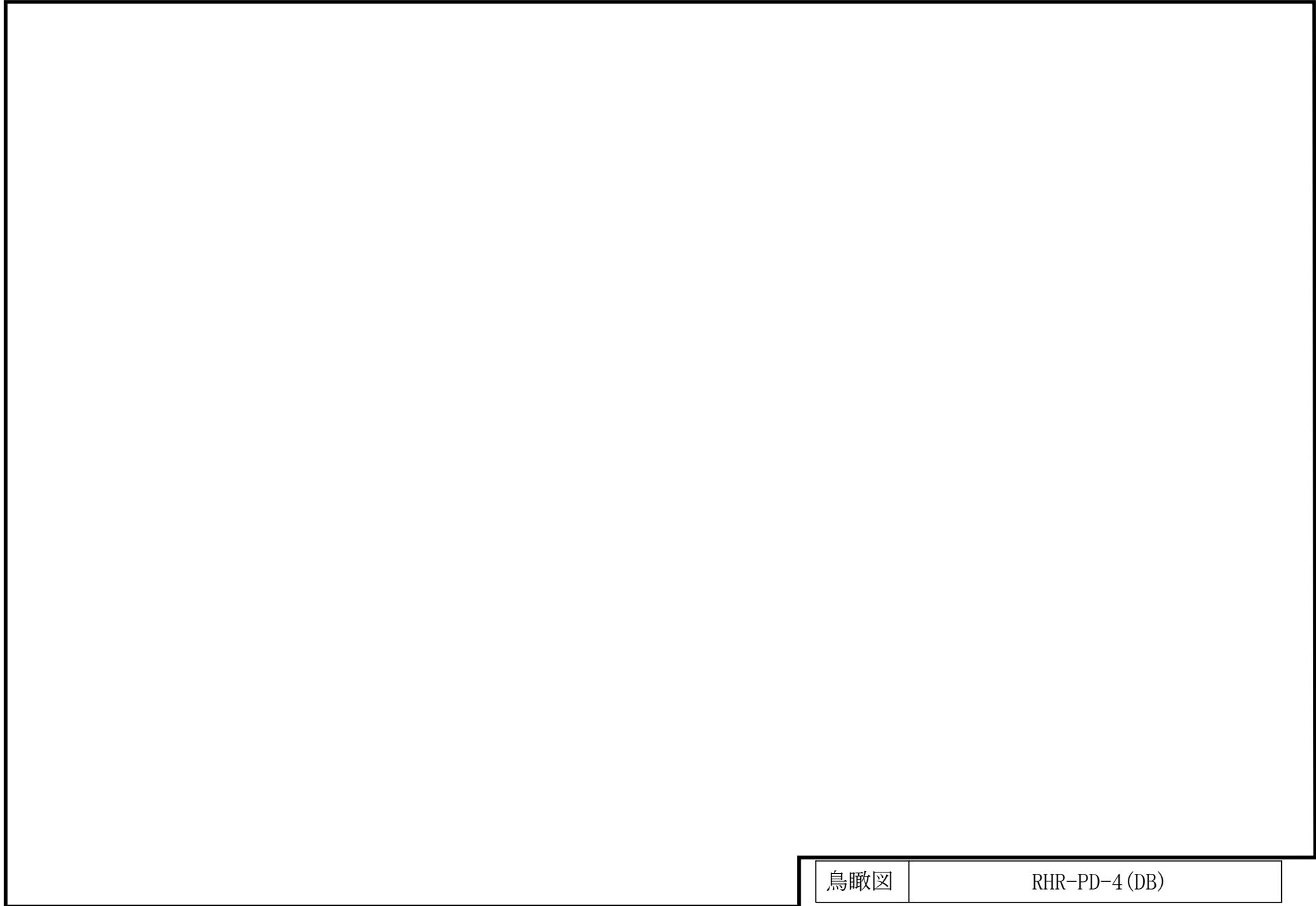
残留熱除去系概略系統図（その4）

2.2 鳥瞰図

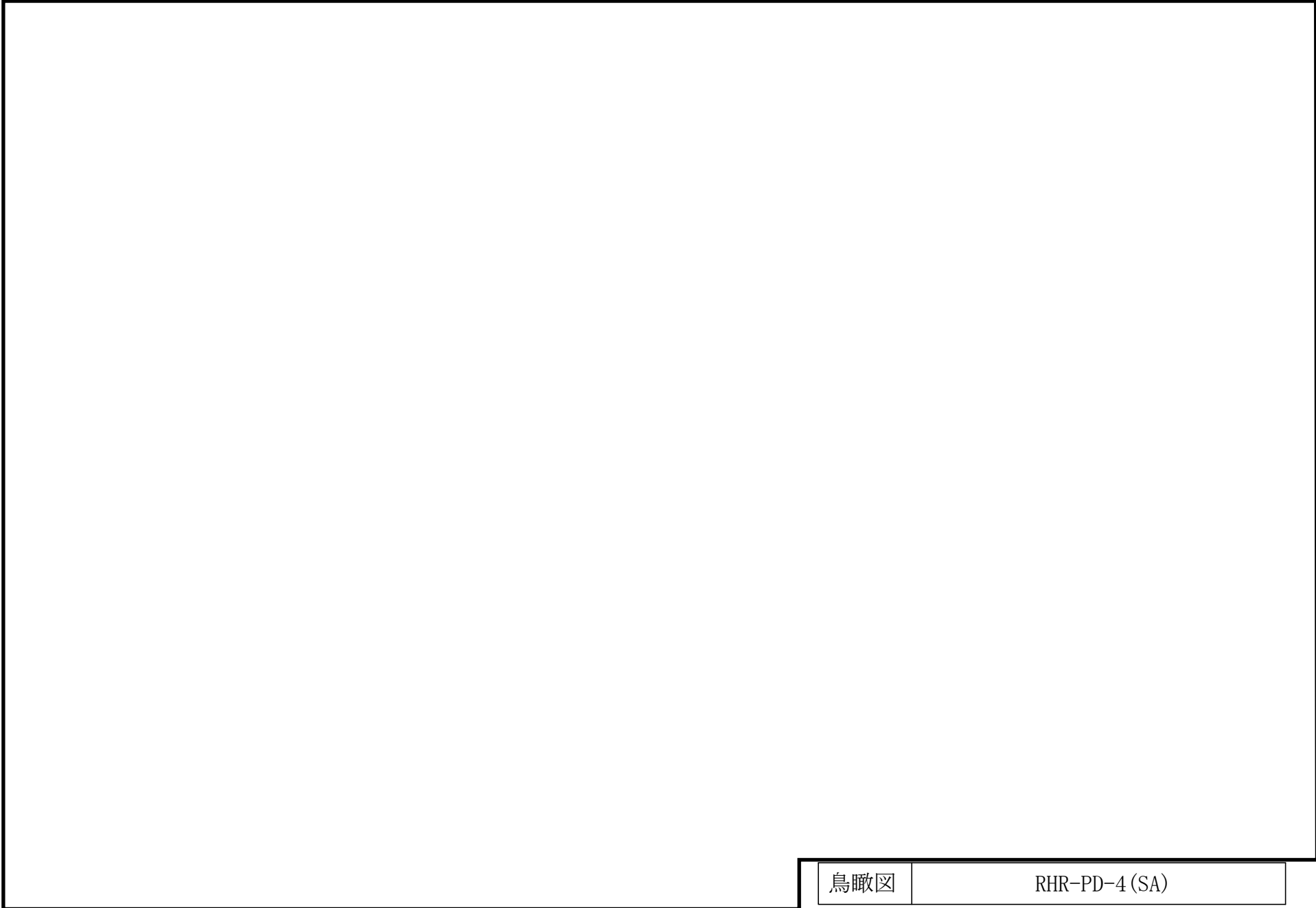
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

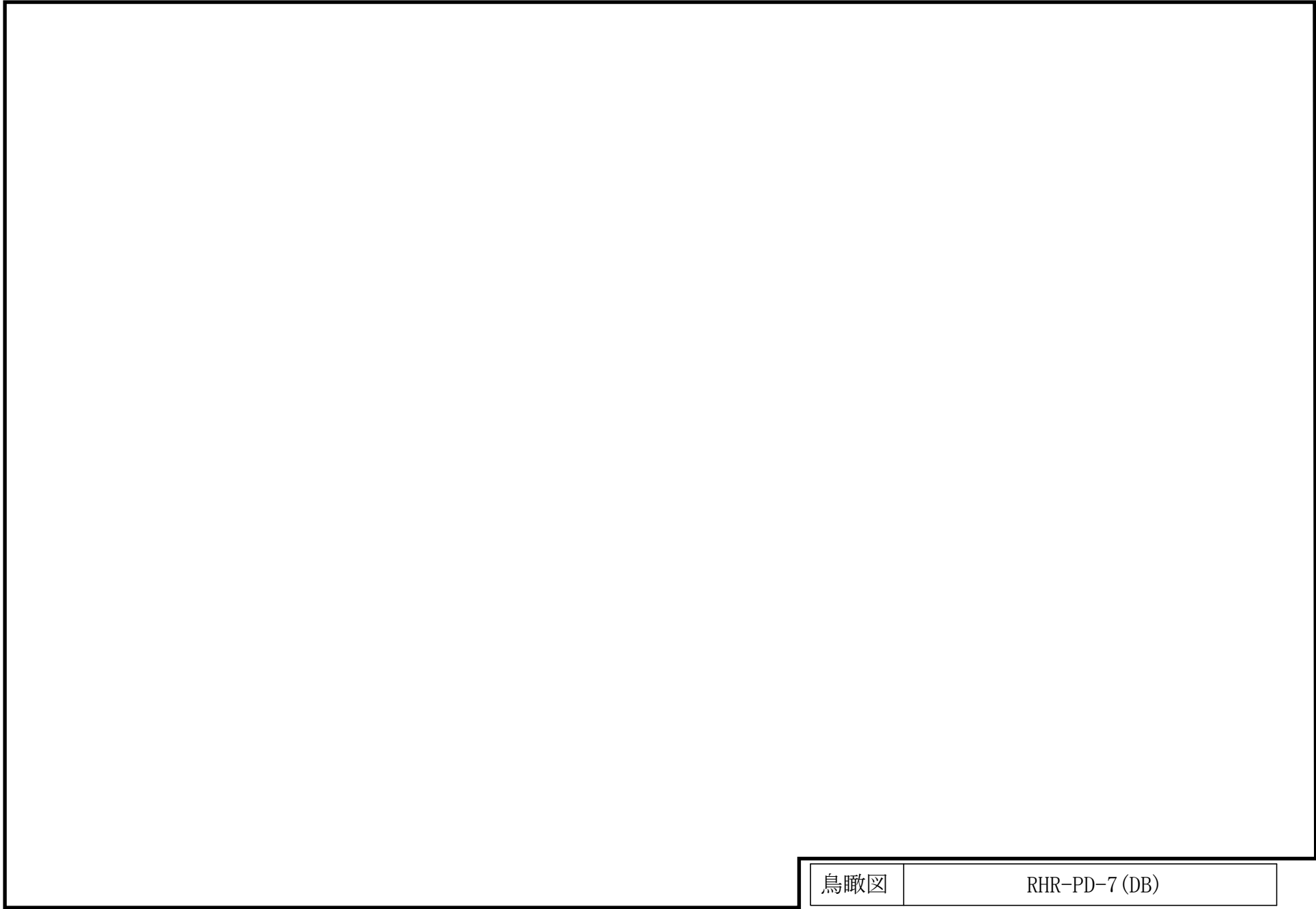
∞



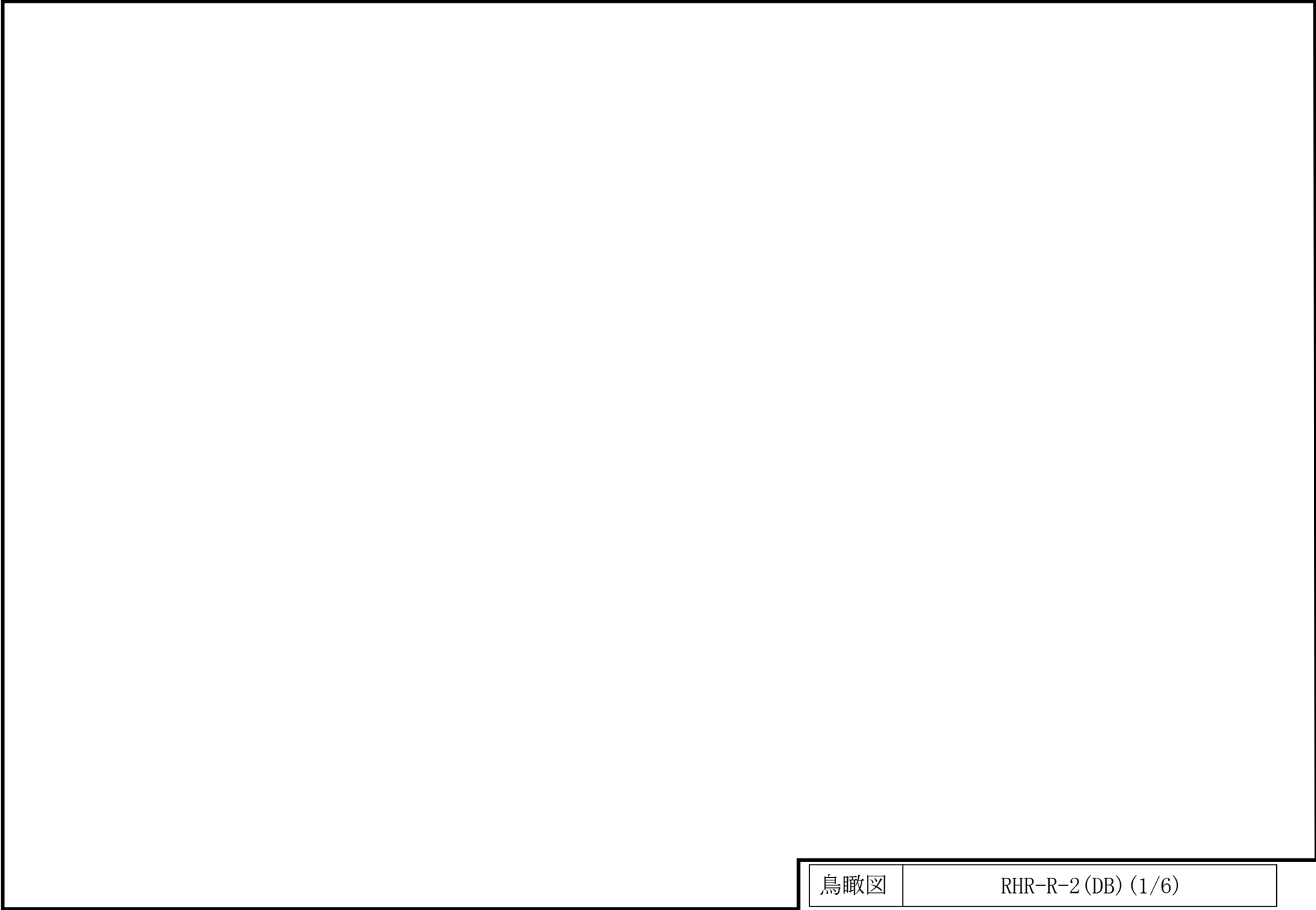
鳥瞰図	RHR-PD-4 (DB)
-----	---------------



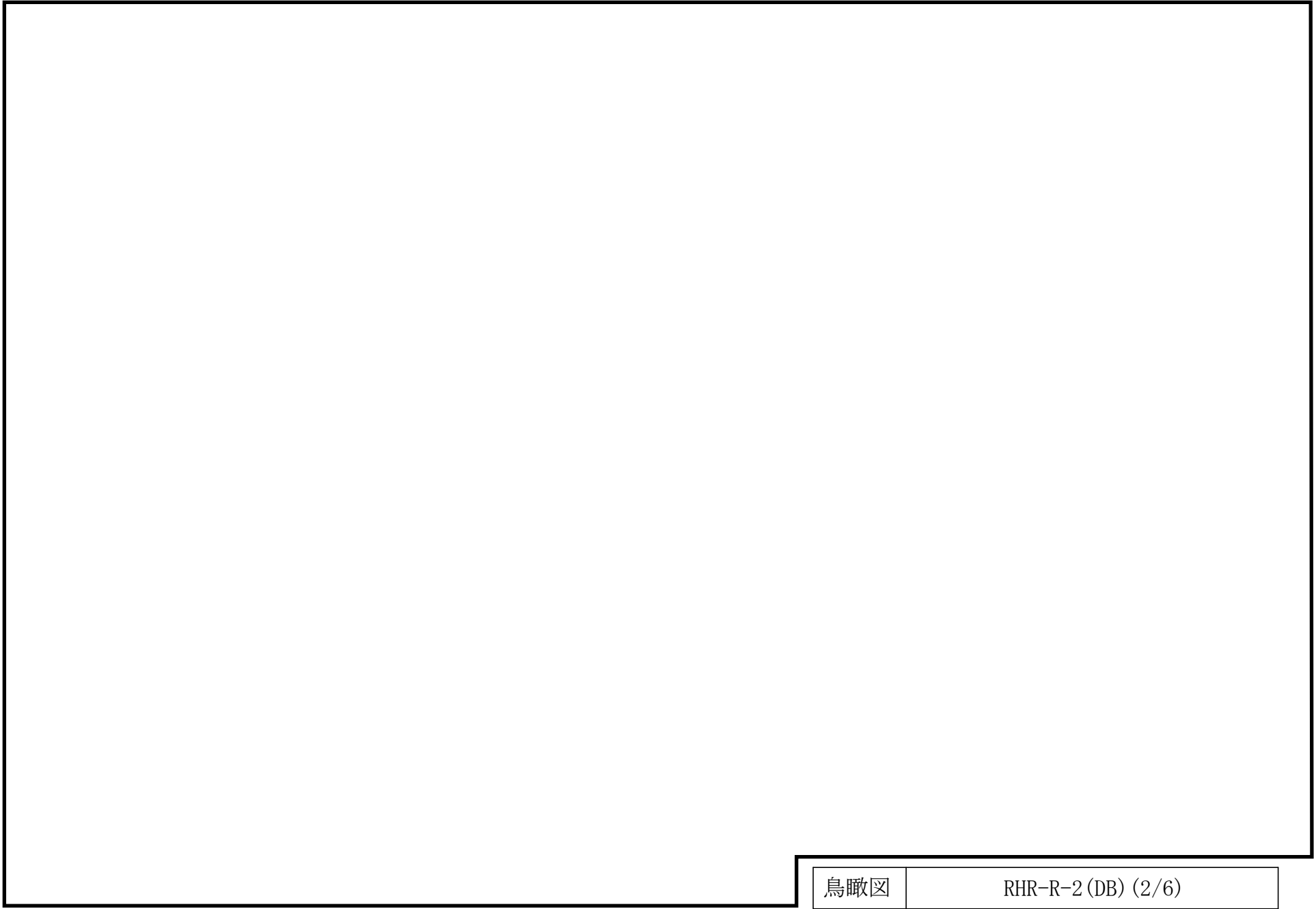
鳥瞰図	RHR-PD-4 (SA)
-----	---------------



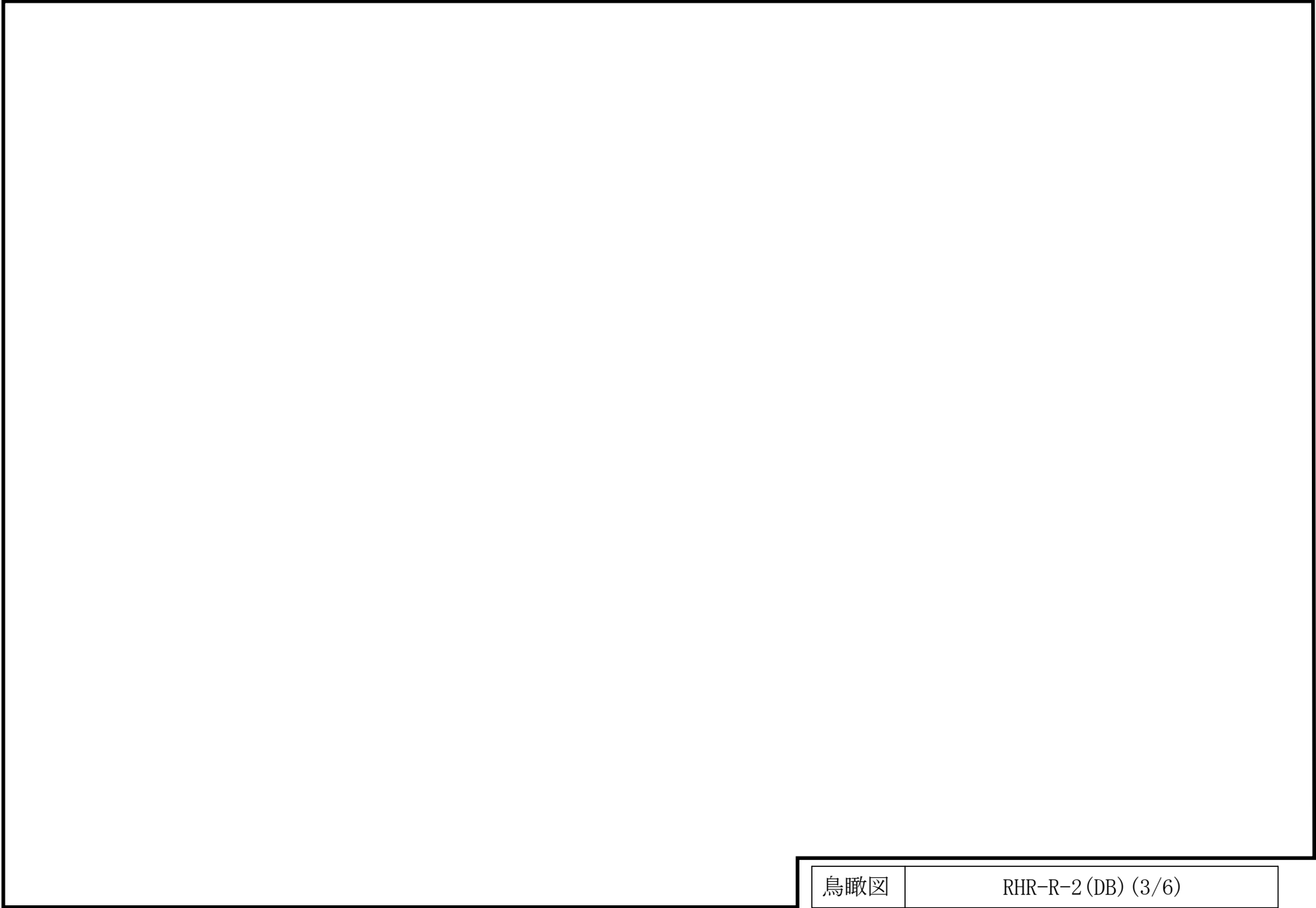
鳥瞰図	RHR-PD-7 (DB)
-----	---------------



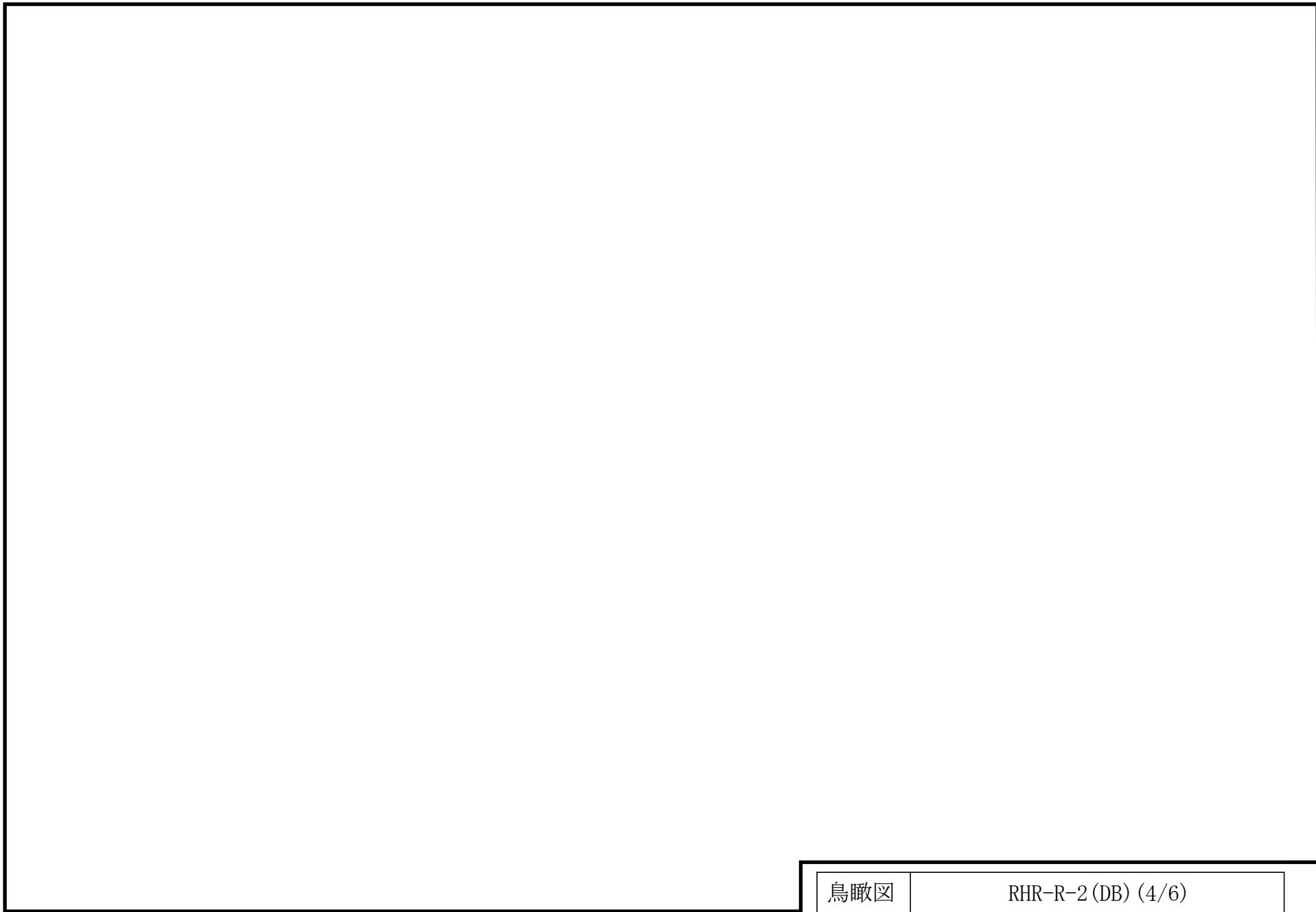
鳥瞰図	RHR-R-2 (DB) (1/6)
-----	--------------------



鳥瞰図	RHR-R-2 (DB) (2/6)
-----	--------------------

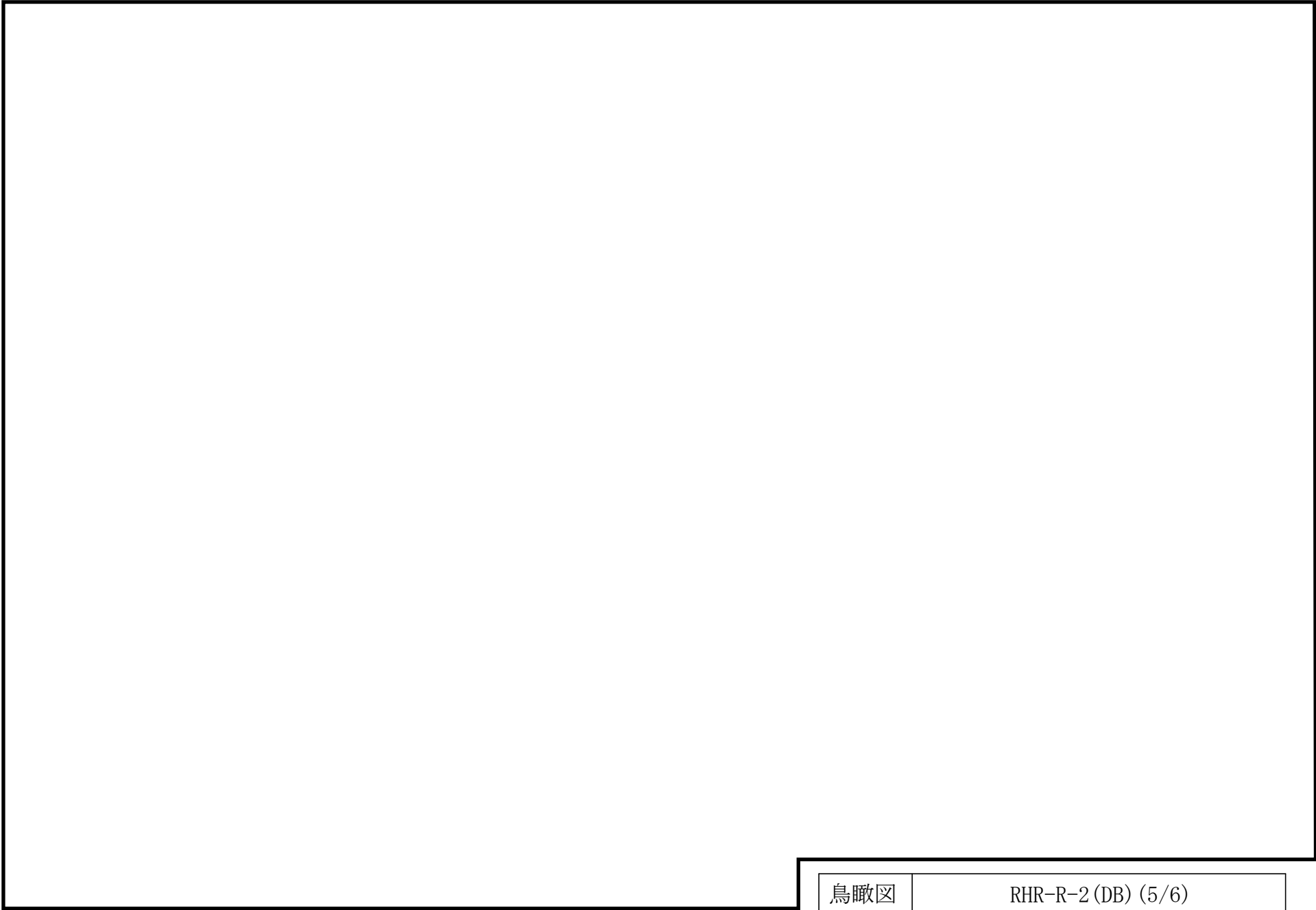


鳥瞰図	RHR-R-2 (DB) (3/6)
-----	--------------------



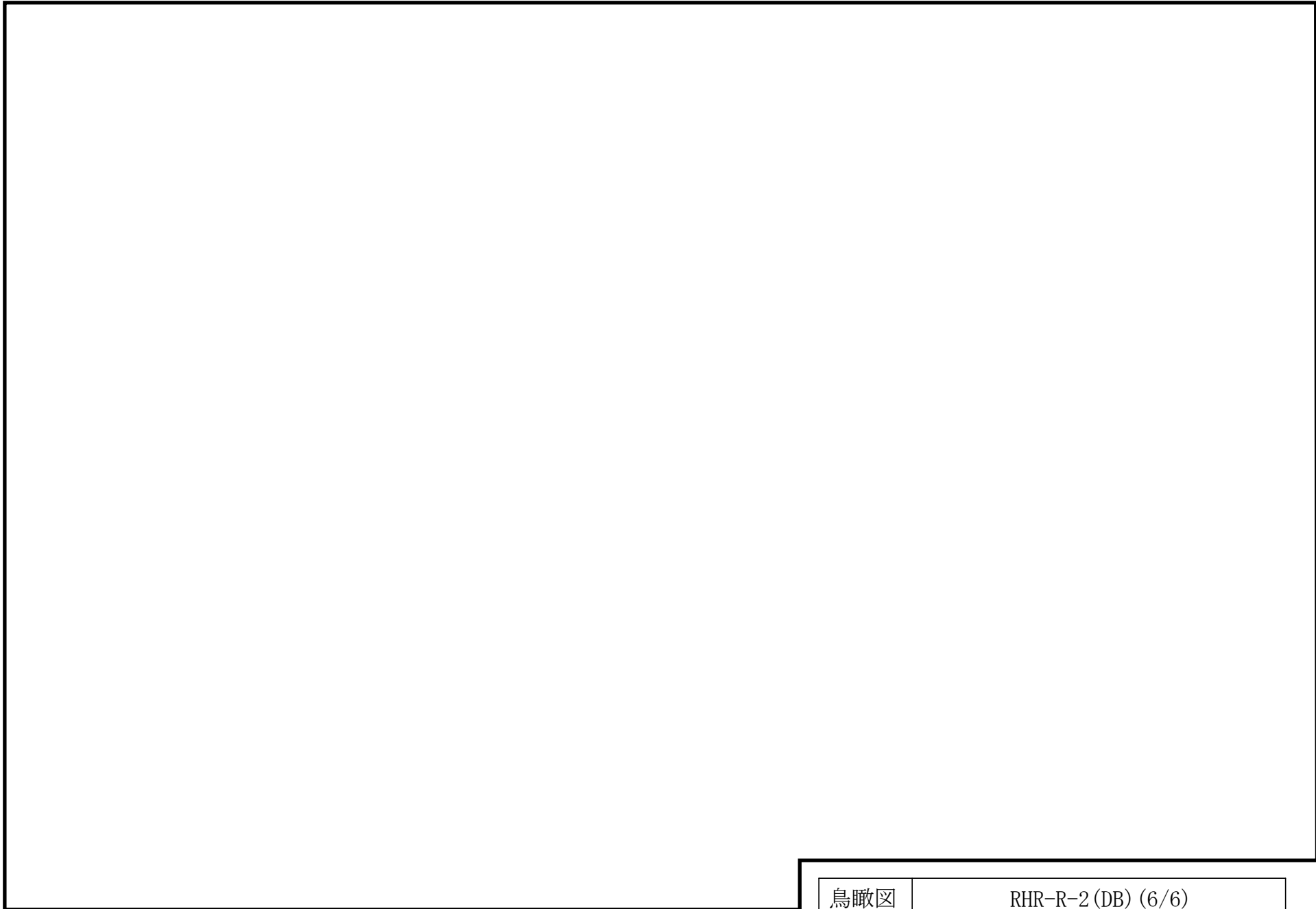
鳥瞰図

RHR-R-2 (DB) (4/6)



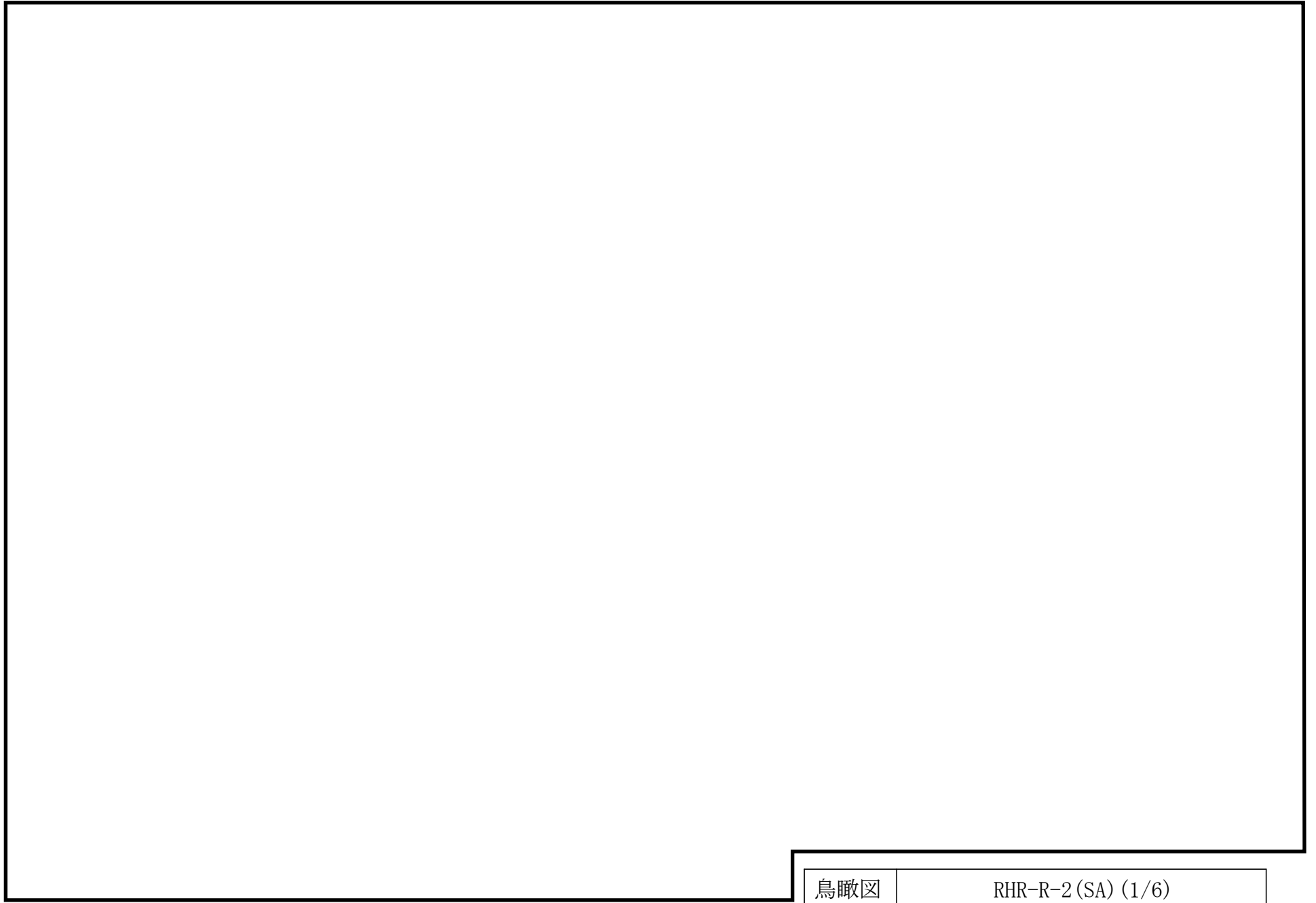
鳥瞰図

RHR-R-2 (DB) (5/6)



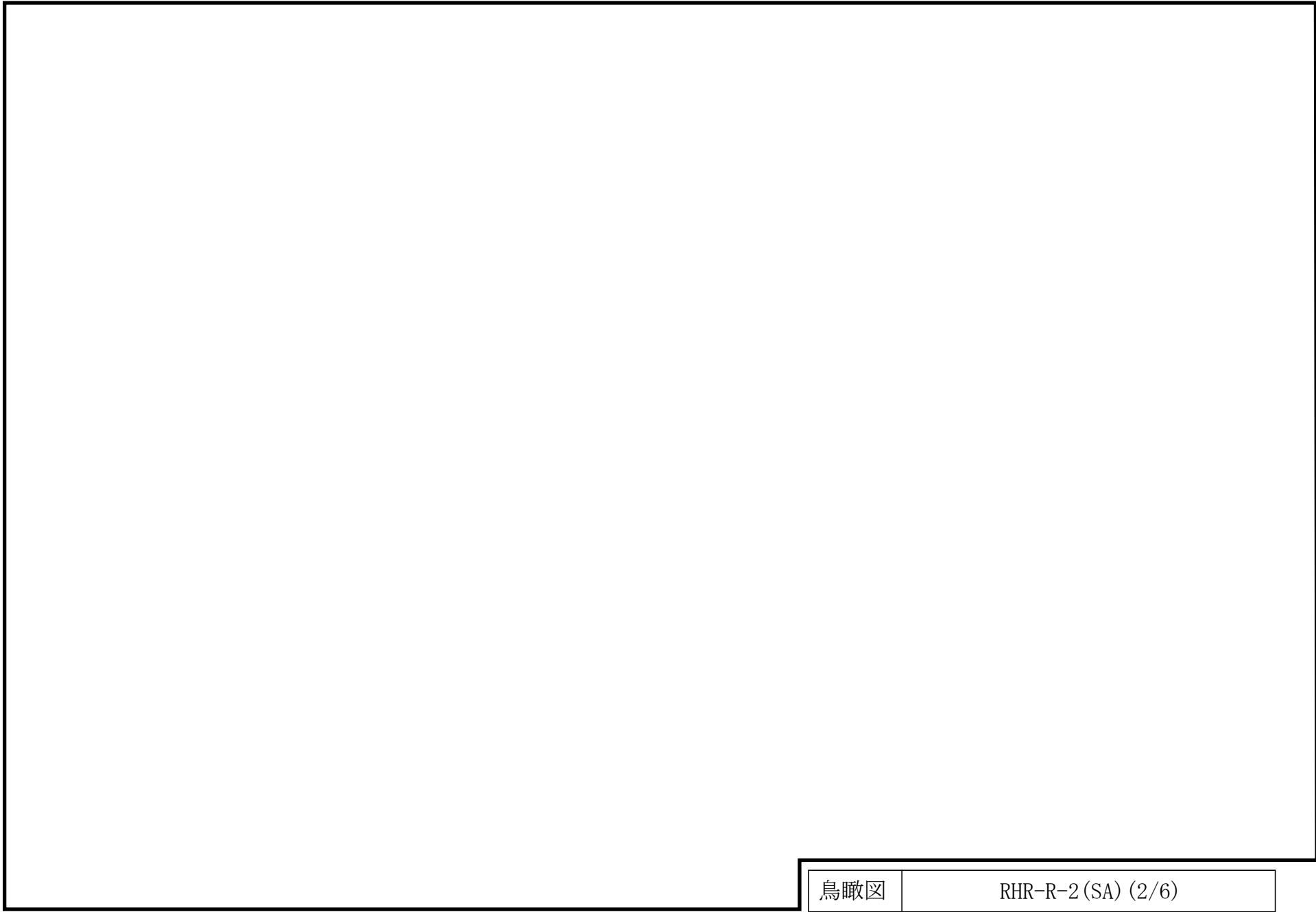
鳥瞰図

RHR-R-2 (DB) (6/6)

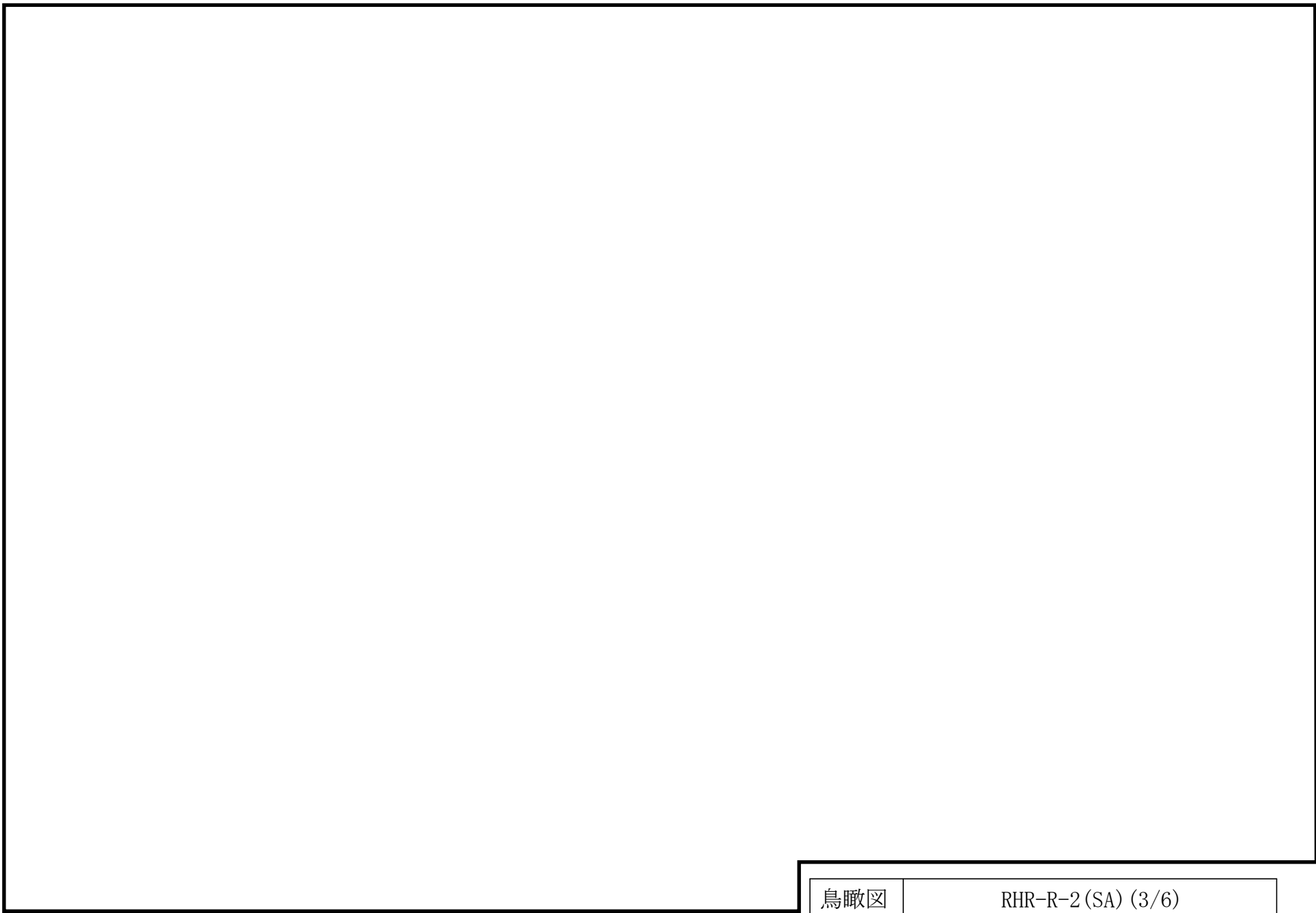


鳥瞰図

RHR-R-2(SA) (1/6)

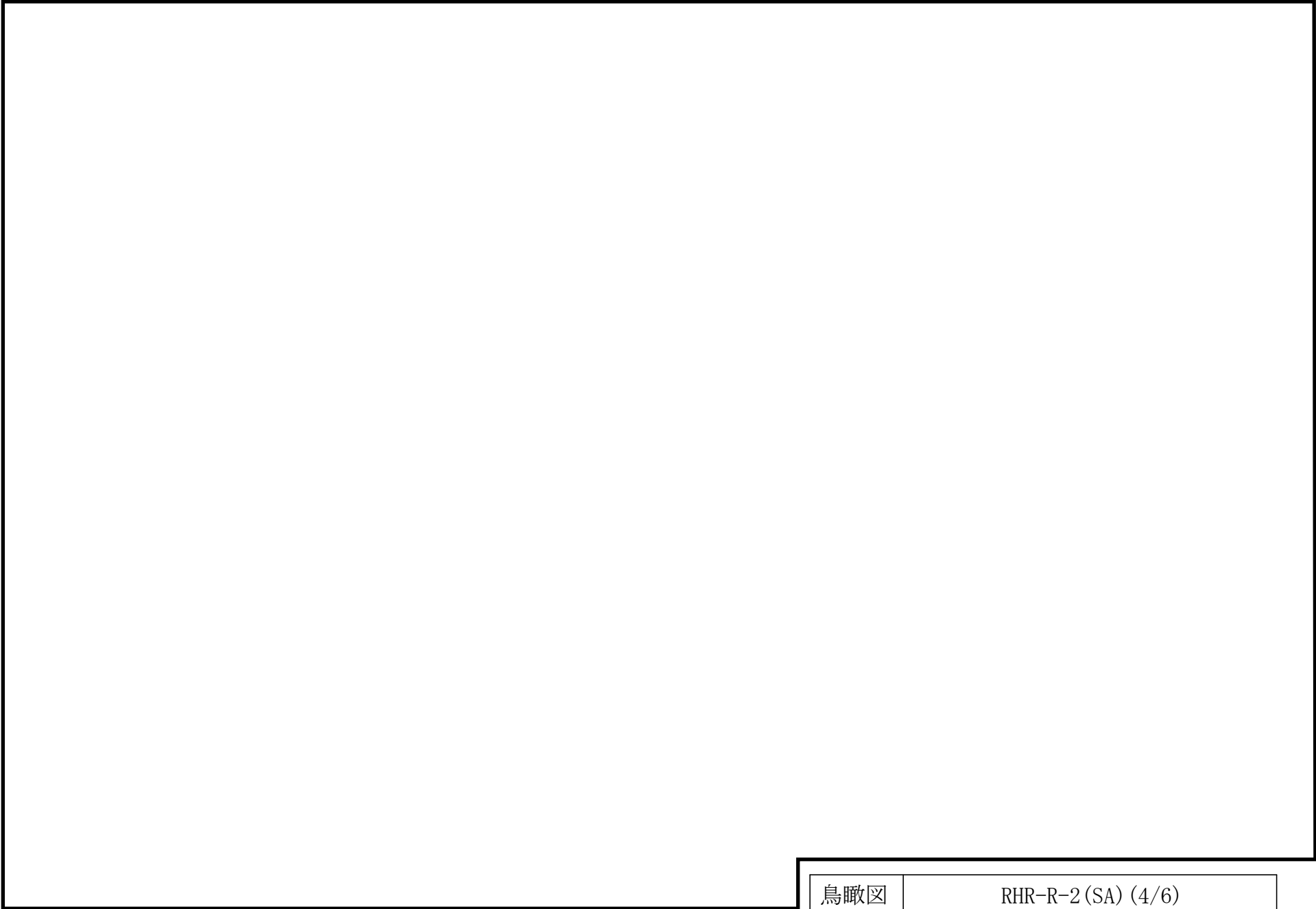


鳥瞰図	RHR-R-2(SA) (2/6)
-----	-------------------



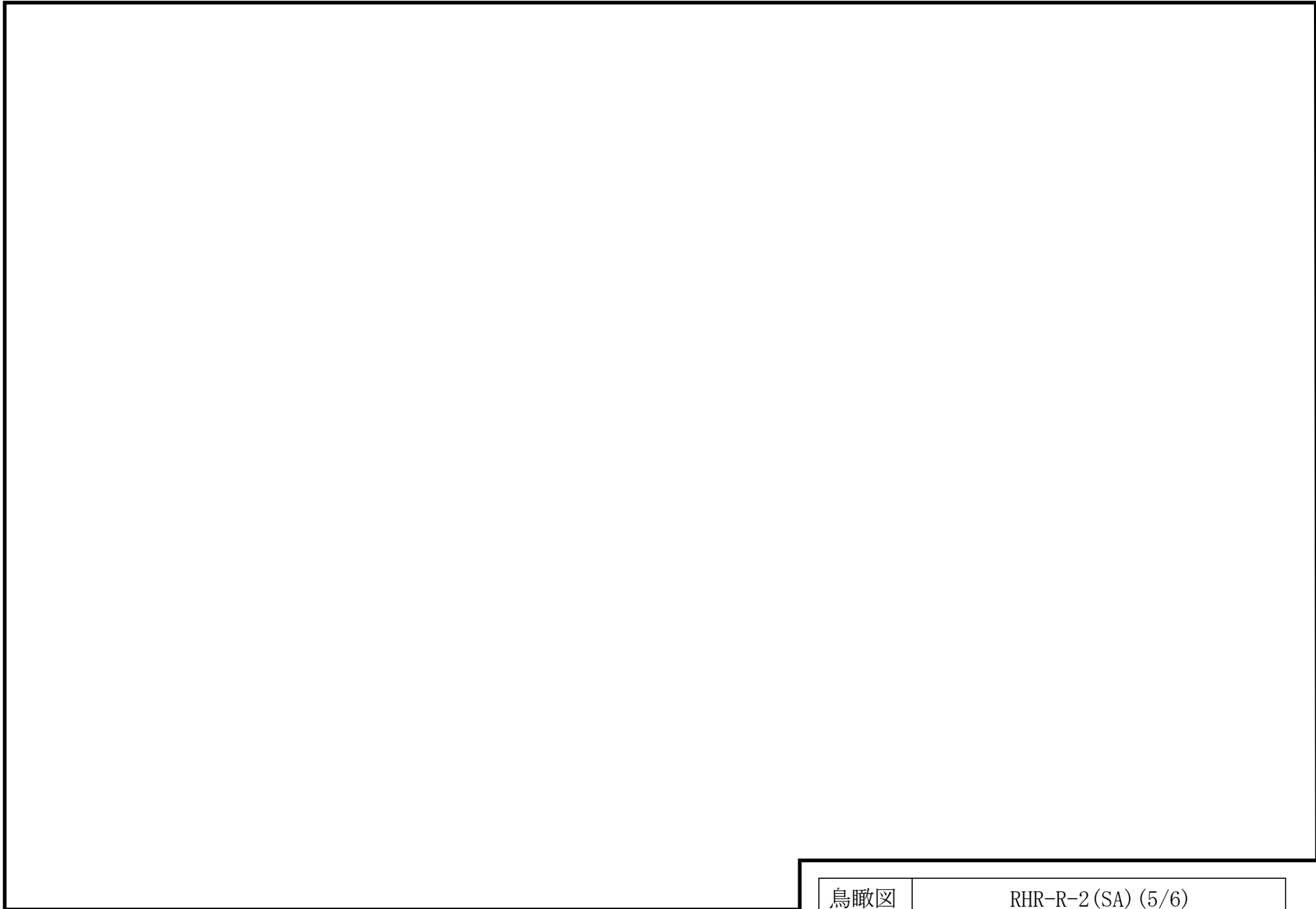
鳥瞰図

RHR-R-2(SA) (3/6)

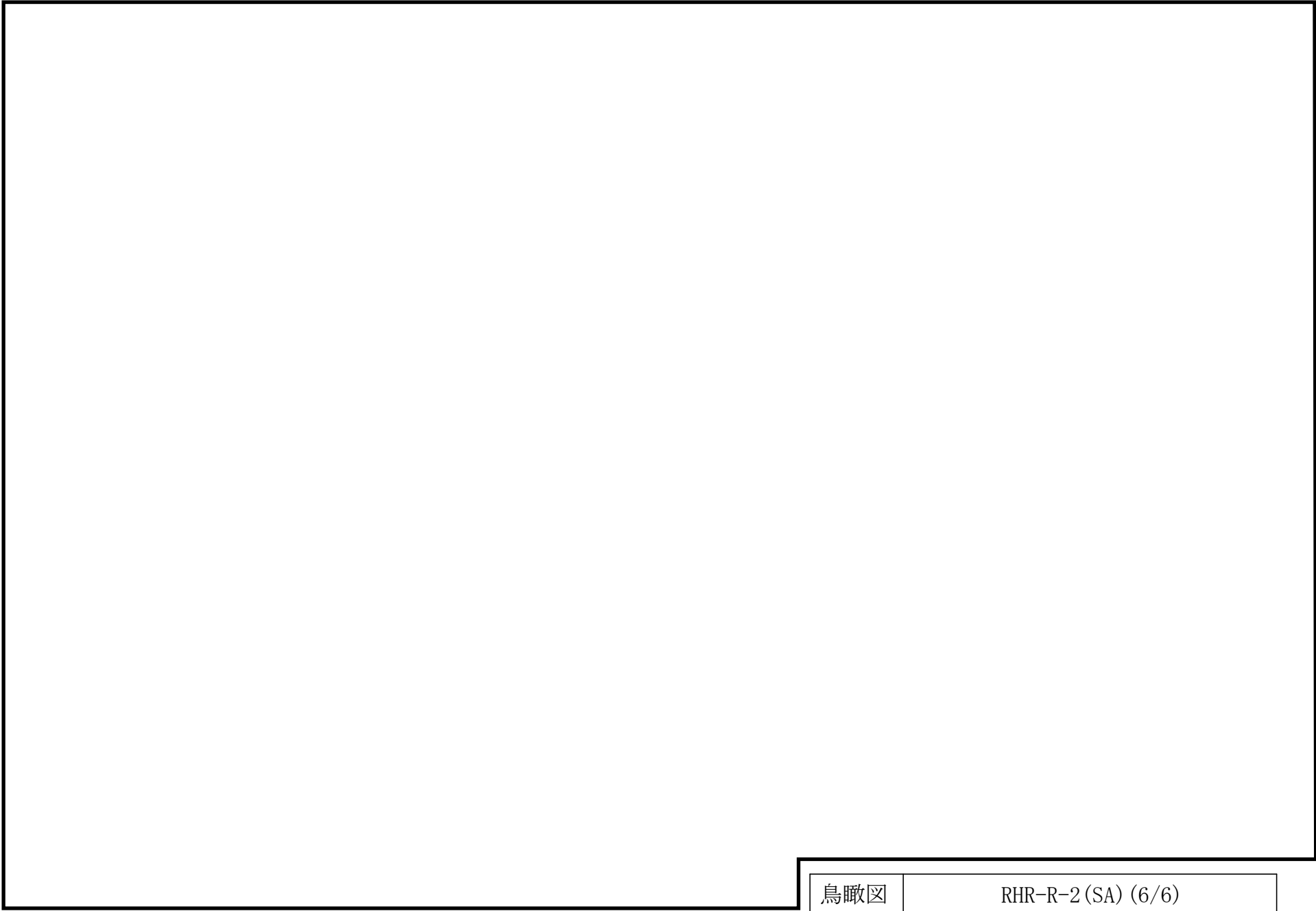


鳥瞰図

RHR-R-2(SA) (4/6)

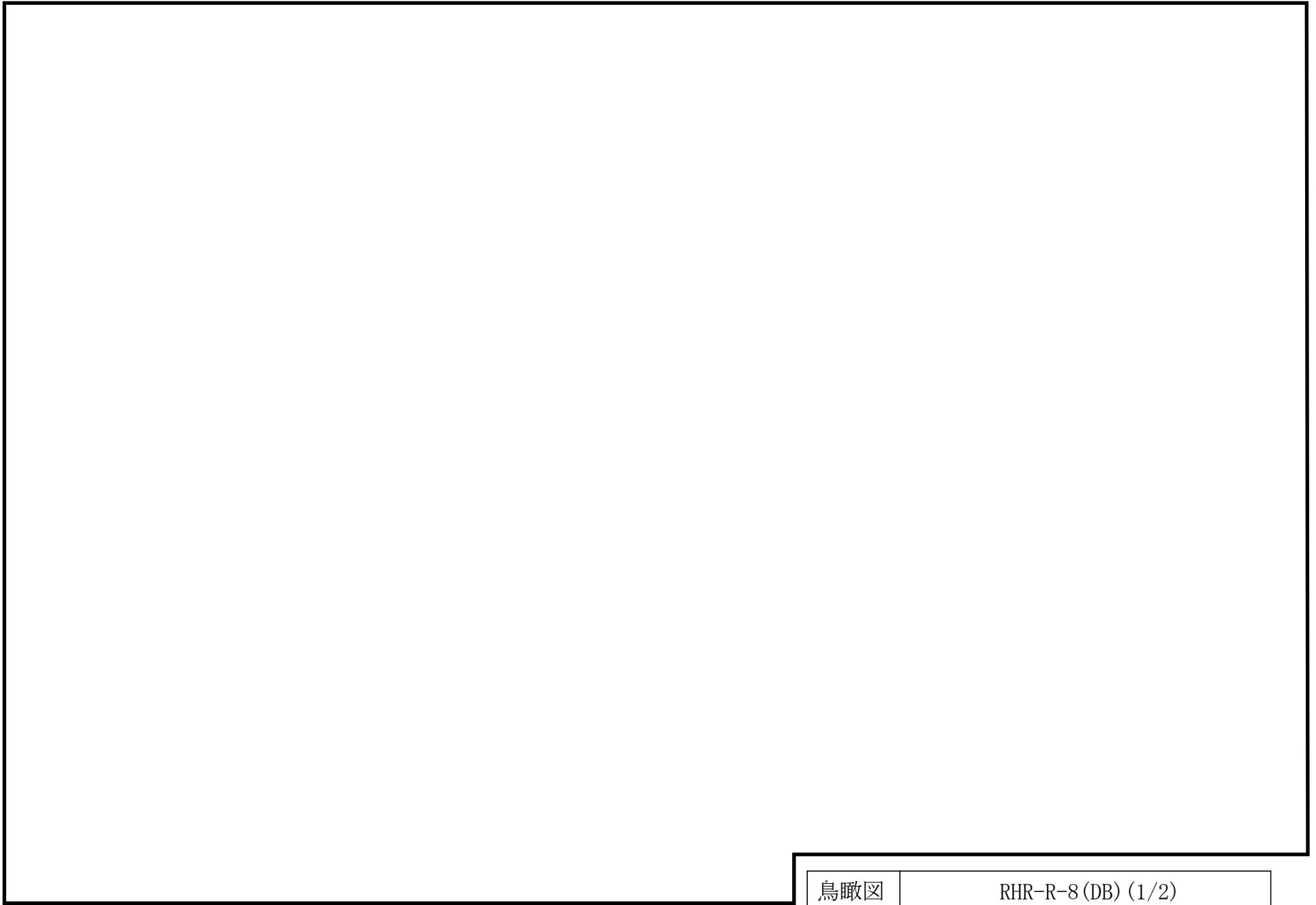


鳥瞰図	RHR-R-2(SA) (5/6)
-----	-------------------



鳥瞰図

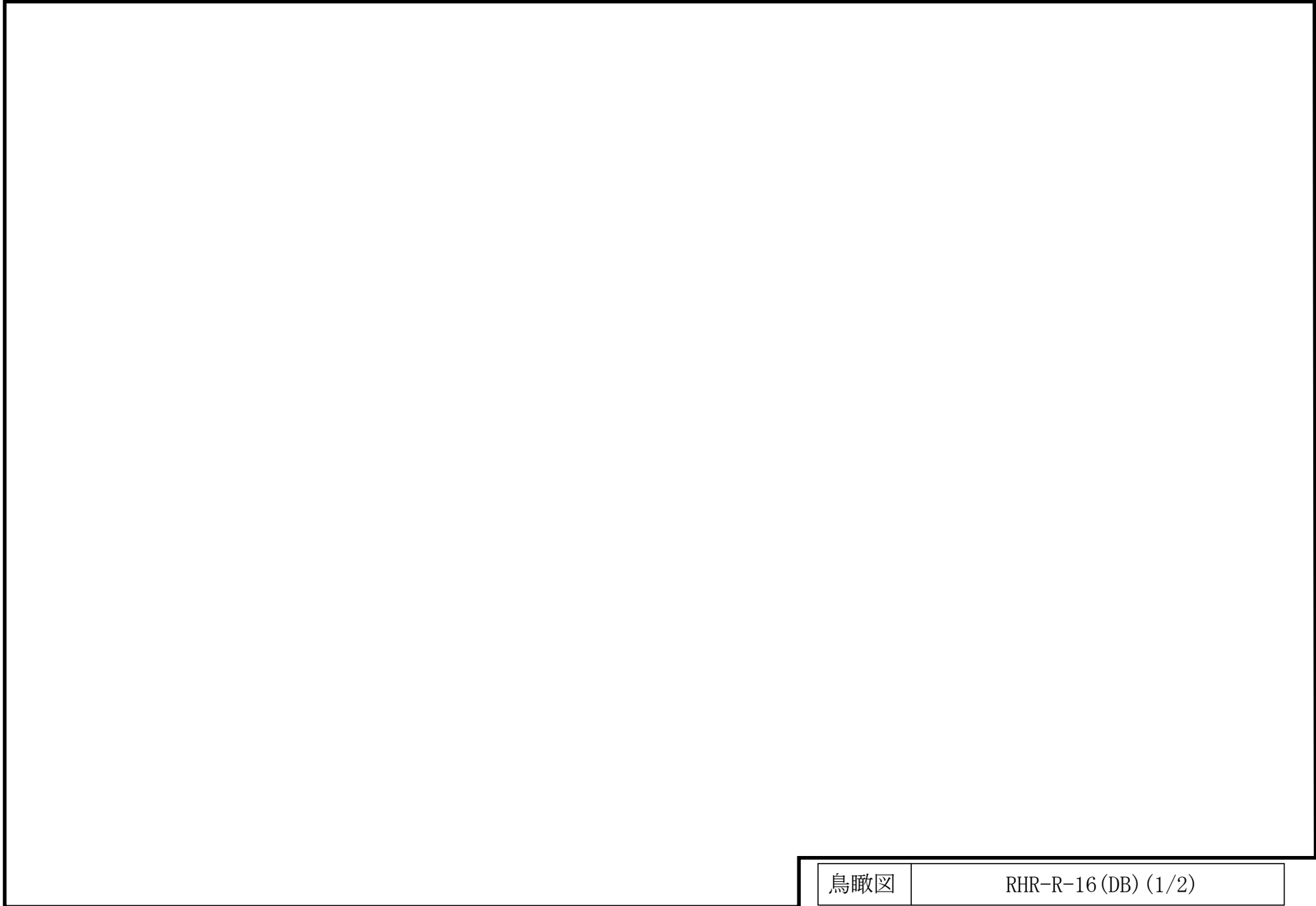
RHR-R-2(SA) (6/6)



鳥瞰図

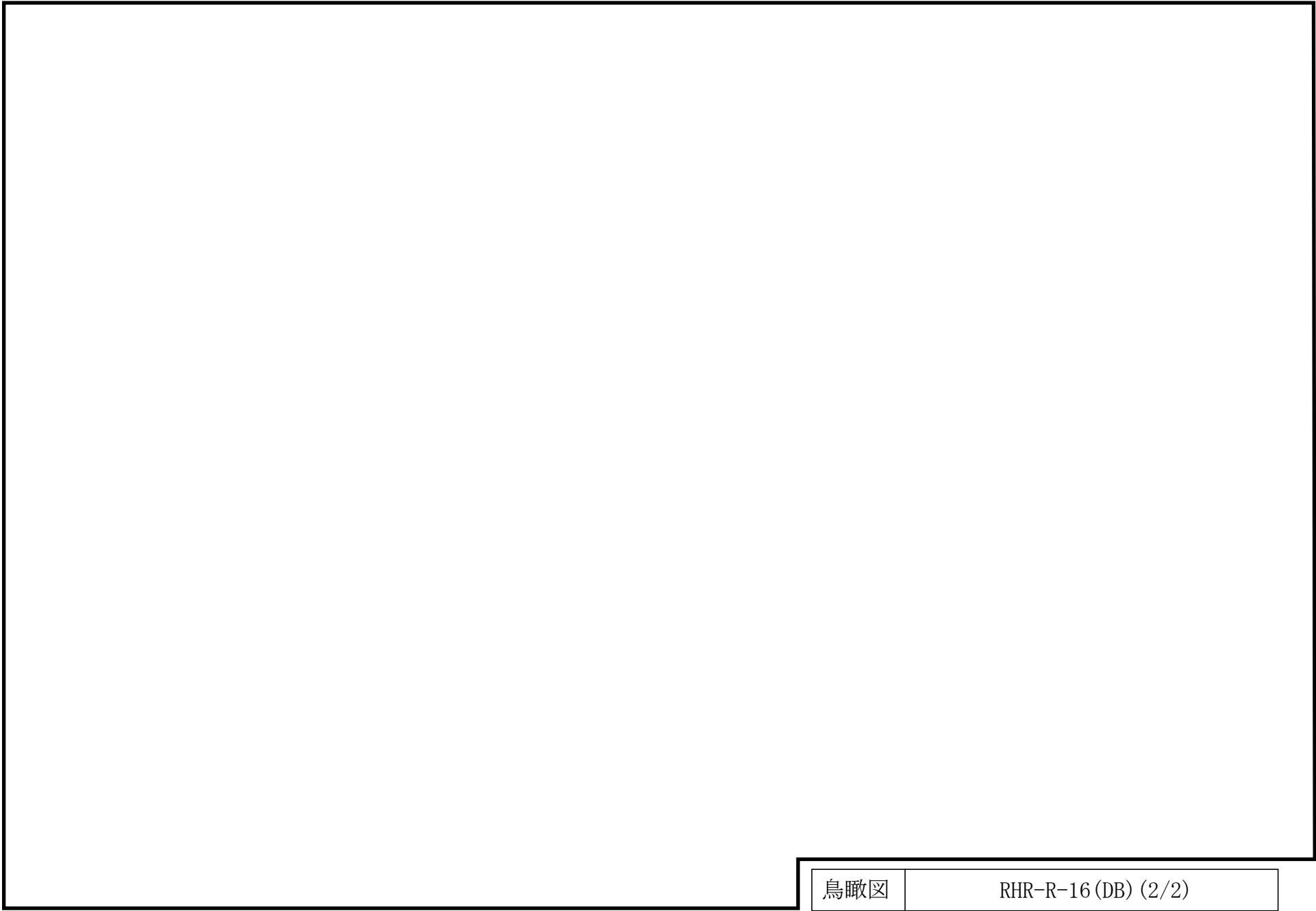
RHR-R-8 (DB) (1/2)



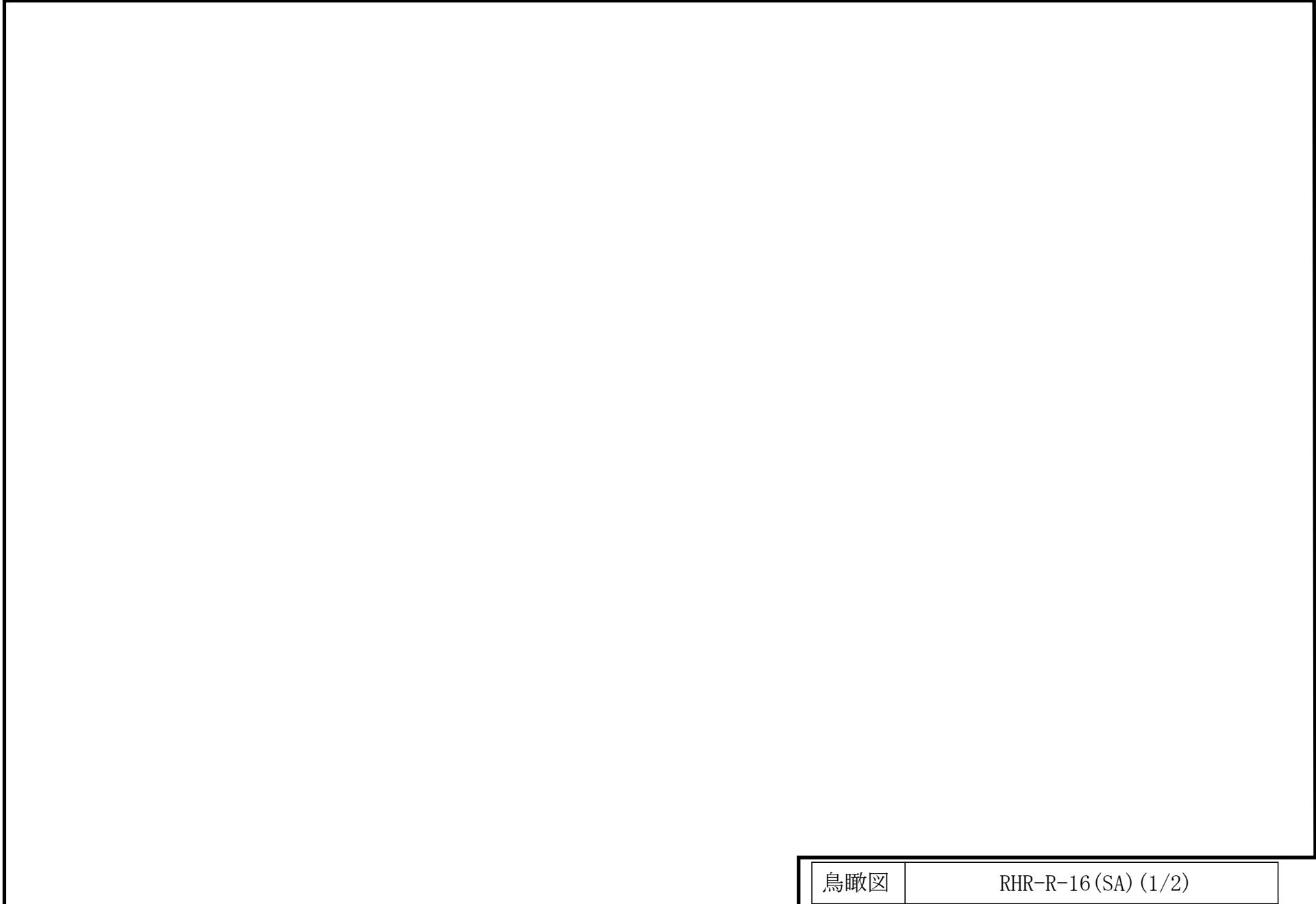


鳥瞰図

RHR-R-16 (DB) (1/2)



鳥瞰図	RHR-R-16 (DB) (2/2)
-----	---------------------

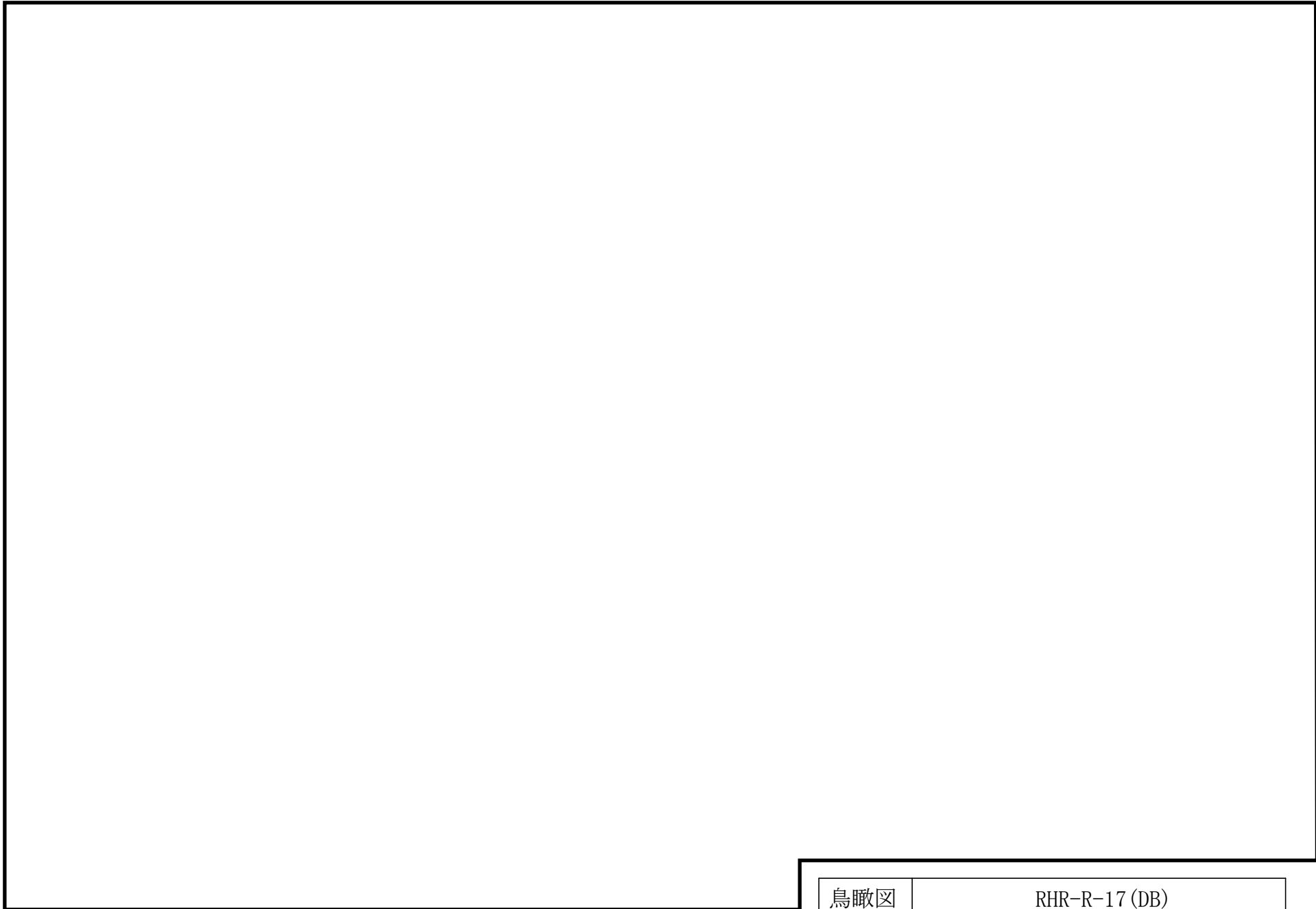


鳥瞰図	RHR-R-16(SA) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図

RHR-R-16(SA) (2/2)



鳥瞰図

RHR-R-17 (DB)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス1管 クラス2管 クラス3管	S	I _L + S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _d	
							Ⅳ _{L(L)} + S _d	
							I _L + S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S _s	
			SA	常設/防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S _s	
							Ⅳ _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	Ⅴ _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
V _L + S _s ^{*11}								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	残留熱除去系	S A	常設/防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d ^{*6}	
							V _L (L) + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _L (LL) + S _s ^{*6, *7, *10}	
		V _L + S _s ^{*11}						
		高圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L (L) + S _d ^{*7, *8, *9}	V _A S
							V _L (LL) + S _s ^{*7, *10}	
							V _L + S _s ^{*11}	
		低圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d ^{*6}	
							V _L (L) + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
V _L (LL) + S _s ^{*6, *7, *10}								
V _L + S _s ^{*11}								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール冷却系	DB	—	クラス3管	S	$I_L + S_d$	III _A S
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	残留熱除去系	SA	常設/防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$	
							$V_L + S_s^{*11}$	
		高圧原子炉代替注水系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$	
							$V_L + S_s^{*11}$	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	低圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d ^{*6}	
							V _L (L) + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _L (LL) + S _s ^{*6, *7, *10}	
		V _L + S _s ^{*11}						
		格納容器代替スプレイ系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L (L) + S _d ^{*7, *8, *9}	V _A S
							V _L (LL) + S _s ^{*7, *10}	
	V _L + S _s ^{*11}							
	ペDESTAL代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S	
						II _L + S _s		
						V _L (L) + S _d ^{*7, *8, *9}	V _A S	
						V _L (LL) + S _s ^{*7, *10}		
V _L + S _s ^{*11}								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	残留熱代替除去系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
V _L + S _s ^{*11}								

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止 (D B 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	7~27, 28~29	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	29~31N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

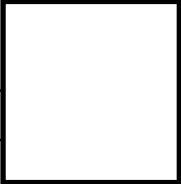
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	7～27, 28～29	267.4	18.2	STS42	S	200400
2	29～31N	267.4	18.2	STS42	S	186920

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

質量	対応する評価点
	7～901, 13～15, 17～1901, 24～2502, 26～27
	28～3101, 3102～31N
	901～13, 15～17, 1901～24, 2502～26
	3101～3102

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	6~7	<input type="text"/>	27~28

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
6~7				27~28			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)								
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向						
1A												
** 9 **												
** 1201 **												
14												
19												
** 23 **												
29												
N1												

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1～21	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
2	22～27	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
3	28～29N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～21	114.3	11.1	STS42	S	200400
2	22～27	114.3	11.1	STS42	S	185880
3	28～29N	165.2	14.3	STS42	S	185880


配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

質量	対応する評価点
□	1～101, 302～801, 901～121, 141～171
□	101～302, 801～901, 121～141, 171～21
□	22～27
□	28～29N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

質量	対応する評価点
	3F, 24F
	29N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

質量	対応する評価点
	21～22

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
21~22			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1						
6						
13						
15						
** 15 **						
18						
N1						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	2~14	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	0.853	178
2	18~2601, 2701~35N	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
3	2601~2701	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
4	27~3601	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
5	3601~37	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
6	37~39, 43~67A	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
7	38~7001	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	7001~7002	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
9	7002~7102	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	—	—
10	7102~72	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	—	—
11	73~92A	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2～14	508.0	9.5	SM41C	S	201667
2	18～2601, 2701～35N	508.0	9.5	SM41C	S	201667
3	2601～2701	517.6	14.3	SM41C	S	201667
4	27～3601	416.0	14.3	SM41C	S	201667
5	3601～37	406.4	9.5	SM41C	S	201667
6	37～39, 43～67A	406.4	9.5	STPT42	S	201667
7	38～7001	216.3	8.2	STPT42	S	201667
8	7001～7002	216.3	8.2	STPT410	S	201667
9	7002～7102	216.3	8.2	STPT410	S	201667
10	7102～72	216.3	8.2	STPT42	S	201667
11	73～92A	216.3	8.2	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-2

質量	対応する評価点
	18～23
	23～2601, 2701～341, 342～35N
	2601～2701
	341～342
	27～39, 43～4401, 4601～491, 521～53, 551～571 600～611, 621～631, 661～67A
	4401～4601, 491～521, 53～551, 571～600, 611～621 631～661
	38～72

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-2

質量	対応する評価点
	34F
	35N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14, 18		15
	16		17
	39~40, 40~43		39, 43
	40		41
	42		72~73

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14~15				15~16			
16~1601				1601~17			
15~18				39~40			
40~41				41~4101			
4101~42				40~43			
72~73							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
9						
** 12 **						
1601						
1601						
19						
** 1901 **						
25						
35N						
4101						
4301						
49						
52						
56						
57						
5901						
** 610 **						
622						
63						
6501						
67A						
71						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 7101 **						
83						
** 83 **						
** 83 **						
88						
92A						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~6S, 22S~560	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
2	6S~22S	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
3	560~60A	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
4	109~111, 113~136A 109~139	Ⅲ _A S	3.92	185
		Ⅳ _A S	3.92	185
		Ⅴ _A S	—	—
5	141~144	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

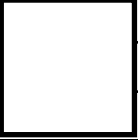
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-8

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～6S, 22S～560	216.3	8.2	STPT42	S	201667
2	6S～22S	216.3	8.2	STPT42	S	200800
3	560～60A	216.3	8.2	STPT410	S	201667
4	109～111, 113～136A 109～139	114.3	8.6	STPT42	S	201667
5	141～144	114.3	11.1	STPT42	S	200400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-8

質量	対応する評価点
	109～111, 113～136A, 109～139
	141～142
	142～144

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-8

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	111, 113		112
	1120		1121
	139, 141		140
	1400		1402

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-8

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
111~112				112~1120			
1120~1121				112~113			
139~140				140~1400			
1400~1401				1401~1402			
140~141							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-8

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
12						
17						
25						
33						
43						
52						
5601						
60A						
118						
** 128 **						
128						
** 128 **						
136A						
** 1401 **						
** 1401 **						
145A						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-16

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~40	Ⅲ _A S	3.92	100
		Ⅳ _A S	3.92	100
		Ⅴ _A S	3.92	116
2	46~50	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	75~97A, 75~99A	Ⅲ _A S	3.92	104
		Ⅳ _A S	3.92	104
		Ⅴ _A S	3.92	178

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-16

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～40	355.6	15.1	STS42	S	201667
2	46～50	267.4	18.2	STS42	S	200400
3	75～97A, 75～99A	267.4	12.7	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-16

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	46～47
<input type="checkbox"/>	47～50

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-16

質量	対応する評価点
□	26
□	93

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-16

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	41, 46		42
	43		45

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-16

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
41~42				42~43			
43~44				44~45			
42~46							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-16

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
4001						
8						
11						
13						
20						
2401						
** 27 **						
27						
** 31 **						
** 35 **						
35						
** 35 **						
** 44 **						
** 44 **						
51A						
7601						
7801						
81						
** 87 **						
87						
** 91 **						
91						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-16

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
97A						
99A						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-17

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~14, 15~25 17~101, 102~121A	Ⅲ _A S	3.92	185
		Ⅳ _A S	3.92	185
		Ⅴ _A S	—	—
2	26~28	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
3	29~54A	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-17

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～14, 15～25 17～101, 102～121A	216.3	10.3	STPT42	S	201667
2	26～28	216.3	8.2	STPT42	S	201667
3	29～54A	216.3	8.2	SUS304TP	S	193400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-17

質量	対応する評価点
	1A～2, 13S～14
	2～13S, 102～121A
	15～25, 17～101

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-17

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	115F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-17

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14~15		25~26
	28~29		101~102

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-17

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14~15				25~26			
28~29				101~102			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-17

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
5						
10						
19						
27						
37						
39						
48						
54A						
103						
104						
112						
121A						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STS42	302	122	—	—	—
SM41C	104	—	219	373	—
SM41C	178	—	199	373	—
SM41C	185	—	197	373	—
STPT42	185	—	209	404	—
STPT410	185	—	209	404	—
STPT42	66	—	231	407	—
STPT410	66	—	231	407	—
STPT42	302	—	182	404	—
STS42	100	—	220	405	—
STS42	116	—	218	404	—
STPT42	104	—	219	404	—
STPT42	178	—	210	404	—
SUS304TP	66	—	188	479	126

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RHR-PD-4	ガンマ線遮蔽壁	EL	[Redacted]		
RHR-PD-7	原子炉格納容器	EL			
RHR-R-2	原子炉建物	EL			
RHR-R-8	原子炉建物	EL			
RHR-R-16	原子炉建物	EL			
RHR-R-17	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

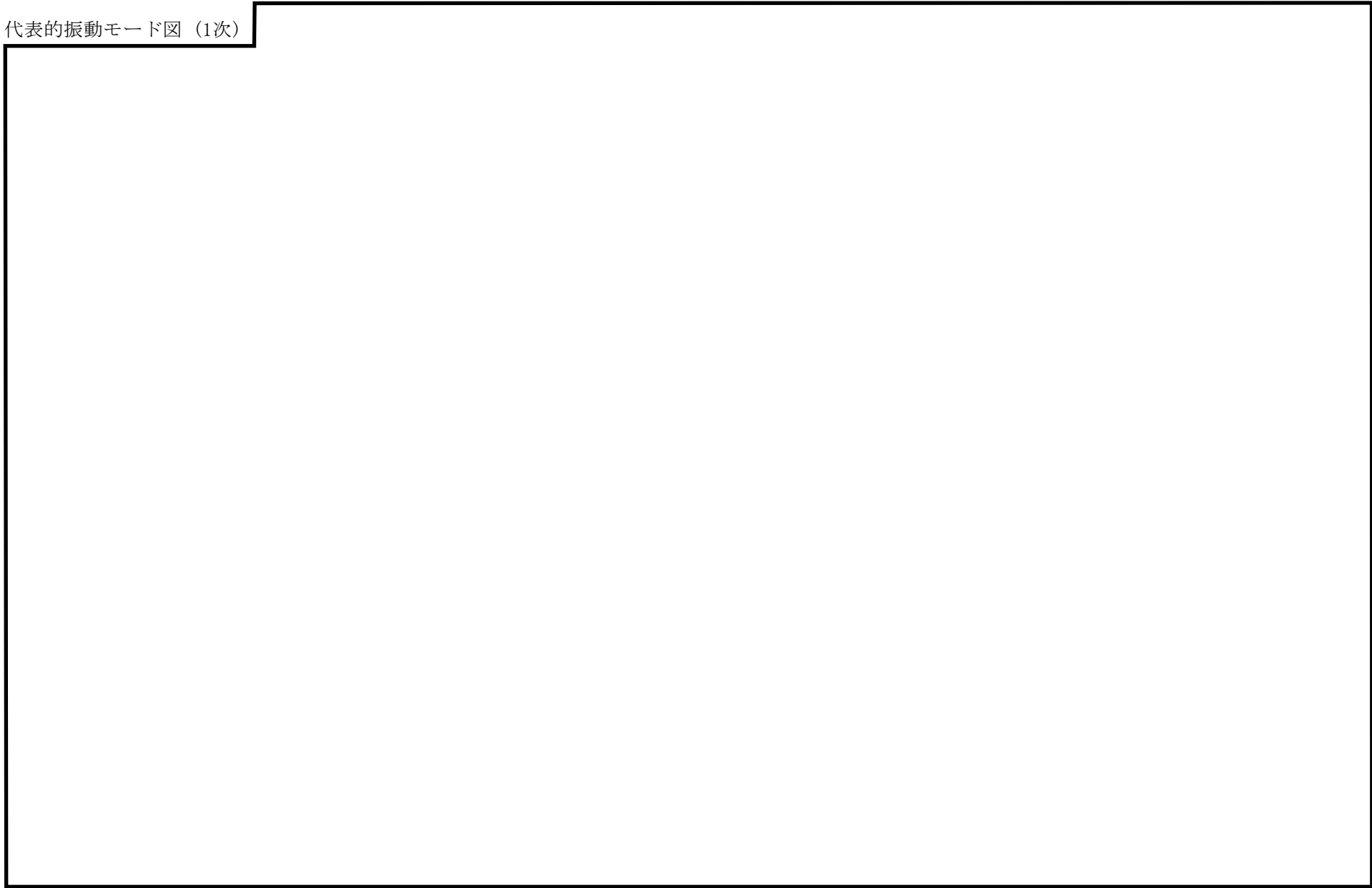
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

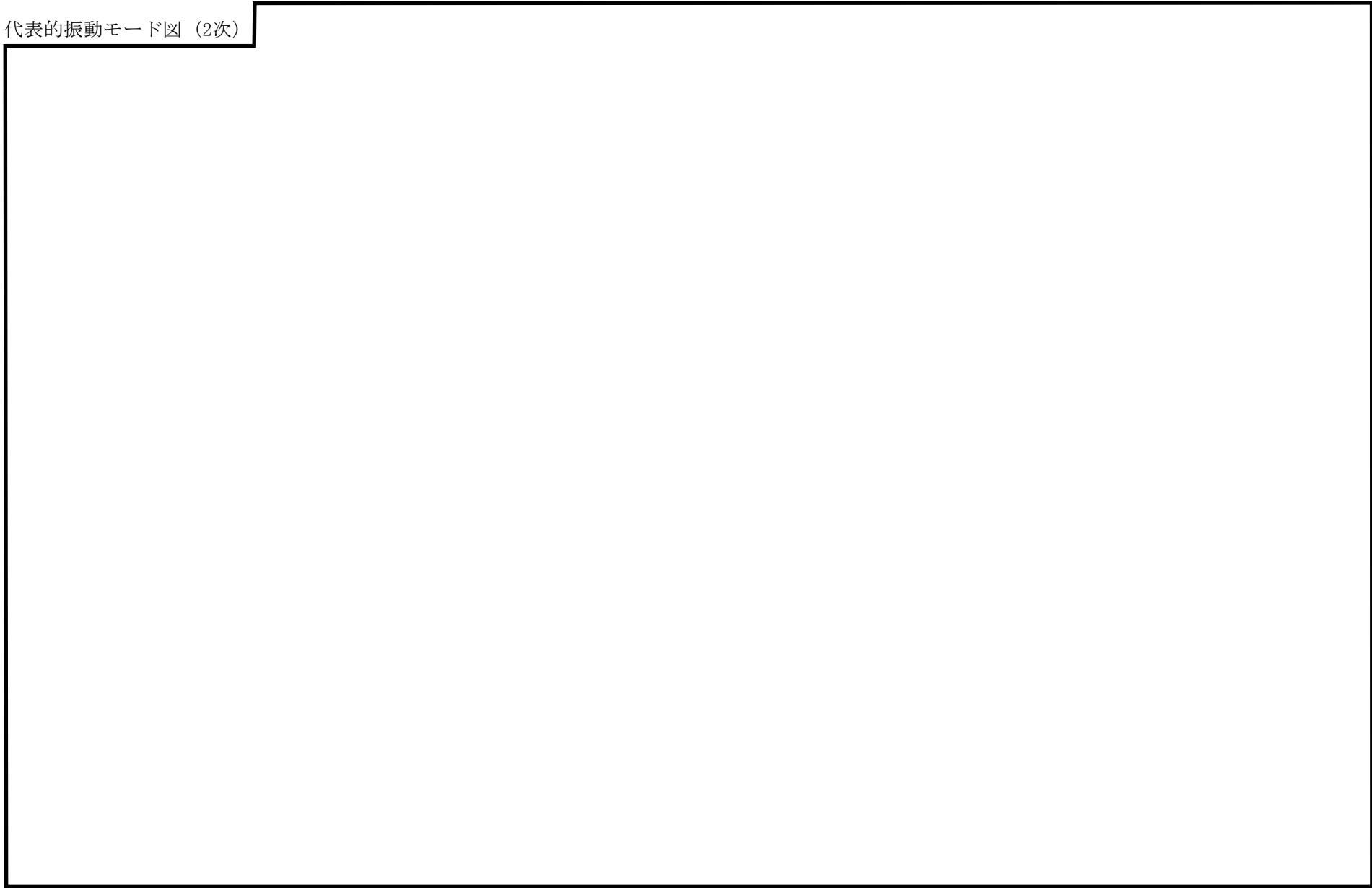
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

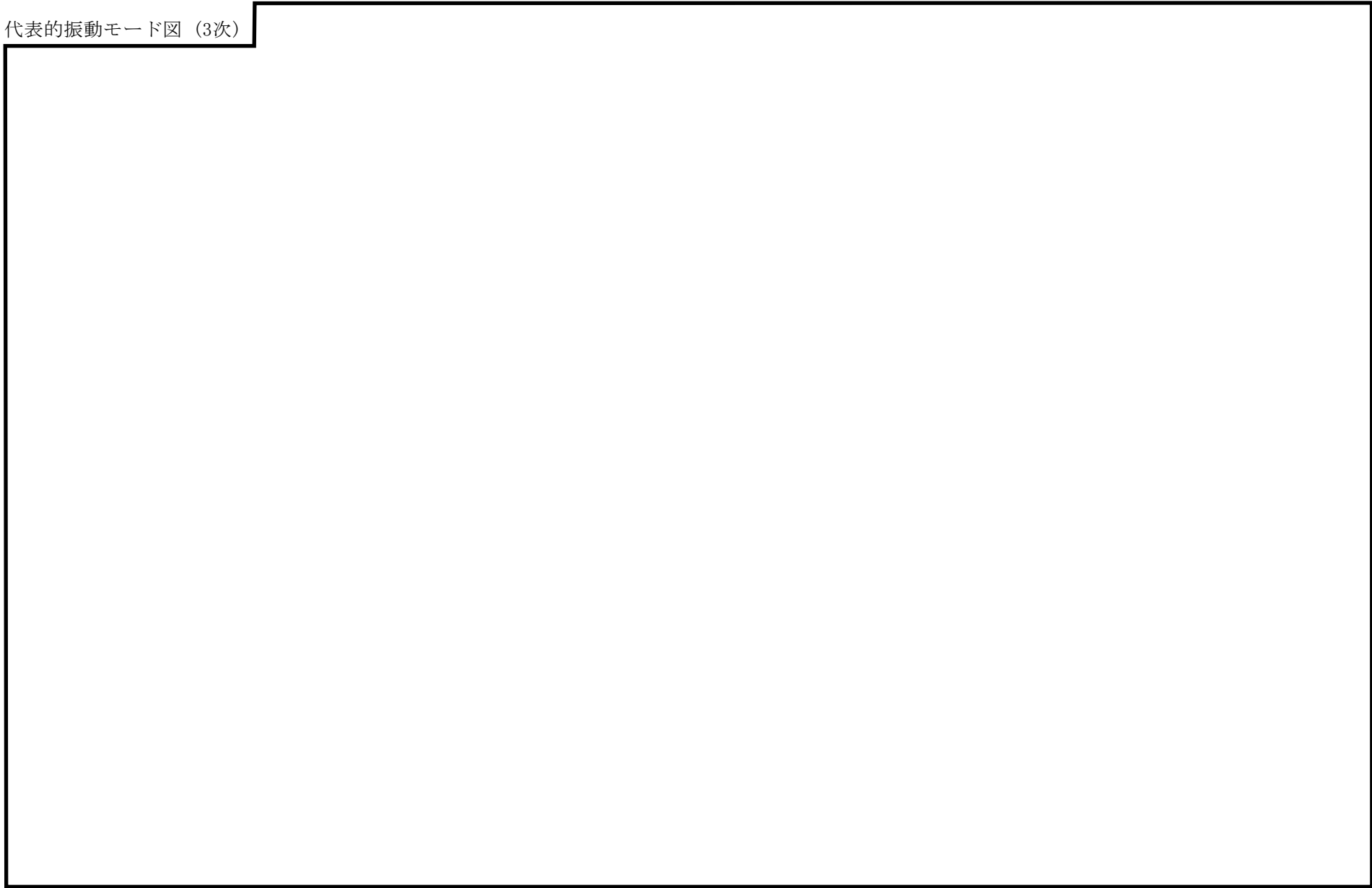
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

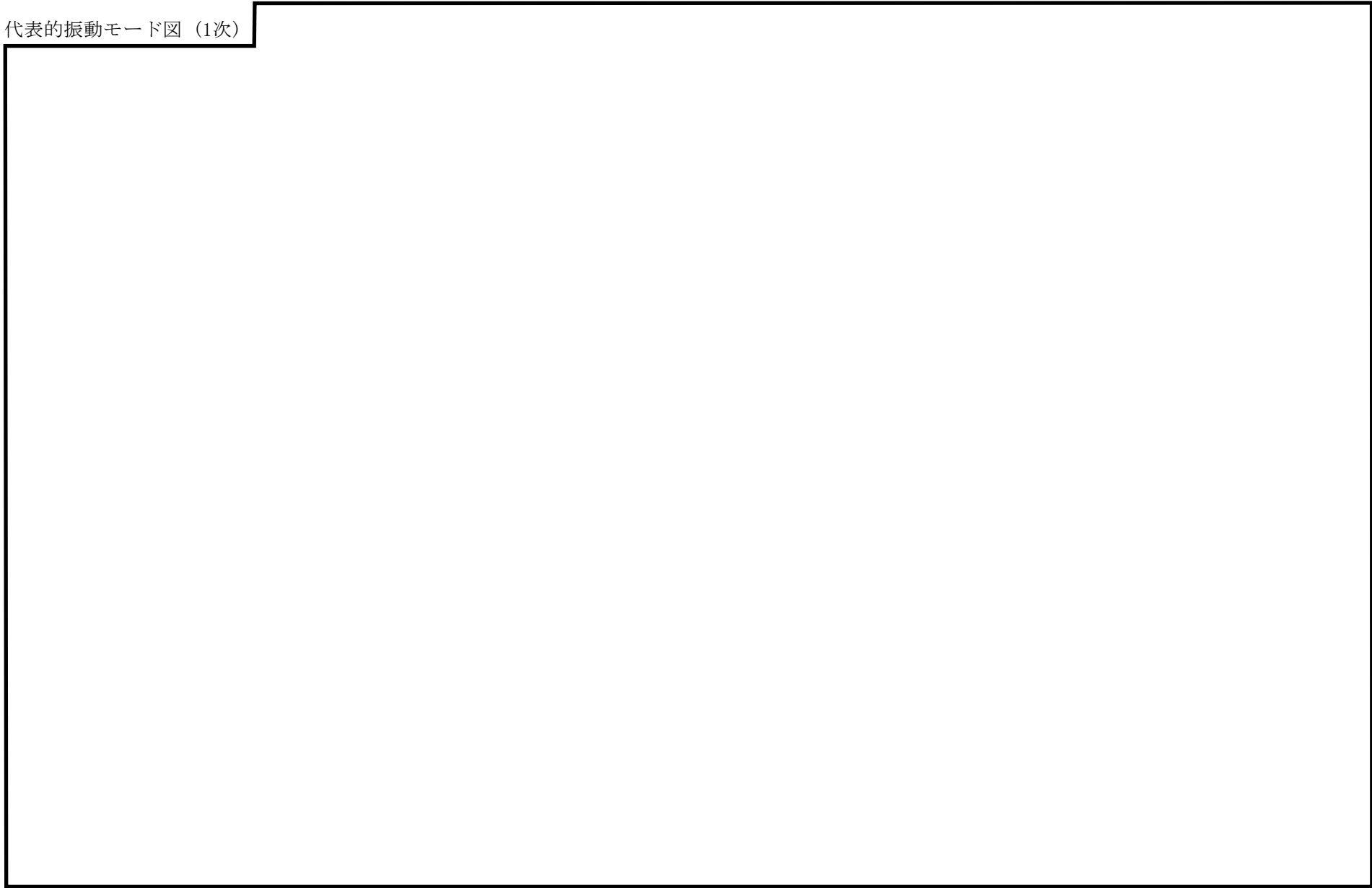
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

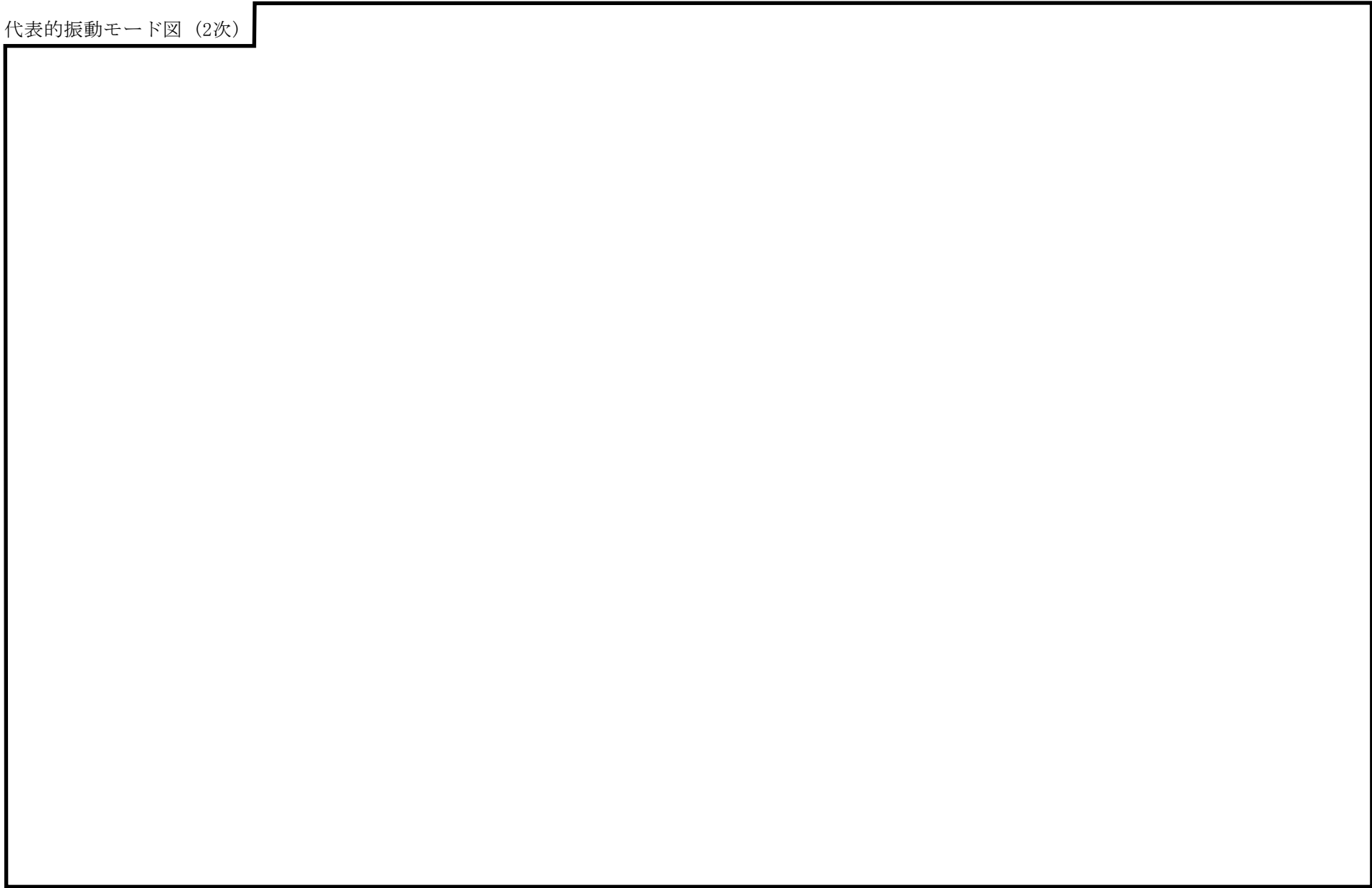
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
16次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-R-2

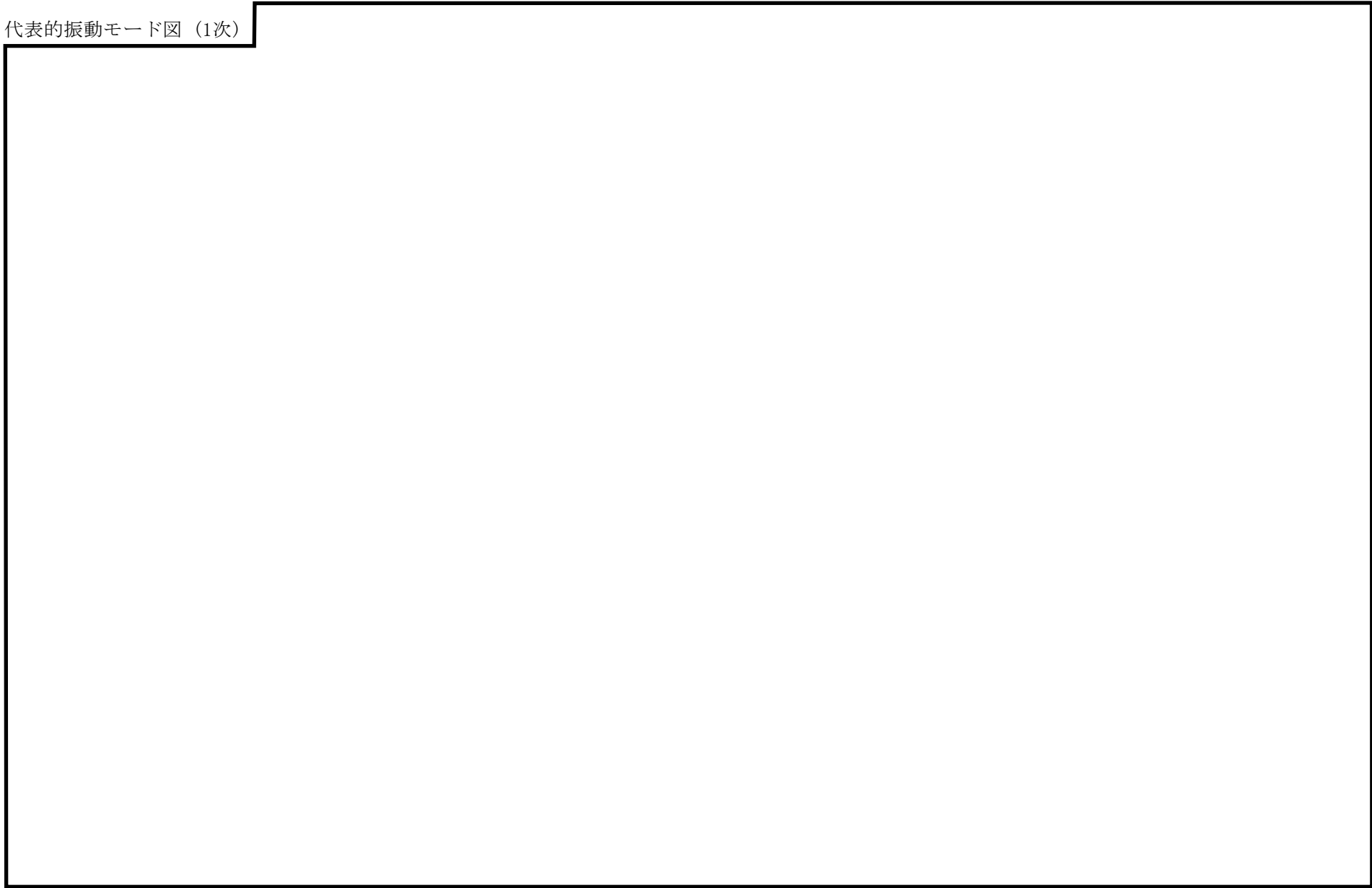
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
16次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

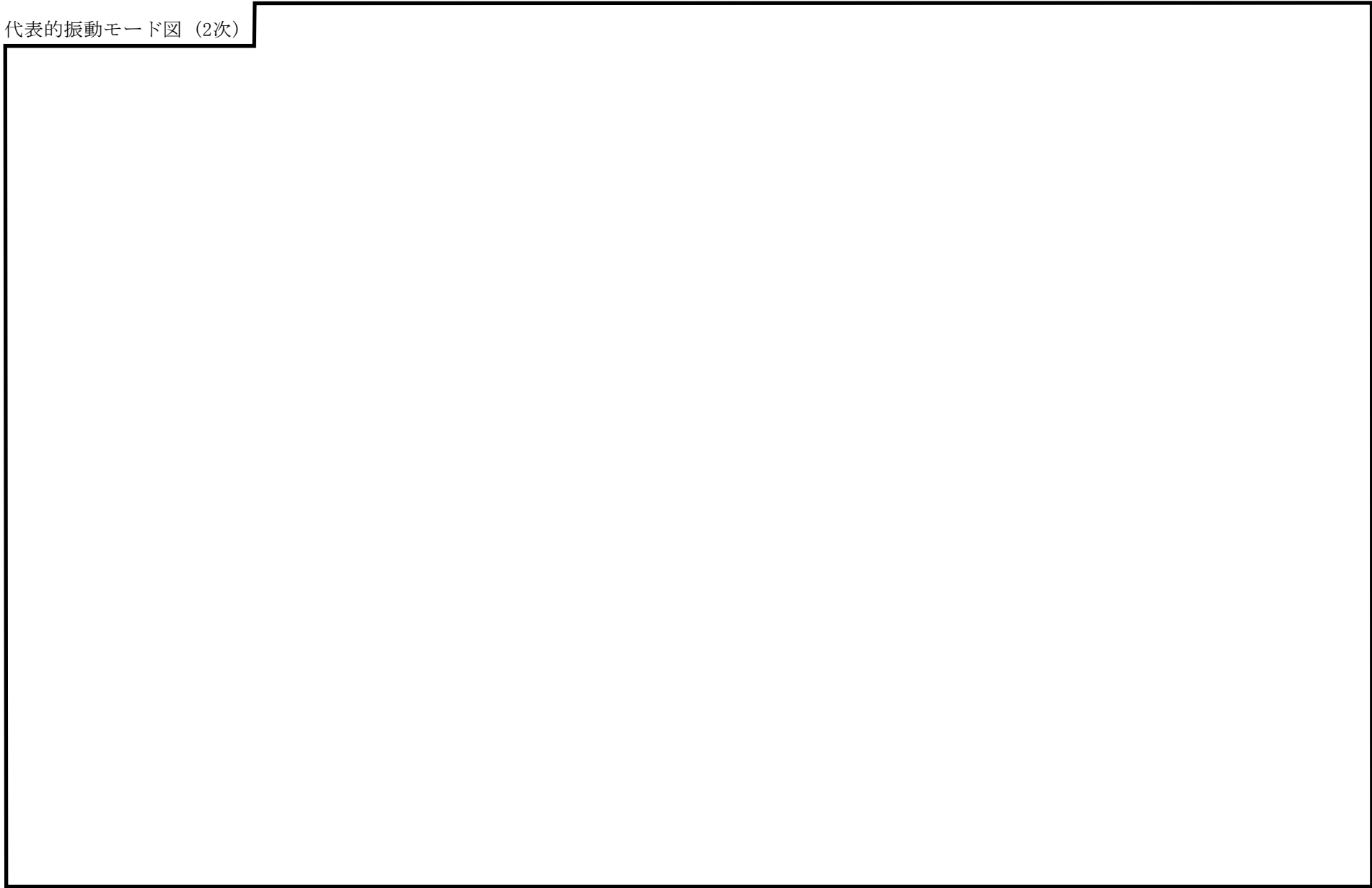
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

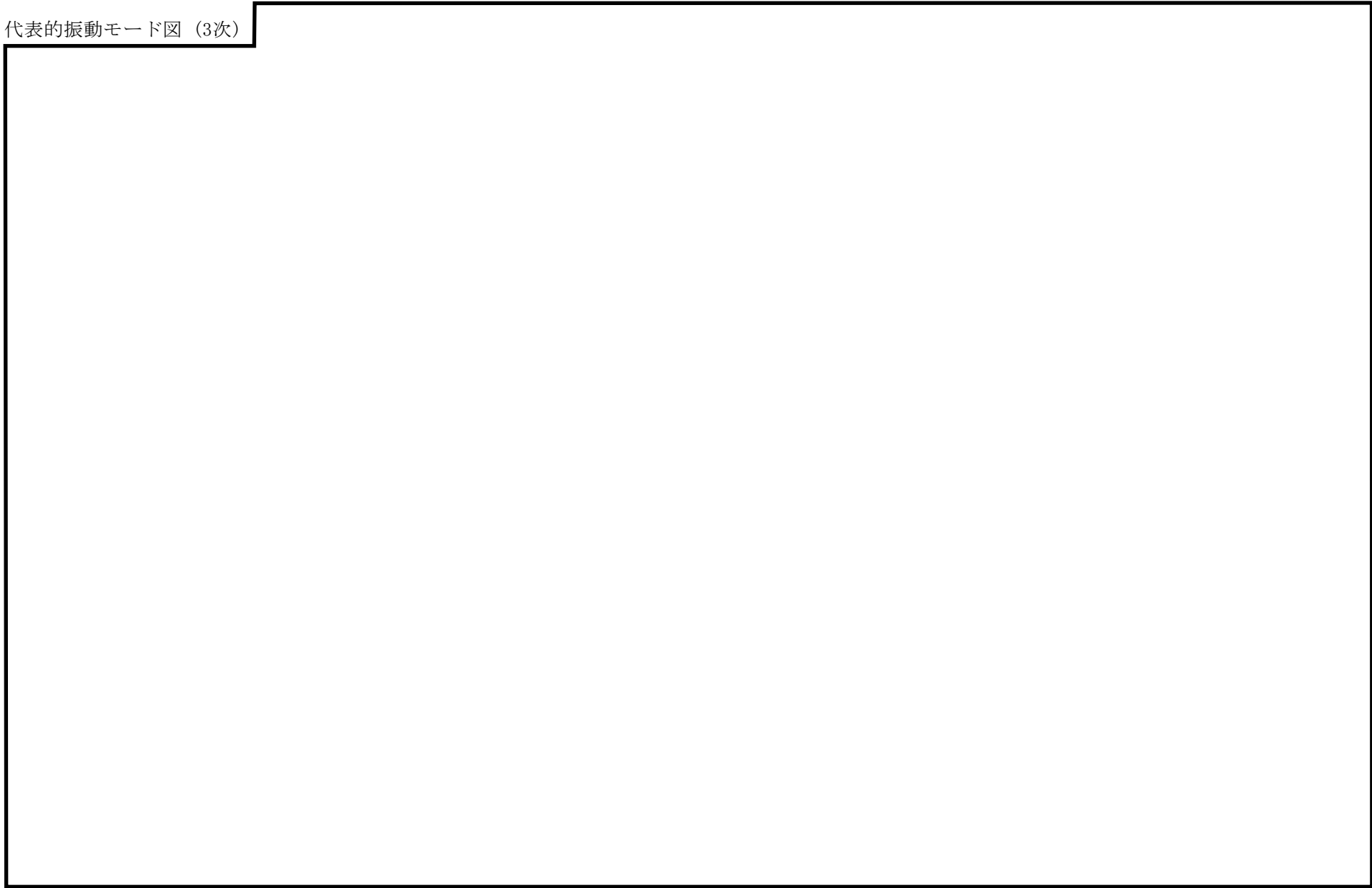
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-8

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-R-8

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				

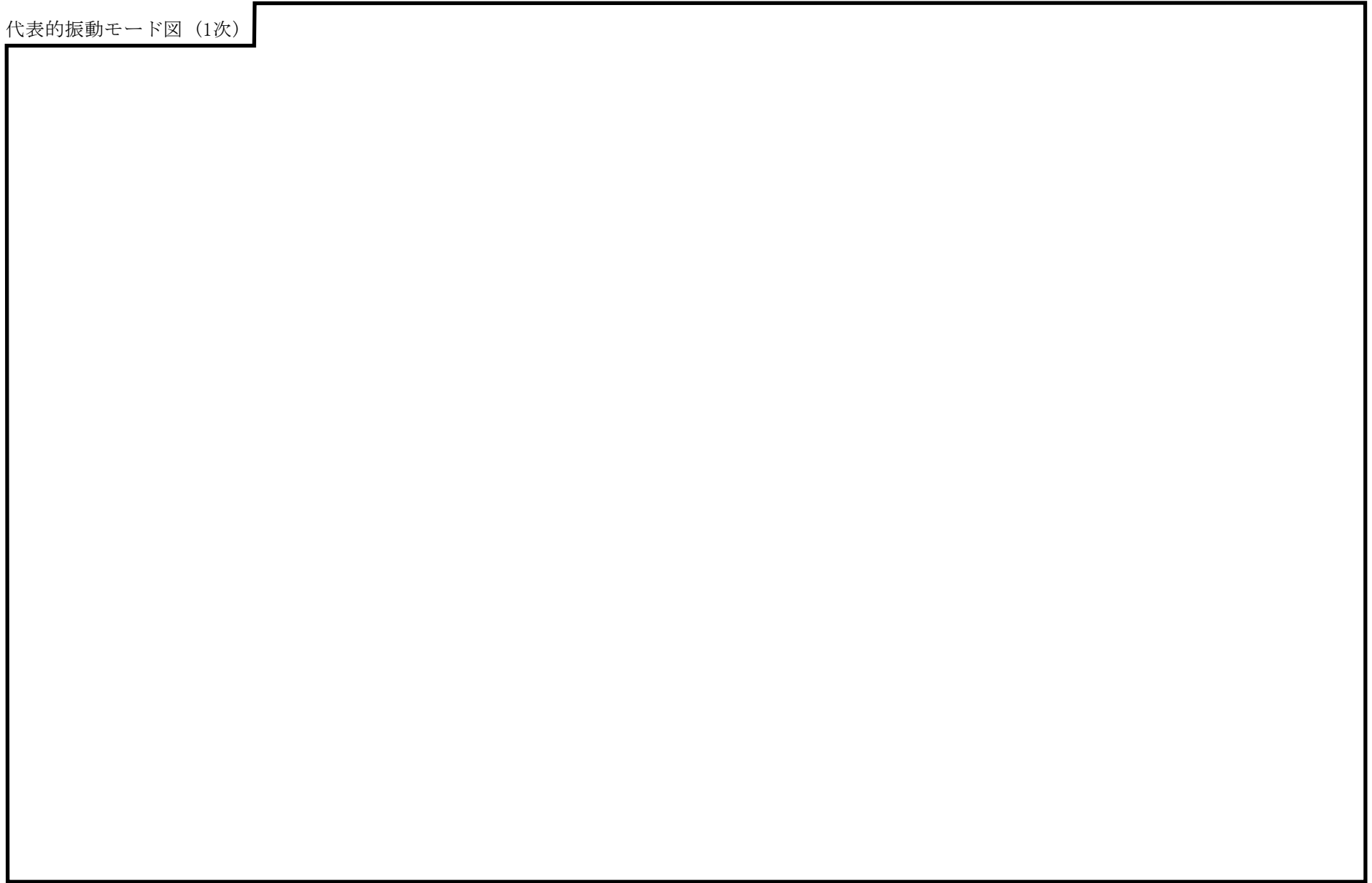
注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

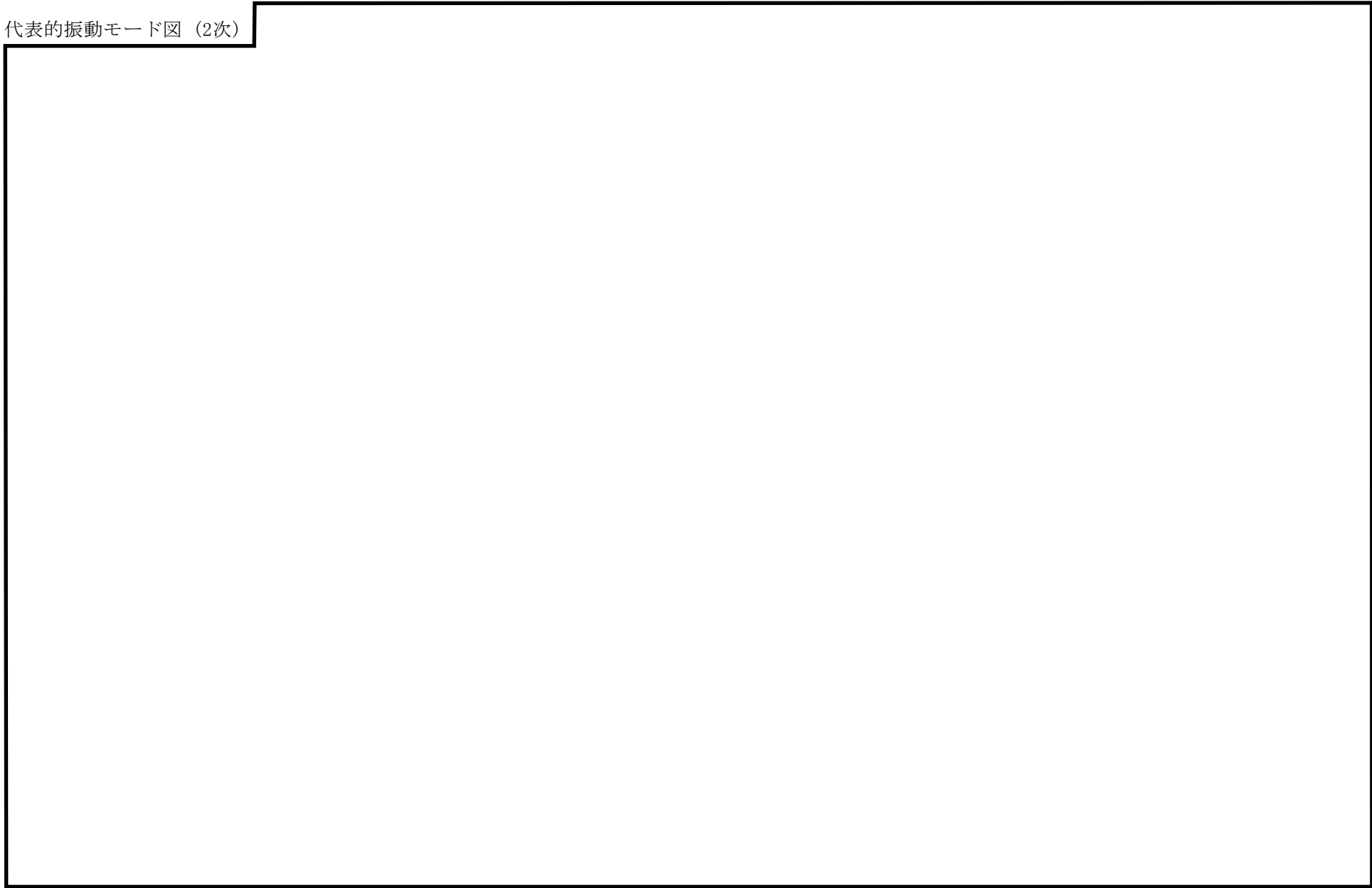
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

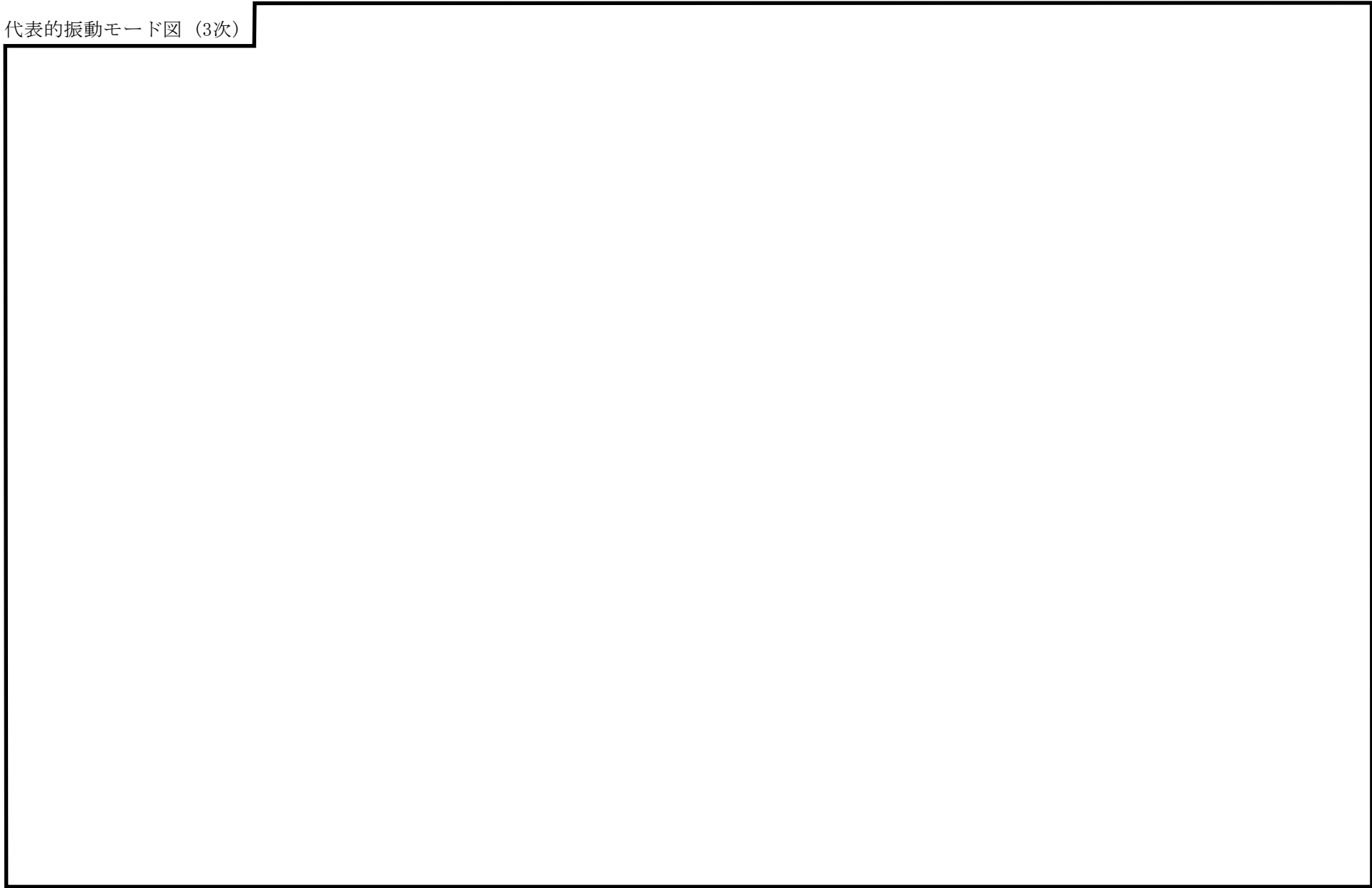
101



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-16

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-R-16

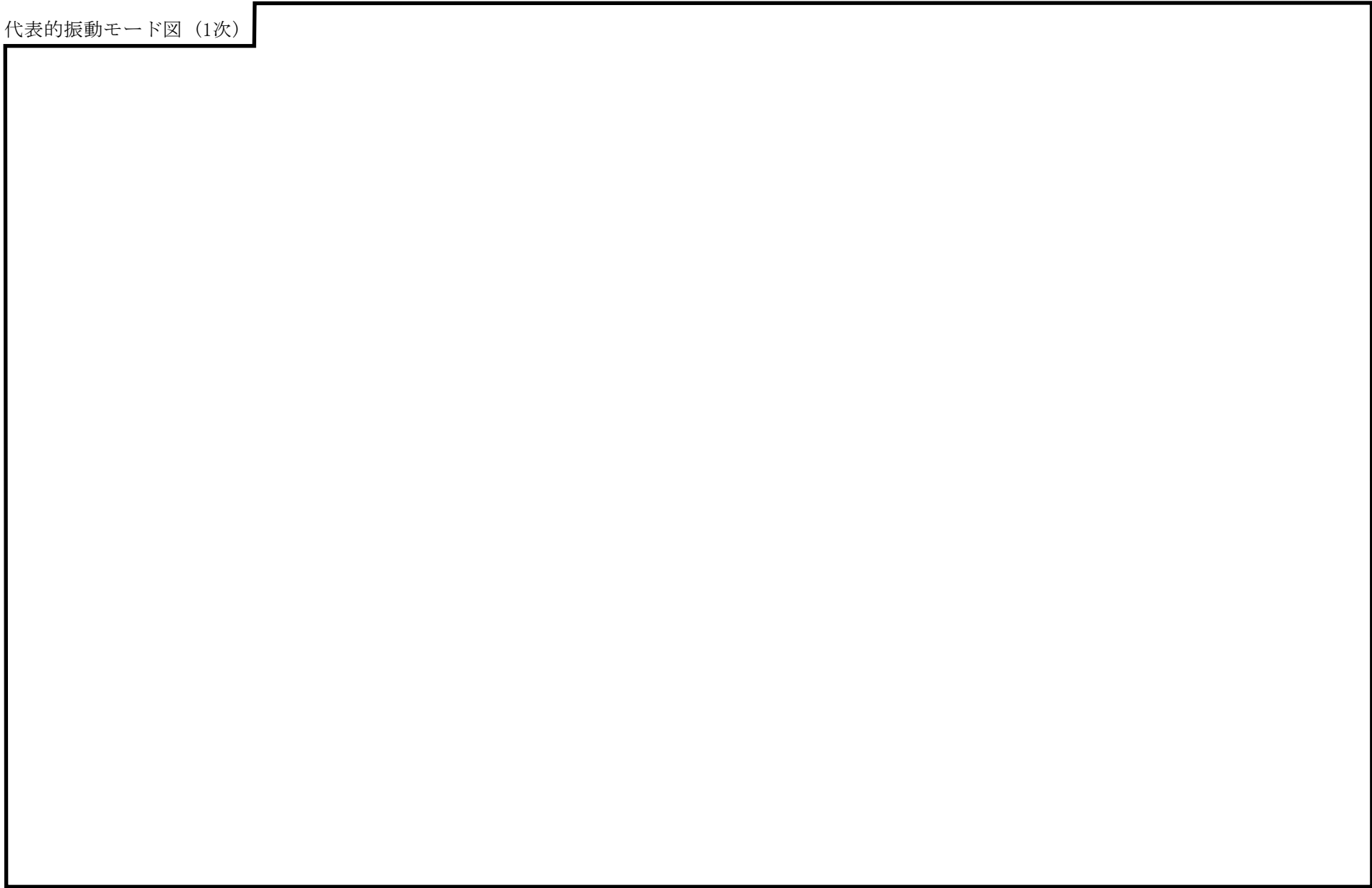
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

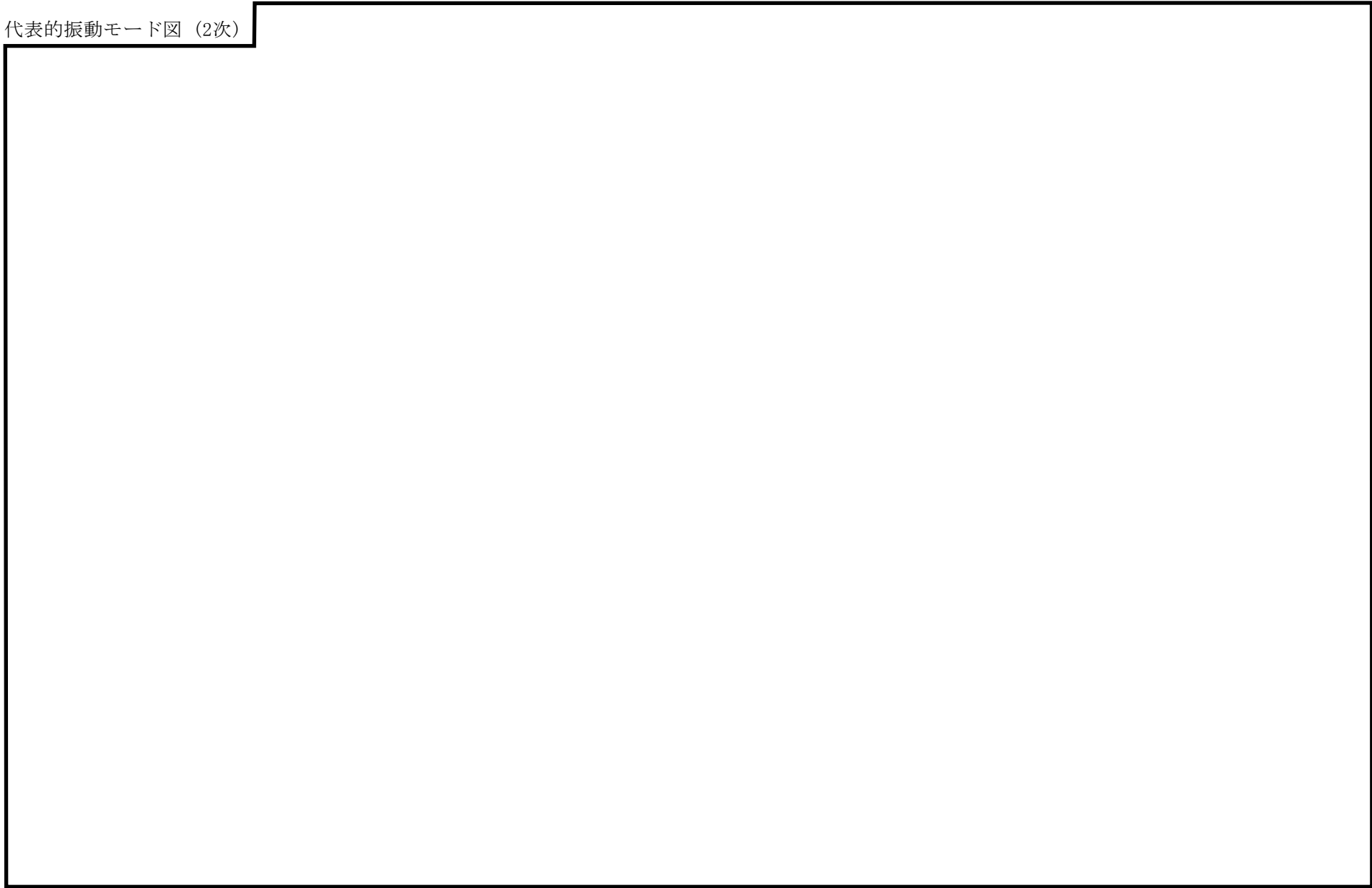
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

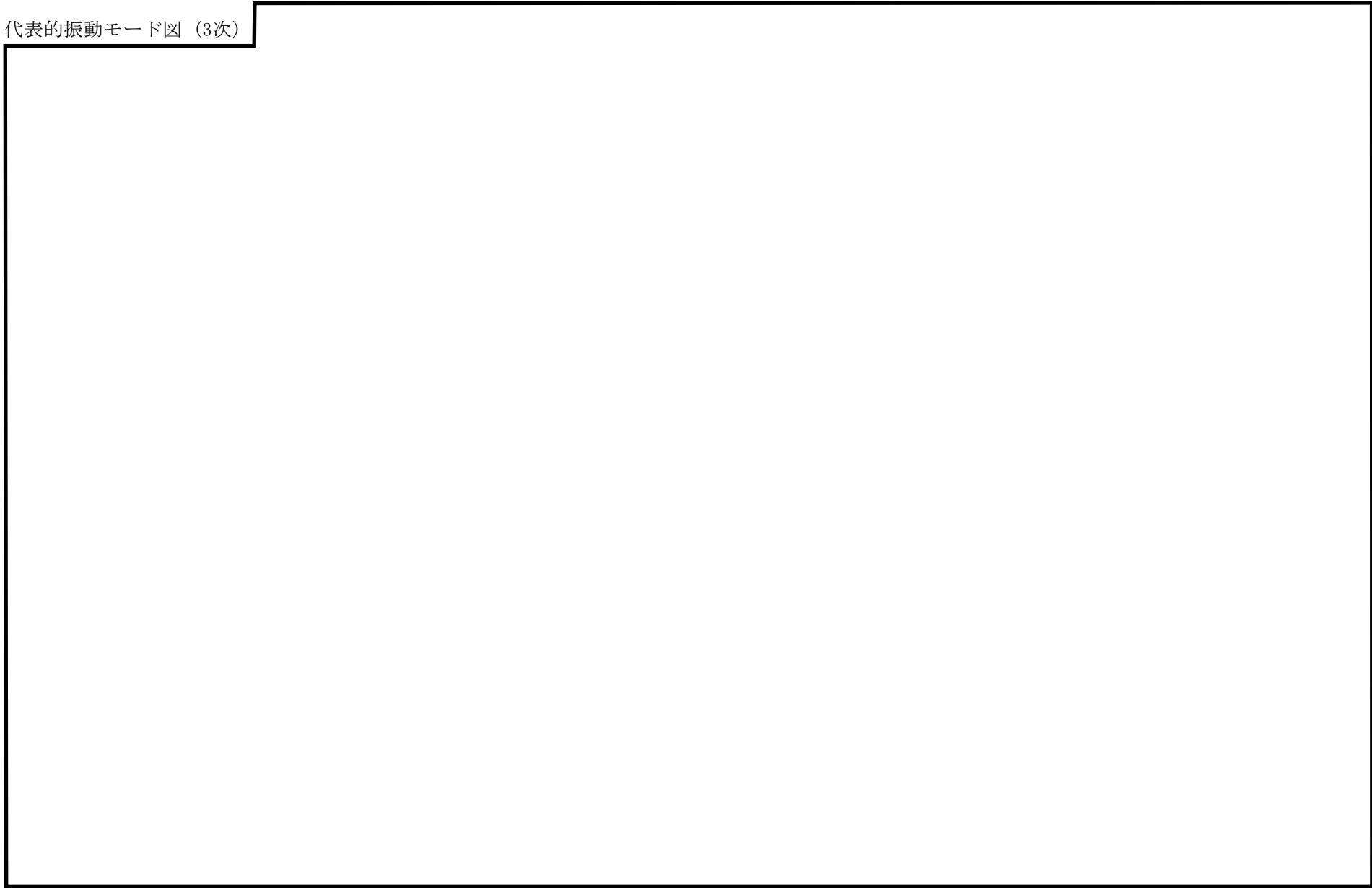
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-17

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-R-17

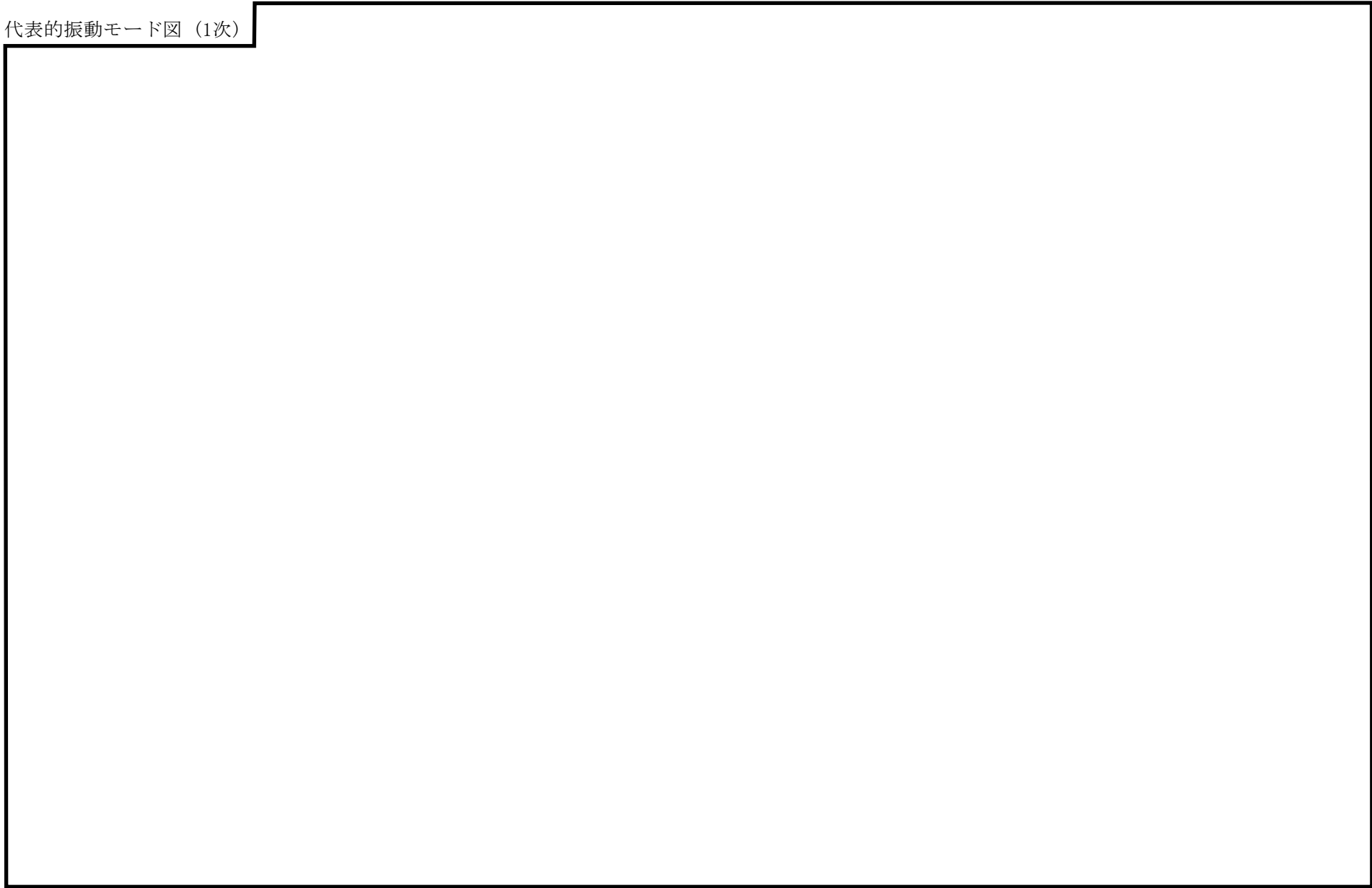
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

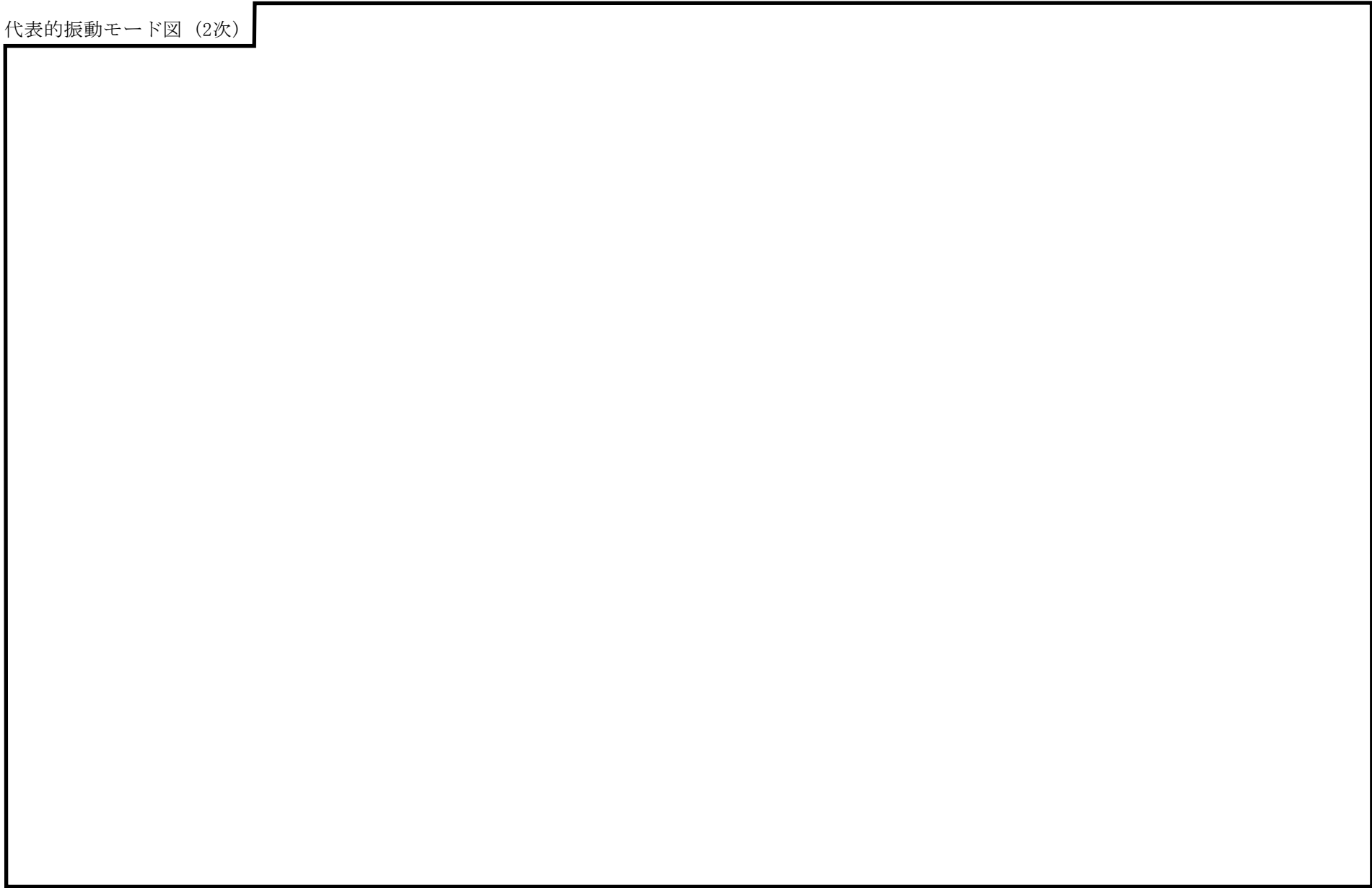
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

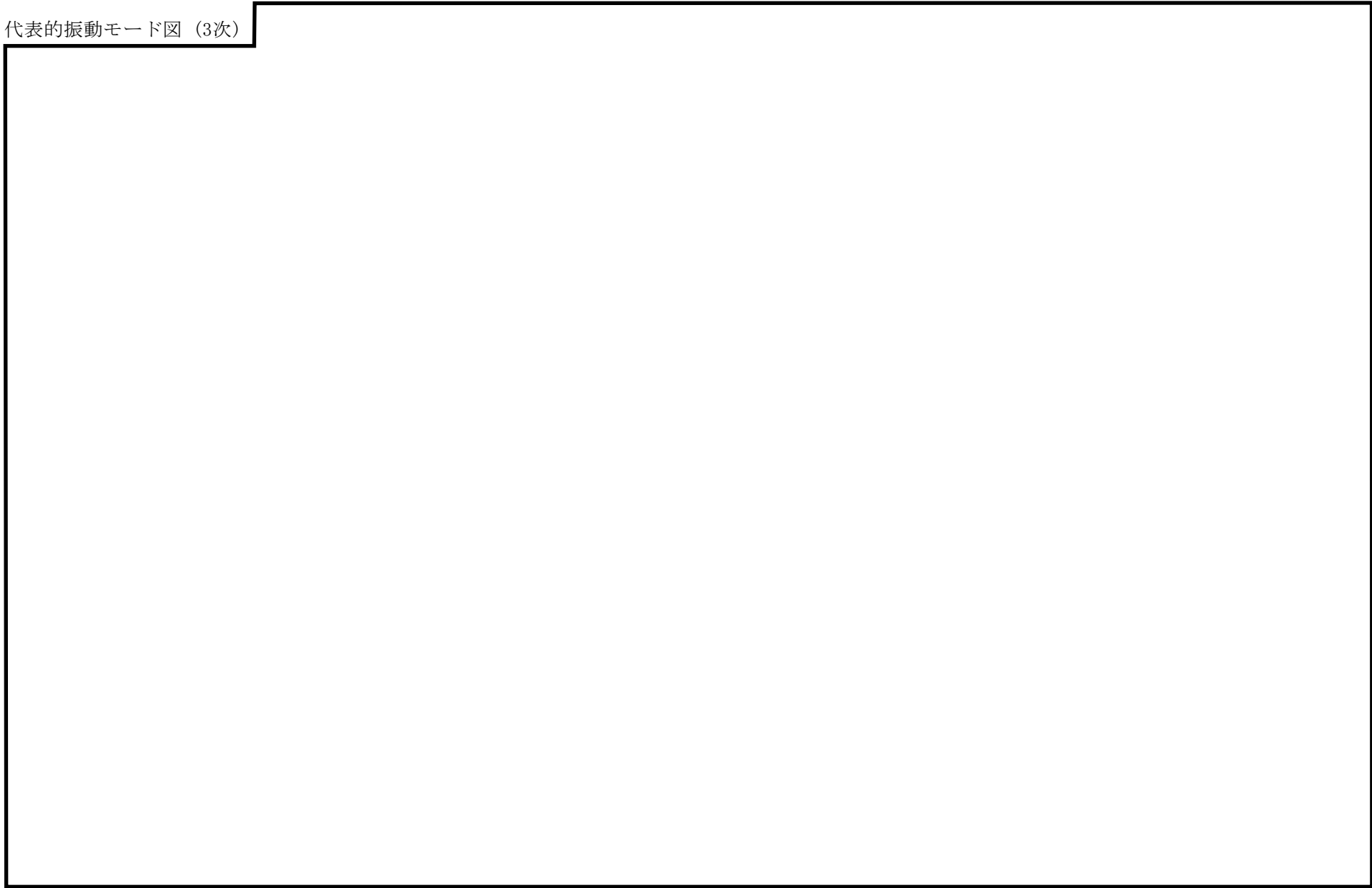
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(2.25 \cdot S m)$	RHR-R-16	49	BUTT WELD	95	274	—
		ねじり $S_t(0.55 \cdot S m)$	RHR-R-16	50	ELBOW	32	67	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(1.8 \cdot S m)$	RHR-R-16	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		RHR-PD-7	27	REDUCER	336	366	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		RHR-PD-7	27	REDUCER	—	—	0.0196
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S m)$	RHR-PD-4	31N	NOZZLE	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	RHR-PD-4	29	SUP. PT	70	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	RHR-PD-4	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		RHR-PD-7	27	REDUCER	558	366	0.1770
	疲労累積係数 $U + U S s$		RHR-PD-7	27	REDUCER	—	—	0.1770

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	31N	NOZZLE	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	29	SUP. PT	70	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	379	366	0.0161
	疲労累積係数 $U + U S_s$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	—	—	0.0161
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	31N	NOZZLE	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	29	SUP. PT	70	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	379	366	0.0161
	疲労累積係数 $U + U S_s$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	—	—	0.0161

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RHR-R-17	54A	162	188	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-17	54A	268	376	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-8	141	253	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-8	141	414	364	0.1594

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-2	27	141	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-2	21	294	394	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-2	27	141	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-2	21	294	394	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
SNM-RHR-30	メカニカルスナッパ	SMS-3	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	185	22	45	—
SNO-RHR-48	オイルスナッパ	SN-25			287	375	—
RE-RHR-50	ロッドレストレイント	RSA-25			198	450	—
SH-RHR-209	スプリングハンガ	VS1B-19			70	72	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RHR-384	レストレイント	パイプバンド	SM400B	185	59	137	0	—	—	—	圧縮	41	119
AN-RHR-221	アンカ	ラグ	SGV480	302	114	164	312	239	218	145	組合せ	107	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
AV222-3B	空気作動逆止弁	β (S s)	8.6	3.9	9.5	6.0	6.0	—	—	操作部本体 取付ボルト部	組合せ	36	886	
AV222-1A	空気作動逆止弁	β (S s)	6.0	4.8	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	
MV222-2B	電動グローブ弁	β (S s)	3.1	3.7	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	
MV222-6	電動ゲート弁	β (S s)	3.7	2.5	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
MV222-5C	電動ゲート弁	β (S s)	2.3	3.5	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-4	31N	91	274	3.01	—	31N	202	366	1.81	—	31N	0.0041	—
2	RHR-PD-5	11	81	274	3.38	—	8	188	366	1.94	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	89	274	3.07	—	32N	187	366	1.95	—	32N	0.0035	—
4	RHR-PD-7	27	61	274	4.49	—	27	336	366	1.08	○	27	0.0196	○
5	RHR-PD-8	17	69	274	3.97	—	18	245	366	1.49	—	37	0.0046	—
6	RHR-R-1	109	70	274	3.91	—	109	27	366	13.55	—	110	0.0010	—
7	RHR-R-5A	18	74	274	3.70	—	18	62	366	5.90	—	18	0.0000	—
8	RHR-R-16	49	95	274	2.88	○	50	111	366	3.29	—	46	0.0000	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-4	31N	138	366	2.65	○	31N	379	366	0.96	—	31N	0.0161	—
2	RHR-PD-5	11	106	366	3.45	—	8	351	366	1.04	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	129	366	2.83	—	32N	350	366	1.04	—	32N	0.0097	—
4	RHR-PD-7	27	75	366	4.88	—	27	558	366	0.65	○	27	0.1770	○
5	RHR-PD-8	17	89	366	4.11	—	18	362	366	1.01	—	18	0.0074	—
6	RHR-R-1	109	77	366	4.75	—	109	51	366	7.17	—	110	0.0010	—
7	RHR-R-5A	18	86	366	4.25	—	18	106	366	3.45	—	18	0.0000	—
8	RHR-R-16	49	132	366	2.77	—	50	193	366	1.89	—	50	0.0006	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-4	31N	138	366	2.65	○	31N	379	366	0.96	○	31N	0.0161	○
2	RHR-PD-5	11	106	366	3.45	—	8	351	366	1.04	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	129	366	2.83	—	32N	350	366	1.04	—	32N	0.0097	—
4	RHR-R-1	109	77	366	4.75	—	109	51	366	7.17	—	110	0.0010	—
5	RHR-R-5A	18	86	366	4.25	—	18	106	366	3.45	—	18	0.0000	—
6	RHR-R-16	49	132	366	2.77	—	50	193	366	1.89	—	50	0.0006	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-4	31N	138	366	2.65	○	31N	379	366	0.96	○	31N	0.0161	○
2	RHR-PD-5	11	106	366	3.45	—	8	351	366	1.04	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	129	366	2.83	—	32N	350	366	1.04	—	32N	0.0097	—
4	RHR-R-1	109	77	366	4.75	—	109	51	366	7.17	—	110	0.0010	—
5	RHR-R-5A	18	86	366	4.25	—	18	106	366	3.45	—	18	0.0000	—
6	RHR-R-16	49	132	366	2.77	—	50	193	366	1.89	—	50	0.0006	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RHR-PD-8	11	69	182	2.63	—	8	165	364	2.20	—	—
2	RHR-PS-9	7	10	219	21.90	—	7	9	438	48.66	—	—
3	RHR-PS-10	13	10	219	21.90	—	13	10	438	43.80	—	—
4	RHR-R-1	29	102	197	1.93	—	29	124	394	3.17	—	—
5	RHR-R-2	27	95	197	2.07	—	21	179	394	2.20	—	—
6	RHR-R-3	27	69	221	3.20	—	3	93	438	4.70	—	—
7	RHR-R-4	34	78	209	2.67	—	340	71	418	5.88	—	—
8	RHR-R-5	312	136	209	1.53	—	315	185	418	2.25	—	—
9	RHR-R-5A	10	48	209	4.35	—	10	27	418	15.48	—	—
10	RHR-R-5B	25	48	209	4.35	—	24	246	418	1.69	—	—
11	RHR-R-6	24	66	209	3.16	—	80	106	438	4.13	—	—
12	RHR-R-7	43	98	219	2.23	—	44	207	438	2.11	—	—
13	RHR-R-8	141	151	182	1.20	—	141	210	364	1.73	—	—
14	RHR-R-9	35	66	209	3.16	—	35	51	418	8.19	—	—
15	RHR-R-10	30	82	209	2.54	—	30	77	418	5.42	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
16	RHR-R-11	122	90	209	2.32	—	249	136	418	3.07	—	—
17	RHR-R-12	1302	59	209	3.54	—	67	123	438	3.56	—	—
18	RHR-R-13	10	75	219	2.92	—	10	123	438	3.56	—	—
19	RHR-R-14	24	36	219	6.08	—	40	119	438	3.68	—	—
20	RHR-R-15	22	87	220	2.52	—	22	75	440	5.86	—	—
21	RHR-R-16	6	94	220	2.34	—	6	98	440	4.48	—	—
22	RHR-R-17	54A	162	188	1.16	○	54A	268	376	1.40	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-8	11	98	363	3.70	—	8	298	364	1.22	—	—
2	RHR-PS-9	7	15	363	24.20	—	7	20	438	21.90	—	—
3	RHR-PS-10	13	16	363	22.68	—	13	21	438	20.85	—	—
4	RHR-R-1	29	129	335	2.59	—	29	198	394	1.98	—	—
5	RHR-R-2	27	141	335	2.37	—	21	294	394	1.34	—	—
6	RHR-R-3	27	110	335	3.04	—	3	183	438	2.39	—	—
7	RHR-R-4	34	111	363	3.27	—	34	136	418	3.07	—	—
8	RHR-R-5	315	220	363	1.65	—	315	353	418	1.18	—	—
9	RHR-R-5A	10	58	363	6.25	—	10	46	418	9.08	—	—
10	RHR-R-5B	25	56	363	6.48	—	24	299	418	1.39	—	—
11	RHR-R-6	21	108	363	3.36	—	80	225	438	1.94	—	—
12	RHR-R-7	24	94	363	3.86	—	42	233	438	1.87	—	—
13	RHR-R-8	141	253	363	1.43	○	141	414	364	0.87	0.1594	○
14	RHR-R-9	35	90	363	4.03	—	35	98	418	4.26	—	—
15	RHR-R-10	30	117	363	3.10	—	30	149	418	2.80	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RHR-R-11	122	131	363	2.77	—	249	264	418	1.58	—	—
17	RHR-R-12	50	89	363	4.07	—	67	257	438	1.70	—	—
18	RHR-R-13	10	126	363	2.88	—	10	225	438	1.94	—	—
19	RHR-R-14	24	45	363	8.06	—	40	252	438	1.73	—	—
20	RHR-R-15	22	125	364	2.91	—	22	150	440	2.93	—	—
21	RHR-R-16	6	142	364	2.56	—	6	195	440	2.25	—	—
22	RHR-R-17	54A	293	431	1.47	—	54A	530	376	0.70	0.0176	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PS-9	7	15	363	24.20	—	7	20	438	21.90	—	—
2	RHR-PS-10	13	16	363	22.68	—	13	21	438	20.85	—	—
3	RHR-R-1	29	129	335	2.59	—	29	198	394	1.98	—	—
4	RHR-R-2	27	141	335	2.37	○	21	294	394	1.34	—	○
5	RHR-R-3	27	110	335	3.04	—	3	183	438	2.39	—	—
6	RHR-R-4	34	111	363	3.27	—	34	136	418	3.07	—	—
7	RHR-R-5	85	132	363	2.75	—	85	189	418	2.21	—	—
8	RHR-R-5A	10	58	363	6.25	—	10	46	418	9.08	—	—
9	RHR-R-5B	25	56	363	6.48	—	24	299	418	1.39	—	—
10	RHR-R-6	21	108	363	3.36	—	80	225	438	1.94	—	—
11	RHR-R-7	24	94	363	3.86	—	42	233	438	1.87	—	—
12	RHR-R-9	35	90	363	4.03	—	35	98	418	4.26	—	—
13	RHR-R-10	30	117	363	3.10	—	30	149	418	2.80	—	—
14	RHR-R-11	122	131	363	2.77	—	249	264	418	1.58	—	—
15	RHR-R-12	50	89	363	4.07	—	67	257	438	1.70	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RHR-R-13	10	126	363	2.88	—	10	225	438	1.94	—	—
17	RHR-R-14	24	45	363	8.06	—	40	252	438	1.73	—	—
18	RHR-R-15	22	125	364	2.91	—	22	150	440	2.93	—	—
19	RHR-R-16	6	142	364	2.56	—	6	195	440	2.25	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RHR-PS-9	7	18	363	20.16	—	7	20	420	21.00	—	—
2	RHR-PS-10	13	20	363	18.15	—	13	21	420	20.00	—	—
3	RHR-R-1	29	129	335	2.59	—	29	198	394	1.98	—	—
4	RHR-R-2	27	141	335	2.37	○	21	294	394	1.34	—	○
5	RHR-R-3	27	110	335	3.04	—	3	183	398	2.17	—	—
6	RHR-R-4	34	111	363	3.27	—	34	136	418	3.07	—	—
7	RHR-R-5	85	132	363	2.75	—	85	189	418	2.21	—	—
8	RHR-R-5A	10	58	363	6.25	—	10	46	418	9.08	—	—
9	RHR-R-5B	25	56	363	6.48	—	24	299	418	1.39	—	—
10	RHR-R-6	21	108	363	3.36	—	80	225	414	1.84	—	—
11	RHR-R-7	24	98	363	3.70	—	42	233	420	1.80	—	—
12	RHR-R-9	35	90	363	4.03	—	35	98	418	4.26	—	—
13	RHR-R-10	30	117	363	3.10	—	30	149	418	2.80	—	—
14	RHR-R-11	122	131	363	2.77	—	249	264	418	1.58	—	—
15	RHR-R-12	50	89	363	4.07	—	67	257	414	1.61	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RHR-R-13	10	130	363	2.79	—	10	225	420	1.86	—	—
17	RHR-R-14	24	48	363	7.56	—	40	252	420	1.66	—	—
18	RHR-R-15	22	125	363	2.90	—	22	150	436	2.90	—	—
19	RHR-R-16	6	142	363	2.55	—	6	195	436	2.23	—	—

VI-2-5-4-1-5 ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書
(残留熱除去系)

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	15
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	16
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	21
4.6.1 ティーの計算方法	21
4.6.2 フランジの計算方法	23
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
5. 評価結果	25
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	25
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	25
6. 引用文献	25

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、残留熱除去系ストレーナ部ティーが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ストレーナ部ティーは、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、残留熱除去系ストレーナが接続されるサブプレッションチェンバ胴部の構造強度評価については、VI-2-9-2-10「配管貫通部の耐震性についての計算書」に代表配管貫通部の評価を示す。

残留熱除去系ストレーナ部ティー、高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは同形状のティーを使用することから、本計算書においては代表して残留熱除去系ストレーナ部ティーの解析モデルを採用する。また、そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナ部ティーの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ部ティー、高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ティーは、サプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。</p>	<p>ティー形の管継手</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ストレナ部ティーの応力評価は、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日 原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すストレナ部ティーの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ストレナ部ティーの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

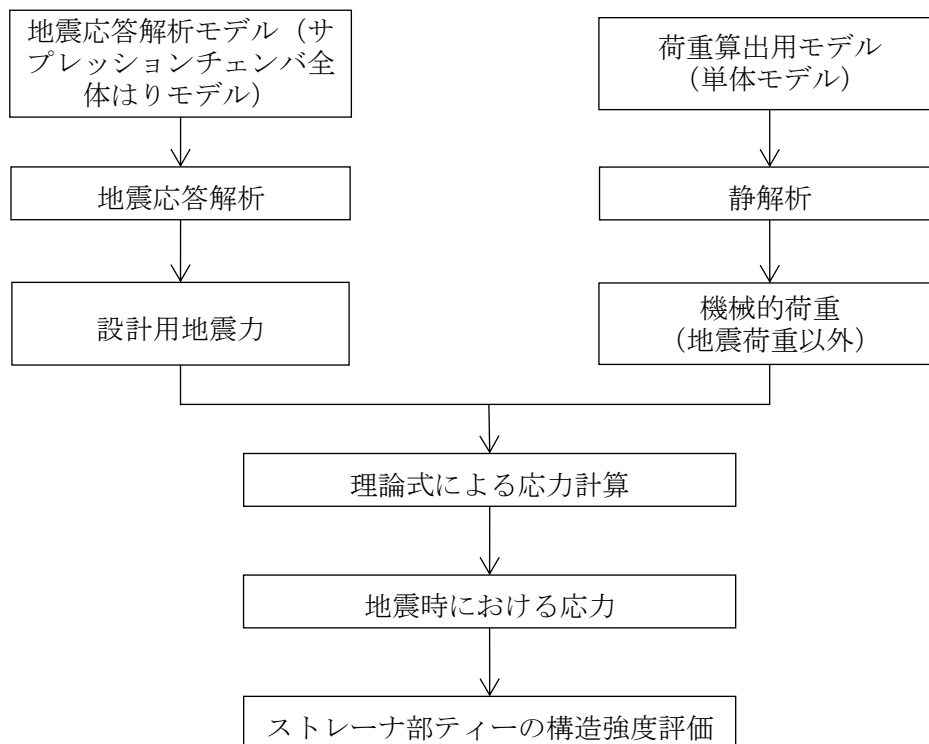


図 2-1 ストレナ部ティーの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005／2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）
（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
S_{prm}	発生応力	MPa
P	最高使用圧力（設計圧力）	MPa
D_o	管の外径	mm
t	厚さ	mm
B_1	設計・建設規格 表PPB-3812. 1-1 で規定する応力係数 (= <input type="text"/>)	—
B_{2b}	設計・建設規格 式PPB-4. 29 により計算した分岐管の応力係数 $= 0.4 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r} \right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
R_m	主管の平均半径	mm
T_r	主管の厚さ	mm
B_{2r}	設計・建設規格 式PPB-4. 30 により計算した主管の応力係数 $= 0.5 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r} \right)^{\frac{2}{3}}$ (= <input type="text"/>)	—
M_b	表 4-12 に示す分岐管に作用する最大モーメント	N・mm
M_r	表 4-12 に示す主管に作用する最大モーメント	N・mm
Z_b	分岐管の断面係数	mm ³
Z_r	主管の断面係数	mm ³

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位* ¹
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ²
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ⁴	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ストレーナ部ティーの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ティーについて実施する。なお、ストレーナ部ティーのフランジの評価もここで記載する。

ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図 3-1～図 3-3 及び表 3-1 に示す。

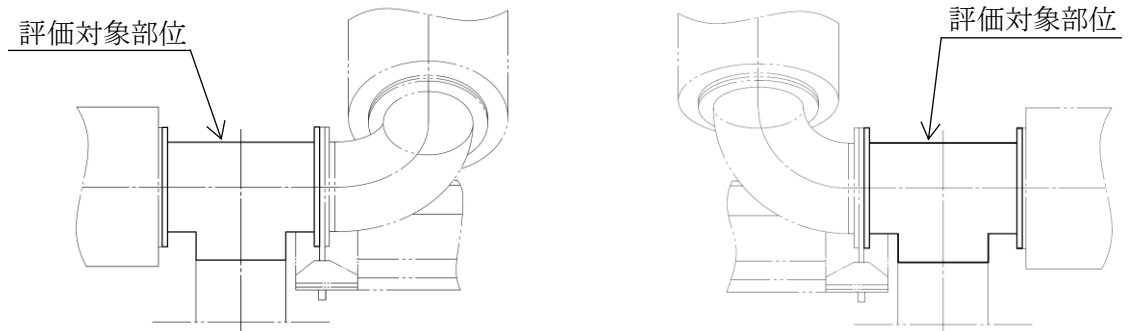


図 3-1 残留熱除去系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-201, X-202, X-203）

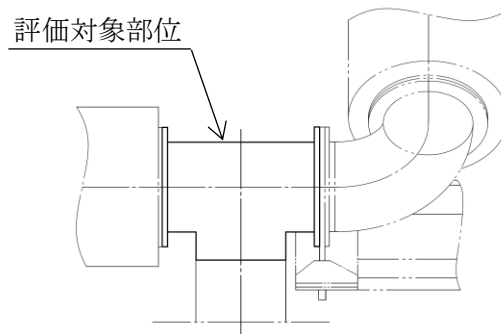


図 3-2 高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-210）

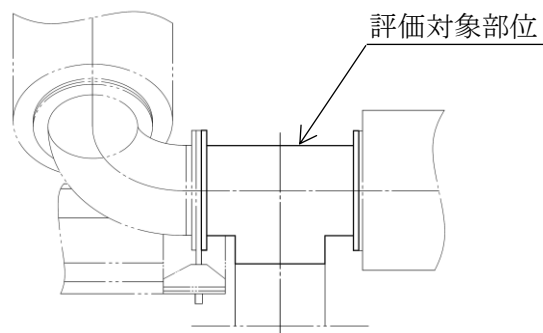


図 3-3 低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-208）

表 3-1 ストレーナ部ティーの主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	外径	板厚	フランジ間距離
X-201～203 (残留熱除去系)			
X-210 (高圧炉心スプレイ系)			
X-208 (低圧炉心スプレイ系)			

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) ストレーナの水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重は、コネクタ、ティー、原子炉格納容器貫通部及びサポートを介してサブプレッションチェンバに伝達される。このため、ストレーナ部ティーは、ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

ストレーナ部ティーの構造強度評価における固有値解析及び応答解析は、三次元はりモデルによる有限要素解析手法を適用する。地震荷重以外の荷重（死荷重及び水力学的動荷重）を 4.3(1) 項に示す三次元はりモデル（以下「荷重算出用モデル（単体モデル）」という。）、固有値及び地震荷重を 4.3(2) 項に示す三次元はりモデル（以下「地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）」という。）により算出し、4.6 項に示す方法を用いてティー及びフランジの応力計算を行う。

(2) 地震力は、地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組み合わせには S R S S 法を適用する。

(3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ストレーナ部ティーの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また、荷重の組合せの整理表を表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナ部ティーの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12 原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。なお、評価対象は、基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ストレーナ部ティーの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー	<input type="checkbox"/>
フランジ	<input type="checkbox"/>

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S s$	ⅣA S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S s$	ⅣA S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S s$	ⅣA S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱 除去設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	常設耐震／防止 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表4-3 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S d* 荷重	S s 荷重	
DBA* ¹	DBA-1	運転状態 I	○							○		ⅢA S
	DBA-2	運転状態 I	○								○	ⅣA S
	DBA-3	運転状態 II	○			○				○		ⅢA S
	DBA-4	運転状態 II	○			○					○	ⅣA S
	DBA-5	運転状態Ⅳ (L)	○	○	○					○		ⅢA S
SA* ²	SA-1	運転状態Ⅴ (L) * ³	○	○	○					○		ⅤA S * ⁴
	SA-2	運転状態Ⅴ (LL)	○	○	○						○	ⅤA S * ⁴

12 注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ (L) の評価は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 178℃とした運転状態Ⅴ (LL) の評価で代表される。

*4：許容応力状態ⅤA SとしてⅣA Sの許容応力を用いる。

表4-4 許容応力（クラス2，3管及び重大事故等クラス2管（クラス2，3管））

許容応力 状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力*2	一次+二次応力 +ピーク応力*2
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい 方	S_y ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい 方	S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行 い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不 要。	S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行 い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不 要。
ⅣAS				
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)	$0.6 \cdot S_u$	左欄の1.5倍の値		

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	104				
ティー		最高使用温度	104				—
フランジ		最高使用温度	104				—

表4-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	178				
ティー		最高使用温度	178				—
フランジ		最高使用温度	178				—

4.2.4 設計荷重

ストレーナに作用する荷重（死荷重，水力的動的荷重，地震荷重等）はフランジを介してティーに伝達される。

(1) 死荷重

ティーの死荷重を表 4-7 に示す。

表 4-7 死荷重

(単位：N)

部位	残留熱除去系	高圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイ系
ティー			

(2) 差圧

ティーの設計圧力は MPa を考慮する。

4.3 解析モデル及び諸元

本項においては、荷重算出用モデル（単体モデル）及び地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）について説明する。

(1) 荷重算出用モデル（単体モデル）

ストレーナ部ティーの荷重算出用モデル（単体モデル）は、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す荷重算出用モデル（単体モデル）と同じモデルである。

(2) 地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）

ストレーナ部ティーの地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）は、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）と同じモデルである。

4.4 固有周期

地震応答解析モデルを用いた固有値解析の結果は、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-8 及び表 4-9、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 及び表 4-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> * ² 鉛直：－					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直 震度	応答水平震度* ⁵		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>		－	<input type="text"/>		－
2次				－			－
3次				－			－
4次				－			－
5次				－			－
6次				－			－
7次				－			－
8次				－			－
9次				－			－
10次				－			－
11次				－			－
12次				－			－
13次				－			－
14次				－			－
15次				－			－
16次				－			－
17次				－			－
動的震度* ^{6, *7}		0.51	0.52	－	1.03	1.06	－
静的震度		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)					
固有周期 (s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> * ²					
減衰定数 (%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁴	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>
2 次		—	—		—	—	
3 次		—	—		—	—	
4 次		—	—		—	—	
5 次		—	—		—	—	
6 次		—	—		—	—	
7 次		—	—		—	—	
8 次		—	—		—	—	
9 次		—	—		—	—	
10 次		—	—		—	—	
11 次		—	—		—	—	
12 次		—	—		—	—	
13 次		—	—		—	—	
14 次		—	—		—	—	
15 次		—	—		—	—	
16 次		—	—		—	—	
17 次		—	—		—	—	
18 次		—	—		—	—	
19 次		—	—		—	—	
20 次		—	—		—	—	
動的震度* ^{6, *7}		—	—	0.38	—	—	0.77
静的震度* ⁸		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8：3.6・C_i 及び 1.2・C_v より定めた震度

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：－					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度*4		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	—	
2次		—	—	—		—	
3次		—	—	—		—	
4次		—	—	—		—	
5次		—	—	—		—	
6次		—	—	—		—	
7次		—	—	—		—	
8次		—	—	—		—	
9次		—	—	—		—	
10次		—	—	—		—	
11次		—	—	—		—	
12次		—	—	—		—	
13次		—	—	—		—	
14次		—	—	—		—	
15次		—	—	—		—	
16次		—	—	—		—	
17次		—	—	—		—	
動的震度*5,*6		—	—	—	1.03	1.06	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-11 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期 (s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> *2					
減衰定数 (%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直	応答水平震度		応答鉛直
		NS 方向	EW 方向	震度	NS 方向	EW 方向	震度*4
1 次	<input type="text"/>	—	—	—	—	—	<input type="text"/>
2 次		—	—	—	—	—	
3 次		—	—	—	—	—	
4 次		—	—	—	—	—	
5 次		—	—	—	—	—	
6 次		—	—	—	—	—	
7 次		—	—	—	—	—	
8 次		—	—	—	—	—	
9 次		—	—	—	—	—	
10 次		—	—	—	—	—	
11 次		—	—	—	—	—	
12 次		—	—	—	—	—	
13 次		—	—	—	—	—	
14 次		—	—	—	—	—	
15 次		—	—	—	—	—	
16 次		—	—	—	—	—	
17 次		—	—	—	—	—	
18 次		—	—	—	—	—	
19 次		—	—	—	—	—	
20 次		—	—	—	—	—	
動的震度*5, *6		—	—	—	—	—	0.77
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 計算方法

4.6.1 ティーの計算方法

(1) 応力の計算方法

ティーに発生する応力は、設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出する。なお、ティーの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計しているため、ここでは管について評価を行う。

$$S_{prn} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b} \cdot M_b}{Z_b} + \frac{B_{2r} \cdot M_r}{Z_r}$$

(2) 応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは、図 4-1 に示す主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管と分岐管のモーメントは 4.2.4 項に示したようにストレナー部からの伝達荷重を考慮する。

算出したモーメントを表 4-12 に示す。ここでのモーメントとは、設計・建設規格 解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものであり、応答解析より得られたモーメントを用いる。

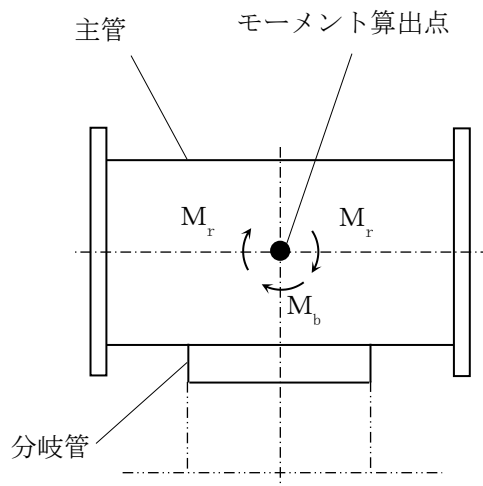


図 4-1 ティーのモーメント算出点

表 4-12 ティーの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	S R V 荷重		
5	ストレーナ S d *地震荷重		
6	ストレーナ S s 地震荷重		
7	異物 S d *地震荷重*2		
8	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

4.6.2 フランジの計算方法

(1) 応力の計算方法

ストレーナ部ティーのストレーナやストレーナ取付部コネクタと取り付けるフランジは、一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで取付フランジを以下のようにモデル化し、応力評価を行う。

取付フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え、表 4-13 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献(1)より、図 4-2 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに、 σ_r : 曲げ応力 (MPa)

M_{fmax} : 表 4-13 に示す最大モーメント (N・mm)

a : ボルト穴中心円半径 = ÷ 2 = (mm)

b : フランジ内半径 = (mm)

t : フランジ板厚 = (mm)

β : b/a (=) から決まる計算上の係数 =

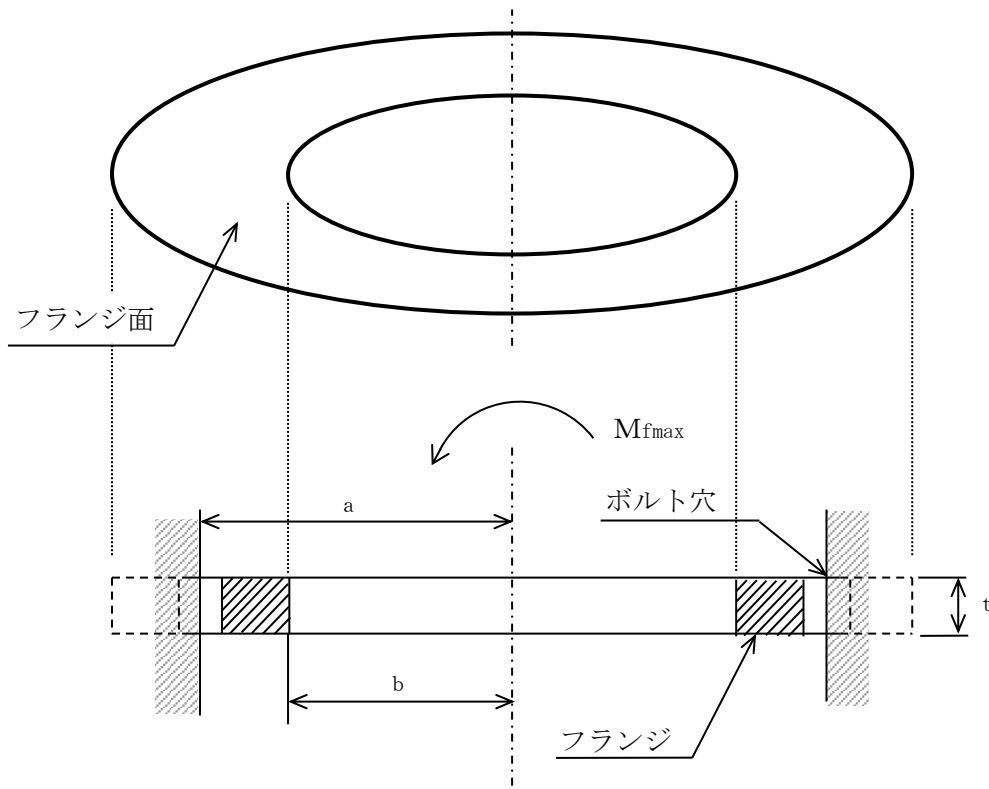


図 4-2 フランジ断面の計算モデル

(2) 応力解析に用いるモーメント

フランジの設計荷重は、図 4-2 に示すティーのストレーナ及びコネクタとの取合い部における最大モーメントを用いる。算出した最大モーメントを表 4-13 に示す。ここでの最大モーメントとは、ティーのストレーナ及びコネクタとの取合い部におけるフランジに対して面外方向の曲げモーメントとし、応答解析より得られたモーメントを用いる。フランジの面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は、フランジの面内剛性が大きいいため、ここでは評価対象としない。

表 4-13 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重* ¹	
3	差圧	
4	S R V 荷重	
5	ストレーナ S d *地震荷重	
6	ストレーナ S s 地震荷重	
7	異物 S d *地震荷重* ²	
8	異物 S s 地震荷重* ²	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-4、表 4-5 及び表 4-6 で定めた許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ストレーナ部ティーの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、各許容応力状態ⅢA S 及びⅣA S で、発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ストレーナ部ティーの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、許容応力状態ⅤA S で、発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

(1) Warren C. Young, Richard G. Budynas

“Roark’s Formulas for Stress and Strain” 7th Edition

【残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 ^{*2} (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレーナ部ティー	S	原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300 ^{*1})	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=0.58^{*3}$ 又は*5	$C_V=0.38^{*4}$ 又は*5	$C_H=1.03^{*6}$ (NS方向) $C_H=1.06^{*6}$ (EW方向) 又は*7	$C_V=0.77^{*6}$ 又は*7	104	—

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 水平方向は内部水有効質量モデル, 鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度

*4: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 及び静的震度を上回る設計震度

*5: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) により得られる震度

*6: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*7: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) により得られる震度

1.2 機器要目

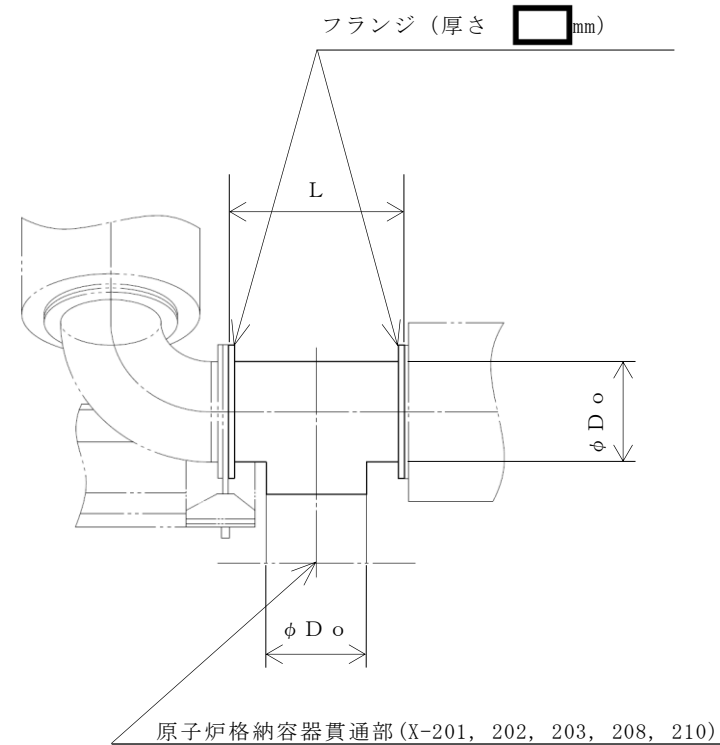
(単位：mm)

貫通部番号	外径 D _o	板厚 t	フランジ間距離 L
X-201～203 (残留熱除去系)			
X-210 (高压炉心スプレイ系)			
X-208 (低压炉心スプレイ系)			

B ₁ (—)	B _{2b} (—)	B _{2r} (—)	Z _b (mm ³)	Z _r (mm ³)

(単位：MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (RT)
ティー					—
フランジ					—



27

(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナ部ティーの材質	—	
ストレーナ部ティーの質量	Kg	
ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	Kg	
ストレーナ1個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

この他の諸元はVI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サブプレッションチェンバ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

1.3 計算数値

1.3.1 ティーの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力 P (MPa)

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	S R V 荷重		
5	ストレーナ S d *地震荷重		
6	ストレーナ S s 地震荷重		
7	異物 S d *地震荷重*2		
8	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

1.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント	
		M _{fmax}	
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	S R V 荷重		
5	ストレーナ S d *地震荷重		
6	ストレーナ S s 地震荷重		
7	異物 S d *地震荷重*2		
8	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

注：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位	材料	応力分類	Ⅲ A S			Ⅳ A S		
				算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ	算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
ストレーナ部ティー	ティー		一次応力	$S_{prm} = 142$	219	DBA-3	$S_{prm} = 204$	364	DBA-4
	フランジ		一次応力	$\sigma_r = 107$	237	DBA-3	$\sigma_r = 172$	387	DBA-4

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期* ² (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレーナ部タイー	常設/防止 (DB 拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = 1.03* ³ (NS 方向) C _H = 1.06* ³ (EW 方向) 又は* ⁴	C _V = 0.77* ³ 又は* ⁴	178	—

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 水平方向は内部水有効質量モデル, 鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*4: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) により得られる震度

2.2 機器要目

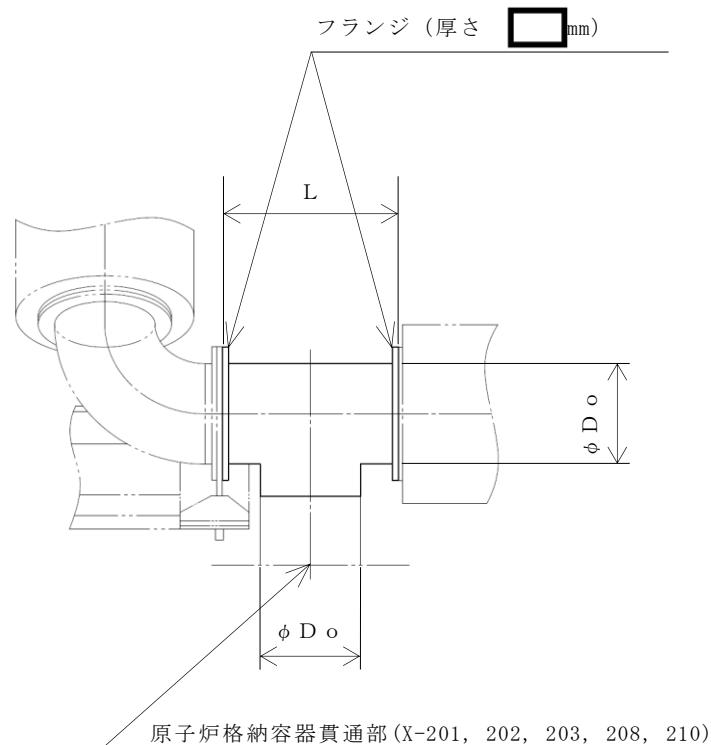
(単位：mm)

貫通部番号	外径 D_o	板厚 t	フランジ間距離 L
X-201～203 (残留熱除去系)			
X-210 (高压炉心スプレイ系)			
X-208 (低压炉心スプレイ系)			

B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

(単位：MPa)

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y (RT)
ティー					—
フランジ					—



31

(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナ部ティーの材質	—	
ストレーナ部ティーの質量	Kg	
ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	Kg	
ストレーナ1個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

この他の諸元はVI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サブプレッションチェンパ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンパの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

2.3 計算数値

2.3.1 ティーの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力 P (MPa)

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重	3.965×10^6	1.346×10^7
2	異物荷重*1	0.000	0.000
3	差圧	0.000	0.000
4	ストレーナ S s 地震荷重	3.576×10^7	8.963×10^7
5	異物 S s 地震荷重*2	0.000	0.000

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

32

2.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{fmax}	
		1	死荷重
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	ストレーナ S s 地震荷重		
5	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

注：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

2.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位	材料	応力分類	V A S		
				算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
ストレーナ部ティー	ティー		一次応力	$S_{prm} = 143$	363	SA-2
	フランジ		一次応力	$\sigma_r = 143$	380	SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-4-1-6 残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ
の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	15
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	16
4.5 設計用地震力	16
4.6 計算方法	21
4.6.1 コネクタの計算方法	21
4.6.2 フランジの計算方法	23
4.7 計算条件	24
4.8 応力の評価	24
5. 評価結果	25
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	25
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	25
6. 引用文献	25

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタは、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、残留熱除去系ストレーナが接続されるサブプレッションチェンバ胴部の構造強度評価については、VI-2-9-2-10「配管貫通部の耐震性についての計算書」に代表配管貫通部の評価を示す。

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタは同形状のコネクタを使用することから、本計算書においては、代表して残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの解析モデルを採用する。また、そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナ取付部コネクタの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>コネクタは、サプレッションプール内に水没された状態で設置されており、ティー及びストレーナの間に取り付けられる。</p>	<p>コネクタ</p>	<p>ストレーナ</p> <p>フランジ (厚さ [])</p> <p>サポート</p> <p>ティー</p> <p>ストレーナ</p> <p>コネクタ</p> <p>フランジ (厚さ [])</p> <p>原子炉格納容器貫通部 (X-201, 202, 203, 208, 210)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ストレーナ取付部コネクタの応力評価は、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すストレーナ取付部コネクタの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ストレーナ取付部コネクタの耐震評価フローを図2-1に示す。

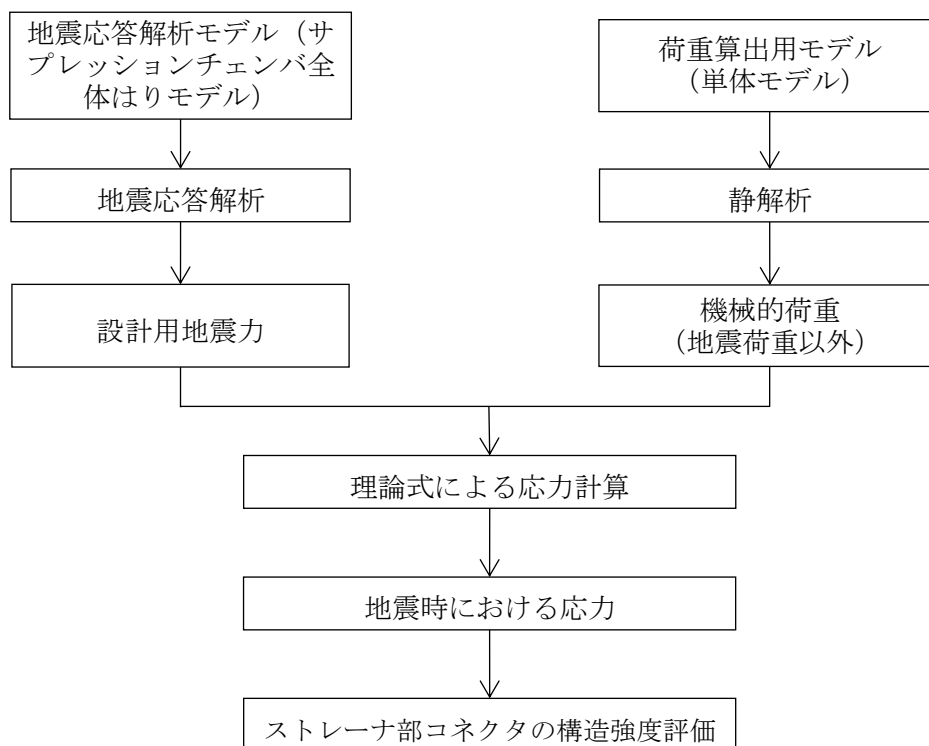


図2-1 ストレーナ取付部コネクタの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005／2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）
（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
B 1	設計・建設規格 表 PPB-3812. 1-1 で規定する応力係数	—
B 2	設計・建設規格 式 PPB-4. 20 により算出した応力係数	—
D	外径	mm
L	長さ	mm
M	モーメント	N・mm
P	圧力	MPa
t	厚さ	mm
Z	断面係数	mm ³
σ	応力	MPa

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位 ^{*1}
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*2}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*3}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*4}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

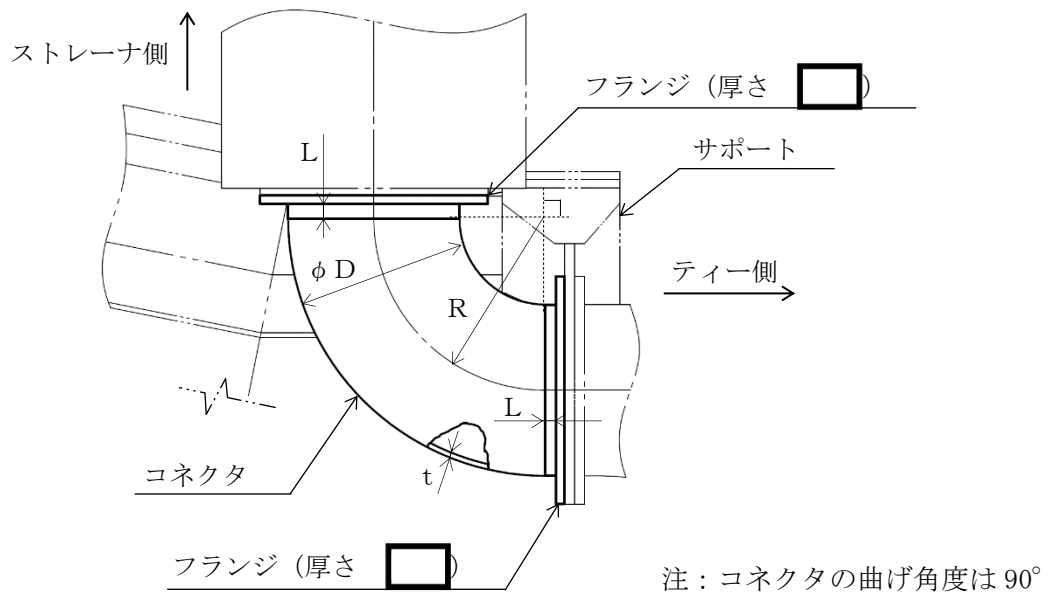
3. 評価部位

ストレナー取付部コネクタの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ストレナー取付部コネクタ及びフランジについて実施する。

なお、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレナーの耐震性についての計算書」に示すストレナー取付部ボルトの評価は、ストレナーとコネクタ間、ティーとコネクタ間、及びティーとストレナー間で発生する荷重及びモーメントを包絡させた荷重及びモーメントを用いており、ストレナー取付部コネクタをストレナー部ティーに取り付けるためのボルトの評価は、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレナーの耐震性についての計算書」に示すストレナー取付部ボルトの評価で代表されるため、ここでは記載を省略する。

また、ストレナー取付部コネクタのフランジのうちストレナーと取り付けるフランジの評価は、ストレナー側フランジより板厚を大きく設計しており（コネクタ側フランジ厚さ mm, ストレナー側 mm），VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレナーの耐震性についての計算書」に示すストレナー側フランジの評価に包含されるため、ここでは記載を省略する。

ストレナー取付部コネクタの形状及び主要寸法を図3-1に示す。



残留熱除去系ストレナー取付部コネクタ（貫通部番号：X-201, X-202, X-203）

高圧炉心スプレイ系ストレナー取付部コネクタ（貫通部番号：X-210）

低圧炉心スプレイ系ストレナー取付部コネクタ（貫通部番号：X-208）

$$D = \text{} \quad t = \text{} \quad R = \text{} \quad L = \text{}$$

図3-1 ストレナー取付部コネクタの形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ストレーナの水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重は、コネクタ、ティー、原子炉格納容器貫通部及びサポートを介してサプレッションチェンバに伝達される。このため、ストレーナ取付部コネクタは、ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

ストレーナ取付部コネクタの構造強度評価における固有値解析及び応答解析は、三次元はりモデルによる有限要素解析手法を適用する。地震荷重以外の荷重（死荷重及び水力学的動荷重）を 4.3(1)項に示す三次元はりモデル（以下「荷重算出用モデル（単体モデル）」という。）、固有値及び地震荷重を 4.3(2)項に示す三次元はりモデル（以下「地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）」という。）により算出し、4.6 項に示す計算方法を用いてコネクタ及びフランジの応力計算を行う。

- (2) 地震力は、地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組み合わせには S R S S 法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ストレーナ取付部コネクタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また、荷重の組合せの整理表を表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナ取付部コネクタの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 に示す。なお、評価対象は、構造又は形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分小さいため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ストレーナ取付部コネクタの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

コネクタ



フランジ



表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部コネクタ	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S s$	ⅣA S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部コネクタ	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S s$	ⅣA S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部コネクタ	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S s$	ⅣA S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部コネクタ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部コネクタ	常設耐震／防止 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部コネクタ	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部コネクタ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部コネクタ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表4-3 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S d* 荷重	S s 荷重	
DBA* ¹	DBA-1	運転状態 I	○							○		ⅢAS
	DBA-2	運転状態 I	○								○	ⅣAS
	DBA-3	運転状態 II	○			○				○		ⅢAS
	DBA-4	運転状態 II	○			○					○	ⅣAS
	DBA-5	運転状態Ⅳ(L)	○	○	○					○		ⅢAS
SA* ²	SA-1	運転状態Ⅴ(L)* ³	○	○	○					○		ⅤAS* ⁴
	SA-2	運転状態Ⅴ(LL)	○	○	○						○	ⅤAS* ⁴

12 注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ(L)の評価は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 178℃とした運転状態Ⅴ(LL)の評価で代表される。

*4：許容応力状態ⅤASとしてⅣASの許容応力を用いる。

表4-4 許容応力（クラス2，3管及び重大事故等クラス2管（クラス2，3管））

許容応力 状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力*2	一次+二次応力 +ピーク応力*2
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	S_y ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行 い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不 要。	一次+二次応力 +ピーク応力*2
ⅣAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の1.5倍の値		
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)			S _s 地震動のみによる疲労解析を行い，疲労 累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不 要。	

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	104				
コネクタ	□	最高使用温度	104	□			—
フランジ		最高使用温度	104				—

表4-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	178				
コネクタ	□	最高使用温度	178	□			—
フランジ		最高使用温度	178				—

4.2.4 設計荷重

(1) 死荷重

ストレーナとコネクタの自重による荷重及び残留熱除去系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重の2つの死荷重を考慮する。

ストレーナ	<input type="text"/>	N
コネクタ	<input type="text"/>	N
異物	<input type="text"/>	N

(2) 差圧

コネクタの設計圧力は MPa を考慮する。

4.3 解析モデル及び諸元

本項においては、荷重算出用モデル（単体モデル）及び地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）について説明する。

(1) 荷重算出用モデル（単体モデル）

ストレーナ取付部コネクタの荷重算出用モデル（単体モデル）は、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す荷重算出用モデル（単体モデル）と同じモデルである。

(2) 地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）

ストレーナ取付部コネクタの地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）は、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）と同じモデルである。

4.4 固有周期

地震応答解析モデルを用いた固有値解析の結果は、VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-7及び表4-8、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-9及び表4-10に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)					
固有周期 (s)		水平： <input type="text"/> * ² 鉛直：－					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直 震度	応答水平震度* ⁵		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	<input type="text"/>		－	<input type="text"/>		－
2 次				－			－
3 次				－			－
4 次				－			－
5 次				－			－
6 次				－			－
7 次				－			－
8 次				－			－
9 次				－			－
10 次				－			－
11 次				－			－
12 次				－			－
13 次				－			－
14 次				－			－
15 次				－			－
16 次				－			－
17 次				－			－
動的震度* ^{6, *7}		0.51	0.52	－	1.03	1.06	－
静的震度		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)					
固有周期 (s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> * ²					
減衰定数 (%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁴	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>
2 次		—	—		—	—	
3 次		—	—		—	—	
4 次		—	—		—	—	
5 次		—	—		—	—	
6 次		—	—		—	—	
7 次		—	—		—	—	
8 次		—	—		—	—	
9 次		—	—		—	—	
10 次		—	—		—	—	
11 次		—	—		—	—	
12 次		—	—		—	—	
13 次		—	—		—	—	
14 次		—	—		—	—	
15 次		—	—		—	—	
16 次		—	—		—	—	
17 次		—	—		—	—	
18 次		—	—		—	—	
19 次		—	—		—	—	
20 次		—	—		—	—	
動的震度* ^{6, *7}		—	—	0.38	—	—	0.77
静的震度* ⁸		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

*8：3.6・C_i及び1.2・C_vより定めた震度

表 4-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：－					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度*4		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	—	
2次		—	—	—		—	
3次		—	—	—		—	
4次		—	—	—		—	
5次		—	—	—		—	
6次		—	—	—		—	
7次		—	—	—		—	
8次		—	—	—		—	
9次		—	—	—		—	
10次		—	—	—		—	
11次		—	—	—		—	
12次		—	—	—		—	
13次		—	—	—		—	
14次		—	—	—		—	
15次		—	—	—		—	
16次		—	—	—		—	
17次		—	—	—		—	
動的震度*5,*6		—	—	—	1.03	1.06	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期 (s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> *2					
減衰定数 (%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直	応答水平震度		応答鉛直
		NS 方向	EW 方向	震度	NS 方向	EW 方向	震度*4
1 次	<input type="text"/>	—	—	—	—	—	<input type="text"/>
2 次		—	—	—	—	—	
3 次		—	—	—	—	—	
4 次		—	—	—	—	—	
5 次		—	—	—	—	—	
6 次		—	—	—	—	—	
7 次		—	—	—	—	—	
8 次		—	—	—	—	—	
9 次		—	—	—	—	—	
10 次		—	—	—	—	—	
11 次		—	—	—	—	—	
12 次		—	—	—	—	—	
13 次		—	—	—	—	—	
14 次		—	—	—	—	—	
15 次		—	—	—	—	—	
16 次		—	—	—	—	—	
17 次		—	—	—	—	—	
18 次		—	—	—	—	—	
19 次		—	—	—	—	—	
20 次		—	—	—	—	—	
動的震度*5, *6		—	—	—	—	—	0.77
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 計算方法

4.6.1 コネクタの計算方法

(1) 応力の計算方法

コネクタに発生する応力は、設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出する。なお、コネクタの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計するため、ここでは管について評価を行う。

応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prM} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_2 \cdot M_{max}}{Z}$$

ここに、 S_{prM} : 発生応力 (MPa)

P : 最高使用圧力 (設計圧力) (MPa)

D_o : 管の外径 (mm)

t : 管の厚さ (mm)

B_1 : 設計・建設規格 表 PPB-3812. 1-1 で規定する応力係数 (=)

B_2 : 設計・建設規格 式 PPB-4. 20 により算出した応力係数 (=)

$$= \frac{1.30}{h^{\frac{2}{3}}}$$

h : 設計・建設規格 式 PPB-4. 21 により計算した値

$$= \frac{t \cdot R}{r^2}$$

R : コネクタ中心線の曲率半径 = (mm)

r : 設計・建設規格 式 PPB-4. 19 により計算した値 (mm)

$$= \frac{D_o - t}{2}$$

M_{max} : 表 4-11 に示す最大モーメント (N・mm)

Z : 管の断面係数 (mm³)

(2) 応力解析に用いるモーメント

コネクタの設計荷重は、ストレーナからの伝達荷重とコネクタ自身に作用する荷重から算出した、図 4-1 に示すコネクタのストレーナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。なお、ここでの最大モーメントとは、コネクタのティーとの取合い部における 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものであり、応答解析より得られたモーメントを用いる。

算出した最大モーメントを表 4-11 に示す。

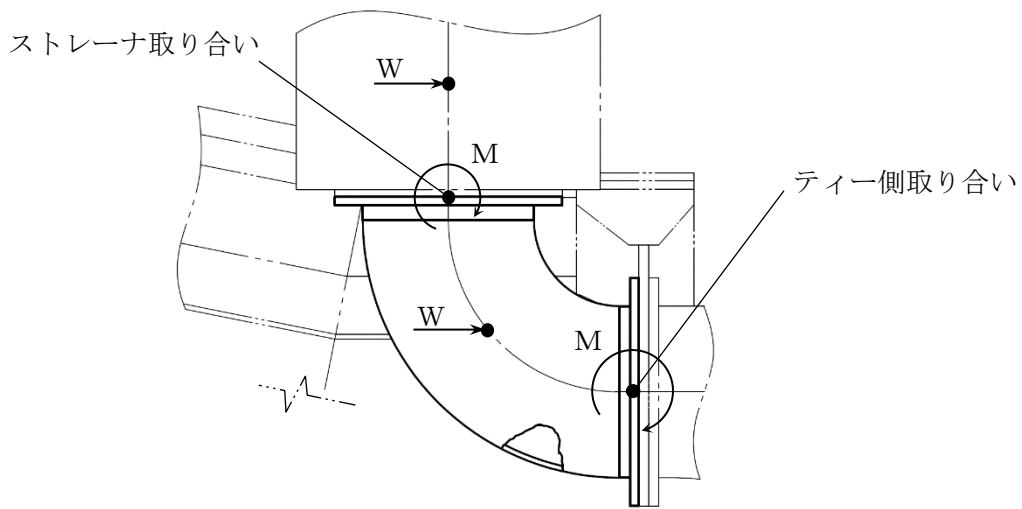


図 4-1 コネクタのモーメント算出点

表 4-11 コネクタの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧	
4	S R V 荷重	
5	ストレーナ S d *地震荷重	
6	ストレーナ S s 地震荷重	
7	異物 S d *地震荷重*2	
8	異物 S s 地震荷重*2	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

4.6.2 フランジの計算方法

(1) 応力の計算方法

ストレーナ取付部コネクタのストレーナ部ティールと取り付けるフランジは、一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで取付フランジを以下のようにモデル化し、応力評価を行う。

取付フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え、表 4-12 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献(1)より、図 4-2 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに、 σ_r : 曲げ応力 (MPa)

M_{fmax} : 表 4-12 に示す最大モーメント (N・mm)

a : ボルト穴中心円半径 = ÷ 2 = (mm)

b : フランジ内半径 = (mm)

t : フランジ板厚 = (mm)

β : b/a (=) から決まる計算上の係数 =

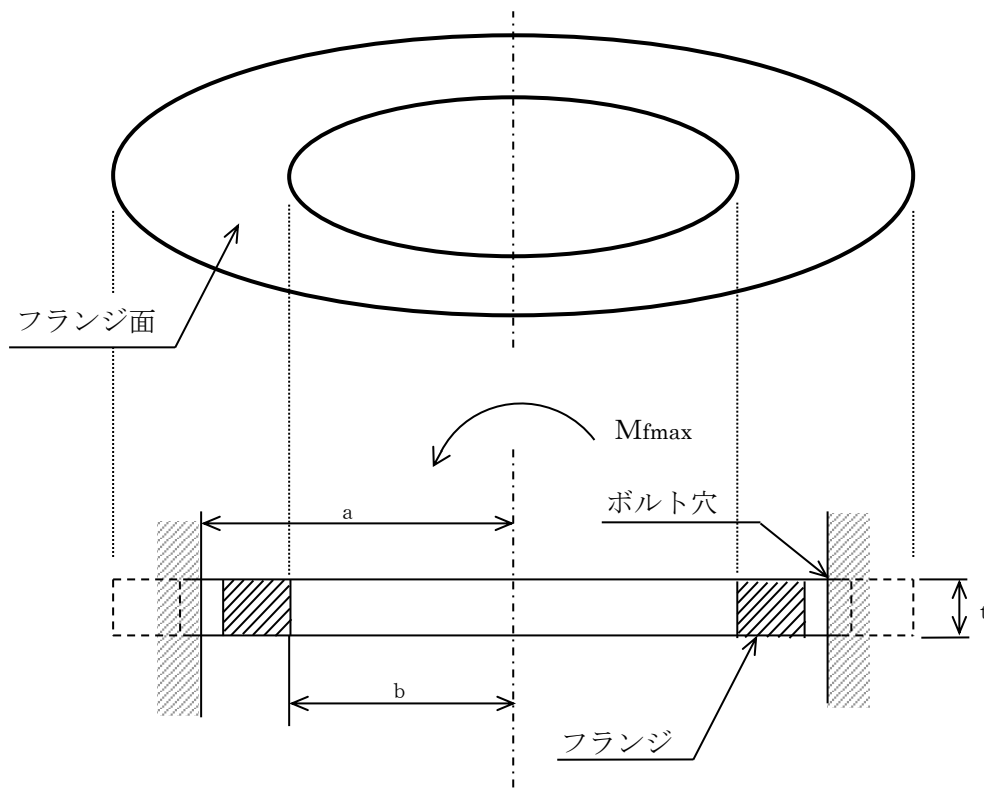


図 4-2 フランジ断面の計算モデル

(2) 応力解析に用いるモーメント

フランジの設計荷重は、図 4-2 に示すコネクタのストレナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。算出した最大モーメントを表 4-12 に示す。ここでの最大モーメントとは、コネクタのティーとの取合い部におけるフランジに対して面外方向の曲げモーメントとし、応答解析より得られたモーメントを用いる。フランジの面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は、フランジの面内剛性が大きいいため、ここでは評価対象としない。

表 4-12 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重* ¹	
3	差圧	
4	S R V 荷重	
5	ストレナ S d *地震荷重	
6	ストレナ S s 地震荷重	
7	異物 S d *地震荷重* ²	
8	異物 S s 地震荷重* ²	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレナの地震荷重に含めて計算している。

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系ストレナ取付部コネクタの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めたストレナ取付部コネクタの応力が表 4-4、表 4-5 及び表 4-6 で定めた許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ストレーナ取付部コネクタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお，各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態 IIIAS 及び IVAS で，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ストレーナ取付部コネクタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお，各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態 VAS で，発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

(1) Warren C. Young, Richard G. Budynas

“Roark’s Formulas for Stress and Strain” 7th Edition

【残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期* ² (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレーナ取付部 コネクタ	S	原子炉建物 EL (EL 1.300* ¹)	 	 	$C_H=0.58^{*3}$ 又は* ⁵	$C_V=0.38^{*4}$ 又は* ⁵	$C_H=1.03^{*6}$ (NS 方向) $C_H=1.06^{*6}$ (EW 方向) 又は* ⁷	$C_V=0.77^{*6}$ 又は* ⁷	104	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

1.2 機器要目 (単位: mm)

D	t	R	L

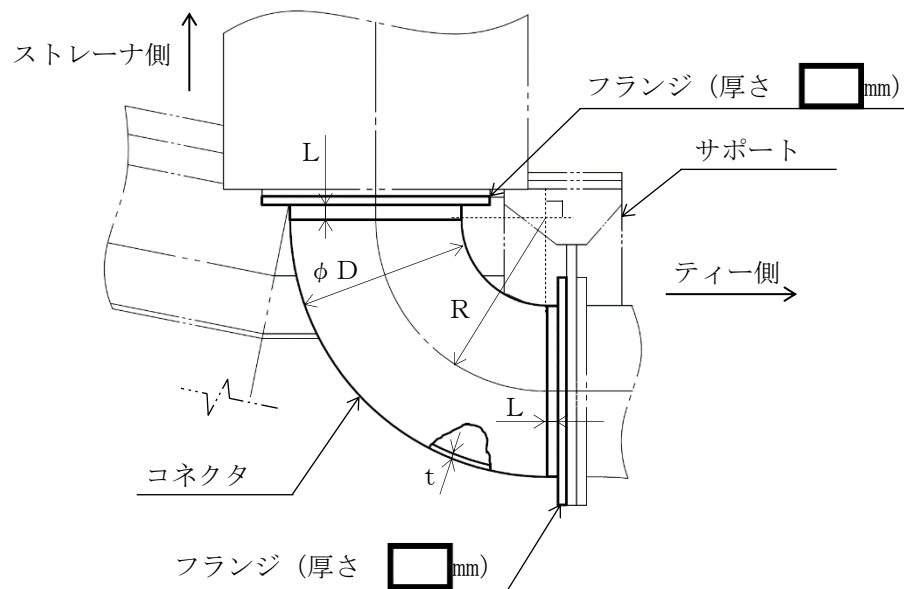
(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナ取付部コネクタの材質	—	
ストレーナ取付部コネクタの質量	kg/個	
ストレーナ取付部コネクタの内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ1個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

この他の諸元はVI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サプレッションチェンパ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サプレッションチェンパの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。



(単位: MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (RT)
コネクタ					—
フランジ					—

1.3 計算数値

1.3.1 コネクタの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力 P (MPa)

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{max}	
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧		
4	S R V 荷重		
5	ストレーナ S d *地震荷重		
6	ストレーナ S s 地震荷重		
7	異物 S d *地震荷重*2		
8	異物 S s 地震荷重*2		

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

1.3.2 フランジの設計荷重 (単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M _{fmax}
1	死荷重	□
2	異物荷重*1	
3	差圧	
4	S R V 荷重	
5	ストレーナ S d *地震荷重	
6	ストレーナ S s 地震荷重	
7	異物 S d *地震荷重*2	
8	異物 S s 地震荷重*2	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平	□
鉛直	

注：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位	材料	応力分類	III A S			IV A S		
				算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ	算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタ	コネクタ	□	一次応力	S _{prim} =112	169	DBA-3	S _{prim} =185	395	DBA-4
	フランジ		一次応力	σ _r = 82	169	DBA-3	σ _r = 137	395	DBA-4

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 ^{*2} (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレーナ取付部 コネクタ	常設/防止 (DB 拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300 ^{*1})	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =1.03 ^{*3} (NS 方向) C _H =1.06 ^{*3} (EW 方向) 又は*4	C _V =0.77 ^{*3} 又は*4	178	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

2.2 機器要目 (単位: mm)

D	t	R	L

(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナ取付部コネクタの材質	—	
ストレーナ取付部コネクタの質量	kg/個	
ストレーナ取付部コネクタの内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ 1 個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

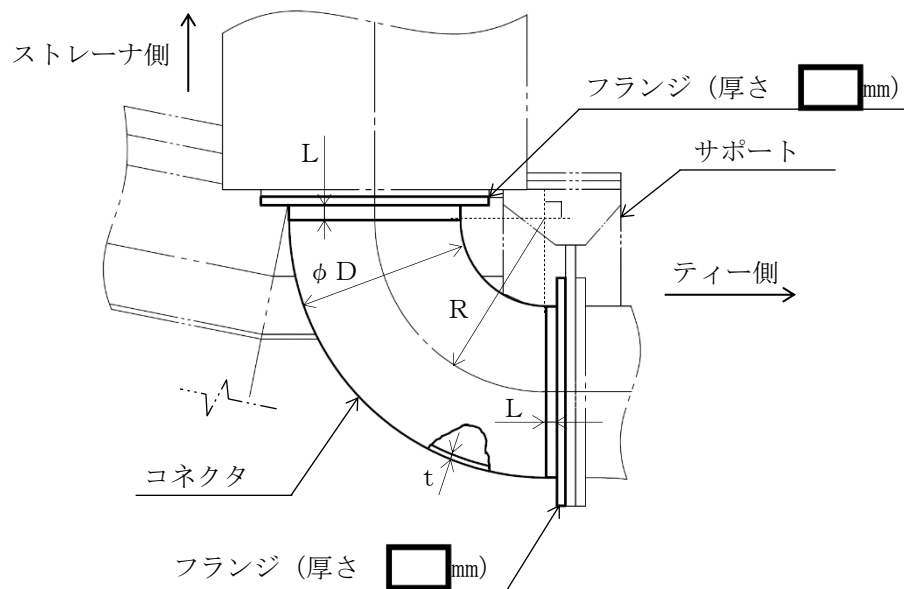
この他の諸元はVI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サプレッションチェンバ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

(単位: MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (RT)
コネクタ					—
フランジ					—



2.3 計算数値

2.3.1 コネクタの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力P (MPa)

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧	
4	ストレーナ S s 地震荷重	
5	異物 S s 地震荷重*2	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

2.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧	
4	ストレーナ S s 地震荷重	
5	異物 S s 地震荷重*2	

注記*1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

*2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

注：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

2.4.2 応力 (単位：MPa)

評価対象設備	評価部位	材料	応力分類	V A S		
				算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタ	コネクタ		一次応力	$S_{prm} = 169$	369	SA-2
	フランジ		一次応力	$\sigma_r = 122$	369	SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-4-1-7 残留熱除去系ストレーナ取付部サポート
の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
4.2.4 設計荷重	17
4.3 解析モデル及び諸元	17
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	17
4.6 計算方法	22
4.6.1 応力評価点	22
4.6.2 応力の計算方法	23
4.7 計算条件	27
4.8 応力の評価	27
5. 評価結果	27
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	27

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、残留熱除去系ストレーナ取付部サポートが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ストレーナ取付部サポートは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）、常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、残留熱除去系ストレーナが接続されるサプレッションチェンバ胴部の構造強度評価については、VI-2-9-2-10「配管貫通部の耐震性についての計算書」に代表配管貫通部の評価を示す。

残留熱除去系ストレーナ取付部サポート、高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポート及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートは同形状のサポートを使用することから、本計算書においては、代表して残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの解析モデルを採用する。また、そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナ取付部サポートの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ取付部サポート、高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポート及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サポートは、サプレッションプール内に水没された状態で設置されており、ティーとコネクタの取合い部から補強リングの間に取り付けられる。</p>	<p>サポートパイプ、サポートプレート、サポートボルトで構成される鋼製構造物である。</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ストレーナ取付部サポートの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すストレーナ取付部サポートの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ストレーナ取付部サポートの耐震評価フローを図2-1に示す。

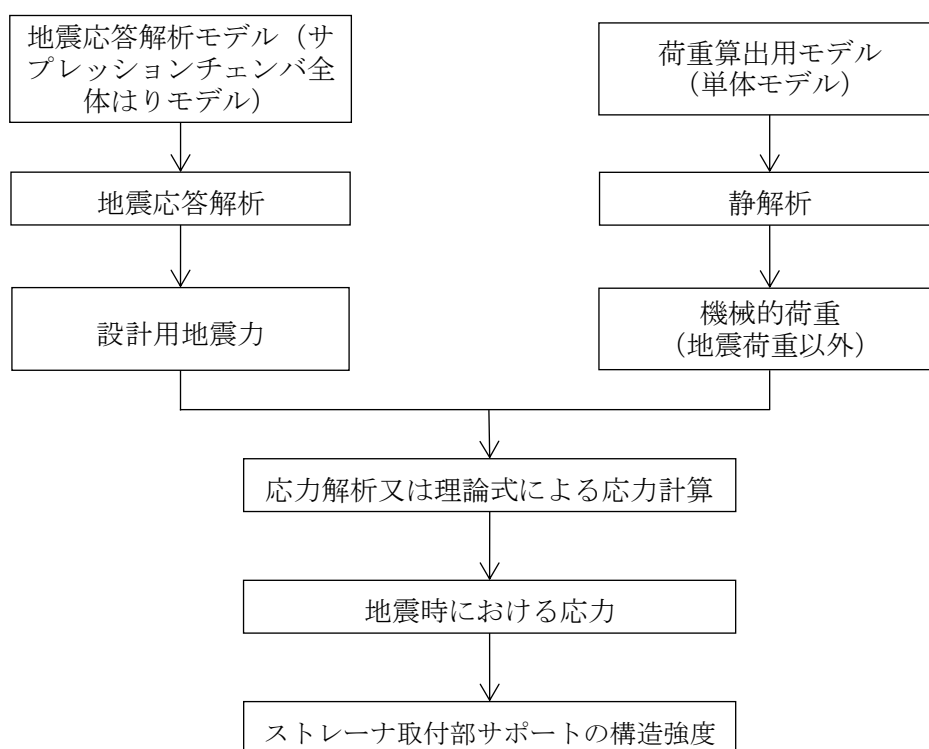


図2-1 ストレーナ取付部サポートの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005／2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
F _v	せん断力	N
M	曲げモーメント	N・mm
N	軸力	N
S R V	逃がし安全弁作動時	—
T	ねじりモーメント	N・mm
Z	断面係数, 極断面係数	mm ³
σ	組合せ応力	MPa
σ _b	曲げ応力	MPa
σ _t	垂直応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位* ¹
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ²
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ⁴	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ストレーナ取付部サポートの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、サポートパイプ、サポートパイプ溶接部、サポートプレート及びサポートボルトについて実施する。

ストレーナ取付部サポートの全体配置図、取付け状況、形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

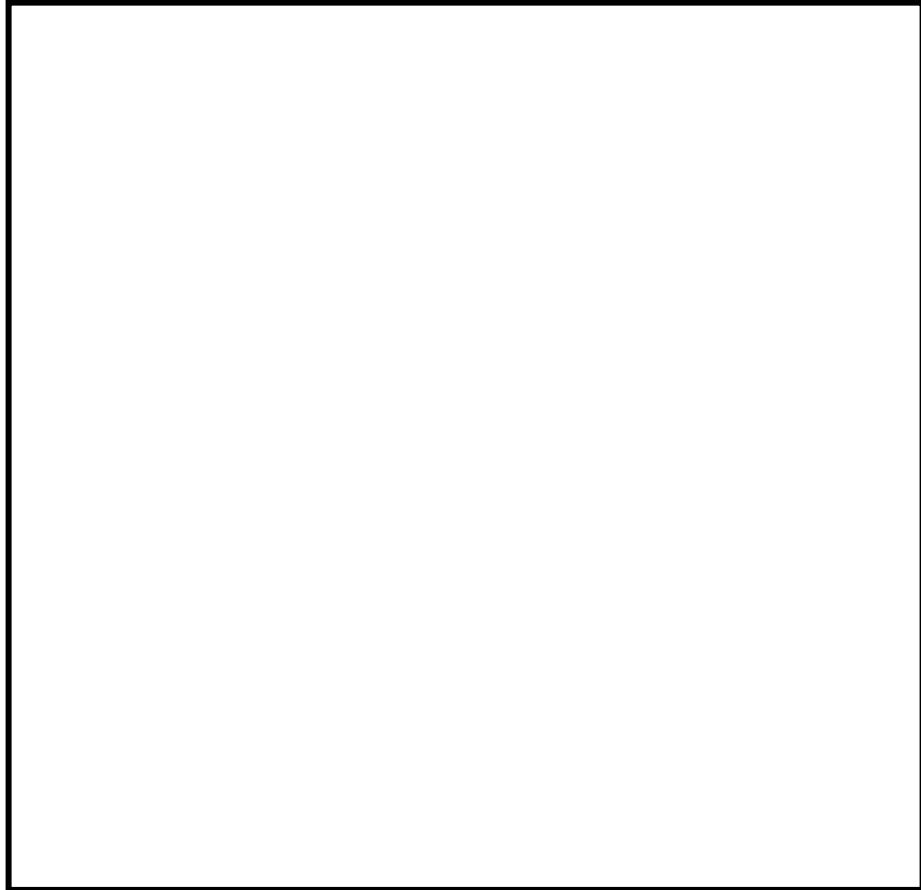


図 3-1(1) 全体配置図

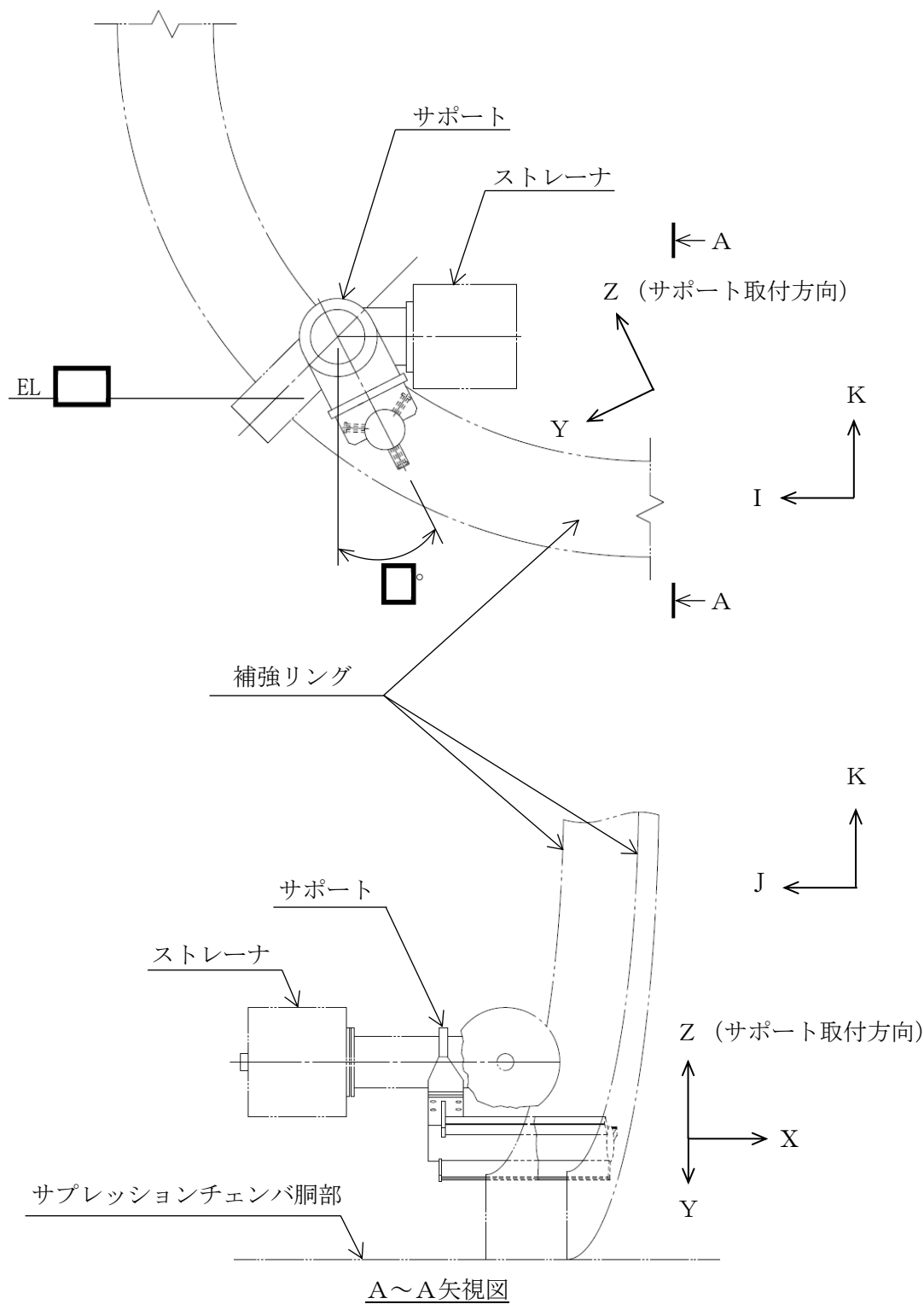
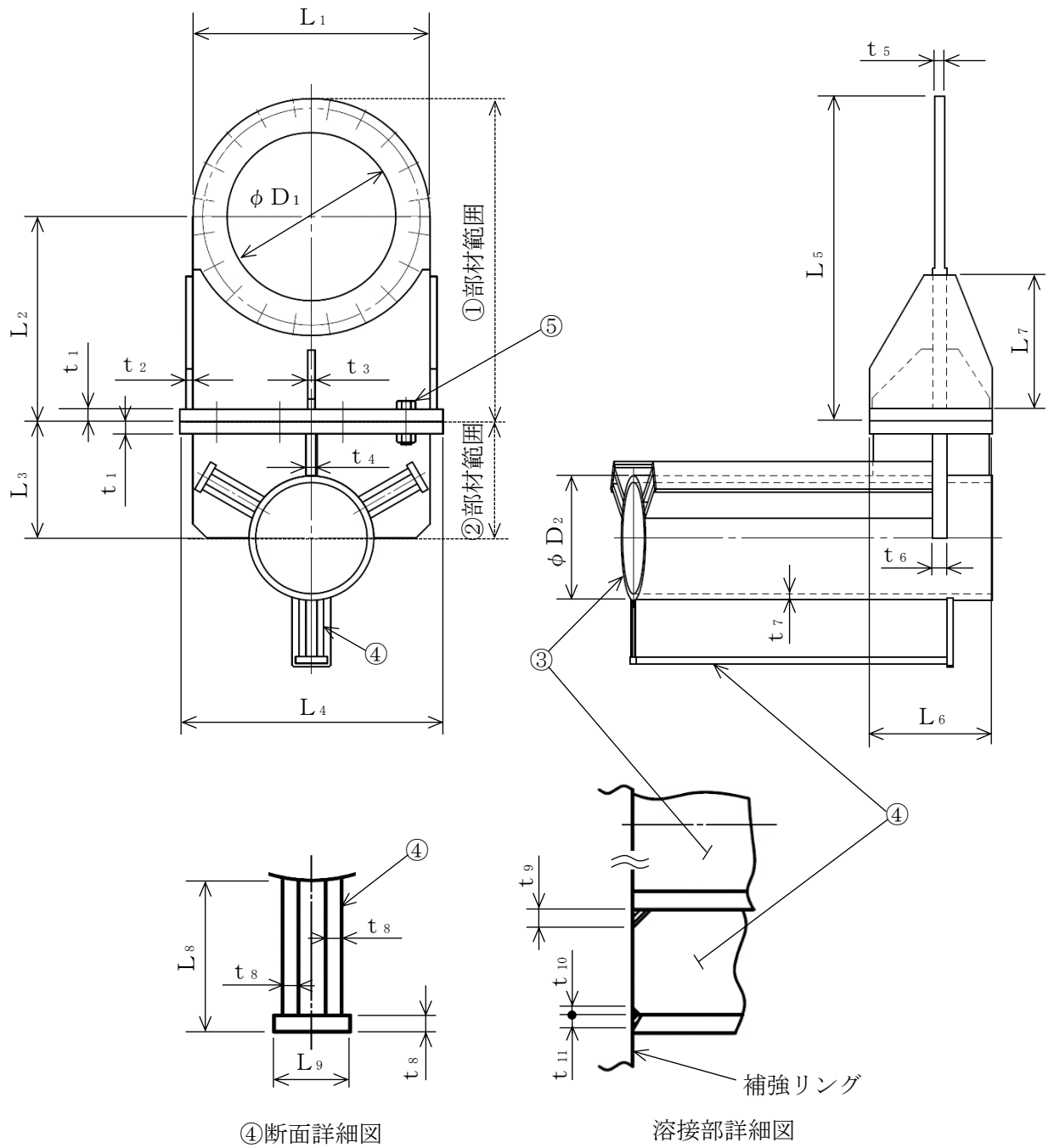


図 3-1(2) ストレーナ取付部サポートの形状及び主要寸法 (単位 : mm)



D ₁ = <input type="text"/>	D ₂ = <input type="text"/>	L ₁ = <input type="text"/>	L ₂ = <input type="text"/>	L ₃ = <input type="text"/>	L ₄ = <input type="text"/>
L ₅ = <input type="text"/>	L ₆ = <input type="text"/>	L ₇ = <input type="text"/>	L ₈ = <input type="text"/>	L ₉ = <input type="text"/>	
t ₁ = <input type="text"/>	t ₂ = <input type="text"/>	t ₃ = <input type="text"/>	t ₄ = <input type="text"/>	t ₅ = <input type="text"/>	t ₆ = <input type="text"/>
t ₇ = <input type="text"/>	t ₈ = <input type="text"/>	t ₉ = <input type="text"/>	t ₁₀ = <input type="text"/>	t ₁₁ = <input type="text"/>	

- ①サポートプレート(1) ②サポートプレート(2) ③サポートパイプ (円管)
 ④サポートパイプ (補強リブ) ⑤サポートボルト (M, 8本)

図 3-2 ストレーナ取付部サポートの形状及び主要寸法 (単位 : mm)

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ストレーナの水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重は、コネクタ、ティー、原子炉格納容器貫通部及びサポートを介してサブプレッションチェンバに伝達される。このため、ストレーナ取付部サポートは、ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

ストレーナ取付部サポートの構造強度評価における固有値解析、応答解析及び応力計算は、三次元はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。地震荷重以外の荷重（死荷重及び水力学的動荷重）を 4.3(1)項に示す三次元はりモデル（以下「荷重算出用モデル（単体モデル）」という。）、固有値及び地震荷重を 4.3(2)項に示す三次元はりモデル（以下「地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）」という。）により算出し、4.6.2(3)項に示す三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）を用いてサポートプレート、4.6.2(1)項、4.6.2(2)項及び 4.6.2(4)項に示す方法を用いてサポートパイプ及びサポートボルトの応力計算を行う。

- (2) 地震力は、地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重（図 3-1(2)の X、Y、Z 方向）の組み合わせには S R S S 法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ストレーナ取付部サポートの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。また、荷重の組合せの整理表を表 4-3 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナ取付部サポートの許容応力は VI-2-1-9 「機能維持の基本方針」に基づき表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ストレーナ取付部サポートの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

サポートプレート①	<input type="checkbox"/>
サポートプレート②	<input type="checkbox"/>
サポートパイプ（円管）	<input type="checkbox"/>
サポートパイプ（補強リブ）	<input type="checkbox"/>
サポートボルト	<input type="checkbox"/>

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部サポート	S	クラス 2	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ A S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部サポート	S	クラス 2	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ A S
原子炉 冷却系統 施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部サポート	S	クラス 2	$D + P_D + M_D + S d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_L + M_L + S d^*$	Ⅲ A S
					$D + P_D + M_D + S s$	Ⅳ A S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統 施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部サポート	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部サポート	常設耐震／防止 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ 取付部サポート	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部サポート	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)
原子炉 冷却系統 施設	非常用 炉心冷却設備 その他 原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ 取付部サポート	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVAS の許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表4-3 荷重の組合せ整理表

荷重の組合せ			許容応力状態	備考	
組合せ No.	各運転状態による荷重	地震荷重			
DBA ^{*1}	DBA-1	運転状態Ⅰによる荷重	S d [*]	Ⅲ _A S	
	DBA-2	運転状態Ⅰによる荷重	S s	Ⅳ _A S	
	DBA-3	運転状態Ⅱによる荷重	S d [*]	Ⅲ _A S	SRV
	DBA-4	運転状態Ⅱによる荷重	S s	Ⅳ _A S	SRV
	DBA-5	運転状態Ⅳ(L)による荷重	S d [*]	Ⅲ _A S	
SA ^{*2}	SA-1	運転状態Ⅴ(L) ^{*3} による荷重	S d [*]	V _A S ^{*4}	
	SA-2	運転状態Ⅴ(LL)による荷重	S s	V _A S ^{*4}	

注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ(L)の評価は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 178℃とした運転状態Ⅴ(LL)の評価で代表される。

*4：許容応力状態V_ASとしてⅣ_ASの許容応力を用いる。

表 4-4 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物 (クラス 2, 3 支持構造物))

許容応力状態	許容限界*1 (ボルト等以外)					許容限界*1 (ボルト等)	
	一次応力					一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張*2	せん断
ⅢAS	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注: f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* は, f_t , f_s , f_c , f_b の値を算出する際に設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値とあるのを設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値の 1.2 倍の値と読み替えて計算した値。ただし, 使用温度が 40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては, $1.35 \cdot S_y$, $0.7 \cdot S_u$ 又は $S_y(RT)$ のいずれか小さい方の値

注記*1: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

2: 応力の組み合わせが考えられる場合には, 許容応力状態ⅢASは $2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau$ と $1.5 \cdot f_t$ の小さい方, 許容応力状態ⅣAS及びⅤASは $2.1 \cdot f_t^ - 1.6 \cdot \tau$ と $1.5 \cdot f_t^*$ の小さい方を用いる。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
サポートプレート①		最高使用温度	104	—			
サポートプレート②		最高使用温度	104	—			—
サポートパイプ（円管）		最高使用温度	104	—			—
サポートパイプ（補強リブ）		最高使用温度	104	—			—
サポートボルト		最高使用温度	104	—			—

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度					
サポートプレート①		最高使用温度	178	—			
サポートプレート②		最高使用温度	178	—			—
サポートパイプ（円管）		最高使用温度	178	—			—
サポートパイプ（補強リブ）		最高使用温度	178	—			—
サポートボルト		最高使用温度	178	—			—

4.2.4 設計荷重

ストレーナ取付部サポートの設計荷重は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて解析を行い、各部の反力を算出して設定する。

4.3 解析モデル及び諸元

本項においては、荷重算出用モデル（単体モデル）及び地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）について説明する。なお、サポートプレートの応力計算に用いた応力解析用モデルについては、4.6.2 項で説明する。

(1) 荷重算出用モデル（単体モデル）

ストレーナ取付部サポートの荷重算出用モデル（単体モデル）は、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す荷重算出用モデル（単体モデル）と同じモデルである。

(2) 地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）

ストレーナ取付部サポートの地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）は、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）と同じモデルである。

4.4 固有周期

地震応答解析モデルを用いた固有値解析の結果は、VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-7 及び表 4-8、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-9 及び表 4-10 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期 (s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：－					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度*4		応答鉛直 震度	応答水平震度*5		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次				—			—
2 次				—			—
3 次				—			—
4 次				—			—
5 次				—			—
6 次				—			—
7 次				—			—
8 次				—			—
9 次				—			—
10 次				—			—
11 次				—			—
12 次				—			—
13 次				—			—
14 次				—			—
15 次				—			—
16 次				—			—
17 次				—			—
動的震度*6,*7		0.51	0.52	—	1.03	1.06	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 4-8 設計用地震力（設計基準対象施設）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300* ¹)					
固有周期 (s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> * ²					
減衰定数 (%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁴	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁵
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次		—	—		—	—	
2 次		—	—		—	—	
3 次		—	—		—	—	
4 次		—	—		—	—	
5 次		—	—		—	—	
6 次		—	—		—	—	
7 次		—	—		—	—	
8 次		—	—		—	—	
9 次		—	—		—	—	
10 次		—	—		—	—	
11 次		—	—		—	—	
12 次		—	—		—	—	
13 次		—	—		—	—	
14 次		—	—		—	—	
15 次		—	—		—	—	
16 次		—	—		—	—	
17 次		—	—		—	—	
18 次		—	—		—	—	
19 次		—	—		—	—	
20 次		—	—		—	—	
動的震度* ^{6, *7}		—	—	0.38	—	—	0.77
静的震度* ⁸		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を1.2倍した震度

*8：3.6・C_i及び1.2・C_vより定めた震度

表 4-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：－					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度*4		応答鉛直 震度
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
2次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
3次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
4次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
5次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
6次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
7次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
8次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
9次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
10次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
11次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
12次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
13次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
14次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
15次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
16次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
17次	<input type="text"/>	—	—	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—
動的震度*5,*6		—	—	—	1.03	1.06	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）（内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)					
固有周期 (s)		水平：－ 鉛直： <input type="text"/> *2					
減衰定数 (%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード*3	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度*4
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次		－	－	－	－	－	
2 次		－	－	－	－	－	
3 次		－	－	－	－	－	
4 次		－	－	－	－	－	
5 次		－	－	－	－	－	
6 次		－	－	－	－	－	
7 次		－	－	－	－	－	
8 次		－	－	－	－	－	
9 次		－	－	－	－	－	
10 次		－	－	－	－	－	
11 次		－	－	－	－	－	
12 次		－	－	－	－	－	
13 次		－	－	－	－	－	
14 次		－	－	－	－	－	
15 次		－	－	－	－	－	
16 次		－	－	－	－	－	
17 次		－	－	－	－	－	
18 次		－	－	－	－	－	
19 次		－	－	－	－	－	
20 次		－	－	－	－	－	
動的震度*5, *6		－	－	－	－	－	0.77
静的震度		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ストレナー取付部サポートの形状及び応力レベルを考慮して、表 4-11 及び図 4-1 に示す応力評価点を設定する。

表4-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点*
P1	サポートパイプ
P2	サポートパイプ溶接部
P3	サポートプレート
P4	サポートボルト

注記*：応力評価点P3については、許容応力に対する発生応力が、全ての供用状態を通じて最も厳しくなる点を代表で記載している。
なお、図中の矢印は応力評価部位を示す。

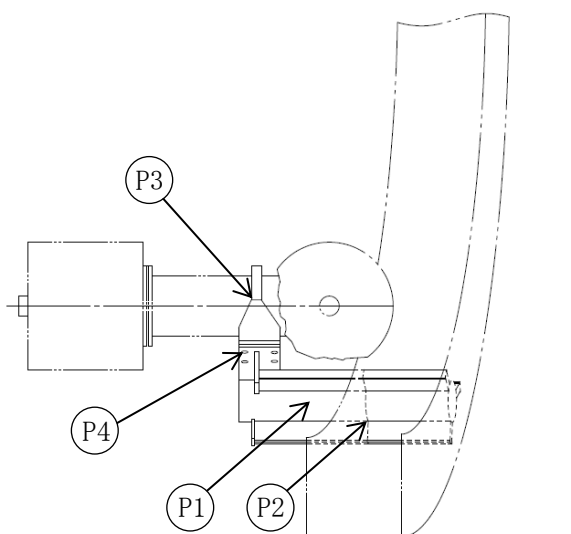


図4-1 ストレナー取付部サポートの応力評価点

4.6.2 応力の計算方法

(1) サポートパイプ（応力評価点 P1）

サポートパイプの設計荷重を表 4-12 に示す。

表 4-12 に示す荷重により，サポートパイプに生じる応力を求める。

死荷重に対する計算例を以下に示す。

a. 軸力による垂直応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} = \boxed{} = 1 \text{ MPa}$$

ここに，A：サポートパイプの断面積

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

b. 曲げモーメントによる曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \boxed{} = 13 \text{ MPa}$$

ここに，Z：サポートパイプの断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

c. せん断力及びねじりモーメントによるせん断応力

$$\tau = \frac{F_v}{A} + \frac{M}{Z_P} \boxed{} + \boxed{} = 3 \text{ MPa}$$

ここに，Z_P：サポートパイプの極断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

d. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(1 + 13)^2 + 3 \times 3^2} = 15 \text{ MPa}$$

表 4-12 サポートパイプの設計荷重

荷重	軸力 (N)	曲げ モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	ねじり モーメント (N・mm)
	N	M	F _v	T
1 死荷重				
2 S R V 荷重				
3 地震荷重 (S d*)				
4 地震荷重 (S s)				

注：異物による荷重を含めて計算している。

(2) サポートパイプ溶接部 (応力評価点 P2)

サポートパイプ溶接部の設計荷重を表 4-13 に示す。

表 4-13 に示す荷重により，サポートパイプ溶接部に生じる応力を求める。
死荷重に対する計算例を以下に示す。

a. 軸力による垂直応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} = \boxed{} = 1 \text{ MPa}$$

ここに，A：サポートパイプ溶接部の断面積

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

b. 曲げモーメントによる曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \boxed{} = 15 \text{ MPa}$$

ここに，Z：サポートパイプ溶接部の断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

c. せん断力及びねじりモーメントによるせん断応力

$$\tau = \frac{F_v}{A} + \frac{T}{Z_P} \boxed{} + \boxed{} = 4 \text{ MPa}$$

ここに，Z_P：サポートパイプ溶接部の極断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

d. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(1 + 15)^2 + 3 \times 4^2} = 18 \text{ MPa}$$

表 4-13 サポートパイプ溶接部の設計荷重

荷重	軸力 (N)	曲げ モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	ねじり モーメント (N・mm)
	N	M	F _v	T
1 死荷重				
2 S R V 荷重				
3 地震荷重 (S d*)				
4 地震荷重 (S s)				

注：異物による荷重を含めて計算している。

(3) サポートプレート (応力評価点 P3)

サポートプレートの応力計算は応力解析用モデルにより行う。サポートプレートの応力解析用モデルを図 4-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算結果】の機器要目、解析モデルの諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算結果】の解析モデルの諸元に示す。

- 応力解析用モデルでは、「4.3 解析モデル及び諸元」の応答解析用モデルのサポートプレート部をシェル要素でモデル化した有限要素モデルを用いて解析を行う。
- サポートプレートの各部材は溶接により接合されており、溶接部は健全性が確保されるよう設計する。
- 図 4-3 に示す荷重入力点に X 方向、Y 方向、及び Z 方向に単位荷重を個別に入力し、荷重出力点の反力と各部位の応力を算出する。また、得られた各入力に対する応力に、設計荷重と荷重出力点反力との比をかけた後、荷重の組み合わせを考慮した加算を行い、応力強さを算出する。
- 表 4-14 に示す設計荷重によりサポートプレートに生じる応力は、解析コード「MSC NASTRAN」を使用して計算する。

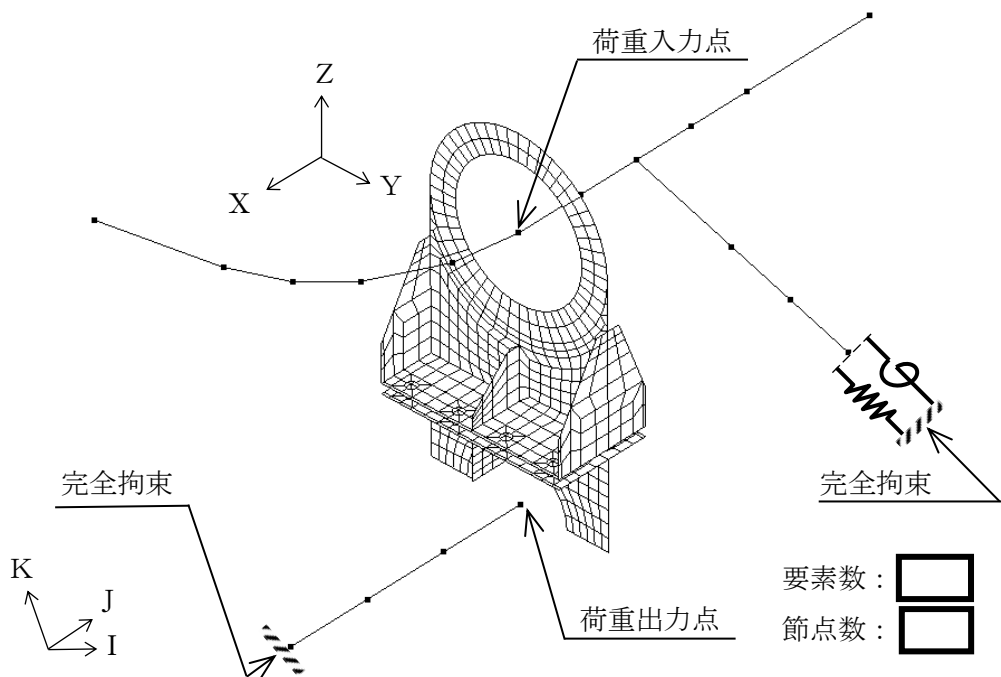


図 4-2 サポートプレートの応力解析用モデル

表 4-14 ストレーナ取付部サポートプレートの設計荷重

(単位：N)

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	死荷重	3.408×10^3	7.606×10^3	3.503×10^4
2	S R V 荷重	2.270×10^4	2.953×10^4	3.677×10^4
3	地震荷重 (S d*)	3.553×10^4	4.549×10^4	9.622×10^4
4	地震荷重 (S s)	7.423×10^4	9.945×10^4	1.910×10^5

注 1：方向は図 4-3 参照

注 2：異物による荷重を含めて計算している。

(4) サポートボルト (応力評価点 P4)

サポートボルトの設計荷重を表 4-15 に示す。

表 4-15 に示す荷重により，サポートボルトに生じる応力を求める。

死荷重に対する計算例を以下に示す。

a. 軸力による引張応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} = \boxed{} = 14 \text{ MPa}$$

ここに，A：サポートボルト (呼び径 M $\boxed{}$) の断面積
 $= \boxed{} \text{ mm}^2$

b. せん断力によるせん断応力

$$\tau = \frac{F_v}{A} = \boxed{} = 15 \text{ MPa}$$

表 4-15 サポートボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸力	せん断力
		N	F _v
1	死荷重	$\boxed{}$	$\boxed{}$
2	S R V 荷重	$\boxed{}$	$\boxed{}$
3	地震荷重 (S d*)	$\boxed{}$	$\boxed{}$
4	地震荷重 (S s)	$\boxed{}$	$\boxed{}$

注 1：ボルト一本に加わる荷重を示す。

注 2：異物による荷重を含めて計算している。

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-4, 表 4-5, 及び表 4-6 で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は許容引張応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ストレーナ取付部サポートの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、各許容応力状態 IIIAS 及び IVAS で、発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ストレーナ取付部サポートの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち、許容応力状態 VAS で、発生値が高い方の評価を記載している。

【残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 ^{*2} (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレーナ取付部 サポート	S	原子炉建物 EL (EL 1.300 ^{*1})	 	 	$C_H=0.58^{*3}$ 又は*5	$C_V=0.38^{*4}$ 又は*5	$C_H=1.03^{*6}$ (NS 方向) $C_H=1.06^{*6}$ (EW 方向) 又は*7	$C_V=0.77^{*6}$ 又は*7	104	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

1.2 機器要目 (単位: mm)

D1	D2	L1	L2

(単位: mm)

L3	L4	L5	L6

(単位: mm)

L7	L8	L9	t1

(単位: mm)

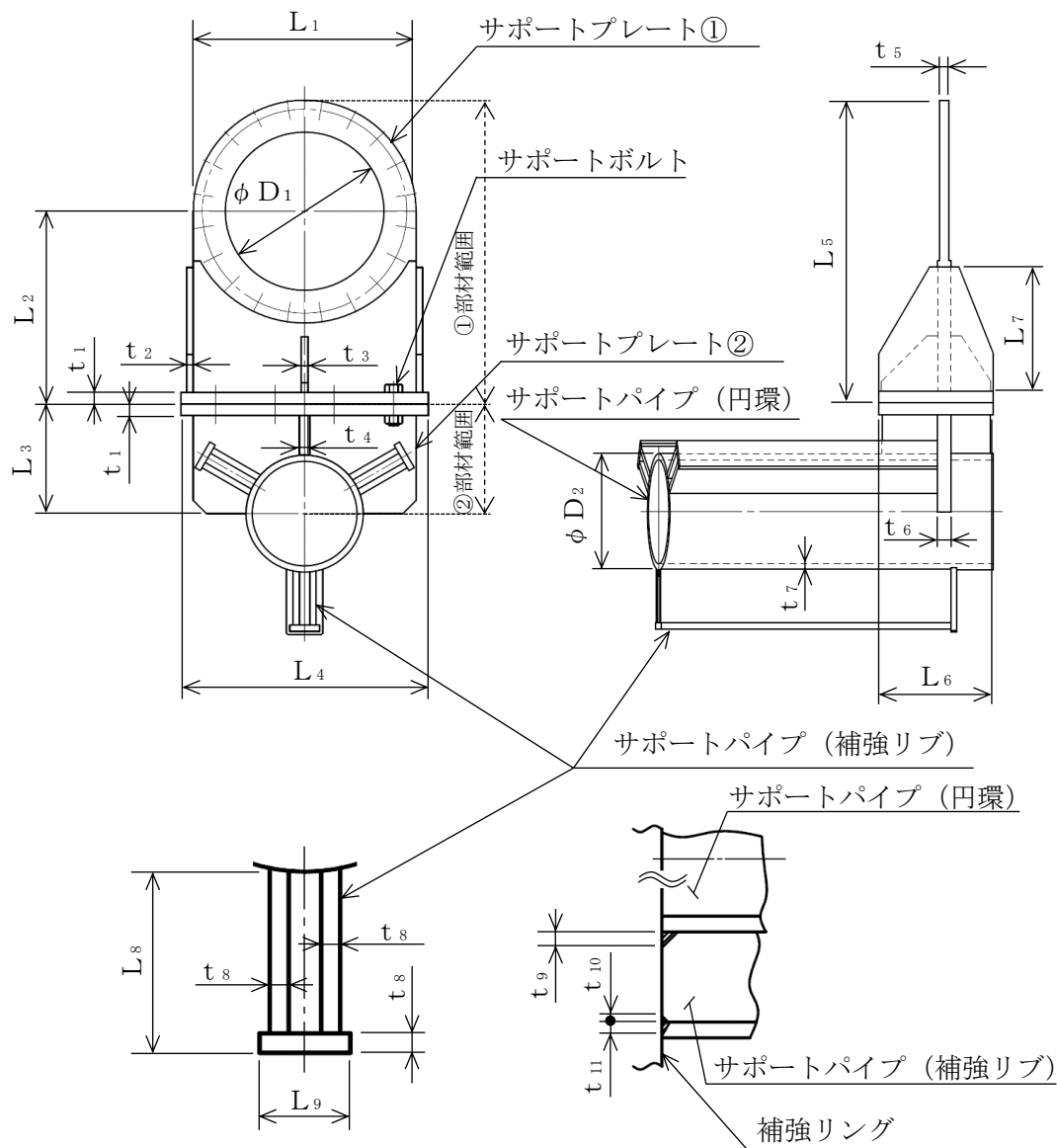
t2	t3	t4	t5

(単位: mm)

t6	t7	t8	t9

(単位: mm)

t10	t11



サポートパイプ (補強リブ) 断面詳細図

溶接部詳細図

(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナ取付部サポートの材質	—	
ストレーナ取付部サポートの質量	kg	
ストレーナ取付部サポートの内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ1個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

この他の諸元はVI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サプレッションチェンバ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

(解析モデルの諸元 (応力解析用モデル))

項目	単位	入力値
サポートプレートの材質	—	
サポートプレートの質量	kg	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

(単位 : MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (R T)
サポートプレート①		—			
サポートプレート②		—			—
サポートパイプ (円管)		—			—
サポートパイプ (補強リブ)		—			—
サポートボルト		—			—

1.3 計算数値

1.3.1 サポートパイプの設計荷重

荷重		軸力 N (N)	曲げモーメント M (N・mm)	せん断力 F _v (N)	ねじりモーメント T (N・mm)
1	死荷重				
2	SRV荷重				
3	地震荷重 (Sd*)				
4	地震荷重 (Ss)				

注：異物による荷重を含めて計算している。

1.3.2 サポートパイプ溶接部の設計荷重

荷重		軸力 N (N)	曲げモーメント M (N・mm)	せん断力 F _v (N)	ねじりモーメント T (N・mm)
1	死荷重				
2	SRV荷重				
3	地震荷重 (Sd*)				
4	地震荷重 (Ss)				

注：異物による荷重を含めて計算している。

1.3.3 サポートプレートの設計荷重

(単位：N)

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	死荷重	3.408×10^3	7.606×10^3	3.503×10^4
2	SRV荷重	2.270×10^4	2.953×10^4	3.677×10^4
3	地震荷重 (Sd*)	3.533×10^4	4.549×10^4	9.622×10^4
4	地震荷重 (Ss)	7.423×10^4	9.945×10^4	1.910×10^5

注：異物による荷重を含めて計算している。

1.3.4 サポートボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸力 N	せん断力 F _v
1	死荷重		
2	S R V 荷重		
3	地震荷重 (S d*)		
4	地震荷重 (S s)		

注：異物による荷重を含めて計算している。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

注: 水平方向は内部水有効質量モデル, 鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

1.4.2 応力

(単位: MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	Ⅲ A S			Ⅳ A S		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレーナ 取付部サポート	P1	サポートパイプ		組合せ	$\sigma = 97$	$1.5 \cdot f_t = 219$	DBA-3	$\sigma = 154$	$1.5 \cdot f_t^* = 262$	DBA-4
	P2	サポートパイプ溶接部		組合せ	$\sigma = 113$	$1.5 \cdot f_t = 219$	DBA-3	$\sigma = 179$	$1.5 \cdot f_t^* = 262$	DBA-4
	P3	サポートプレート		組合せ	$\sigma = 110$	$1.5 \cdot f_t = 204$	DBA-3	$\sigma = 172$	$1.5 \cdot f_t^* = 228$	DBA-4
	P4	サポートボルト		引張	$\sigma_t = 105$	$2.1 \cdot f_t - 1.6 \cdot \tau = 436$	DBA-3	$\sigma_t = 167$	$2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau = 324$	DBA-4
				せん断	$\tau = 116$	$1.5 \cdot f_s = 341$	DBA-3	$\tau = 186$	$1.5 \cdot f_s^* = 341$	DBA-4

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期*2 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
残留熱除去系 ストレーナ 取付部サポート	常設/防止 (DB拡張) 常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> (EL 1.300*1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =1.03*3 (NS方向) C _H =1.06*3 (EW方向) 又は*4	C _V =0.77*3 又は*4	178	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

2.2 機器要目 (単位: mm)

D1	D2	L1	L2

(単位: mm)

L3	L4	L5	L6

(単位: mm)

L7	L8	L9	t1

(単位: mm)

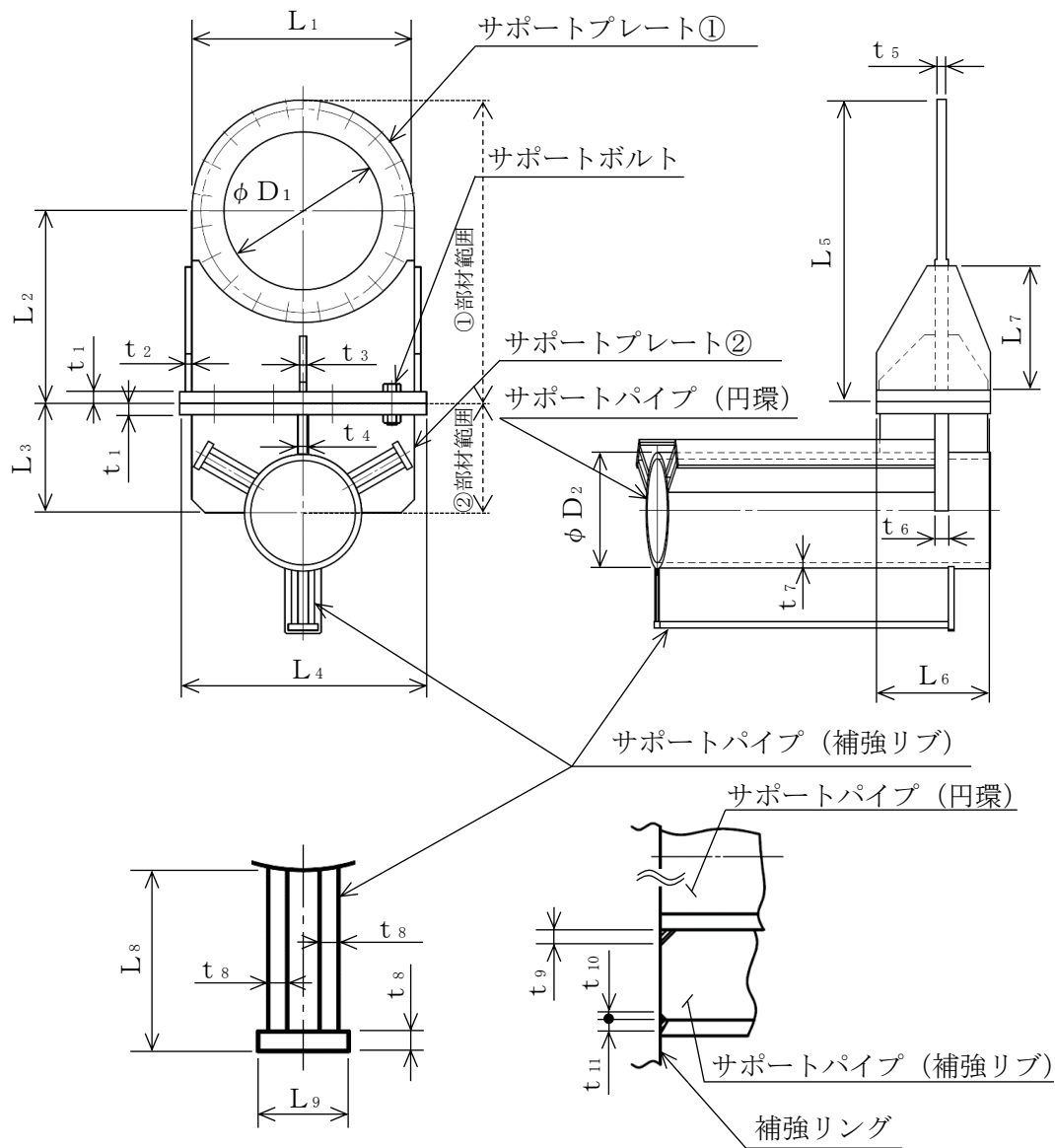
t2	t3	t4	t5

(単位: mm)

t6	t7	t8	t9

(単位: mm)

t10	t11



サポートパイプ (補強リブ) 断面詳細図

溶接部詳細図

(解析モデルの諸元 (荷重算出用モデル (単体モデル)))

項目	単位	入力値
ストレーナ取付部サポートの材質	—	
ストレーナ取付部サポートの質量	kg	
ストレーナ取付部サポートの 内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ1個当たりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

この他の諸元はVI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。

(解析モデルの諸元 (地震応答解析モデル (サプレッションチェンバ全体はりモデル)))

VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に記載するため、ここでは記載を省略する。

(解析モデルの諸元 (応力解析用モデル))

項目	単位	入力値
サポートプレートの材質	—	
サポートプレートの質量	kg	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

(単位: MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (RT)
サポートプレート①		—			
サポートプレート②		—			—
サポートパイプ (円管)		—			—
サポートパイプ (補強リブ)		—			—
サポートボルト		—			—

2.3 計算数値

2.3.1 サポートパイプの設計荷重

荷重		軸力 N (N)	曲げモーメント M (N・mm)	せん断力 F _v (N)	ねじりモーメント T (N・mm)
1	死荷重				
2	地震荷重 (S s)				

注：異物による荷重を含めて計算している。

2.3.2 サポートパイプ溶接部の設計荷重

荷重		軸力 N (N)	曲げモーメント M (N・mm)	せん断力 F _v (N)	ねじりモーメント T (N・mm)
1	死荷重				
2	地震荷重 (S s)				

注：異物による荷重を含めて計算している。

2.3.3 サポートプレートの設計荷重

(単位：N)

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	死荷重			
2	地震荷重 (S s)			

注：異物による荷重を含めて計算している。

2.3.4 サポートボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸力 N	せん断力 F _v
1	死荷重		
2	地震荷重 (S s)		

注：異物による荷重を含めて計算している。

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平	
鉛直	

注：水平方向は内部水有効質量モデル，鉛直方向は内部水全質量モデルの1次固有周期について記載

2.4.2 応力 (単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	V A S		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレーナ 取付部サポート	P1	サポートパイプ		組合せ	$\sigma = 126$	$1.5 \cdot f_t^* = 252$	SA-2
	P2	サポートパイプ溶接部		組合せ	$\sigma = 147$	$1.5 \cdot f_t^* = 252$	SA-2
	P3	サポートプレート		組合せ	$\sigma = 137$	$1.5 \cdot f_t^* = 199$	SA-2
	P4	サポートボルト		引張 せん断	$\sigma_t = 136$ $\tau = 150$	$2.1 \cdot f_t^* - 1.6 \cdot \tau = 373$ $1.5 \cdot f_s^* = 337$	SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の
耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1 高圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1-1 高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	10
3.6 計算条件	10
4. 機能維持評価	11
4.1 動的機能維持評価方法	11
5. 評価結果	12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトで原動機台に固定され、原動機台は原動機台取付ボルトでポンプに固定する。ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。バレルケーシングは下部サポートに支持され、下部サポートは基礎に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ピットバレル形立形ポンプ)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

高圧炉心スプレイポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	高圧炉心スプレイポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	高圧炉心スプレイポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と1.2・S との大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係 数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)			*2 S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	100	—	212	373
コラムパイプ	最高使用温度	100	—	226	438	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	

注記*1: □

*2: □

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	110	—	—	373
コラムパイプ	最高使用温度	110	—	—	438	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	685	847	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	110	—	678	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	110	—	678	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	110	—	678	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	685	847	—	

注記*1: *2:

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、バレルケーシング、ロータ及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表3-7、振動モード図を図3-1に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.045	—	—	—

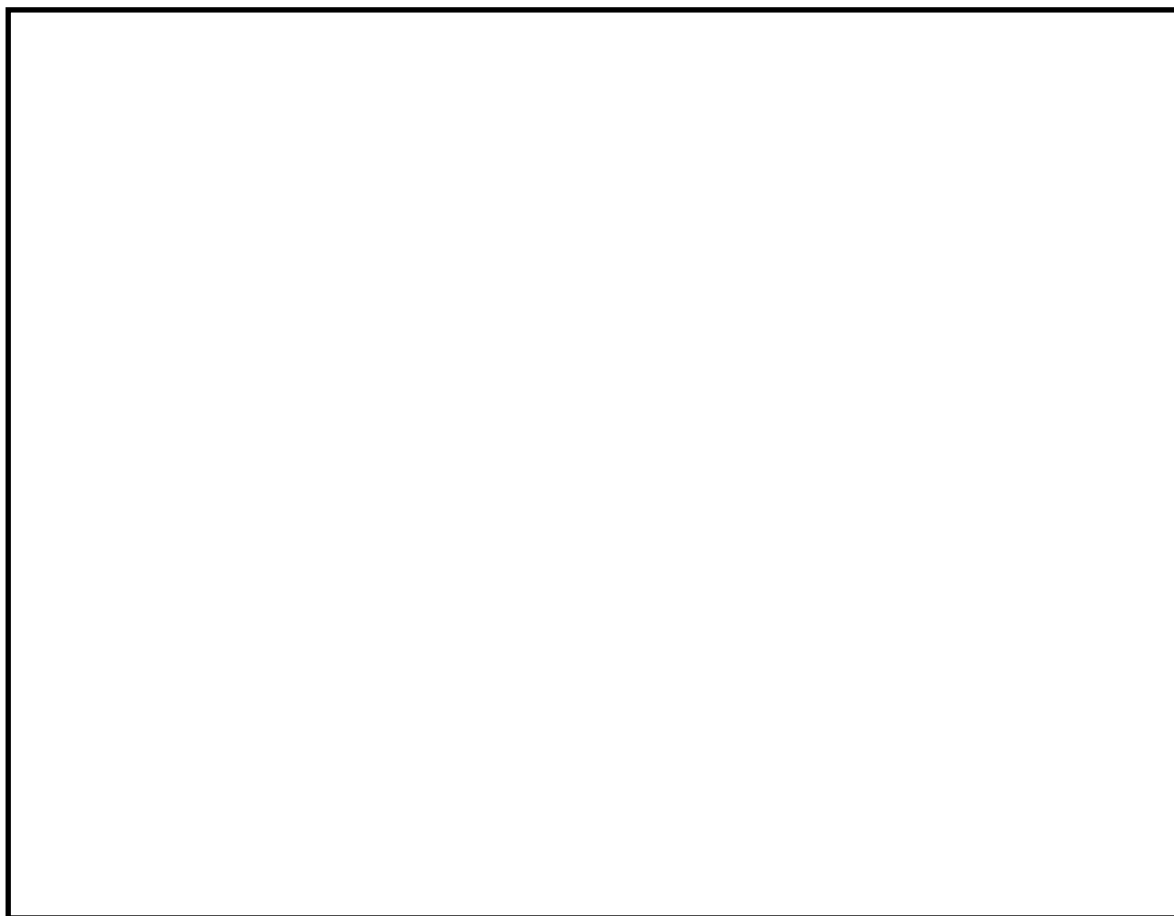


図3-1 振動モード図（1次 水平方向 0.045s）

3.5 設計用地震力

高圧炉心スプレイポンプの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-8に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-9に示す。

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.045	0.05 以下	C _H =0.90 ^{*2}	C _V =0.47 ^{*2}	C _H =1.79 ^{*3}	C _V =0.94 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動S_s）を上回る設計震度

表3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.045	0.05 以下	—	—	C _H =1.79 ^{*2}	C _V =0.94 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動S_s）を上回る設計震度

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
高圧炉心スプレイポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3* ¹	0.045	0.05 以下	C _H =0.90* ²	C _V =0.47* ²	C _H =1.79* ³	C _V =0.94* ³	C _p =0.11	100	□	1.37	12.2

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 及び静的震度を上回る設計震度

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					16	16	—	730* ¹ (径≦60mm)	868* ¹ (径≦60mm)	607	607
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	1.263×10 ⁷	685* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	1.263×10 ⁷	685* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	1.263×10 ⁷	685* ² (径≦60mm)	847* ² (径≦60mm)	592	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	1.263×10 ⁷	730* ¹ (径≦60mm)	868* ¹ (径≦60mm)	607	607

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	212* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	226*	438*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R1

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.045
鉛直方向	0.05 以下

14

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
			基礎ボルト (i=1)	引張	$\sigma_{b1}=18$	$f_{ts1}=455^*$
	せん断	$\tau_{b1}=16$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=350$	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	引張	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=27$	$f_{ts2}=444^*$	
	せん断	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	引張	$\sigma_{b3}=12$	$f_{ts3}=444^*$	$\sigma_{b3}=29$	$f_{ts3}=444^*$	
	せん断	$\tau_{b3}=5$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=342$	
原動機台取付ボルト (i=4)	引張	$\sigma_{b4}=21$	$f_{ts4}=444^*$	$\sigma_{b4}=46$	$f_{ts4}=444^*$	
	せん断	$\tau_{b4}=10$	$f_{sb4}=342$	$\tau_{b4}=18$	$f_{sb4}=342$	
原動機取付ボルト (i=5)	引張	$\sigma_{b5}=11$	$f_{ts5}=455^*$	$\sigma_{b5}=26$	$f_{ts5}=455^*$	
	せん断	$\tau_{b5}=7$	$f_{sb5}=350$	$\tau_{b5}=12$	$f_{sb5}=350$	

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 46$ S _a = 212
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$ S _a = 223
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 70$ S _a = 226
		基準地震動 S _s	$\sigma = 70$ S _a = 262

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		2.011×10^6
2	2-3	1		4.773×10^6
3	3-4	1		1.402×10^7
4	4-5	1		1.402×10^7
5	5-6	1		1.402×10^7
6	6-7	1		1.402×10^7
7	7-8	1		1.402×10^7
8	8-9	1		1.402×10^7
9	9-10	1		1.402×10^7
10	10-11	1		1.402×10^7
11	11-12	1		1.402×10^7
12	12-13	1		1.402×10^7
13	13-14	1		1.402×10^7
14	14-15	1		1.402×10^7
15	15-16	1		1.402×10^7
16	16-17	1		1.402×10^7
17	17-18	1		1.402×10^7
18	18-19	1		1.402×10^7
19	19-20	1		1.402×10^7
20	20-21	1		1.318×10^7
21	21-22	1		3.217×10^7
22	22-23	1		1.630×10^7
23	23-24	3		2.915×10^8
24	24-25	6		1.886×10^7
25	25-26	6		1.150×10^8
26	26-27	6		4.100×10^7
27	28-29	2		5.201×10^8
28	29-30	2		1.920×10^9
29	30-31	2		1.920×10^9
30	31-32	2		7.927×10^9
31	32-33	2		7.927×10^9
32	33-34	2		7.927×10^9
33	34-35	2		7.927×10^9
34	35-36	2		7.927×10^9
35	36-37	2		7.927×10^9
36	37-38	2		7.927×10^9
37	38-39	2		7.927×10^9
38	39-40	2		7.927×10^9
39	40-41	2		7.927×10^9
40	41-42	2		7.927×10^9

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	2		7.927×10^9
42	43-44	2		7.927×10^9
43	44-45	2		7.927×10^9
44	45-46	2		7.927×10^9
45	46-47	2		1.559×10^9
46	47-48	2		1.559×10^9
47	48-49	2		1.559×10^9
48	49-75	2		1.559×10^9
49	50-51	2		1.569×10^{10}
50	51-52	2		1.569×10^{10}
51	52-53	2		1.569×10^{10}
52	53-54	2		1.569×10^{10}
53	54-55	2		1.569×10^{10}
54	55-56	2		1.569×10^{10}
55	56-57	2		1.569×10^{10}
56	57-58	2		1.569×10^{10}
57	58-59	2		1.569×10^{10}
58	59-60	2		1.569×10^{10}
59	60-61	2		1.569×10^{10}
60	61-62	2		1.569×10^{10}
61	62-63	2		1.569×10^{10}
62	63-64	2		1.569×10^{10}
63	64-65	2		1.569×10^{10}
64	65-66	2		1.569×10^{10}
65	66-67	2		1.569×10^{10}
66	67-68	2		1.569×10^{10}
67	68-69	2	1.569×10^{10}	
68	69-70	2	1.569×10^{10}	
69	71-72	4	2.379×10^{12}	
70	72-73	2	1.249×10^{12}	
71	73-74	2	6.562×10^{10}	
72	74-75	2	5.630×10^{10}	
73	75-76	4	5.630×10^{10}	
74	76-77	5	2.187×10^{10}	
75	77-78	5	2.187×10^{10}	
76	78-79	5	1.496×10^{10}	

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
1	28		
3	30		
5	32		
7	34		
9	36		
11	38		
13	40		
15	42		
17	44		
19	46		
22	49		
25	77		
26	78		
31	54		
26	78		
70	72		
70	72		

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R1

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	100	1.96×10^5		0.3	
2	100	1.98×10^5		0.3	
3		1.99×10^5		0.3	
4		2.00×10^5		0.3	
5		2.00×10^5		0.3	
6		1.99×10^5		0.3	

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R1

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
高圧炉心スプレイポンプ	常設/防止(DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	0.045	0.05 以下	—	—	C _H =1.79*2	C _V =0.94*2	C _p =0.11	110	□	1.37	12.2

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					16	16	—	685*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	1.263×10 ⁷	678*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	1.263×10 ⁷	678*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	1.263×10 ⁷	678*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	1.263×10 ⁷	685*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	—	592

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	—	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	—	438*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—			
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—			
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—			
原動機取付ボルト (i=5)	—		—			

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.045
鉛直方向	0.05 以下

25

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=56$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=27$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=29$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4}=46$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=18$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張	—	—	$\sigma_{b5}=26$	$f_{ts5}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b5}=12$	$f_{sb5}=342$

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma=46$	$S_a=223$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma=70$	$S_a=262$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能維持の評価結果

 $(\times 9.8\text{m/s}^2)$

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			

S2 補 VI-2-5-5-1-1 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		2.011×10^6
2	2-3	1		4.773×10^6
3	3-4	1		1.402×10^7
4	4-5	1		1.402×10^7
5	5-6	1		1.402×10^7
6	6-7	1		1.402×10^7
7	7-8	1		1.402×10^7
8	8-9	1		1.402×10^7
9	9-10	1		1.402×10^7
10	10-11	1		1.402×10^7
11	11-12	1		1.402×10^7
12	12-13	1		1.402×10^7
13	13-14	1		1.402×10^7
14	14-15	1		1.402×10^7
15	15-16	1		1.402×10^7
16	16-17	1		1.402×10^7
17	17-18	1		1.402×10^7
18	18-19	1		1.402×10^7
19	19-20	1		1.402×10^7
20	20-21	1		1.318×10^7
21	21-22	1		3.217×10^7
22	22-23	1		1.630×10^7
23	23-24	3		2.915×10^8
24	24-25	5		1.886×10^7
25	25-26	5		1.150×10^8
26	26-27	5		4.100×10^7
27	28-29	2		5.201×10^8
28	29-30	2		1.920×10^9
29	30-31	2		1.920×10^9
30	31-32	2		7.927×10^9
31	32-33	2		7.927×10^9
32	33-34	2		7.927×10^9
33	34-35	2		7.927×10^9
34	35-36	2		7.927×10^9
35	36-37	2		7.927×10^9
36	37-38	2		7.927×10^9
37	38-39	2		7.927×10^9
38	39-40	2		7.927×10^9
39	40-41	2		7.927×10^9
40	41-42	2		7.927×10^9

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	2		7.927×10^9
42	43-44	2		7.927×10^9
43	44-45	2		7.927×10^9
44	45-46	2		7.927×10^9
45	46-47	2		1.559×10^9
46	47-48	2		1.559×10^9
47	48-49	2		1.559×10^9
48	49-75	2		1.559×10^9
49	50-51	2		1.569×10^{10}
50	51-52	2		1.569×10^{10}
51	52-53	2		1.569×10^{10}
52	53-54	2		1.569×10^{10}
53	54-55	2		1.569×10^{10}
54	55-56	2		1.569×10^{10}
55	56-57	2		1.569×10^{10}
56	57-58	2		1.569×10^{10}
57	58-59	2		1.569×10^{10}
58	59-60	2		1.569×10^{10}
59	60-61	2		1.569×10^{10}
60	61-62	2		1.569×10^{10}
61	62-63	2		1.569×10^{10}
62	63-64	2		1.569×10^{10}
63	64-65	2		1.569×10^{10}
64	65-66	2		1.569×10^{10}
65	66-67	2		1.569×10^{10}
66	67-68	2		1.569×10^{10}
67	68-69	2		1.569×10^{10}
68	69-70	2		1.569×10^{10}
69	71-72	4		2.379×10^{12}
70	72-73	2		1.249×10^{12}
71	73-74	2		6.562×10^{10}
72	74-75	2		5.630×10^{10}
73	75-76	4		5.630×10^{10}
74	76-77	5		2.187×10^{10}
75	77-78	5		2.187×10^{10}
76	78-79	5		1.496×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
1	28		
3	30		
5	32		
7	34		
9	36		
11	38		
13	40		
15	42		
17	44		
19	46		
22	49		
25	77		
26	78		
31	54		
26	78		
70	72		
70	72		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

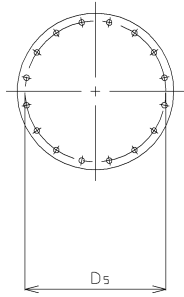
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	

(5) 材料物性値

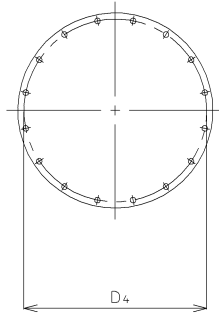
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	110	1.95×10^5		0.3	
2	110	1.97×10^5		0.3	
3		1.97×10^5		0.3	
4		1.98×10^5		0.3	
5		1.98×10^5		0.3	

原動機取付ボルト



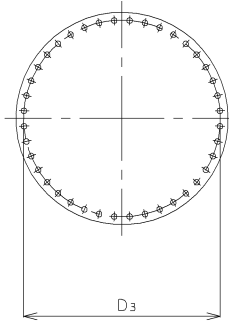
A~A矢視図

原動機台取付ボルト



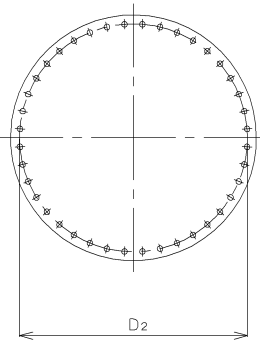
B~B矢視図

ポンプ取付ボルト (上)



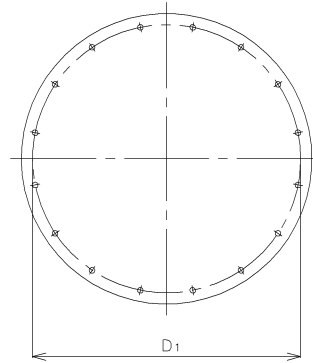
C~C矢視図

ポンプ取付ボルト (下)

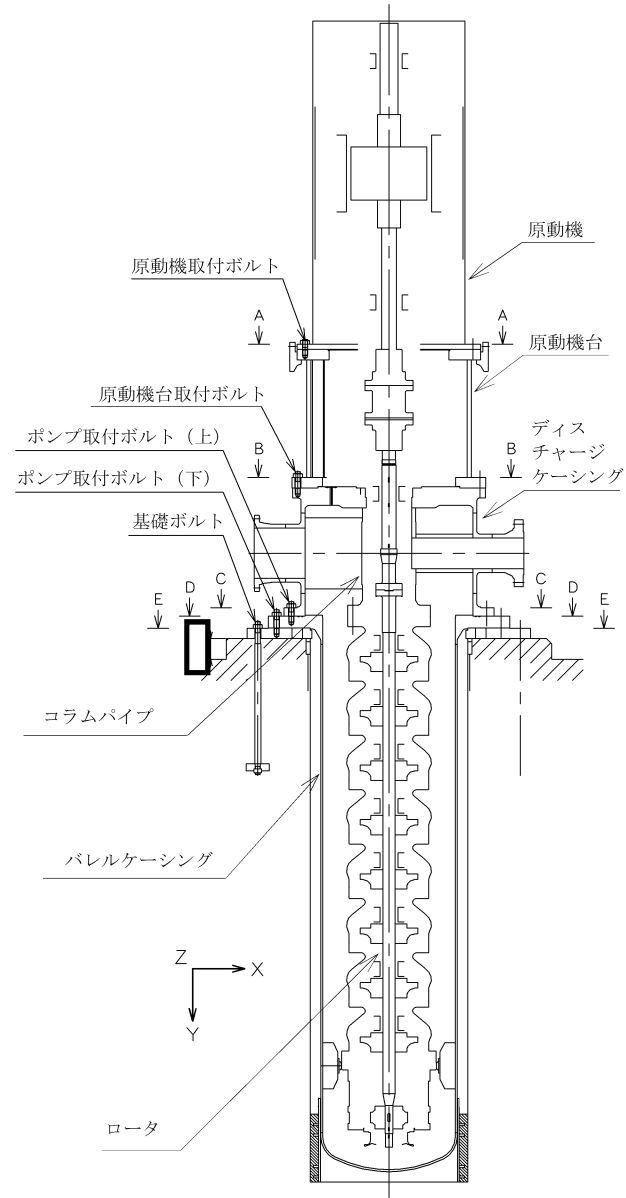


D~D矢視図

基礎ボルト



E~E矢視図



VI-2-5-5-1-2 高圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、高圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており、解析モデルや評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」において、ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」による。

VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力	26
3.5 設計用地震力	27
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	39
4.2.1 管の応力評価結果	39
4.2.2 支持構造物評価結果	43
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	44
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	45

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

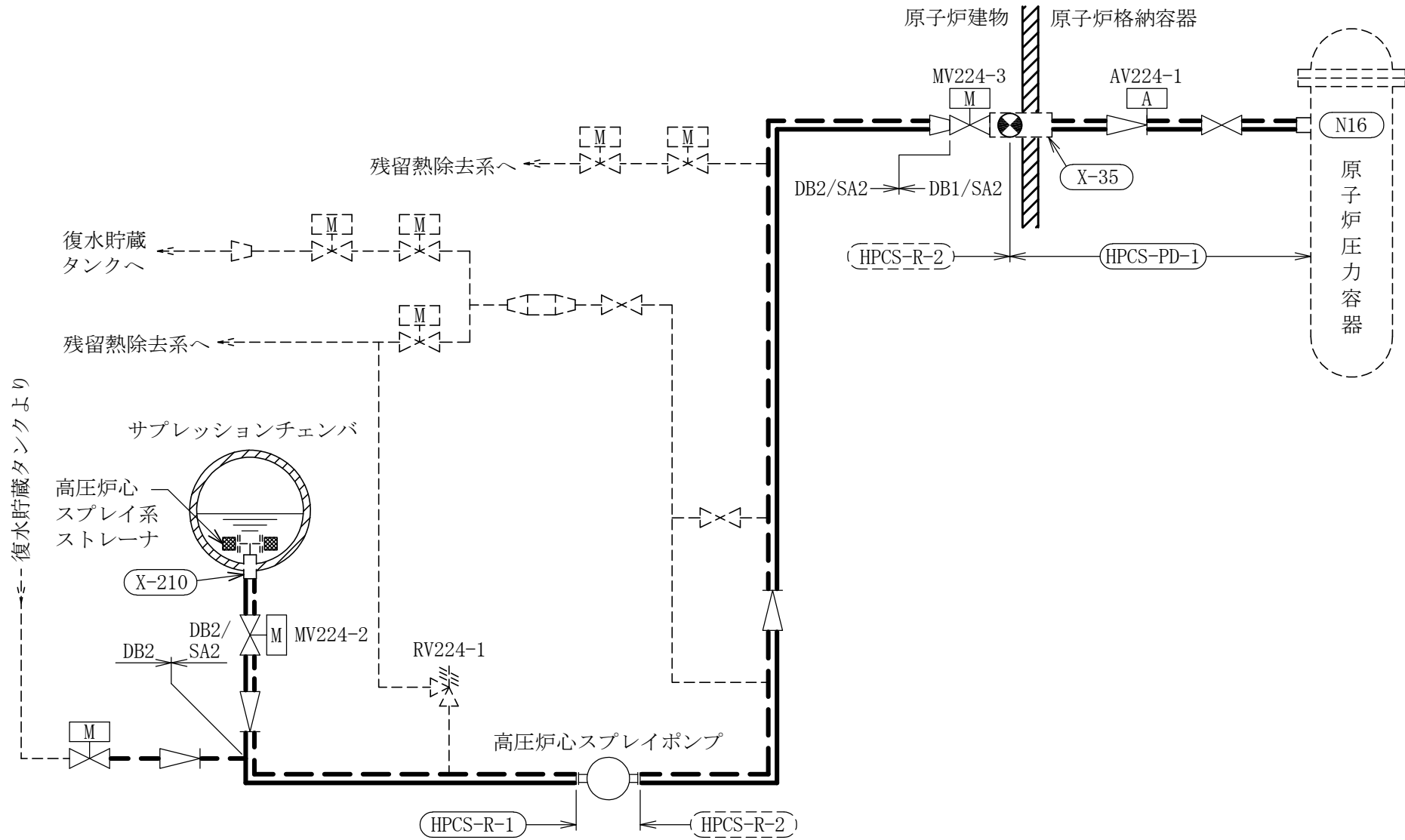
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


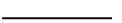
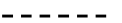


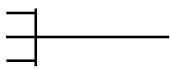
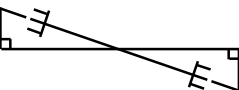
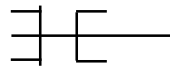
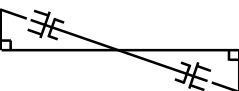

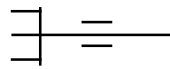
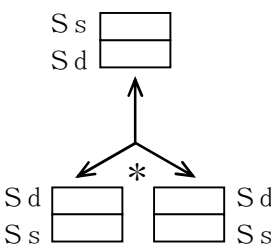
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

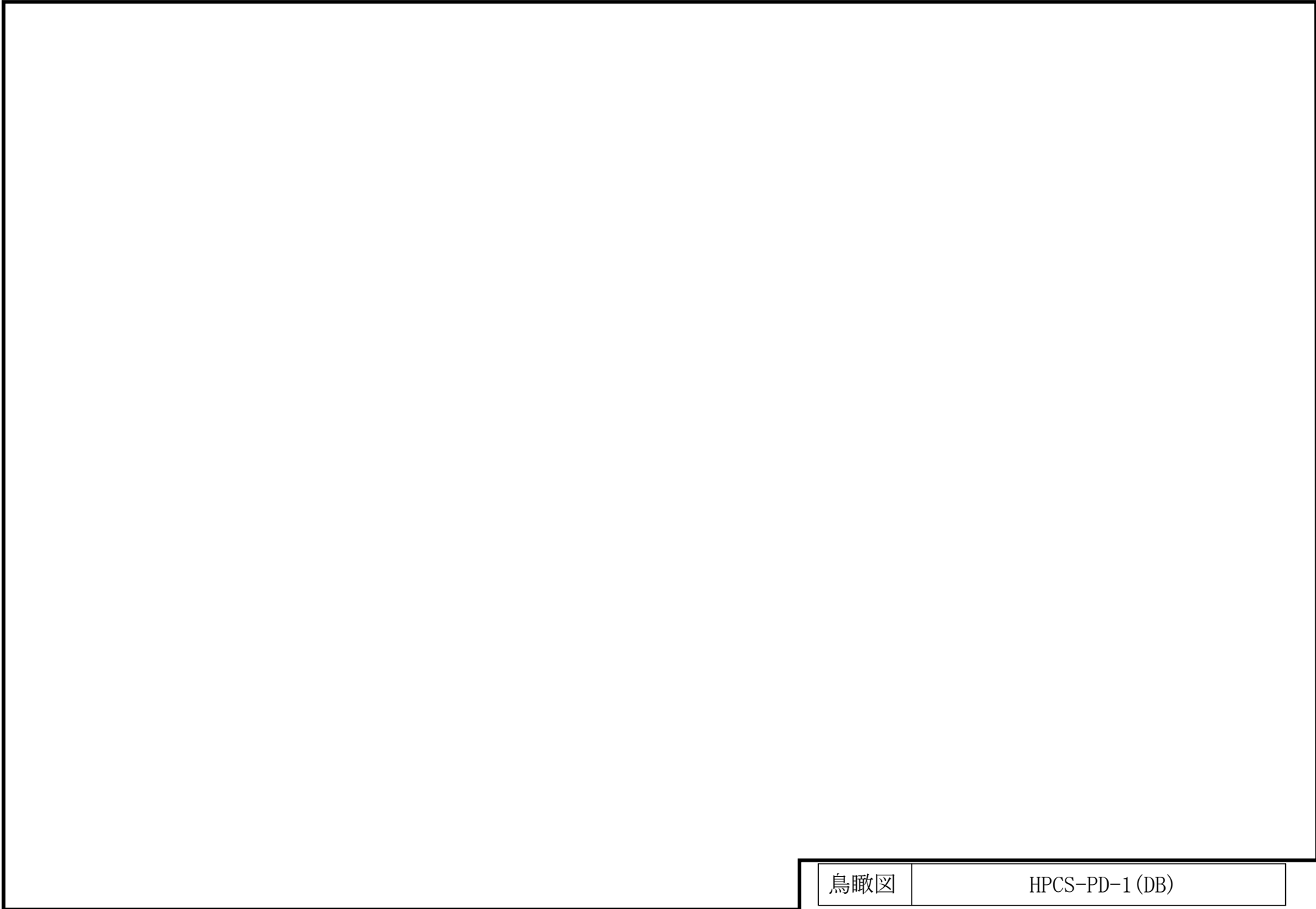


高圧炉心スプレー系概略系統図

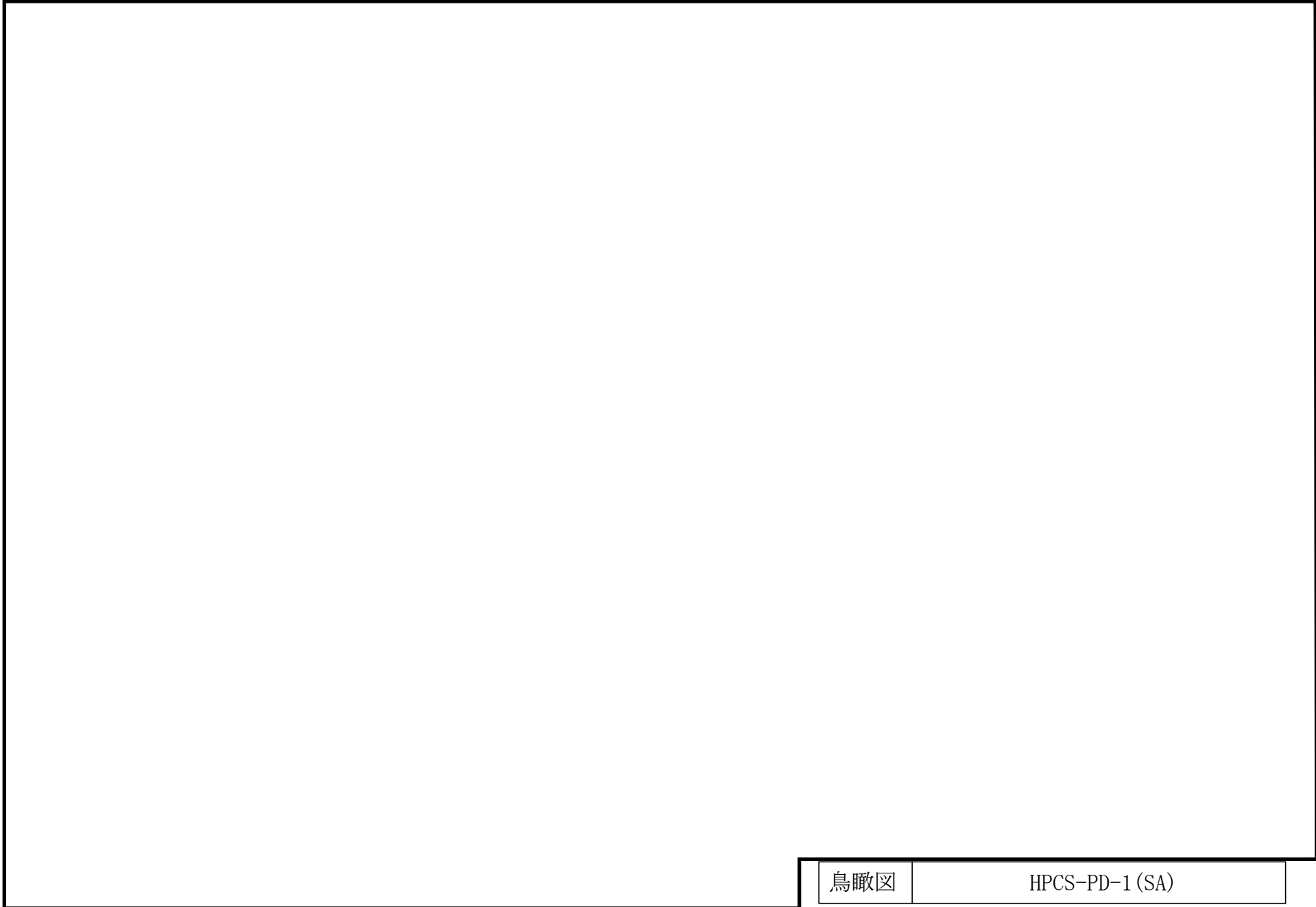
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

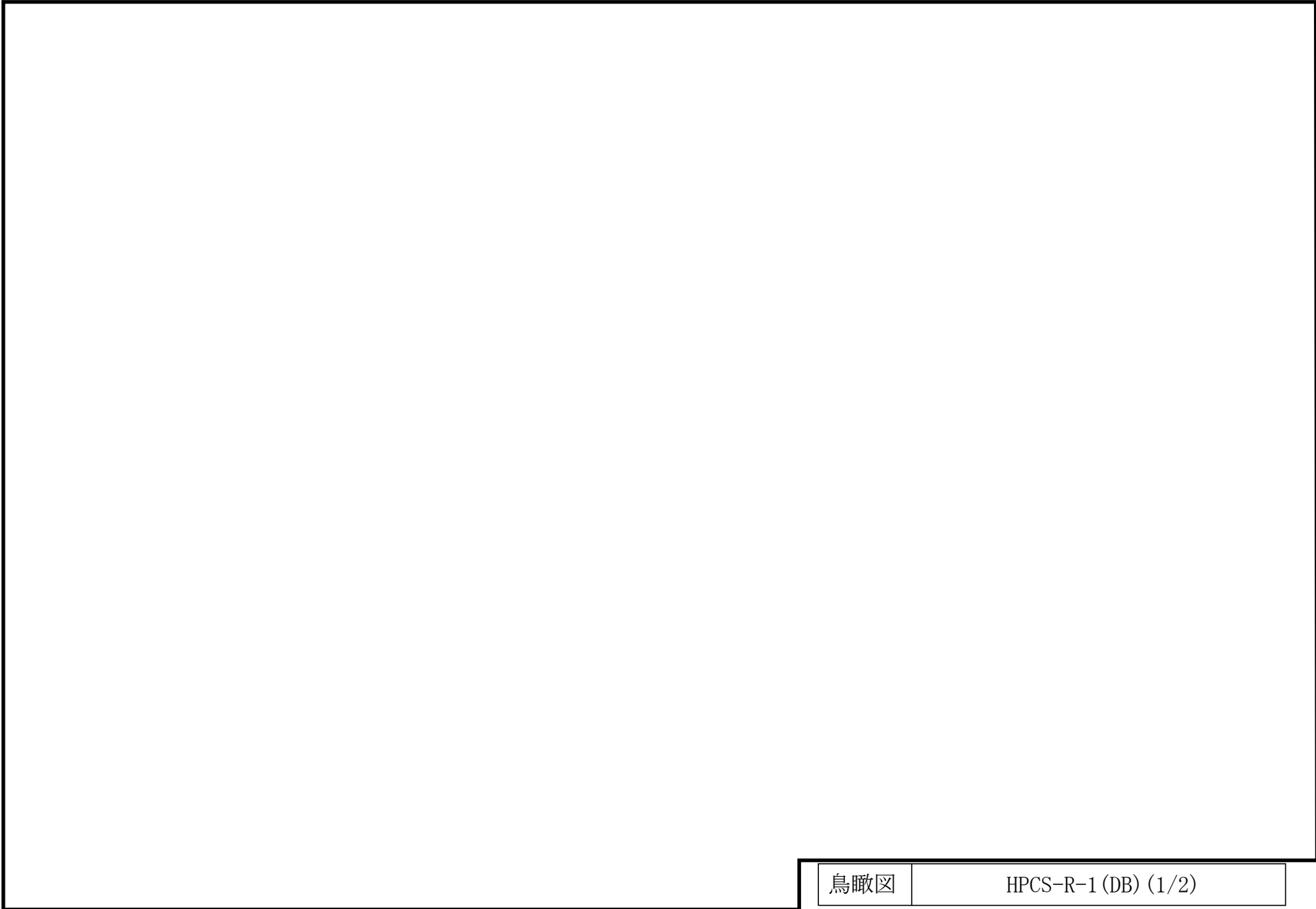
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	HPCS-PD-1 (DB)
-----	----------------



鳥瞰図	HPCS-PD-1 (SA)
-----	----------------

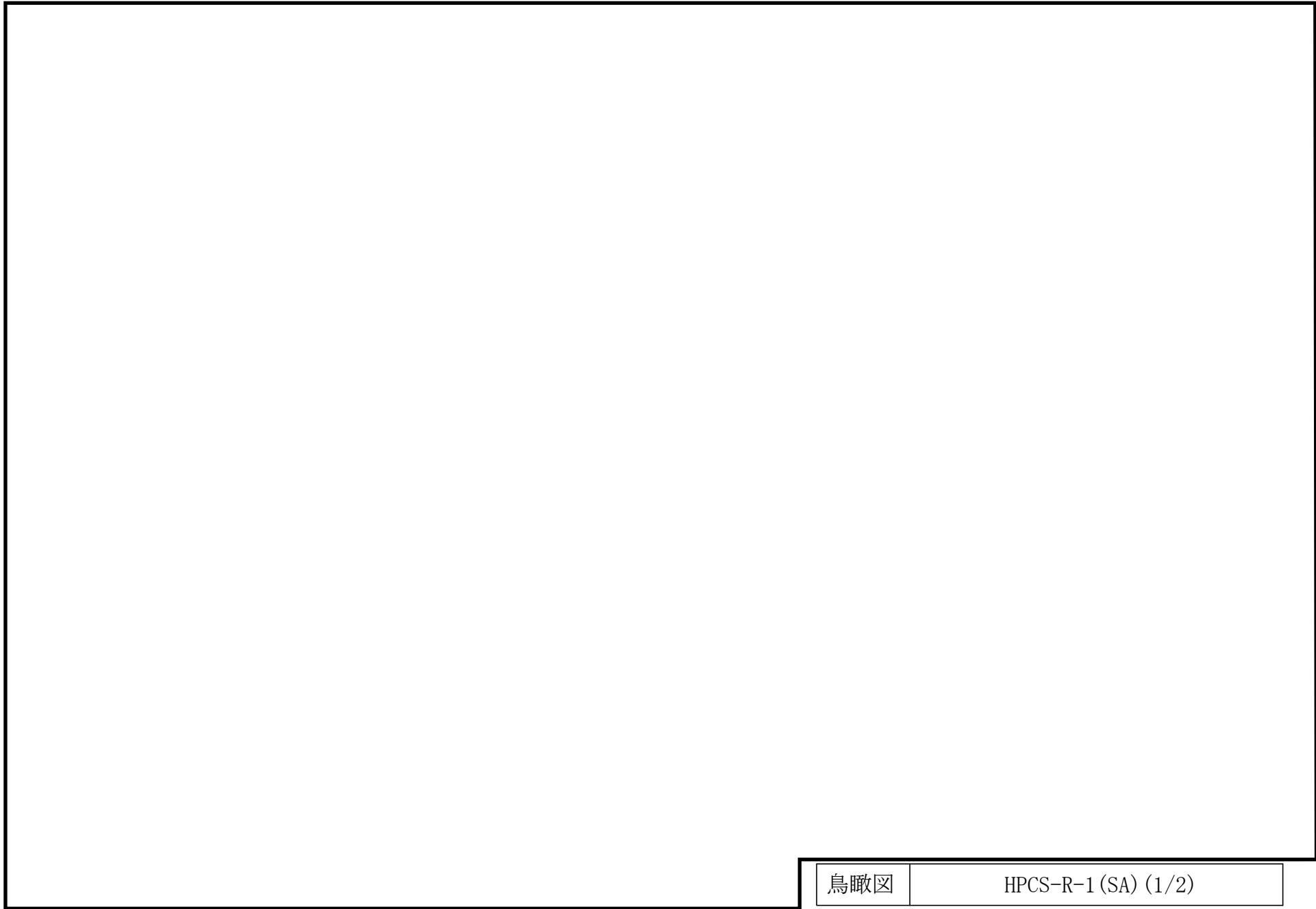


鳥瞰図	HPCS-R-1 (DB) (1/2)
-----	---------------------

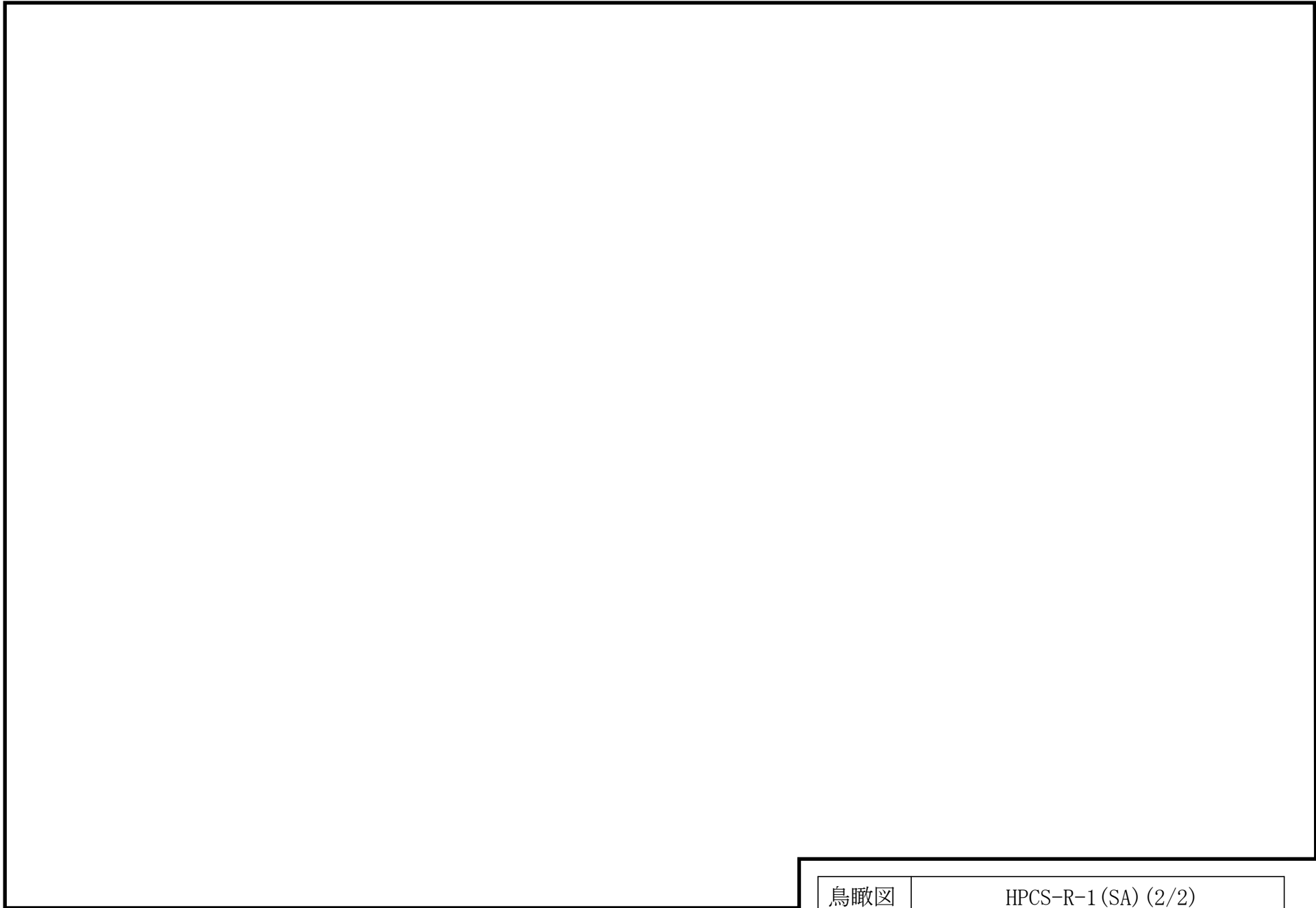
∞

鳥瞰図

HPCS-R-1 (DB) (2/2)



鳥瞰図	HPCS-R-1 (SA) (1/2)
-----	---------------------



鳥瞰図

HPCS-R-1 (SA) (2/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L + S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _d	
							Ⅳ _{L(L)} + S _d	
							I _L + S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S _s	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	SA	常設/防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	IL + Ss	IVAS
							II L + S s	
							IV _L (L) + S _d ^{*6}	
							VL(L) + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	VAS
							VL(LL) + S _s ^{*6, *7, *10}	
VL + S _s ^{*11}								

注記*1 : DBは設計基準対象施設, SAは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態VASは許容応力状態IVASの許容限界を使用し, 許容応力状態IVASとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	5～19, 20～24 25～33	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	33～36N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	5～19, 20～24 25～33	267.4	18.2	STS42	S	200400
2	33～36N	267.4	18.2	STS42	S	186920

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

質量	対応する評価点
□	5～5001, 1201～1301, 1401～1601, 1701～19, 20～24 25～2701, 3001～3101, 35～3501
□	5001～1201, 1301～1401, 1601～1701, 2701～3001, 3101～33
□	33～35, 3501～36N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	19~20	<input type="text"/>	24~25

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
19~20				24~25			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
6						
** 16 **						
16						
** 16 **						
21						
** 26 **						
** 27 **						
2702						
28						
3102						
32						
N7						

S2 補 VI-2-5-5-1-3 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	2~10	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	0.853	178
2	14~16, 17~27N	Ⅲ _A S	1.37	100
		Ⅳ _A S	1.37	100
		Ⅴ _A S	1.37	110
3	20~29, 30~31	Ⅲ _A S	1.37	100
		Ⅳ _A S	1.37	100
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2～10	508.0	9.5	SM41C	S	201667
2	14～16, 17～27N	508.0	9.5	SM41C	S	201667
3	20～29, 30～31	457.2	9.5	SM41C	S	201667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	26F
<input type="checkbox"/>	27N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	10, 14		11
	12		13
	16~17		29~30
	31, 35		32
	33		34

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
10~11				11~12			
12~1200				1200~1201			
1201~13				11~14			
16~17				29~30			
31~32				32~33			
33~3301				3301~34			
32~35							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
7						
** 7 **						
1200						
** 1201 **						
** 1400 **						
1401						
18						
22						
27N						
3301						
3301						

S2 補 VI-2-5-5-1-3 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STS42	302	122	—	—	—
SM41C	104	—	219	373	—
SM41C	178	—	199	373	—
SM41C	110	—	218	373	—
SM41C	100	—	221	373	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
HPCS-PD-1	ガンマ線遮蔽壁	EL			
HPCS-R-1	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

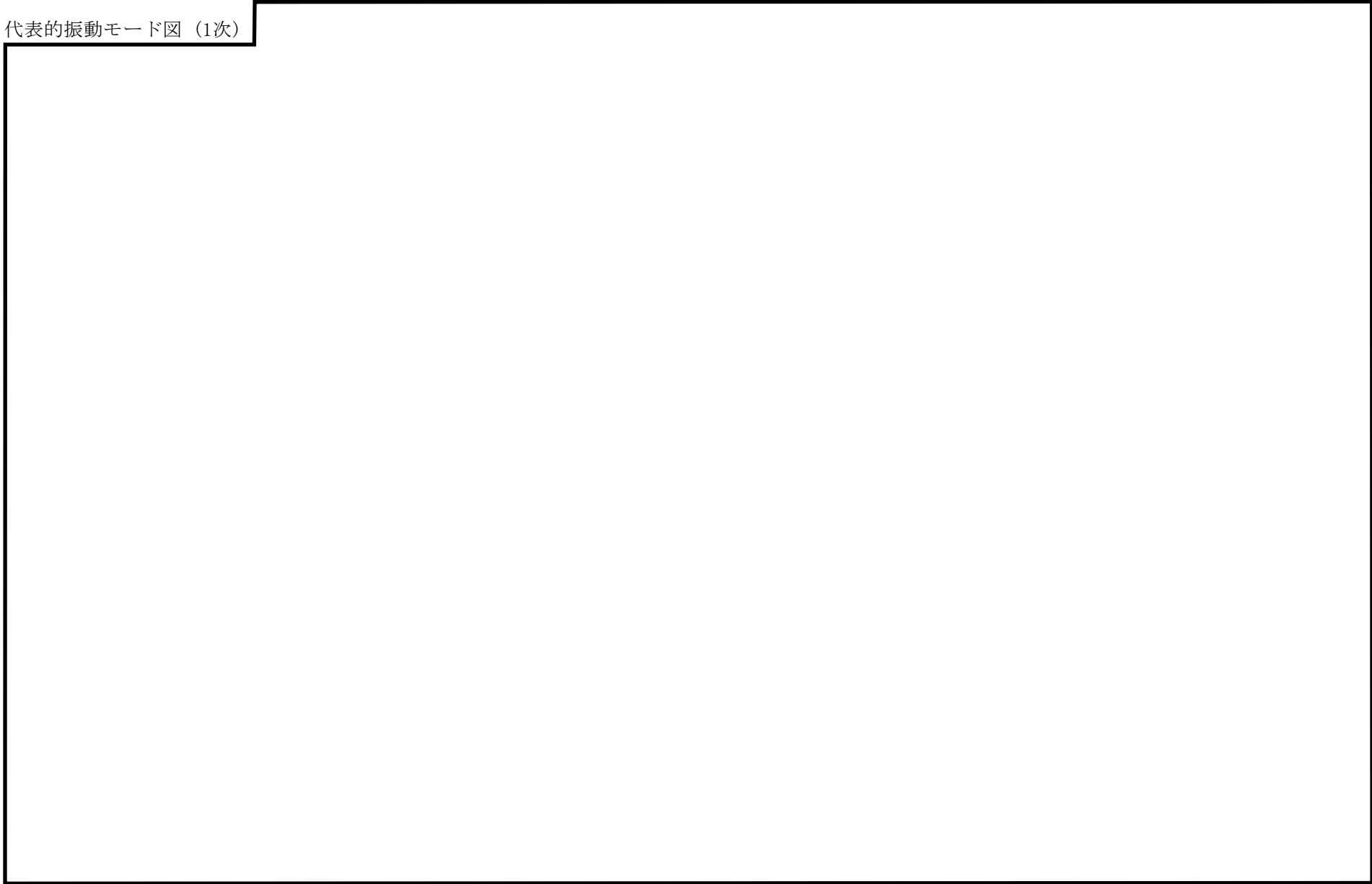
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

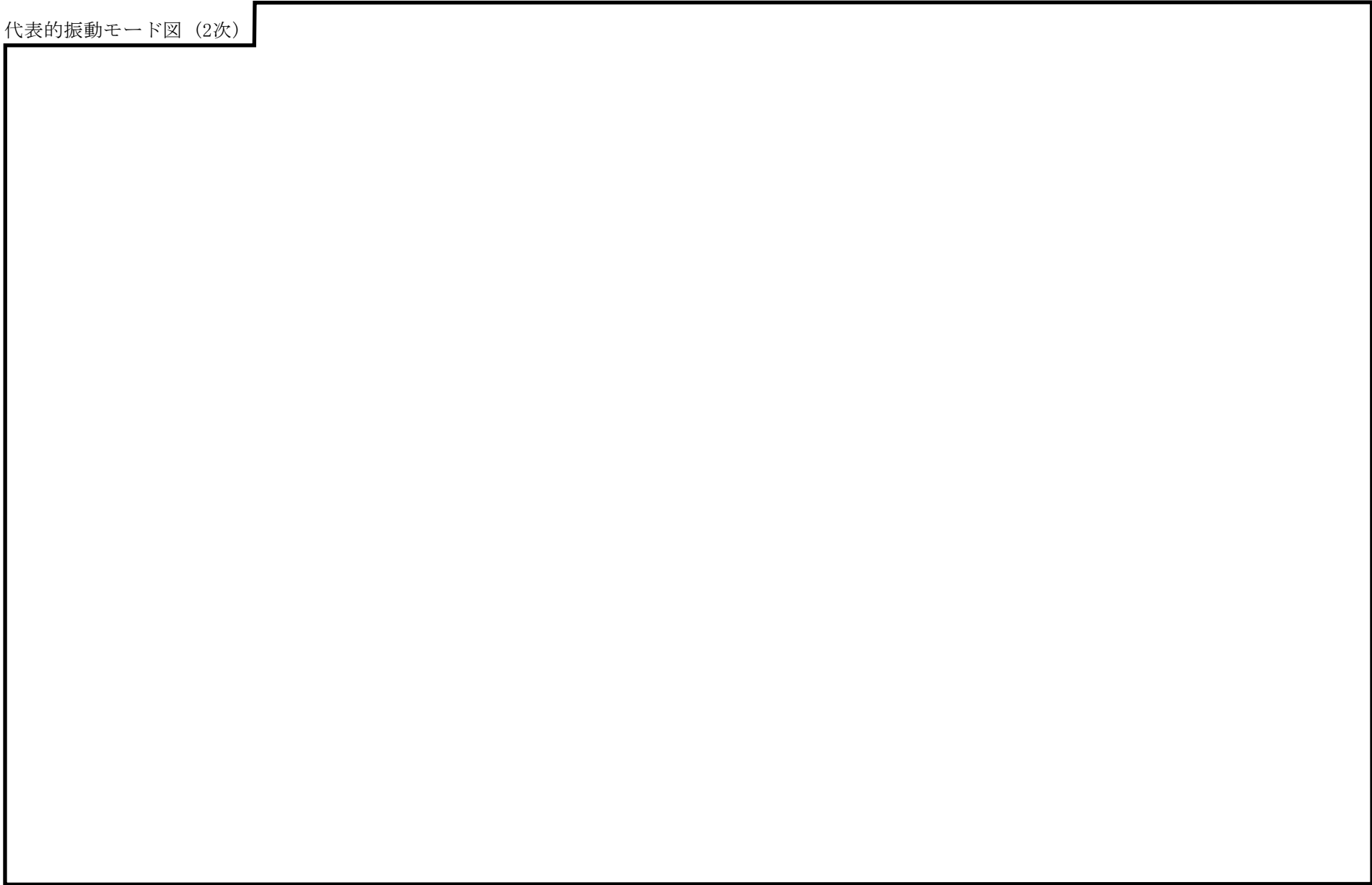
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

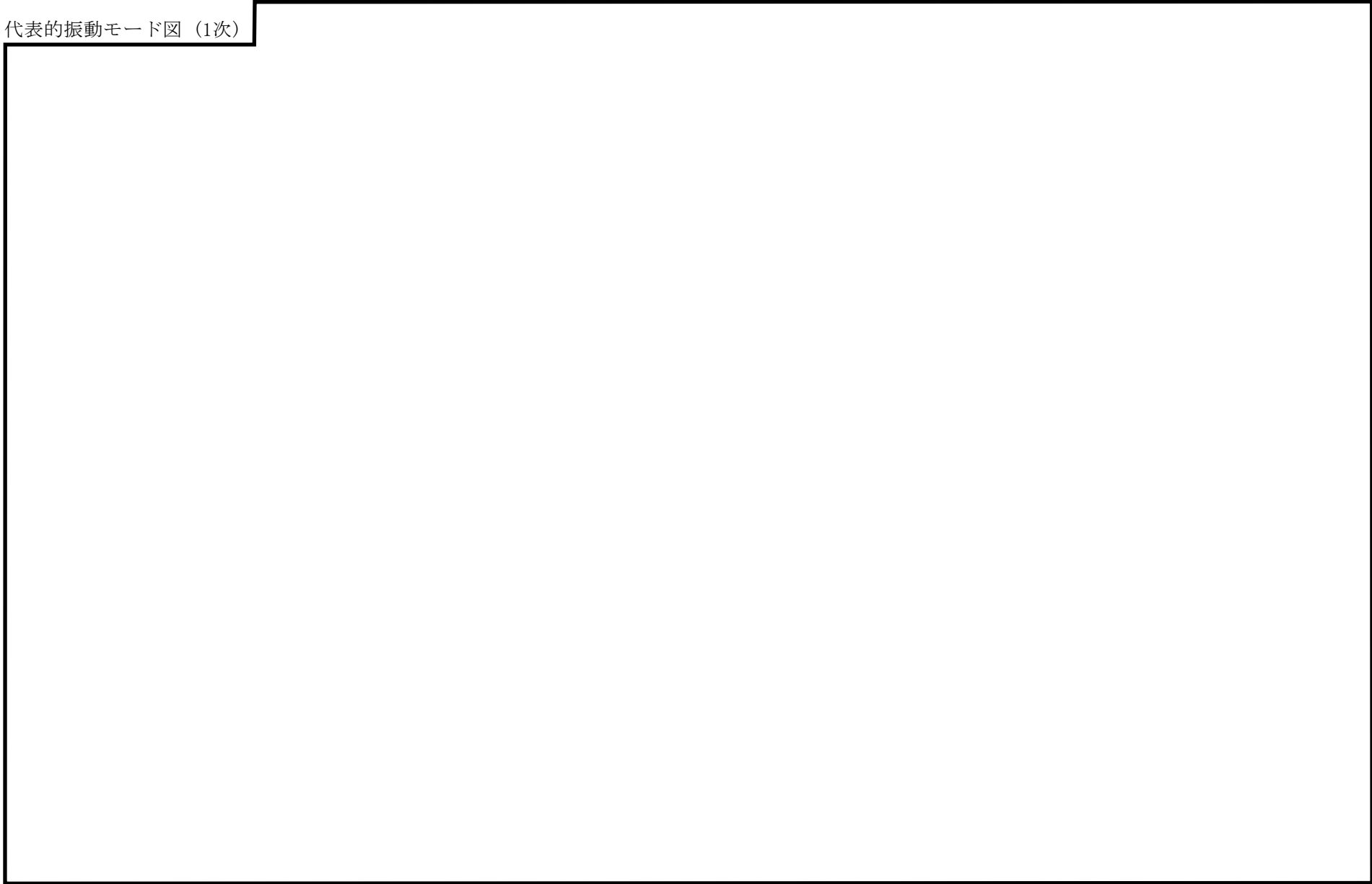
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

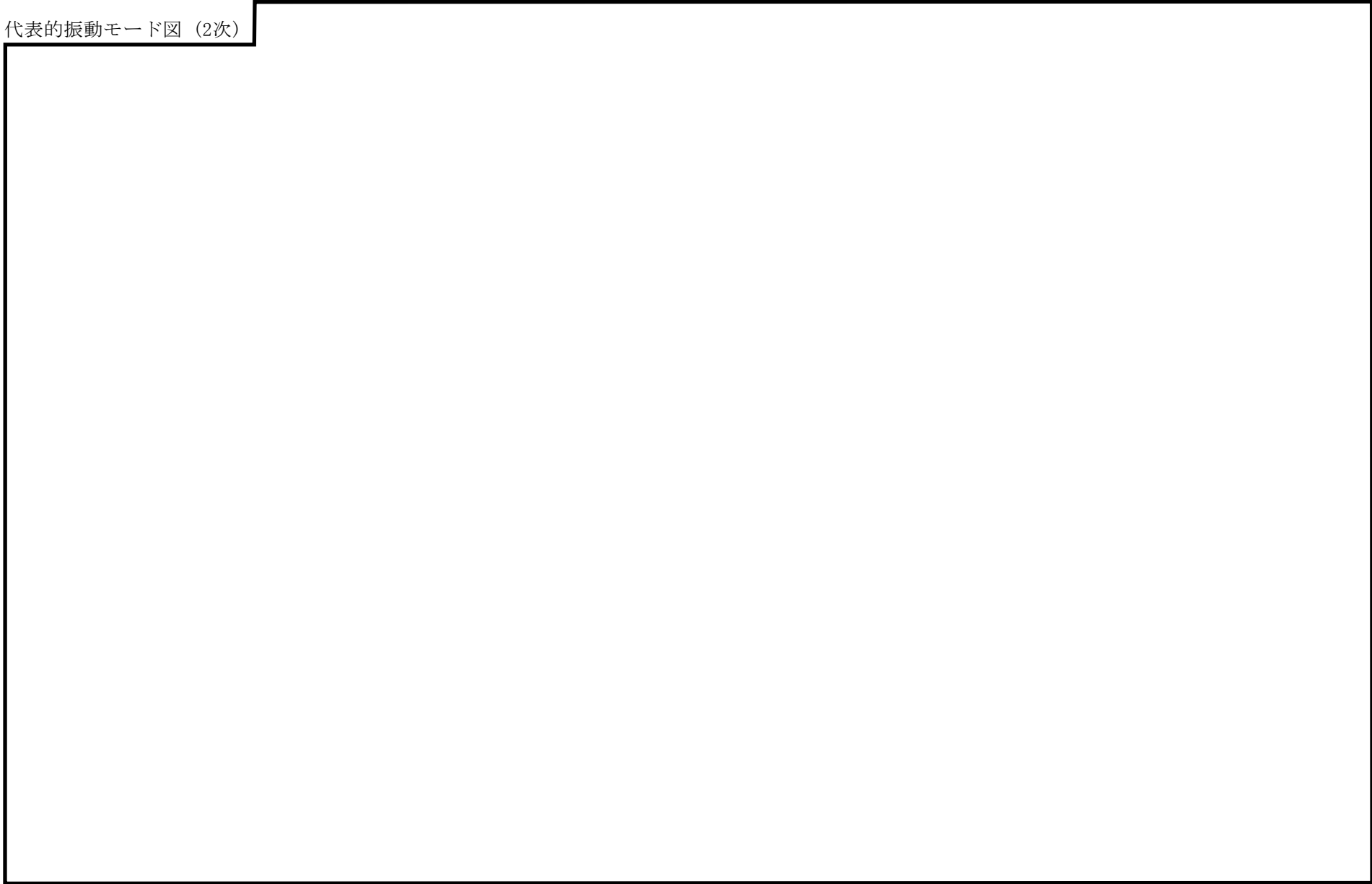
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

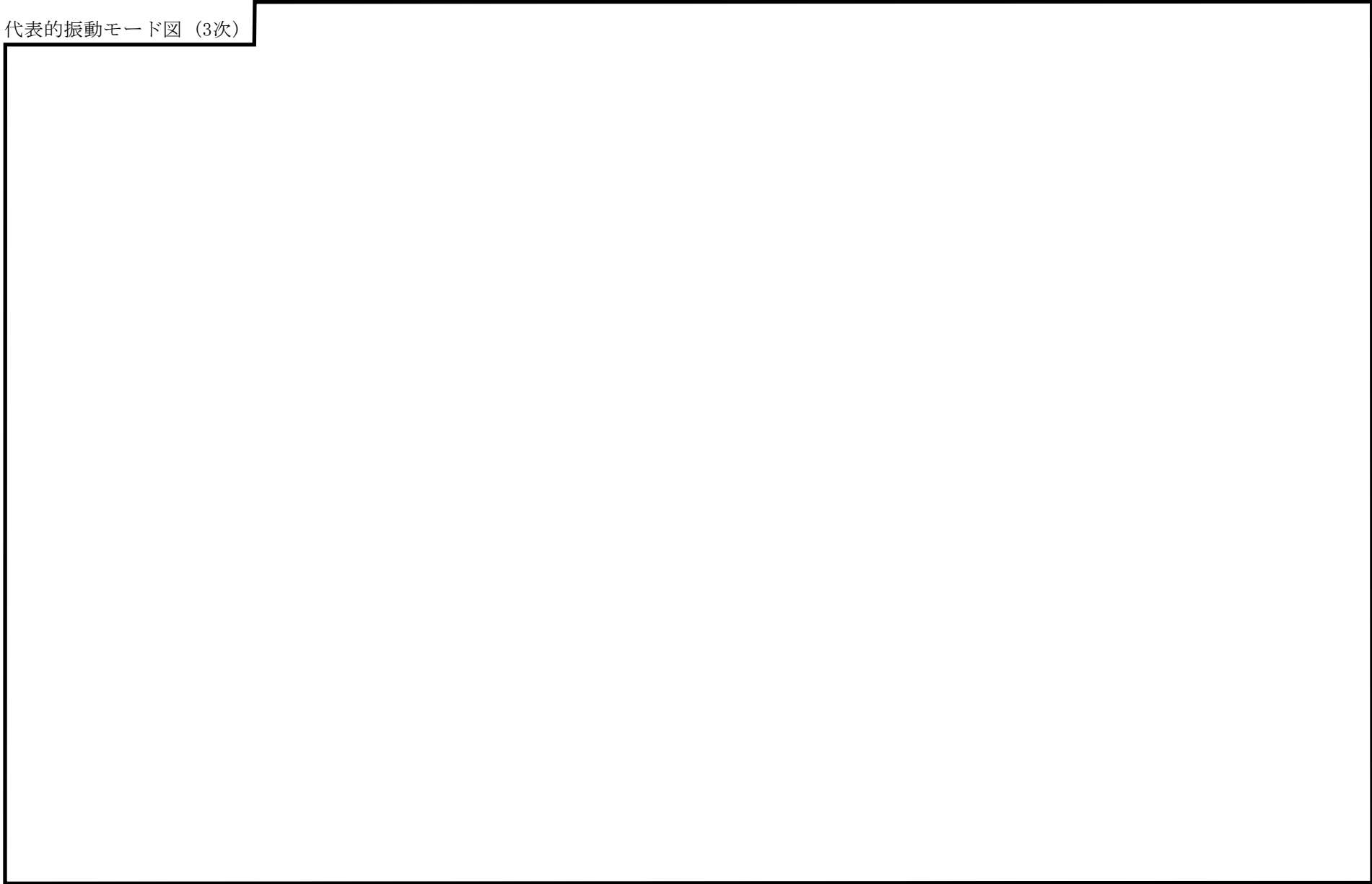
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(2.25 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	79	274	—
		ねじり $S_t(0.55 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	36	67	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(1.8 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	155	366	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1701	ELBOW	112	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	64	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	286	366	—
	疲労累積係数 $U + U S s$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	HPCS-PD-1	1701	ELBOW	112	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	64	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	286	366	—
	疲労累積係数 $U + U S_s$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	HPCS-PD-1	1701	ELBOW	112	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	64	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	286	366	—
	疲労累積係数 $U + U S_s$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	HPCS-R-1	20	67	219	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	125	438	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCS-R-1	20	90	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	267	438	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCS-R-1	20	90	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	267	438	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCS-R-1	20	90	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	267	398	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SN0-HPCS-293	オイルスナッパ	SN-10		58	150	—	
RE-HPCS-5	ロッドレストレイント	RSA-10		85	180	—	
SH-HPCS-225	スプリングハンガ	VS1F-14		15	17		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-HPCS-201	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	172	0	—	—	—	組合せ	56	135
AN-HPCS-231	アンカ	ラグ	SGV480	302	124	71	74	28	103	51	組合せ	58	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
AV224-1	空気作動逆止弁	β (S s)	4.7	1.6	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV224-3	電動ゲート弁	β (S s)	1.8	1.4	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-PD-1	1401	79	274	3.46	○	11	155	366	2.36	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-PD-1	1701	112	366	3.26	○	11	286	366	1.27	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-PD-1	1701	112	366	3.26	○	11	286	366	1.27	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-PD-1	1701	112	366	3.26	○	11	286	366	1.27	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-R-1	20	67	219	3.26	○	2	125	438	3.50	—	○
2	HPCS-R-2	42	58	220	3.79	—	42	47	440	9.36	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅳ _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-R-1	20	90	335	3.72	○	2	267	438	1.64	—	○
2	HPCS-R-2	36	96	364	3.79	—	42	108	440	4.07	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-R-1	20	90	335	3.72	○	2	267	438	1.64	—	○
2	HPCS-R-2	36	96	364	3.79	—	42	108	440	4.07	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-R-1	20	90	335	3.72	○	2	267	398	1.49	—	○
2	HPCS-R-2	36	96	363	3.78	—	42	108	436	4.03	—	—

VI-2-5-5-1-4 ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ系)

1. 概要

本計算書は、高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-5「ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（残留熱除去系）」において、ストレーナ部ティーの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナ部ティーで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-5「ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（残留熱除去系）」による。

VI-2-5-5-1-5 高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタは残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書」において、ストレーナ取付部コネクタの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナ取付部コネクタで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書」による。

VI-2-5-5-1-6 高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの耐震性について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートは残留熱除去系ストレーナ取付部サポート及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-7「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書」において、ストレーナ取付部サポートの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナ取付部サポートで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-7「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書」による。

VI-2-5-5-2 低圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-2-1 低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	10
3.6 計算条件	10
4. 機能維持評価	11
4.1 動的機能維持評価方法	11
5. 評価結果	12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、低圧炉心スプレイポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

低圧炉心スプレイポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、低圧炉心スプレイポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧炉心スプレイポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトで原動機台に固定され、原動機台は原動機台取付ボルトでポンプに固定する。ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。バレルケーシングは下部サポートに支持され、下部サポートは基礎に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ピットバレル形立形ポンプ)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

低圧炉心スプレイポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧炉心スプレイポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

低圧炉心スプレイポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧炉心スプレイポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	低圧炉心スプレイポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	低圧炉心スプレイポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と1.2・S との大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係 数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)			*2 S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		バレルケーシング	最高使用温度	100	—	212	373
コラムパイプ	最高使用温度	100	—	212	373	—	
基礎ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	
ポンプ取付ボルト (下)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
ポンプ取付ボルト (上)	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機台取付ボルト	最高使用温度	100	—	685	847	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	□	—	730	868	—	

注記* : □

□

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	116	—	—	373	—
コラムパイプ		最高使用温度	116	—	—	373	—
基礎ボルト		周囲環境温度	□	—	685	847	—
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	116	—	674	847	—
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	116	—	674	847	—
原動機台取付ボルト		最高使用温度	116	—	674	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	—	685	847	—

注記* : □

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、バレルケーシング、ロータ及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表3-7、振動モード図を図3-1に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.034	—	—	—

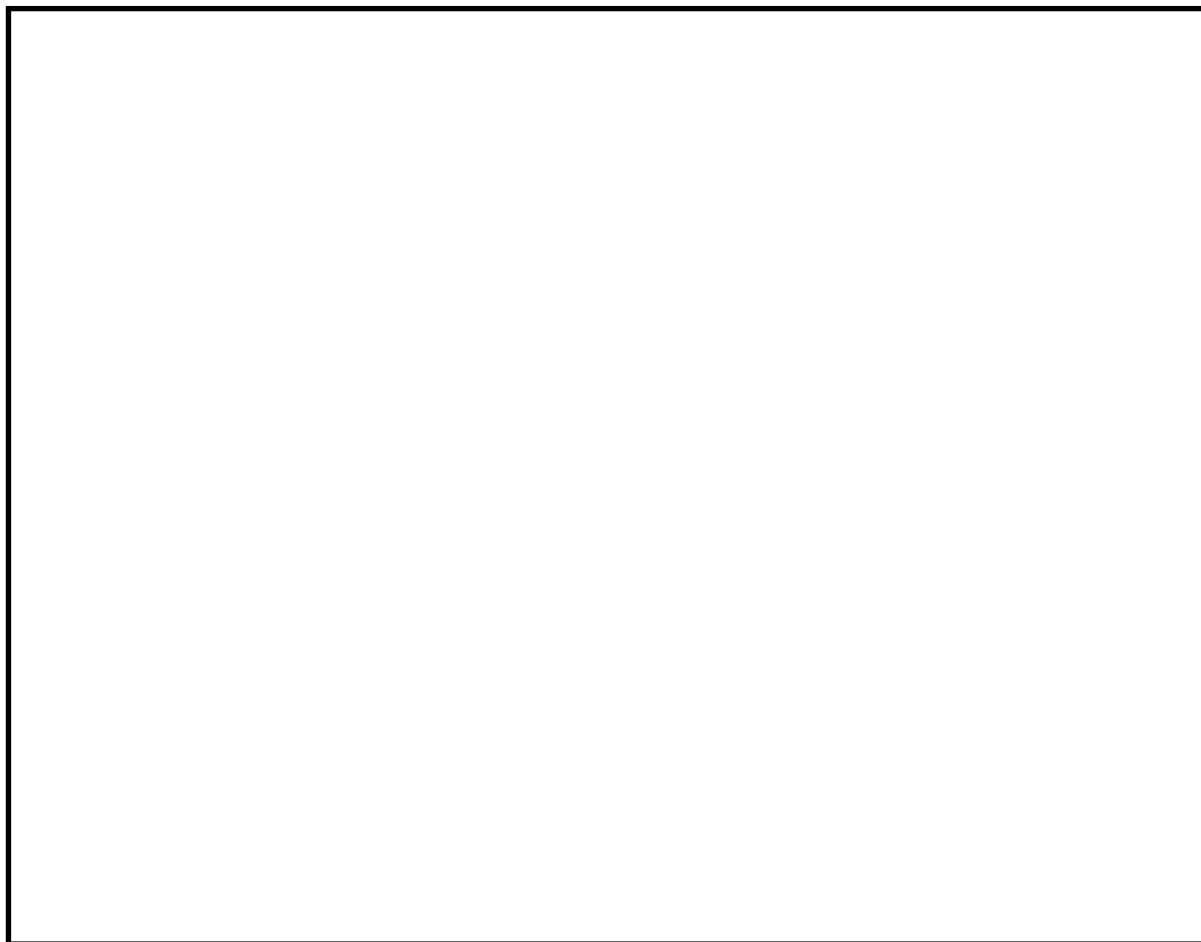


図3-1 振動モード図（1次 水平方向 0.034s）

3.5 設計用地震力

低圧炉心スプレイポンプの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-8に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-9に示す。

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.034	0.05 以下	C _H =0.90 ^{*2}	C _V =0.47 ^{*2}	C _H =1.79 ^{*3}	C _V =0.94 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度I（弾性設計用地震動S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度I（基準地震動S_s）を上回る設計震度

表3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	0.034	0.05 以下	—	—	C _H =1.79 ^{*2}	C _V =0.94 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度I（基準地震動S_s）を上回る設計震度

3.6 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

低圧炉心スプレイポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

低圧炉心スプレイポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受 電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧炉心スプレイポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧炉心スプレイポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧炉心スプレイポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
低圧炉心スプレイポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	0.034	0.05 以下	C _H =0.90*2	C _V =0.47*2	C _H =1.79*3	C _V =0.94*3	C _p =0.06	100	□	1.37	4.41

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 及び静的震度を上回る設計震度

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—	730*1 (径≦60mm)	868*1 (径≦60mm)	607	607
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	7.242×10 ⁶	685*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	7.242×10 ⁶	685*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	7.242×10 ⁶	685*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	592	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	7.242×10 ⁶	730*1 (径≦60mm)	868*1 (径≦60mm)	607	607

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	212* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	212* (16mm<厚さ≦40mm)	373*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.034
鉛直方向	0.05 以下

14

1.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=455^*$	$\sigma_{b1}=49$	$f_{ts1}=455^*$
		せん断	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張	$\sigma_{b3}=7$	$f_{ts3}=444^*$	$\sigma_{b3}=19$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	$\tau_{b3}=4$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=7$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張	$\sigma_{b4}=11$	$f_{ts4}=444^*$	$\sigma_{b4}=26$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	$\tau_{b4}=7$	$f_{sb4}=342$	$\tau_{b4}=13$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張	$\sigma_{b5}=5$	$f_{ts5}=455^*$	$\sigma_{b5}=14$	$f_{ts5}=455^*$
		せん断	$\tau_{b5}=5$	$f_{sb5}=350$	$\tau_{b5}=8$	$f_{sb5}=350$

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 46$	S _a = 212
		基準地震動 S _s	$\sigma = 46$	S _a = 223
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma = 25$	S _a = 212
		基準地震動 S _s	$\sigma = 25$	S _a = 223

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10^6
2	2-3	1		8.291×10^6
3	3-4	1		1.886×10^7
4	4-5	1		1.402×10^7
5	5-6	1		1.402×10^7
6	6-7	1		1.402×10^7
7	7-8	1		1.402×10^7
8	8-9	1		1.402×10^7
9	9-10	1		1.402×10^7
10	10-11	1		1.402×10^7
11	11-12	1		1.402×10^7
12	12-13	1		1.402×10^7
13	13-14	1		1.402×10^7
14	14-15	1		1.402×10^7
15	15-16	1		1.402×10^7
16	16-17	1		1.318×10^7
17	17-18	1		3.217×10^7
18	18-19	1		1.630×10^7
19	19-20	3		2.915×10^8
20	20-21	5		7.187×10^6
21	21-22	5		5.153×10^7
22	22-23	5		1.536×10^7
23	24-25	2		9.014×10^8
24	25-26	2		2.884×10^9
25	26-27	2		2.884×10^9
26	27-28	2		1.912×10^9
27	28-29	2		1.912×10^9
28	29-30	2		1.912×10^9
29	30-31	2		1.912×10^9
30	31-32	2		1.912×10^9
31	32-33	2		1.912×10^9
32	33-34	2		1.912×10^9
33	34-35	2		1.912×10^9
34	35-36	2		1.912×10^9
35	36-37	2		1.912×10^9
36	37-38	2		1.912×10^9
37	38-39	2		1.559×10^9
38	39-40	2		1.559×10^9
39	40-41	2		1.559×10^9
40	41-63	2		1.559×10^9

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	2		1.569×10^{10}
42	43-44	2		1.569×10^{10}
43	44-45	2		1.569×10^{10}
44	45-46	2		1.569×10^{10}
45	46-47	2		1.569×10^{10}
46	47-48	2		1.569×10^{10}
47	48-49	2		1.569×10^{10}
48	49-50	2		1.569×10^{10}
49	50-51	2		1.569×10^{10}
50	51-52	2		1.569×10^{10}
51	52-53	2		1.569×10^{10}
52	53-54	2		1.569×10^{10}
53	54-55	2		1.569×10^{10}
54	55-56	2		1.569×10^{10}
55	56-57	2		1.569×10^{10}
56	57-58	2		1.569×10^{10}
57	59-60	4		2.014×10^{12}
58	60-61	2		1.025×10^{12}
59	61-62	2		5.432×10^{10}
60	62-63	2		5.432×10^{10}
61	63-64	4		4.655×10^{10}
62	64-65	5		1.643×10^{10}
63	65-66	5		1.643×10^{10}
64	66-67	5		1.385×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
1	24		
3	26		
5	28		
7	30		
9	32		
11	34		
13	36		
15	38		
18	41		
21	65		
22	66		
26	45		
22	66		
58	60		
58	60		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	100	1.96×10^5		0.3	
2	100	1.98×10^5		0.3	
3		1.99×10^5		0.3	
4		2.00×10^5		0.3	
5		1.99×10^5		0.3	

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)	
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				吸込側	吐出側
低圧炉心スプレイポンプ	常設/防止(DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	0.034	0.05 以下	—	—	C _H =1.79*2	C _V =0.94*2	C _p =0.06	116	□	1.37	4.41

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—	685*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	7.242×10 ⁶	674*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	7.242×10 ⁶	674*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	7.242×10 ⁶	674*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	7.242×10 ⁶	685*1 (径≤60mm)	847*1 (径≤60mm)	—	592

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	—	373*	1262	19.0
コラムパイプ	—	—	373*	432	38.0

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—			
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—			
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—			
原動機取付ボルト (i=5)	—		—			

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力 (単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	0.034
鉛直方向	0.05 以下

25

2.4.2 ボルトの応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=49$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=17$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=342$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=19$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=7$	$f_{sb3}=342$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4}=26$	$f_{ts4}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=13$	$f_{sb4}=342$
原動機取付ボルト (i=5)		引張	—	—	$\sigma_{b5}=14$	$f_{ts5}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b5}=8$	$f_{sb5}=342$

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma=46$	$S_a=223$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma=25$	$S_a=223$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	10.0
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	2.5
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度とする。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		3.517×10^6
2	2-3	1		8.291×10^6
3	3-4	1		1.886×10^7
4	4-5	1		1.402×10^7
5	5-6	1		1.402×10^7
6	6-7	1		1.402×10^7
7	7-8	1		1.402×10^7
8	8-9	1		1.402×10^7
9	9-10	1		1.402×10^7
10	10-11	1		1.402×10^7
11	11-12	1		1.402×10^7
12	12-13	1		1.402×10^7
13	13-14	1		1.402×10^7
14	14-15	1		1.402×10^7
15	15-16	1		1.402×10^7
16	16-17	1		1.318×10^7
17	17-18	1		3.217×10^7
18	18-19	1		1.630×10^7
19	19-20	3		2.915×10^8
20	20-21	5		7.187×10^6
21	21-22	5		5.153×10^7
22	22-23	5		1.536×10^7
23	24-25	2		9.014×10^8
24	25-26	2		2.884×10^9
25	26-27	2		2.884×10^9
26	27-28	2		1.912×10^9
27	28-29	2		1.912×10^9
28	29-30	2		1.912×10^9
29	30-31	2		1.912×10^9
30	31-32	2		1.912×10^9
31	32-33	2		1.912×10^9
32	33-34	2		1.912×10^9
33	34-35	2		1.912×10^9
34	35-36	2		1.912×10^9
35	36-37	2		1.912×10^9
36	37-38	2		1.912×10^9
37	38-39	2		1.559×10^9
38	39-40	2		1.559×10^9
39	40-41	2		1.559×10^9
40	41-63	2		1.559×10^9

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	2		1.569×10 ¹⁰
42	43-44	2		1.569×10 ¹⁰
43	44-45	2		1.569×10 ¹⁰
44	45-46	2		1.569×10 ¹⁰
45	46-47	2		1.569×10 ¹⁰
46	47-48	2		1.569×10 ¹⁰
47	48-49	2		1.569×10 ¹⁰
48	49-50	2		1.569×10 ¹⁰
49	50-51	2		1.569×10 ¹⁰
50	51-52	2		1.569×10 ¹⁰
51	52-53	2		1.569×10 ¹⁰
52	53-54	2		1.569×10 ¹⁰
53	54-55	2		1.569×10 ¹⁰
54	55-56	2		1.569×10 ¹⁰
55	56-57	2		1.569×10 ¹⁰
56	57-58	2		1.569×10 ¹⁰
57	59-60	4		2.014×10 ¹²
58	60-61	2		1.025×10 ¹²
59	61-62	2		5.432×10 ¹⁰
60	62-63	2		5.432×10 ¹⁰
61	63-64	4		4.655×10 ¹⁰
62	64-65	5		1.643×10 ¹⁰
63	65-66	5		1.643×10 ¹⁰
64	66-67	5		1.385×10 ¹⁰

S2 補 VI-2-5-5-2-1 R1

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
1	24		
3	26		
5	28		
7	30		
9	32		
11	34		
13	36		
15	38		
18	41		
21	65		
22	66		
26	45		
22	66		
58	60		
58	60		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

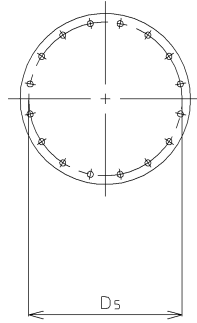
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	

(5) 材料物性値

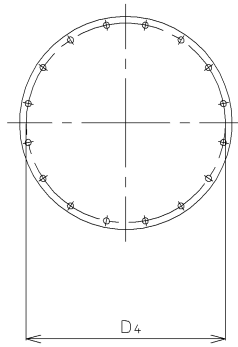
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	116	1.95×10^5		0.3	
2	116	1.97×10^5		0.3	
3		1.97×10^5		0.3	
4		1.98×10^5		0.3	
5		1.98×10^5		0.3	

原動機取付ボルト



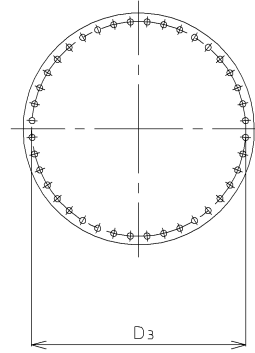
A~A 矢視図

原動機台取付ボルト



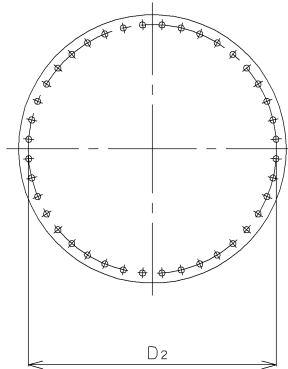
B~B 矢視図

ポンプ取付ボルト (上)



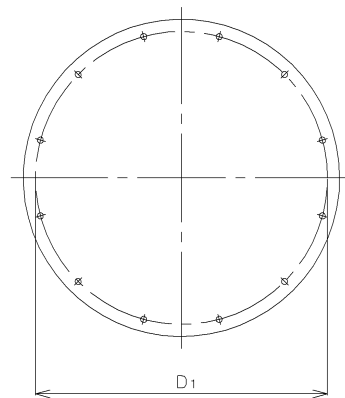
C~C 矢視図

ポンプ取付ボルト (下)

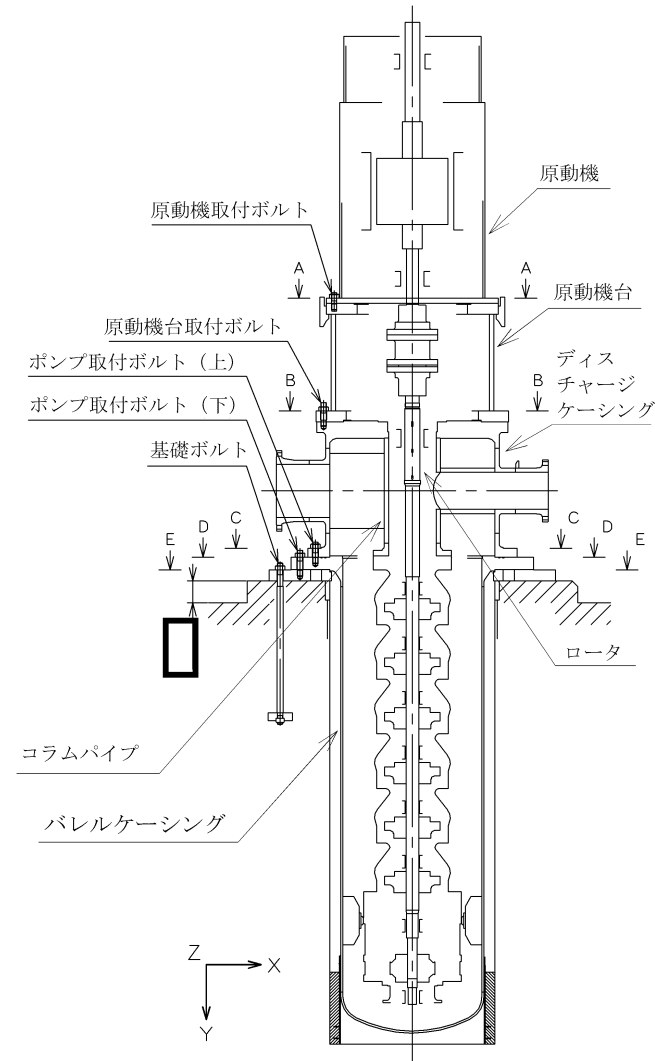


D~D 矢視図

基礎ボルト



E~E 矢視図



VI-2-5-5-2-2 低圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、低圧炉心スプレイ系ストレーナの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており、解析モデルや評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」において、ストレーナの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」による。

VI-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書
(低圧炉心スプレイ系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	15
3.1 計算方法	15
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
3.3 設計条件	18
3.4 材料及び許容応力	36
3.5 設計用地震力	37
4. 解析結果及び評価	38
4.1 固有周期及び設計震度	38
4.2 評価結果	54
4.2.1 管の応力評価結果	54
4.2.2 支持構造物評価結果	58
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	59
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	60

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、低圧炉心スプレイ系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。



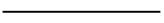

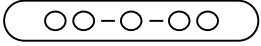


(3) 弁

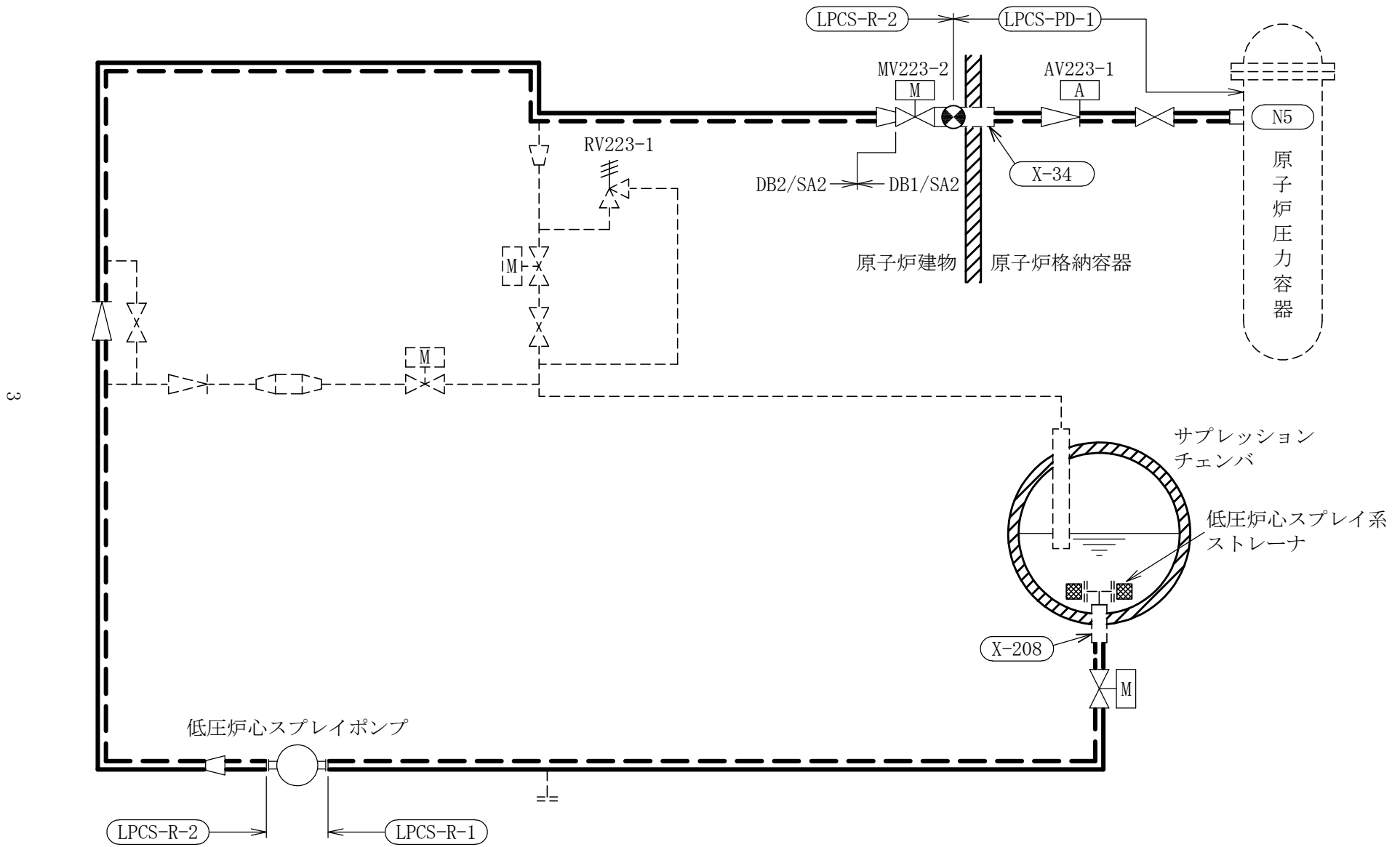
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例



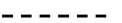


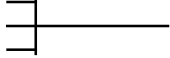
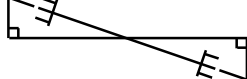
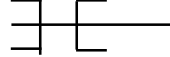
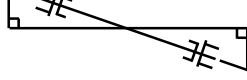

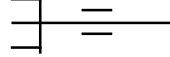
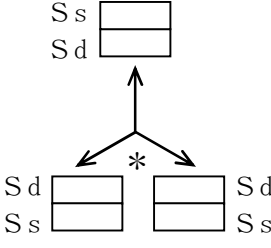
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

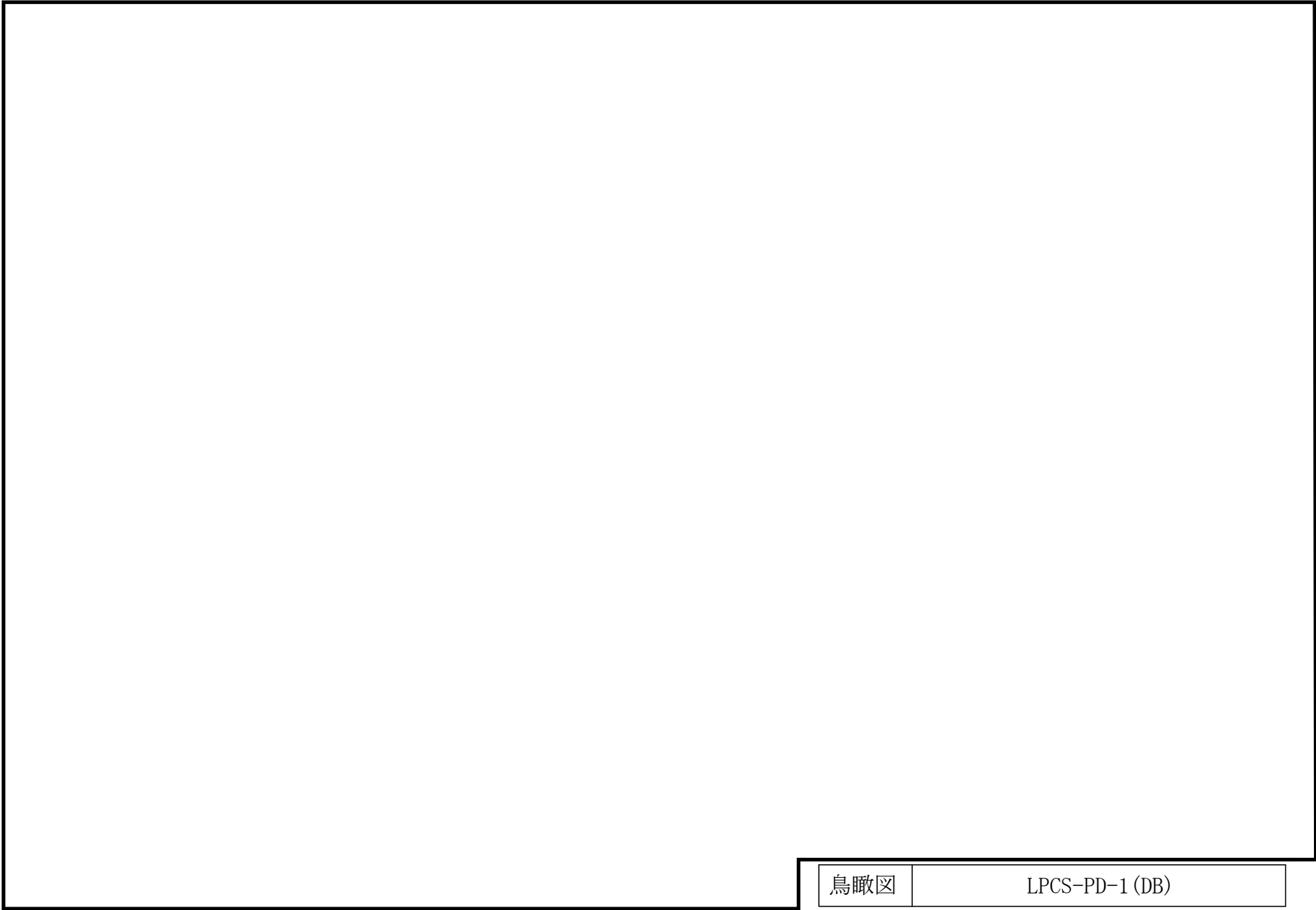


低圧炉心スプレイ系概略系統図

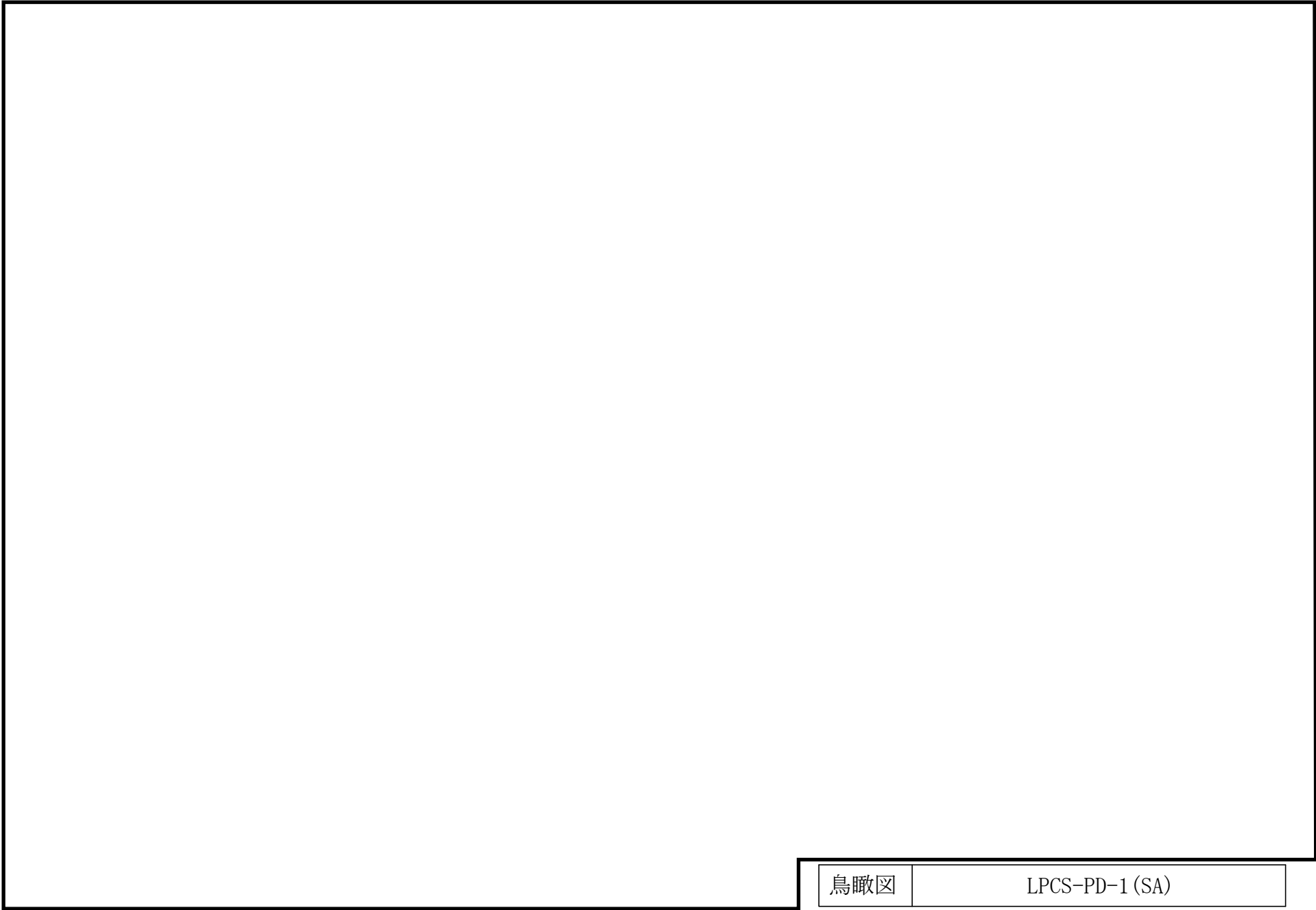
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

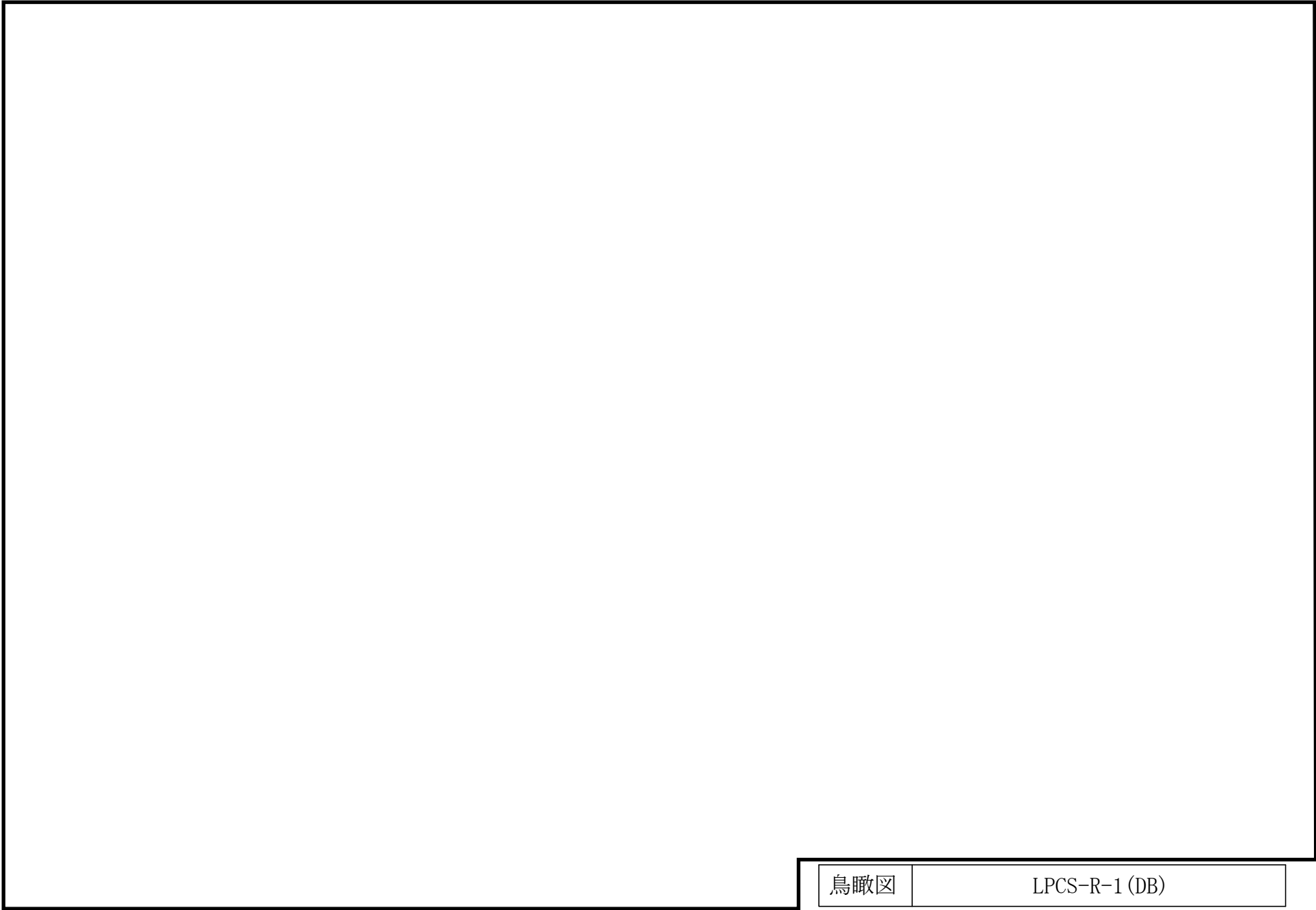
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	



鳥瞰図	LPCS-PD-1 (DB)
-----	----------------



鳥瞰図	LPCS-PD-1 (SA)
-----	----------------

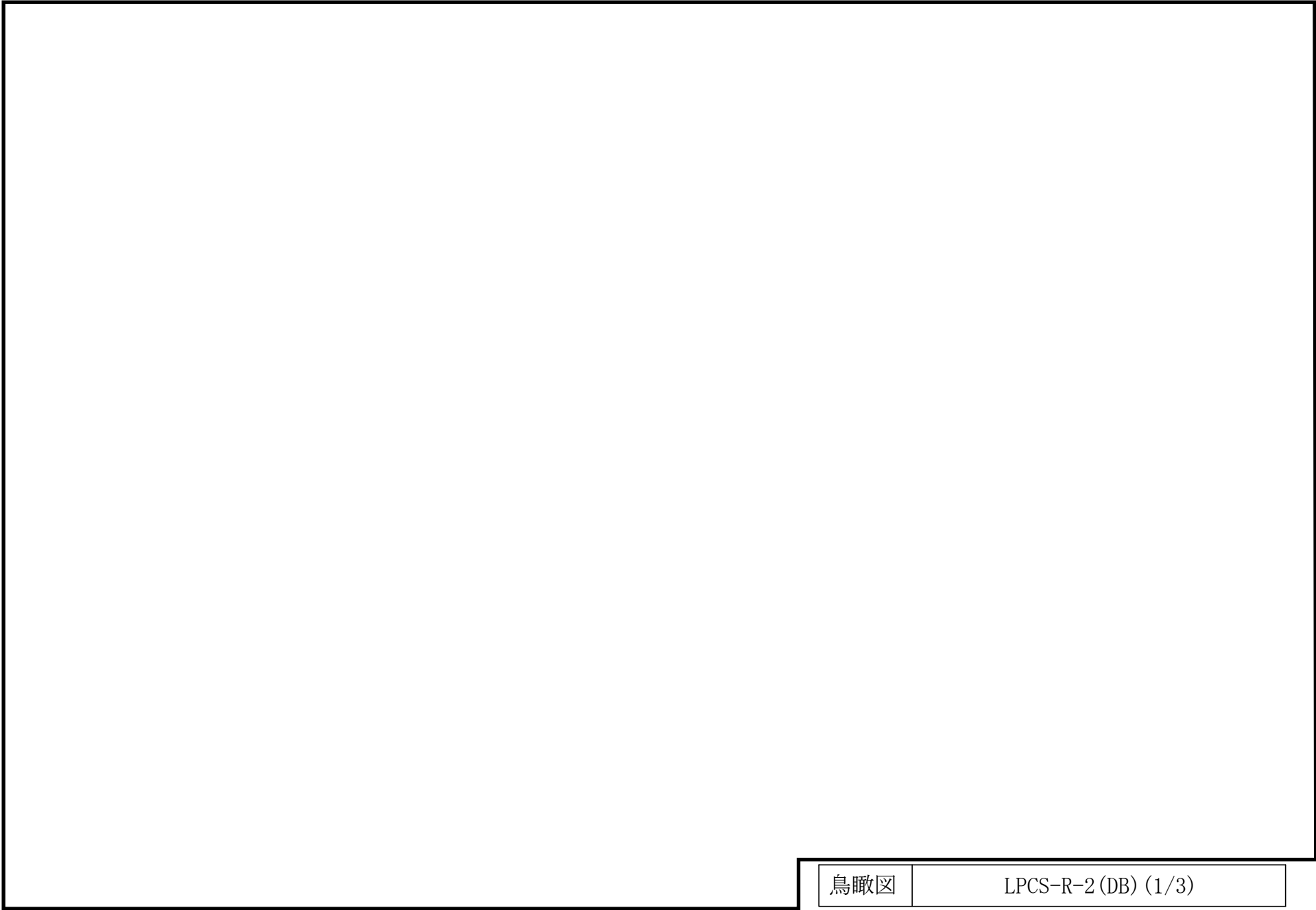


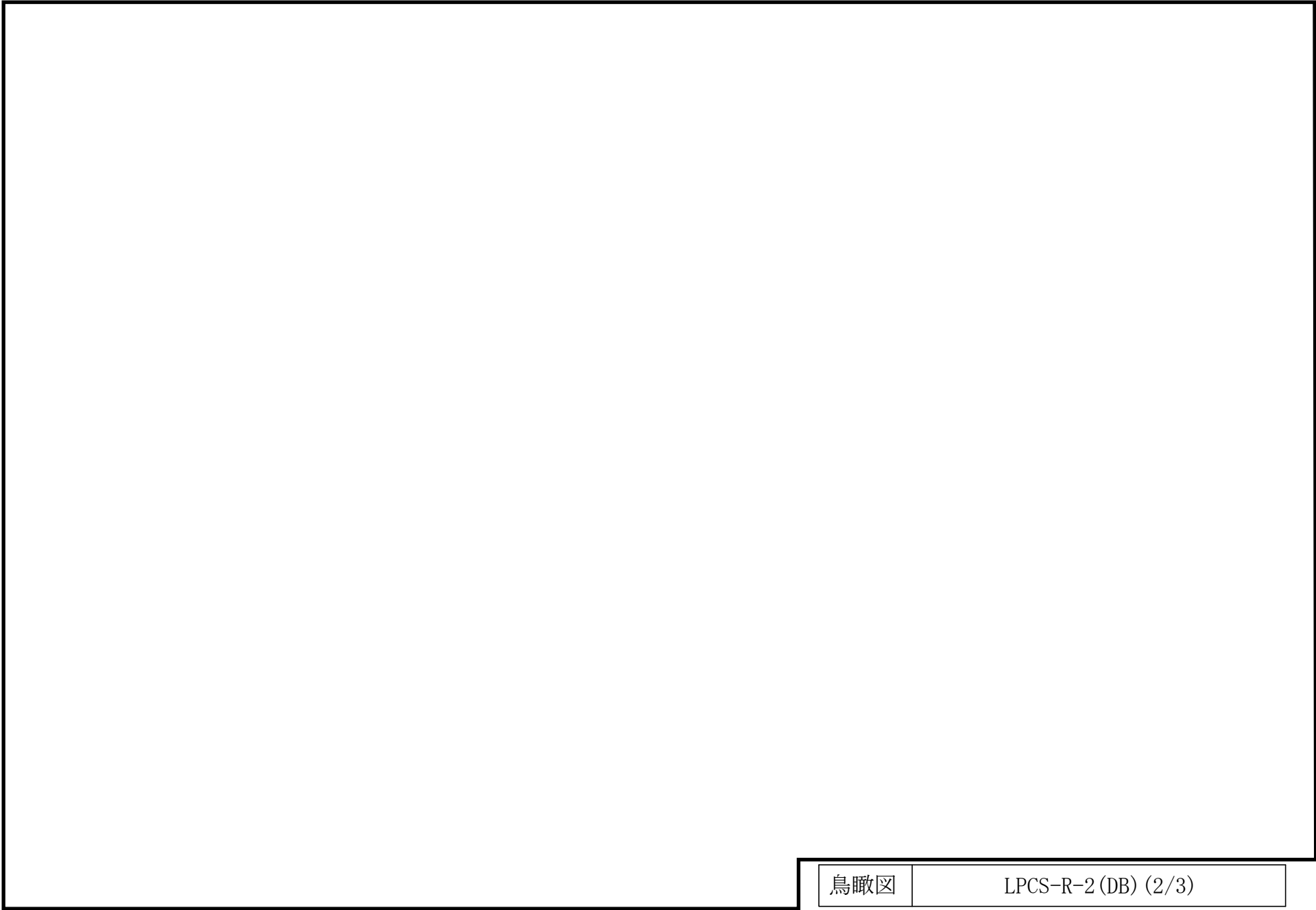
鳥瞰図	LPCS-R-1 (DB)
-----	---------------

∞

鳥瞰図

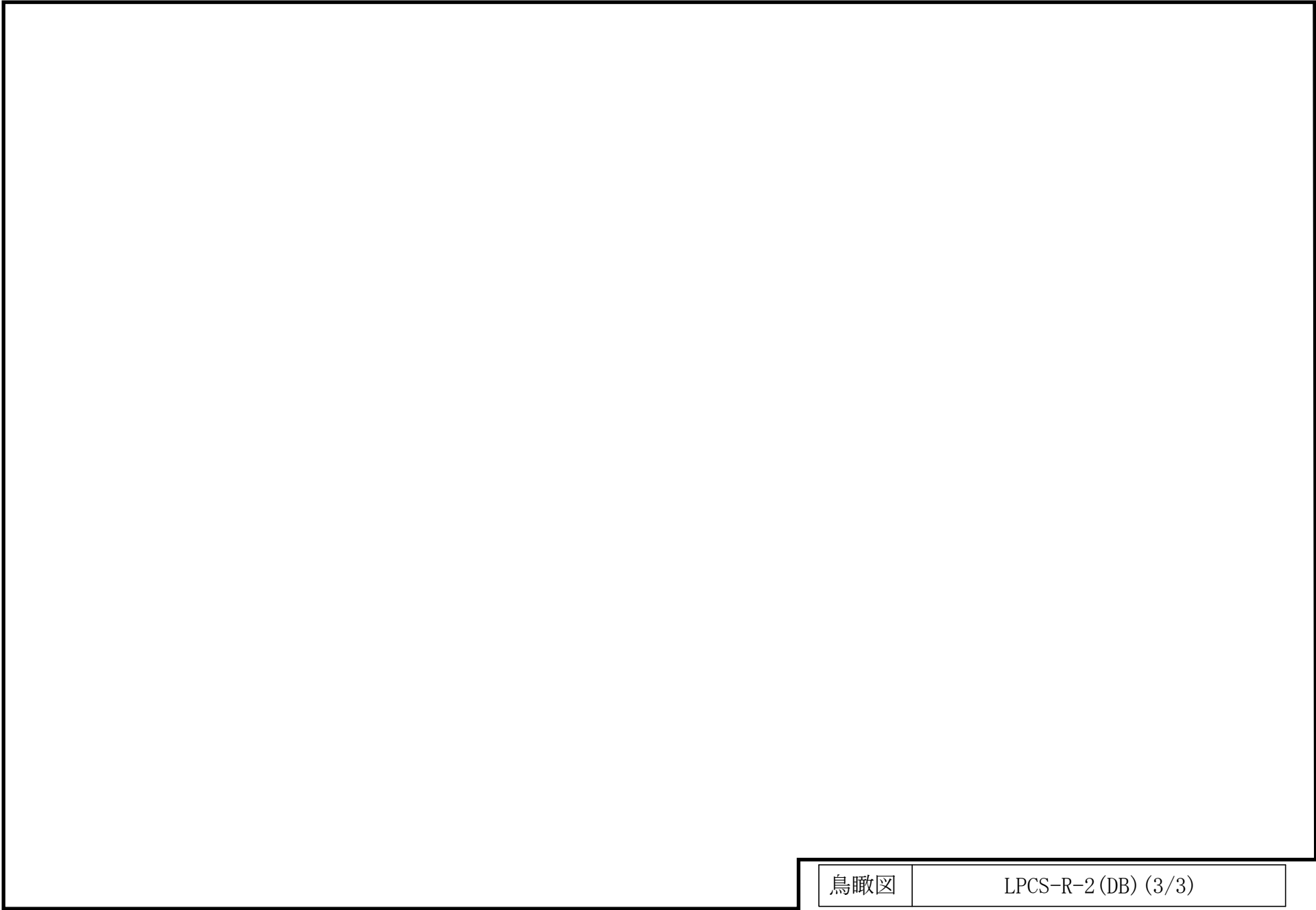
LPCS-R-1 (SA)





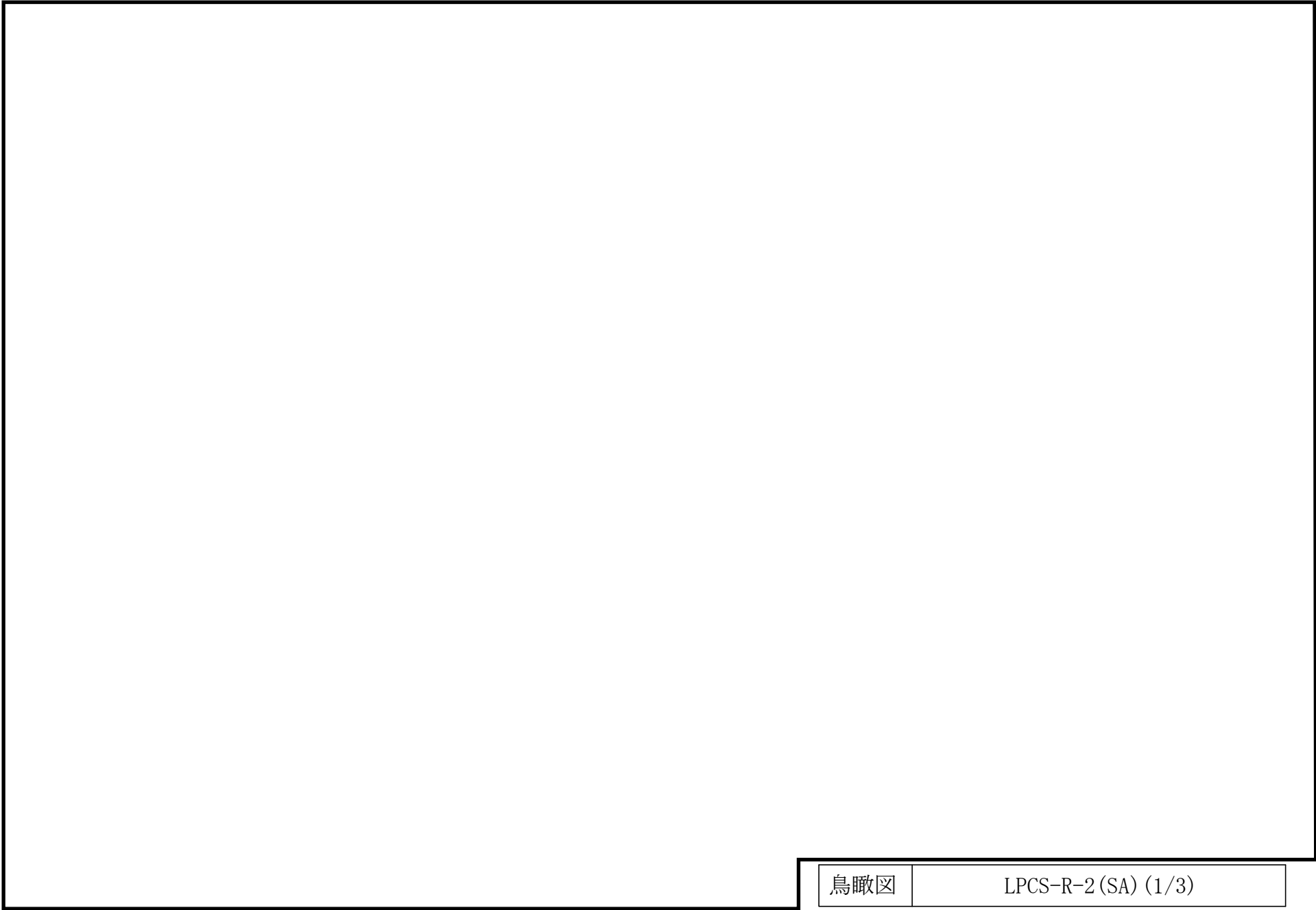
鳥瞰図

LPCS-R-2 (DB) (2/3)



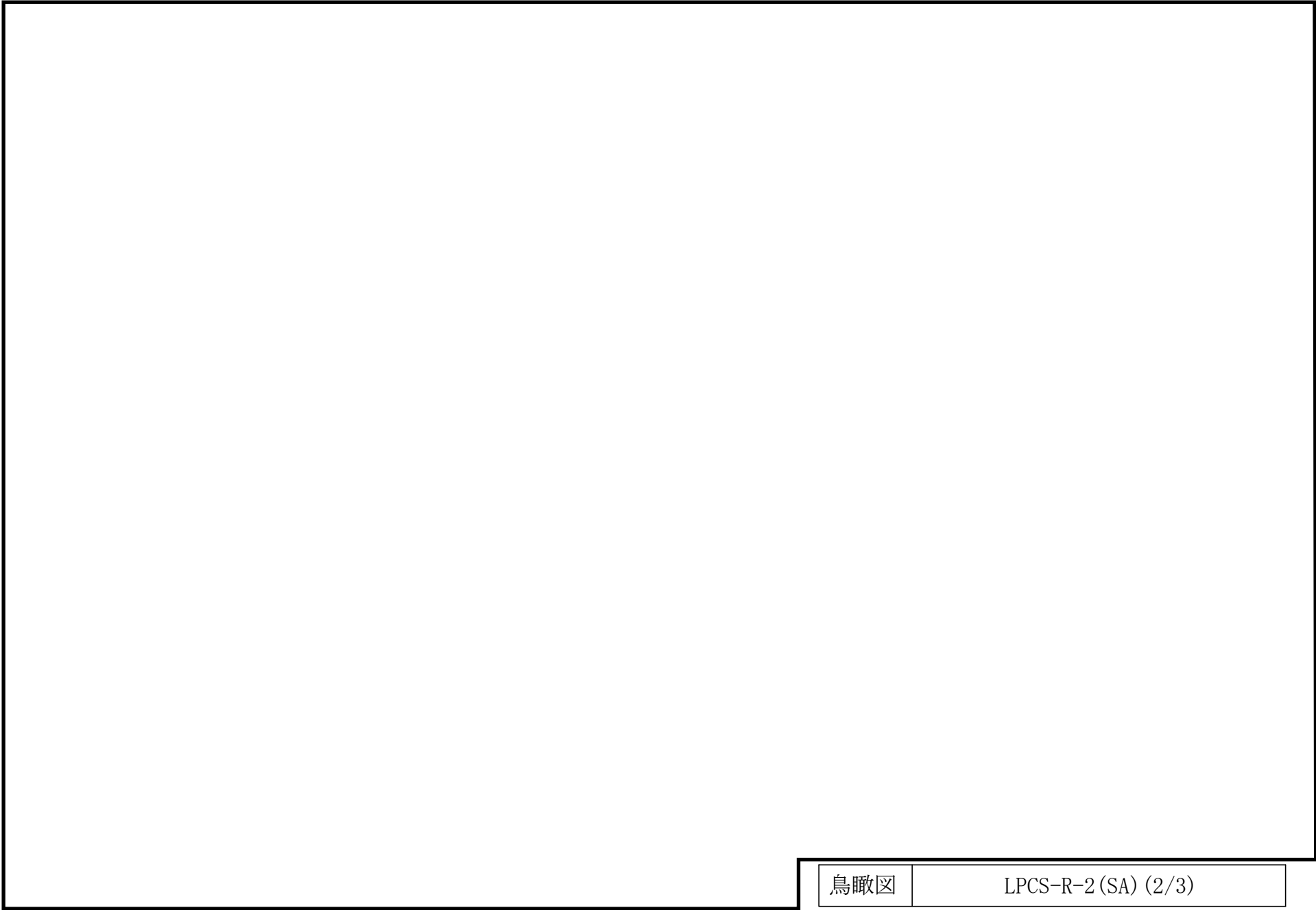
鳥瞰図

LPCS-R-2 (DB) (3/3)



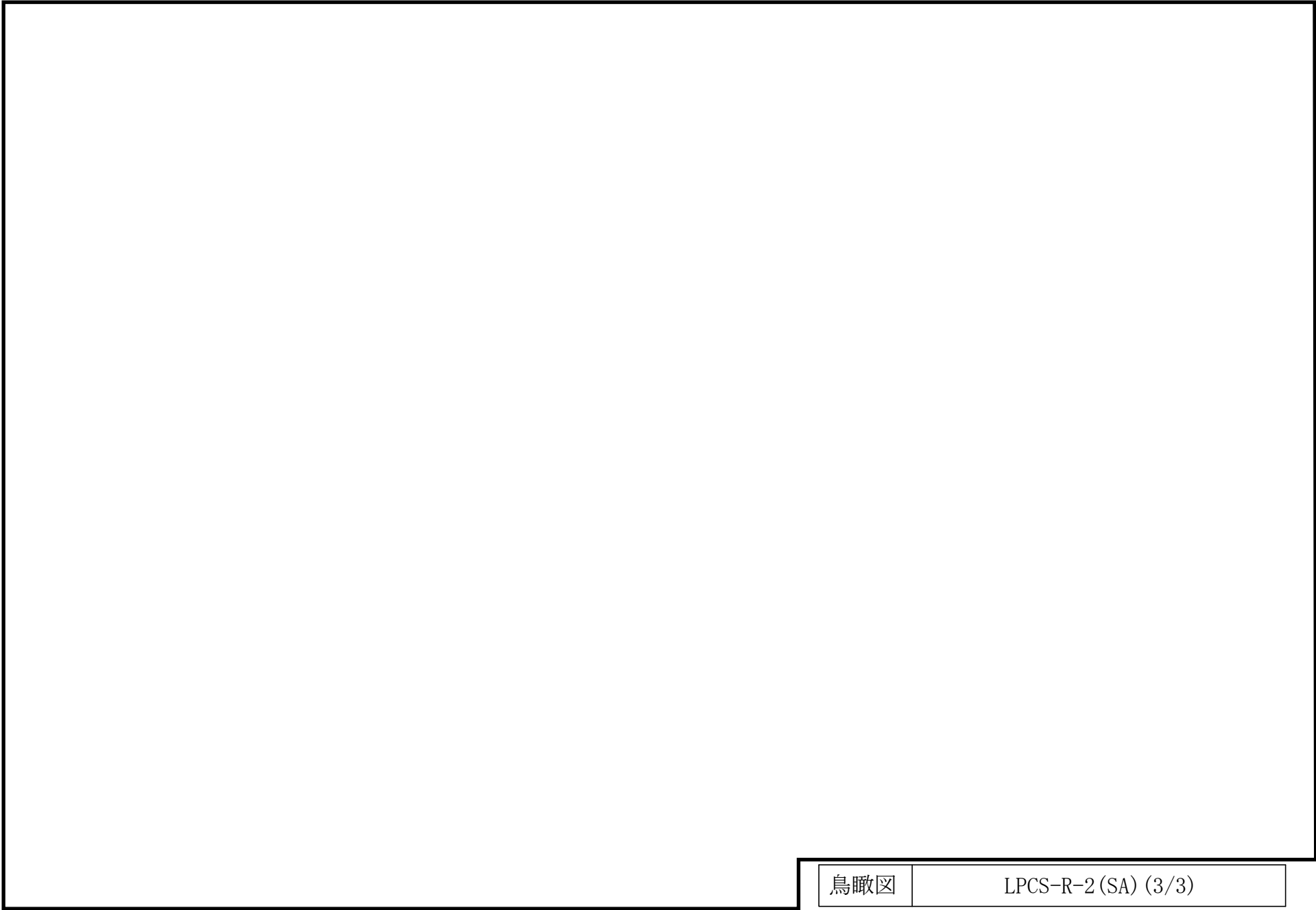
鳥瞰図

LPCS-R-2(SA) (1/3)



鳥瞰図

LPCS-R-2(SA) (2/3)



鳥瞰図

LPCS-R-2(SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L + S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _d	
							Ⅳ _{L(L)} + S _d	
							I _L + S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S _s	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系	S A	常設/防止(D B 拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
V _L + S _s ^{*11}								

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設/防止 (D B 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	5～19, 20～24 25～33	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	33～36N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

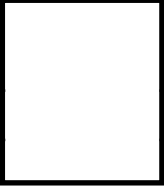
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	5～19, 20～24 25～33	267.4	18.2	STS42	S	200400
2	33～36N	267.4	18.2	STS42	S	186920

配管の付加質量

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

質量	対応する評価点
	5～5001, 1201～1301, 1501～1601, 1701～19, 20～24 25～2701, 2801～3001, 35～3501
	5001～1201, 1301～1501, 1601～1701, 2701～2801, 3001～33
	33～35, 3501～36N

弁部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	19～20	<input type="text"/>	24～25

弁部の寸法

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
19~20				24~25			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
6						
16						
** 16 **						
** 16 **						
23						
** 26 **						
** 27 **						
2702						
31						
32						
N7						

S2 補 VI-2-5-5-2-3 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	2~10	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	0.853	178
2	14~24N	Ⅲ _A S	1.37	100
		Ⅳ _A S	1.37	100
		Ⅴ _A S	1.37	116

設計条件


鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2～10	508.0	9.5	SM41C	S	201667
2	14～24N	508.0	9.5	SM41C	S	201667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

質量	対応する評価点
	23F
	24N

弁部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	10, 14	<input type="checkbox"/>	11
<input type="checkbox"/>	12	<input type="checkbox"/>	13

弁部の寸法

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
10~11				11~12			
12~1201							
11~14				1201~13			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
9						
** 9 **						
1201						
** 1201 **						
17						
2001						
2001						
2201						
24N						

S2 補 VI-2-5-5-2-3 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~3	Ⅲ _A S	4.41	100
		Ⅳ _A S	4.41	100
		Ⅴ _A S	4.41	116
2	4~8, 9~32 32~81	Ⅲ _A S	4.41	100
		Ⅳ _A S	4.41	100
		Ⅴ _A S	4.41	116

設計条件


鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~3	355.6	19.0	STS42	S	201667
2	4~8, 9~32 32~81	318.5	14.3	STS42	S	201667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

質量	対応する評価点
	1N
	29F
	69F

弁部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	8~9		82~83, 83~86
	82, 86		83
	84		85

弁部の寸法

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
8~9				82~83			
83~84				84~8401			
8401~85				83~86			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
13						
** 13 **						
23						
** 23 **						
** 23 **						
30						
** 30 **						
62						
** 62 **						
** 62 **						
6901						
71						
71						
7401						
** 7401 **						
77						
8401						
** 8401 **						
87A						

S2 補 VI-2-5-5-2-3 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STS42	302	122	—	—	—
SM41C	104	—	219	373	—
SM41C	178	—	199	373	—
SM41C	100	—	221	373	—
SM41C	116	—	216	373	—
STS42	100	—	220	405	—
STS42	116	—	218	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
LPCS-PD-1	ガンマ線遮蔽壁	EL			
LPCS-R-1	原子炉建物	EL			
LPCS-R-2	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

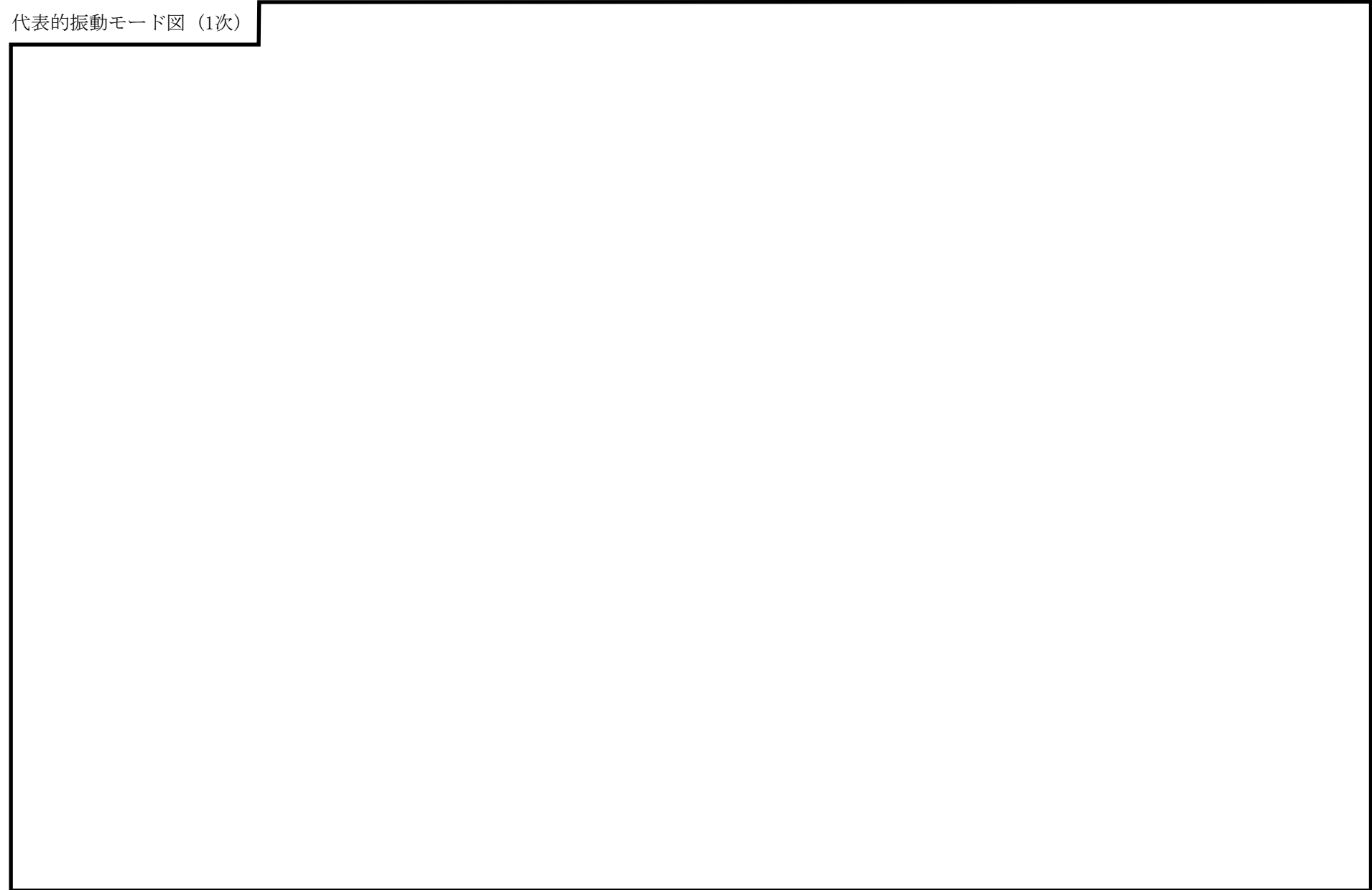
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

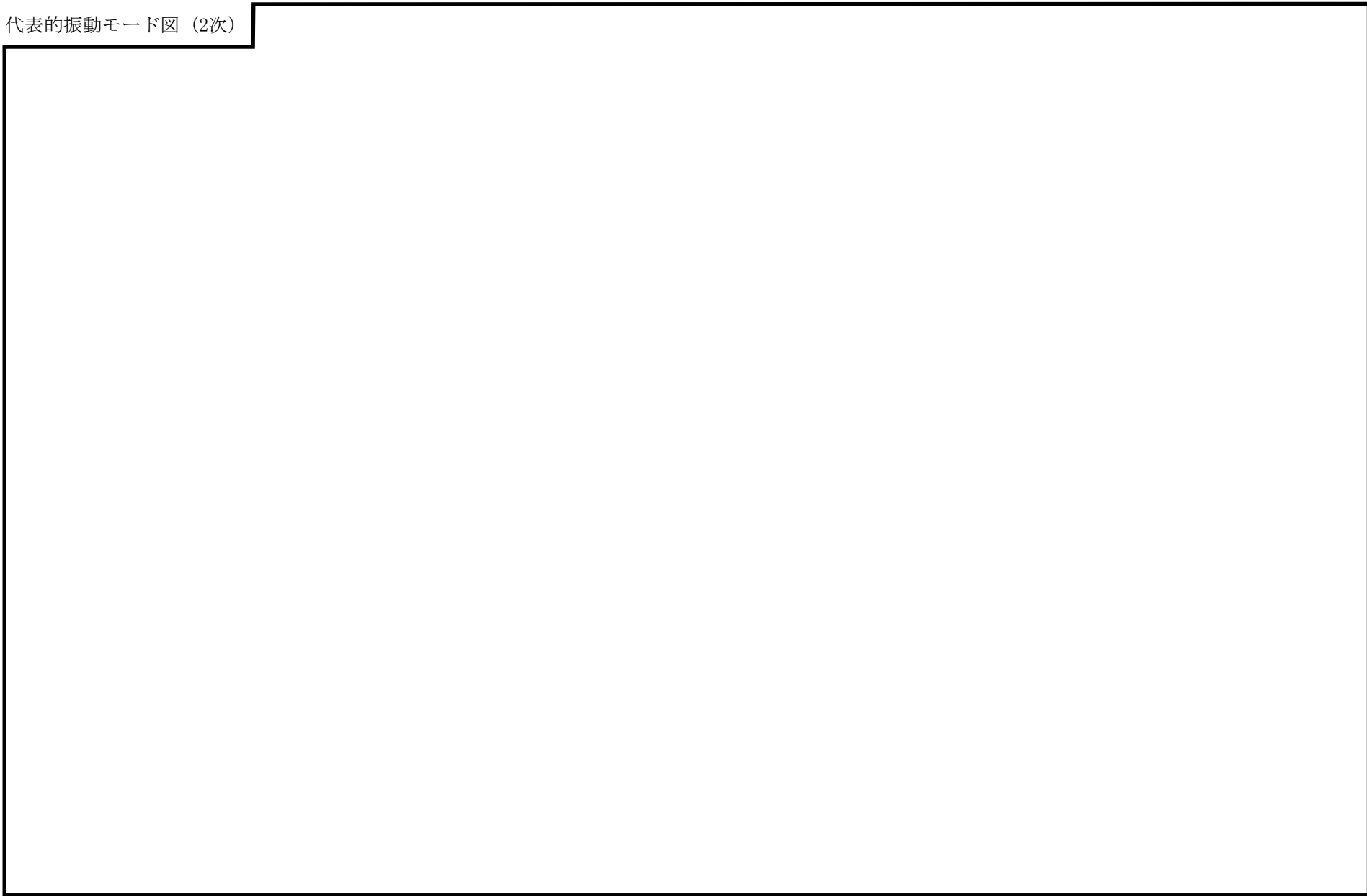
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

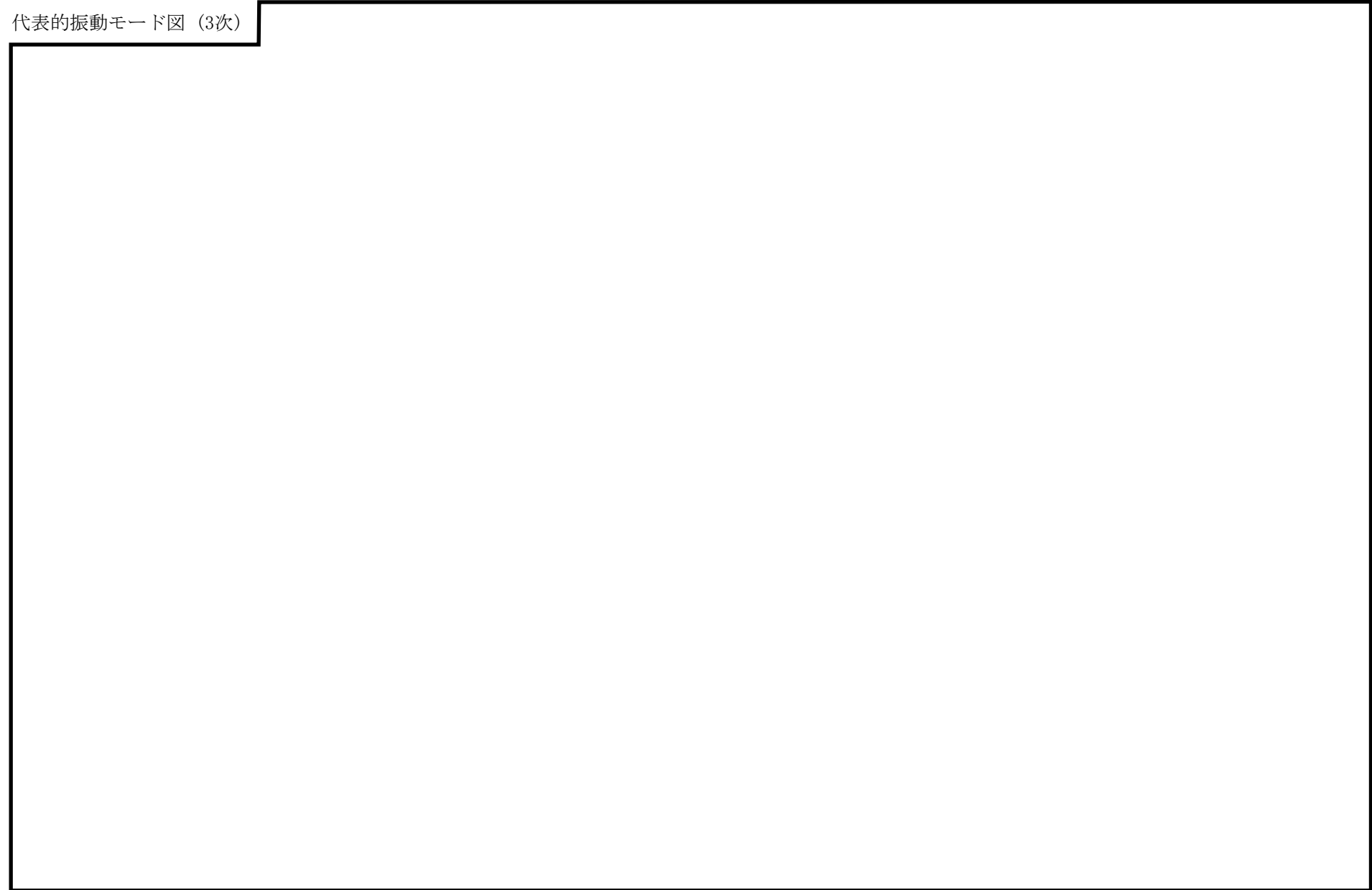
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

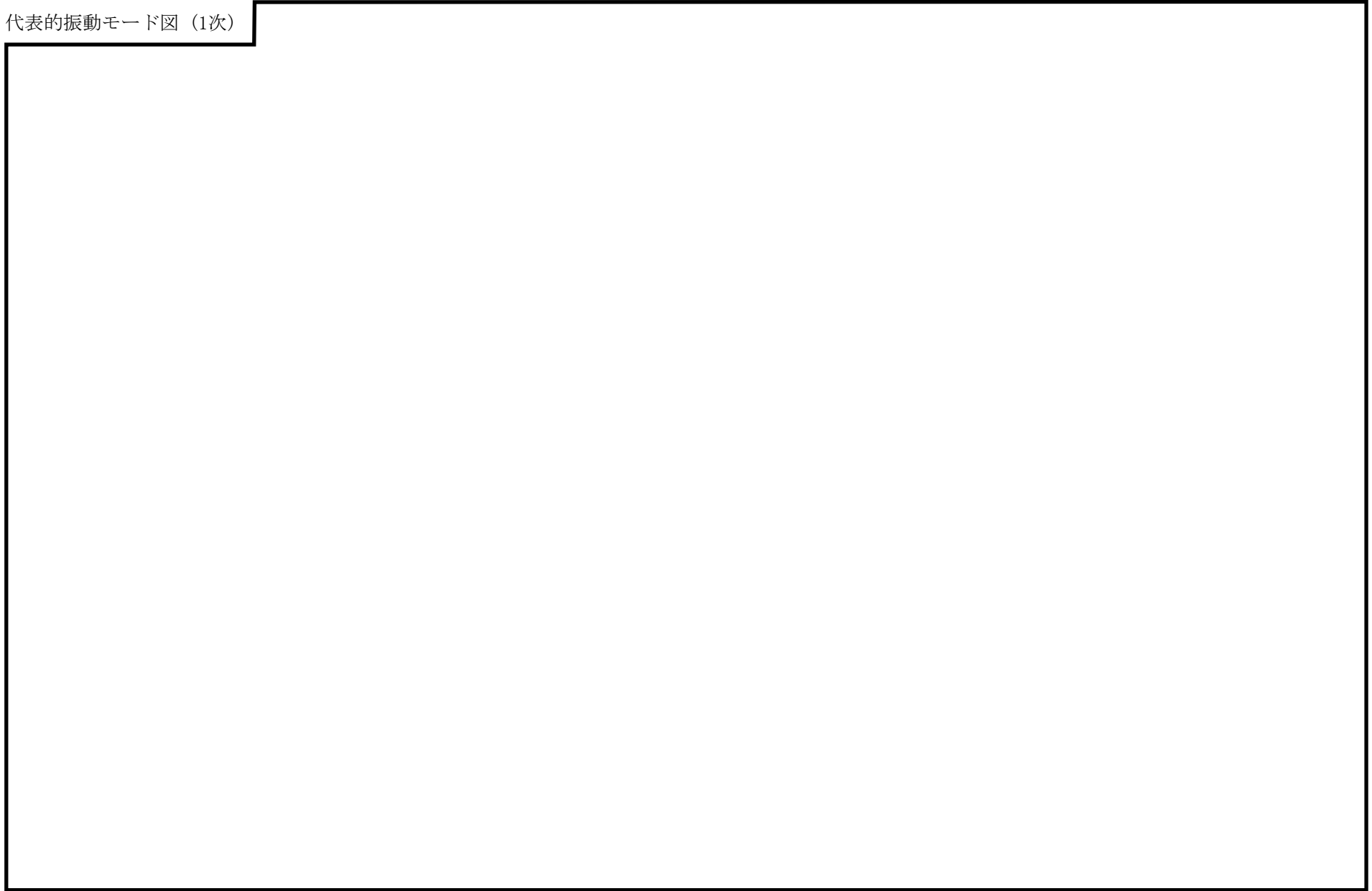
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
13次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 LPCS-R-2

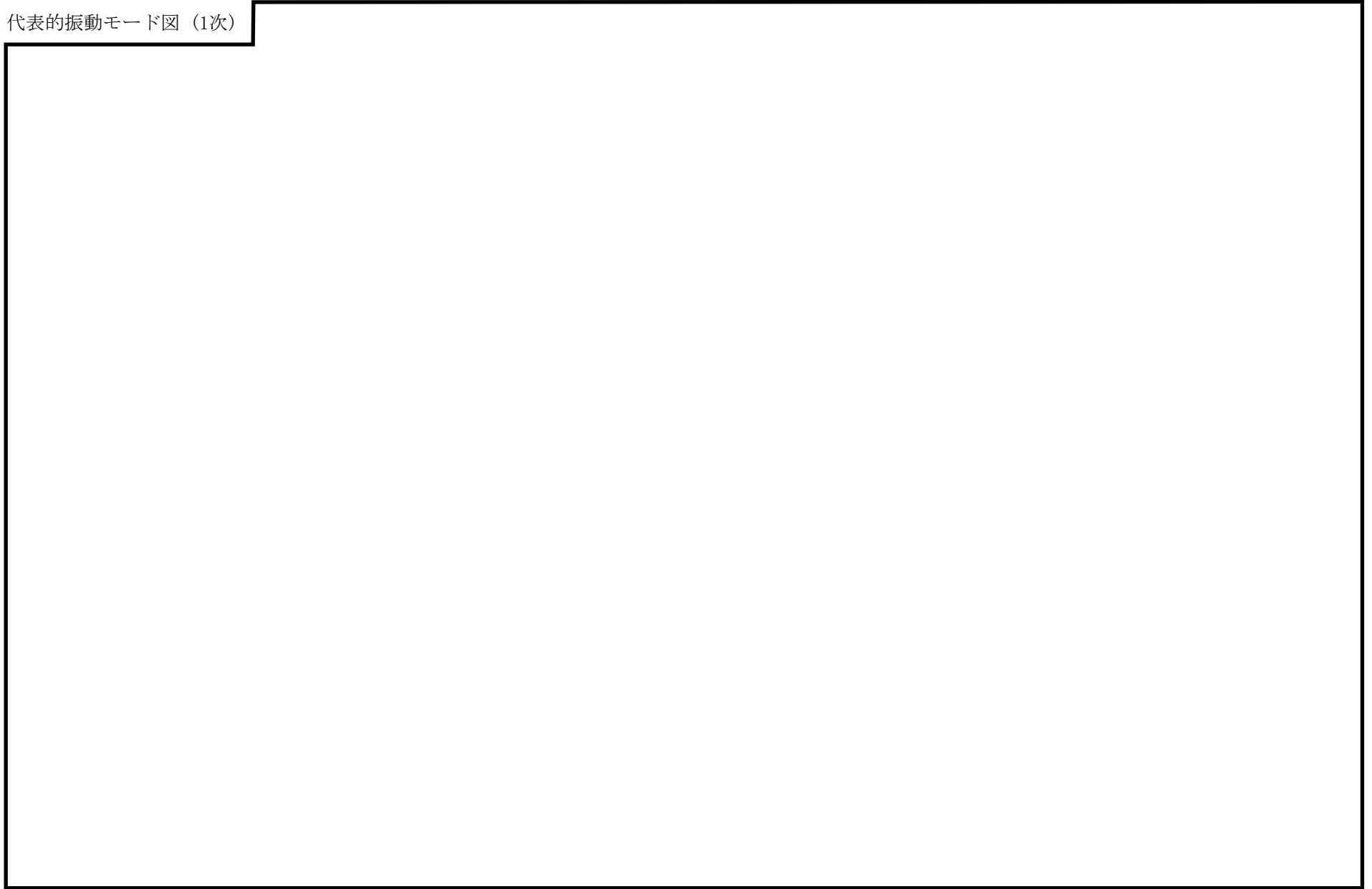
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

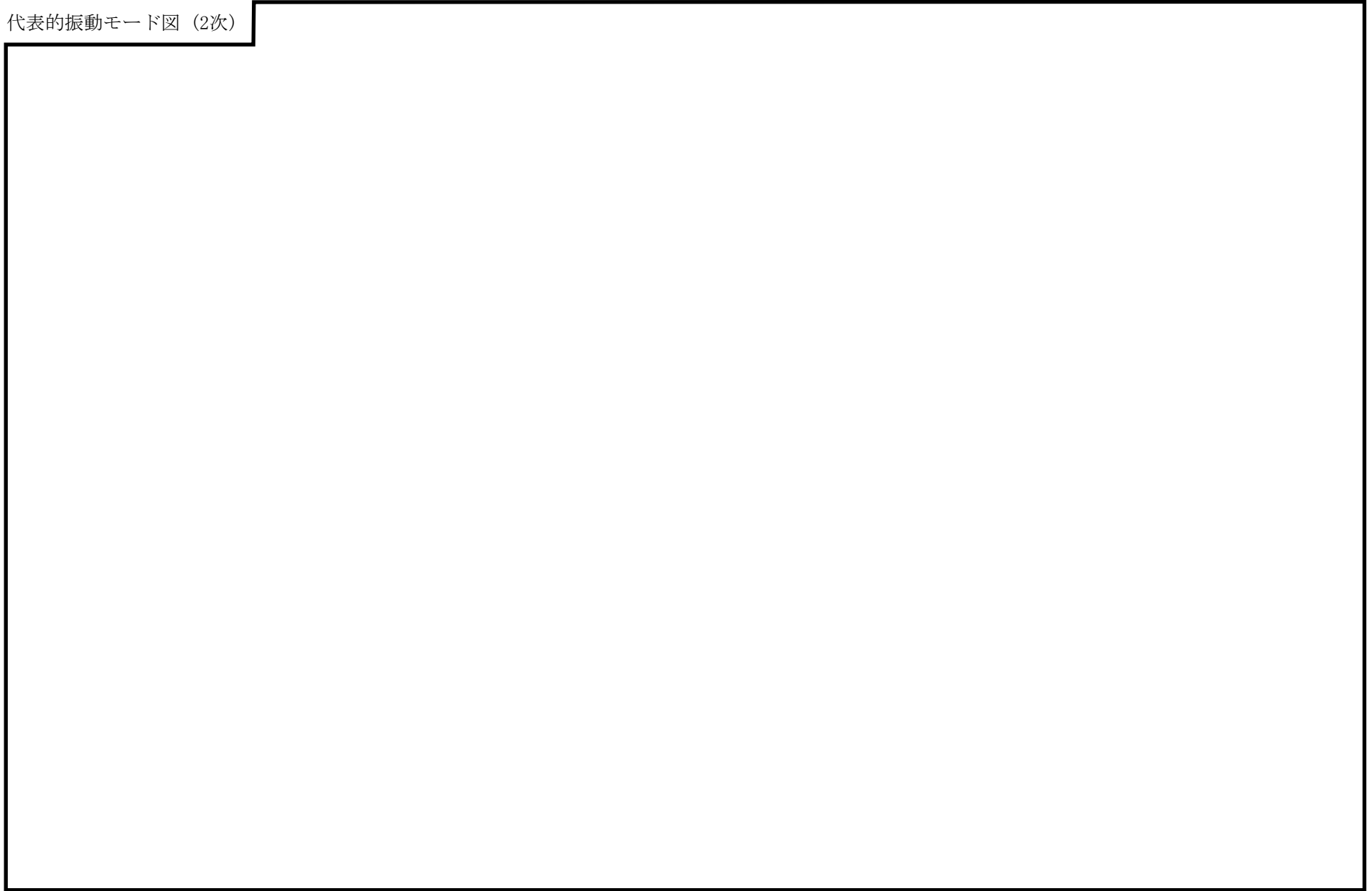
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

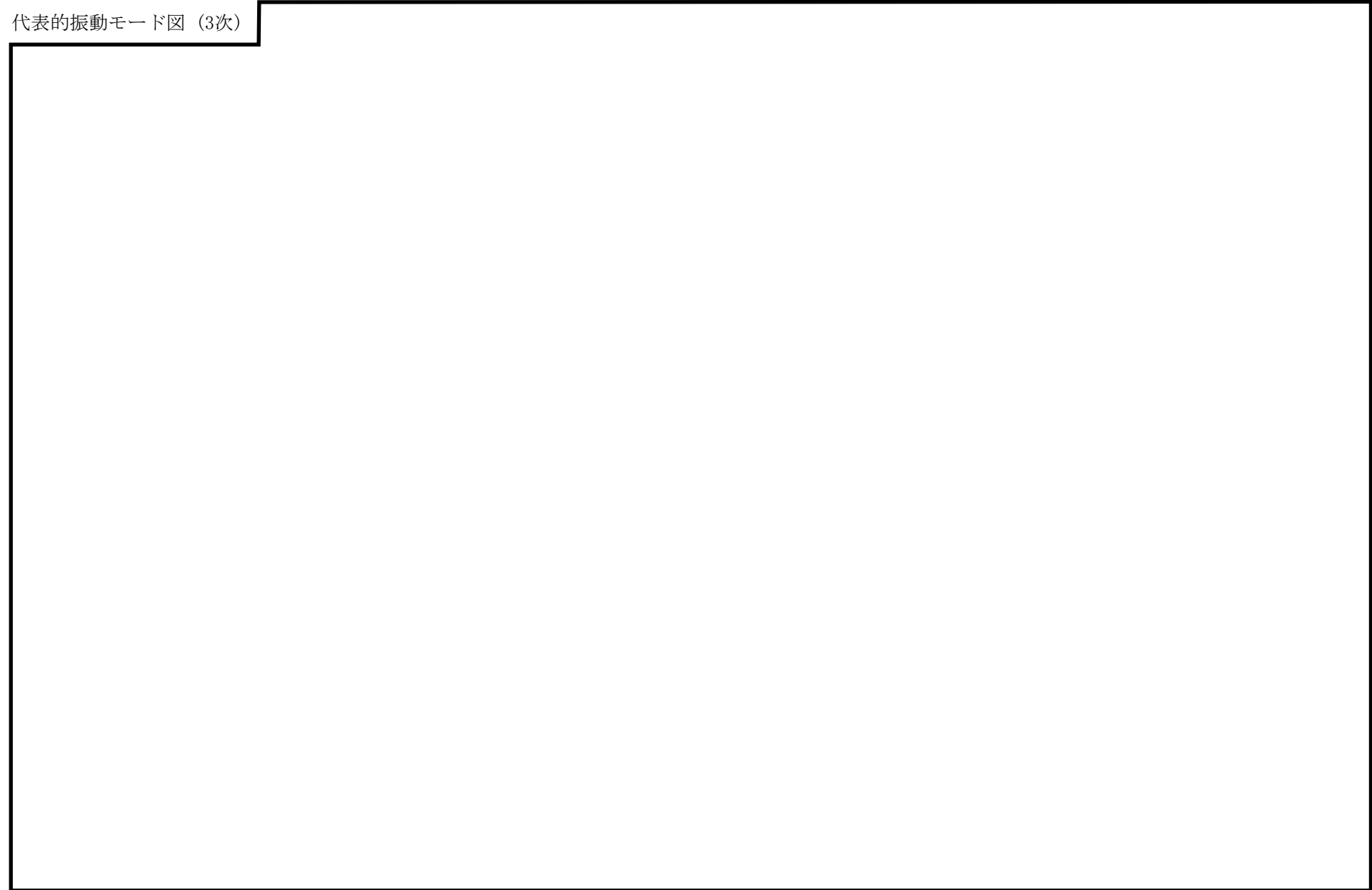
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



53

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(2.25 \cdot S m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	89	274	—
		ねじり $S_t(0.55 \cdot S m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	23	67	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(1.8 \cdot S m)$	LPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		LPCS-PD-1	1701	ELBOW	171	366	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		LPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0031
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	131	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	40	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	LPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		LPCS-PD-1	1701	ELBOW	316	366	—
	疲労累積係数 $U + U S s$		LPCS-PD-1	1701	ELBOW	—	—	0.0042

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	131	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	40	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	LPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		LPCS-PD-1	1701	ELBOW	316	366	—
	疲労累積係数 $U + U S_s$		LPCS-PD-1	1701	ELBOW	—	—	0.0042
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	131	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	LPCS-PD-1	1701	ELBOW	40	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	LPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		LPCS-PD-1	1701	ELBOW	316	366	—
	疲労累積係数 $U + U S_s$		LPCS-PD-1	1701	ELBOW	—	—	0.0042

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	LPCS-R-2	23	56	220	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	LPCS-R-1	5	107	438	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	LPCS-R-2	23	80	364	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	LPCS-R-1	5	225	438	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	LPCS-R-2	23	80	364	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	LPCS-R-1	5	225	438	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	LPCS-R-2	23	80	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	LPCS-R-1	5	225	398	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SNO-LPCS-11	オイルスナッパ	SN-3×2*3			43	90	—
RE-LPCS-5	ロッドレストレイント	RSA-6			84	108	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点，同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-LPCS-201	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	173	0	—	—	—	組合せ	96	135
AN-LPCS-210	アンカ	ラグ	SGV480	302	128	71	53	34	76	88	組合せ	62	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
AV223-1	空気作動逆止弁	β (S s)	5.9	2.4	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV223-2	電動ゲート弁	β (S s)	1.9	1.3	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-PD-1	1701	89	274	3.07	○	1701	171	366	2.14	○	36N	0.0031	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-PD-1	1701	131	366	2.79	○	1701	316	366	1.15	○	1701	0.0042	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-PD-1	1701	131	366	2.79	○	1701	316	366	1.15	○	1701	0.0042	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-PD-1	1701	131	366	2.79	○	1701	316	366	1.15	○	1701	0.0042	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-R-1	9	41	219	5.34	—	5	107	438	4.09	—	○
2	LPCS-R-2	23	56	220	3.92	○	23	51	440	8.62	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-R-1	9	61	335	5.49	—	5	225	438	1.94	—	○
2	LPCS-R-2	23	80	364	4.55	○	55	101	440	4.35	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-R-1	9	61	335	5.49	—	5	225	438	1.94	—	○
2	LPCS-R-2	23	80	364	4.55	○	55	101	440	4.35	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	LPCS-R-1	9	67	335	5.00	—	5	225	398	1.76	—	○
2	LPCS-R-2	23	80	363	4.53	○	55	101	436	4.31	—	—

VI-2-5-5-2-4 ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書
(低圧炉心スプレイ系)

1. 概要

本計算書は、低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-5「ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（残留熱除去系）」において、ストレーナ部ティーの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナ部ティーで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-5「ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（残留熱除去系）」による。

VI-2-5-5-2-5 低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタは残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書」において、ストレーナ取付部コネクタの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナ取付部コネクタで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書」による。

VI-2-5-5-2-6 低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書

1. 概要

本計算書は、低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの耐震性について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートは残留熱除去系ストレーナ取付部サポート及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートと同様の形状を有しており、評価条件については同等である。また、VI-2-5-4-1-7「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書」において、ストレーナ取付部サポートの解析モデルを用いた耐震性の評価を実施しており、その荷重条件については上記のストレーナ取付部サポートで最大となる値を用いている。

以上より、本計算書の評価結果については、VI-2-5-4-1-7「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの耐震性についての計算書」による。

VI-2-5-5-3 高圧原子炉代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-3-1 高圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧原子炉代替注水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧原子炉代替注水ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、構造強度評価はVI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。また、高圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンが一体構造の横形ポンプであるため、加振試験で得られた機能確認済加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧原子炉代替注水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプベース（ポンプ支持部）にポンプ取付ボルトで固定され、ポンプベース（プレート部）は基礎ボルトで基礎に据え付ける。ポンプベース（ポンプ支持部）とポンプベース（プレート部）は溶接により接合される。</p>	<p>ターボ形 （ターボ形横形ポンプ）</p>	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧原子炉代替注水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧原子炉代替注水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧原子炉代替注水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧原子炉代替注水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本評価資料の【高圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心 冷却設備 その他原子炉 注水設備	高圧原子炉代替注水ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	高圧原子炉代替注水ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	100	673	759	—
ポンプ取付ボルト	 * (径≤63mm)	最高使用温度	120	663	759	—

注記*：SNB7 相当

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧原子炉代替注水ポンプの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度が動的機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

なお、高圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない原動機であるタービンと一体構造の横形ポンプであり、既往の研究によって機能維持が確認された適用機種と構造・作動原理が異なることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を動的機能確認済加速度とする。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
ポンプ	水平	
	鉛直	

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧原子炉代替注水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧原子炉 代替注水 ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL 1.3 ^{*1}	— ^{*2}	— ^{*2}	—	—	C _H =1.41 ^{*3}	C _V =1.05 ^{*3}	C _P =1.08	120	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 II（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} ^{*1}
基礎ボルト (i=1)							12	6
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	673 ^{*2} (径≦63mm)	759 ^{*2}	—	531	—	軸方向	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	663 ^{*3} (径≦63mm)	759 ^{*3}	—	531	—	軸方向	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SNB7	引張	—	—	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=306$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=82$	$f_{ts2}=398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=306$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

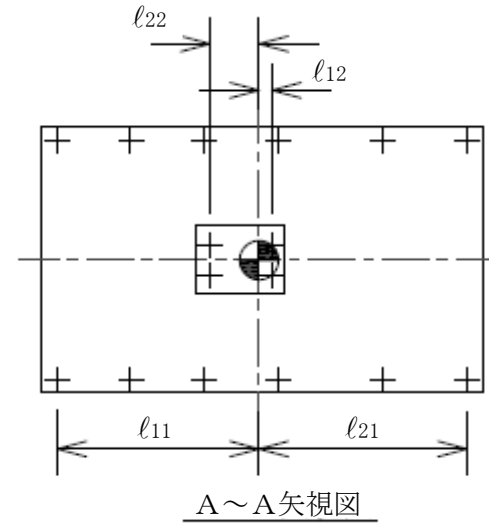
1.4.2 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

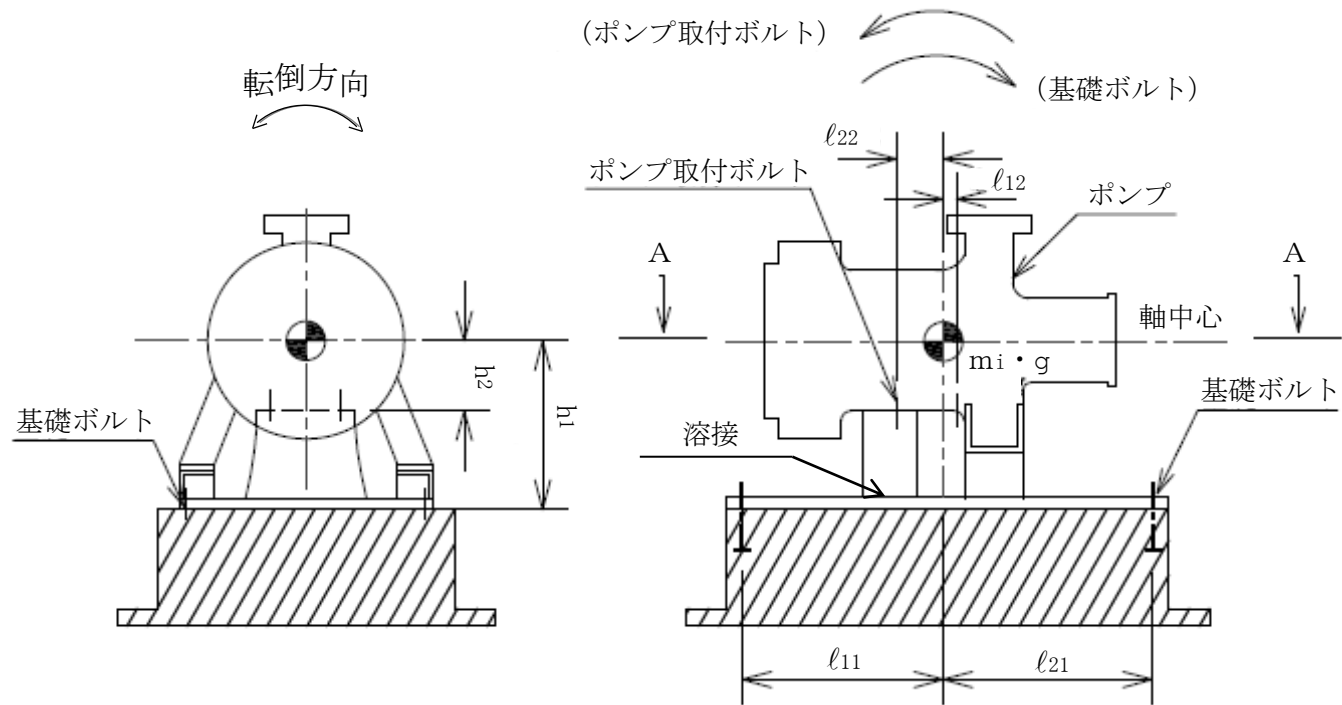
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	
	鉛直方向	0.87	

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



11



VI-2-5-5-3-2 管の耐震性についての計算書
(高压原子炉代替注水系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	35
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	36
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧原子炉代替注水系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全9モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






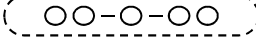

(3) 弁

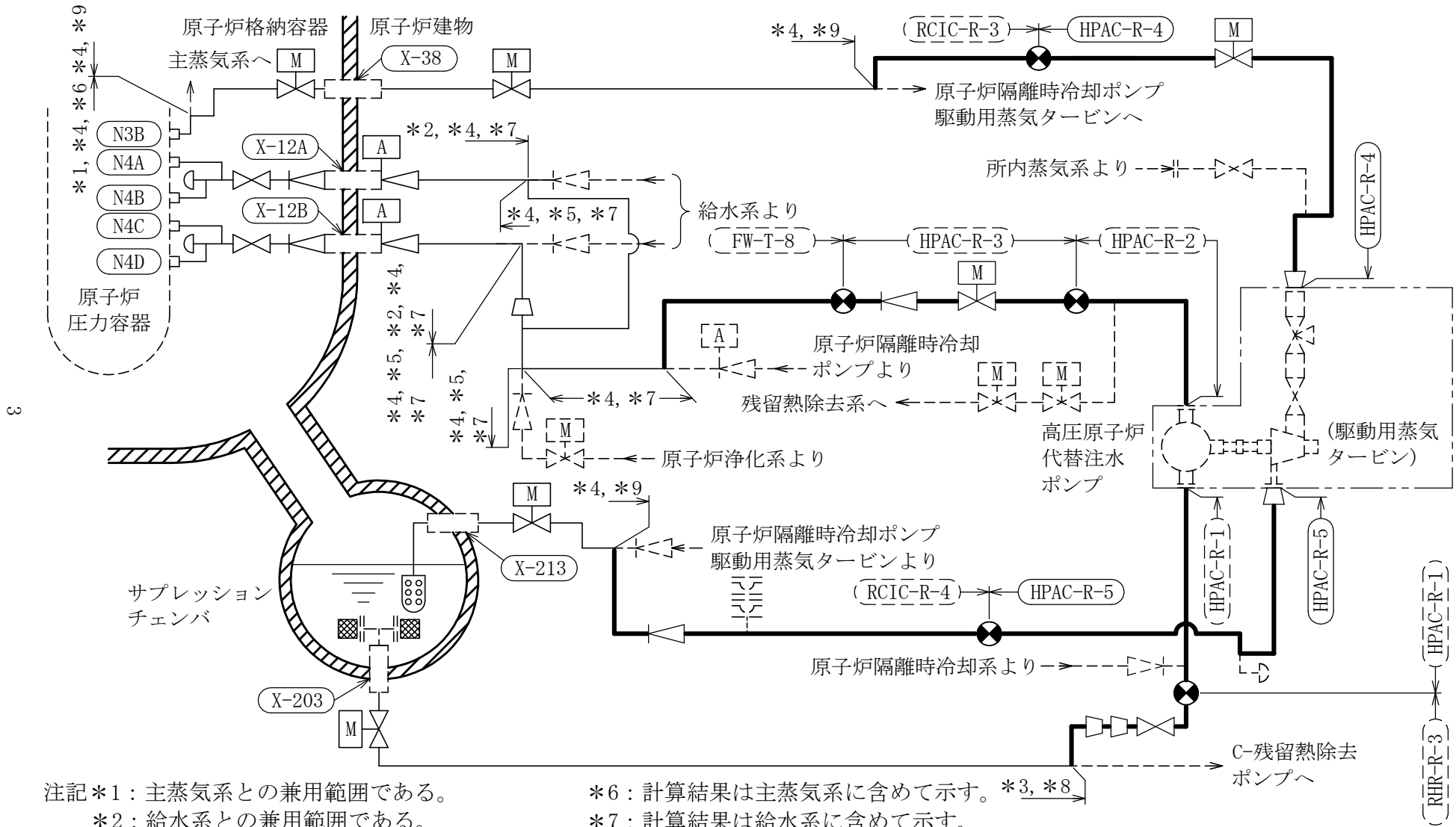
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管





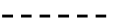


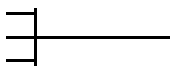
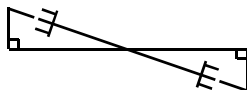
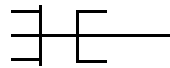
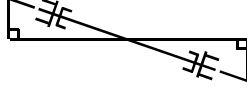

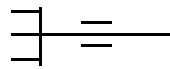
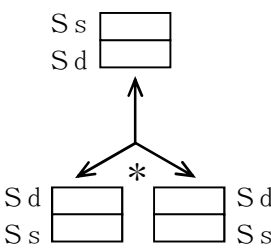
注記*1：主蒸気系との兼用範囲である。
 *2：給水系との兼用範囲である。
 *3：残留熱除去系との兼用範囲である。
 *4：原子炉隔離時冷却系との兼用範囲である。
 *5：原子炉浄化系との兼用範囲である。

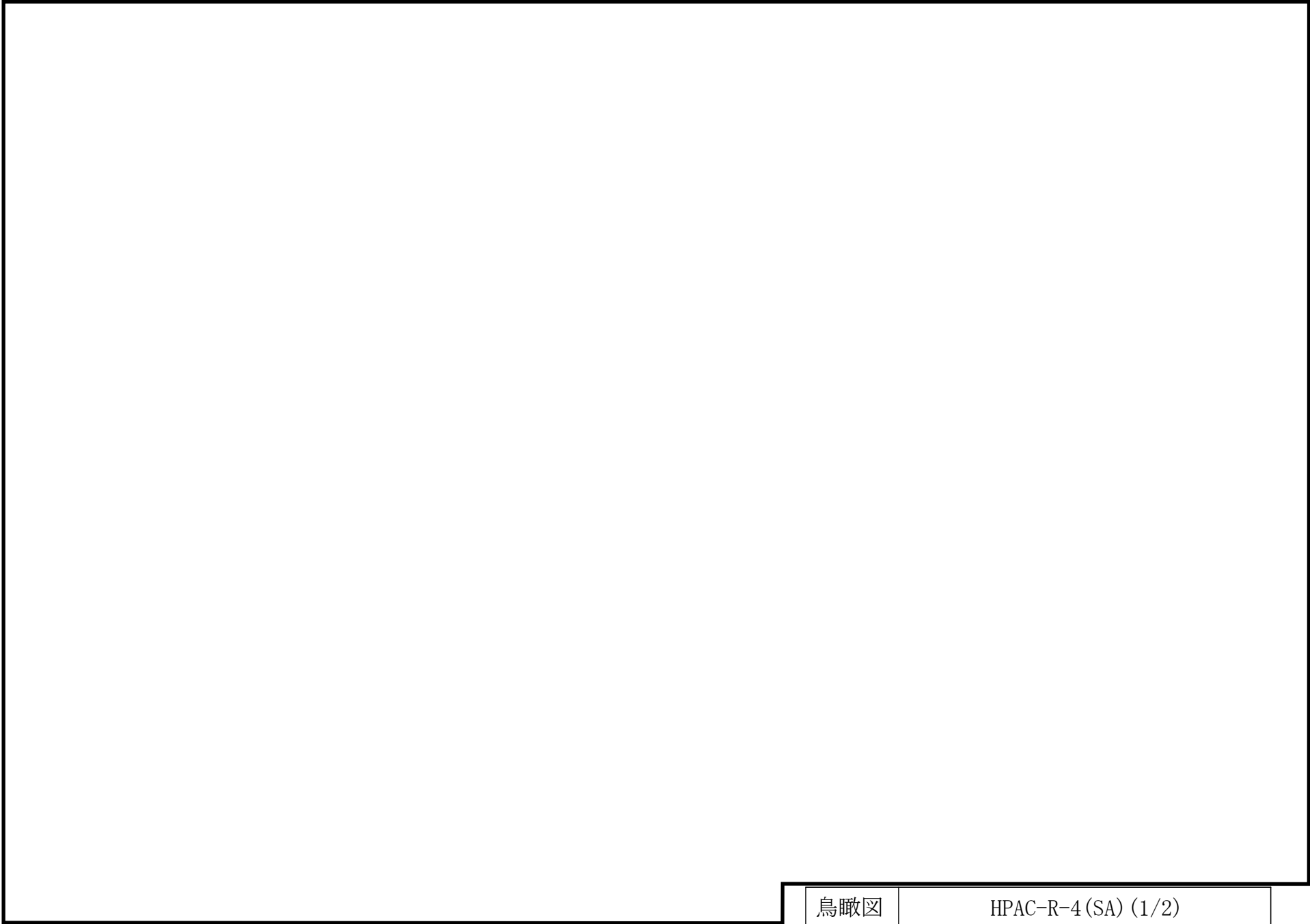
*6：計算結果は主蒸気系に含めて示す。
 *7：計算結果は給水系に含めて示す。
 *8：計算結果は残留熱除去系に含めて示す。
 *9：計算結果は原子炉隔離時冷却系に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス:SA2
 高圧原子炉代替注水系概略系統図

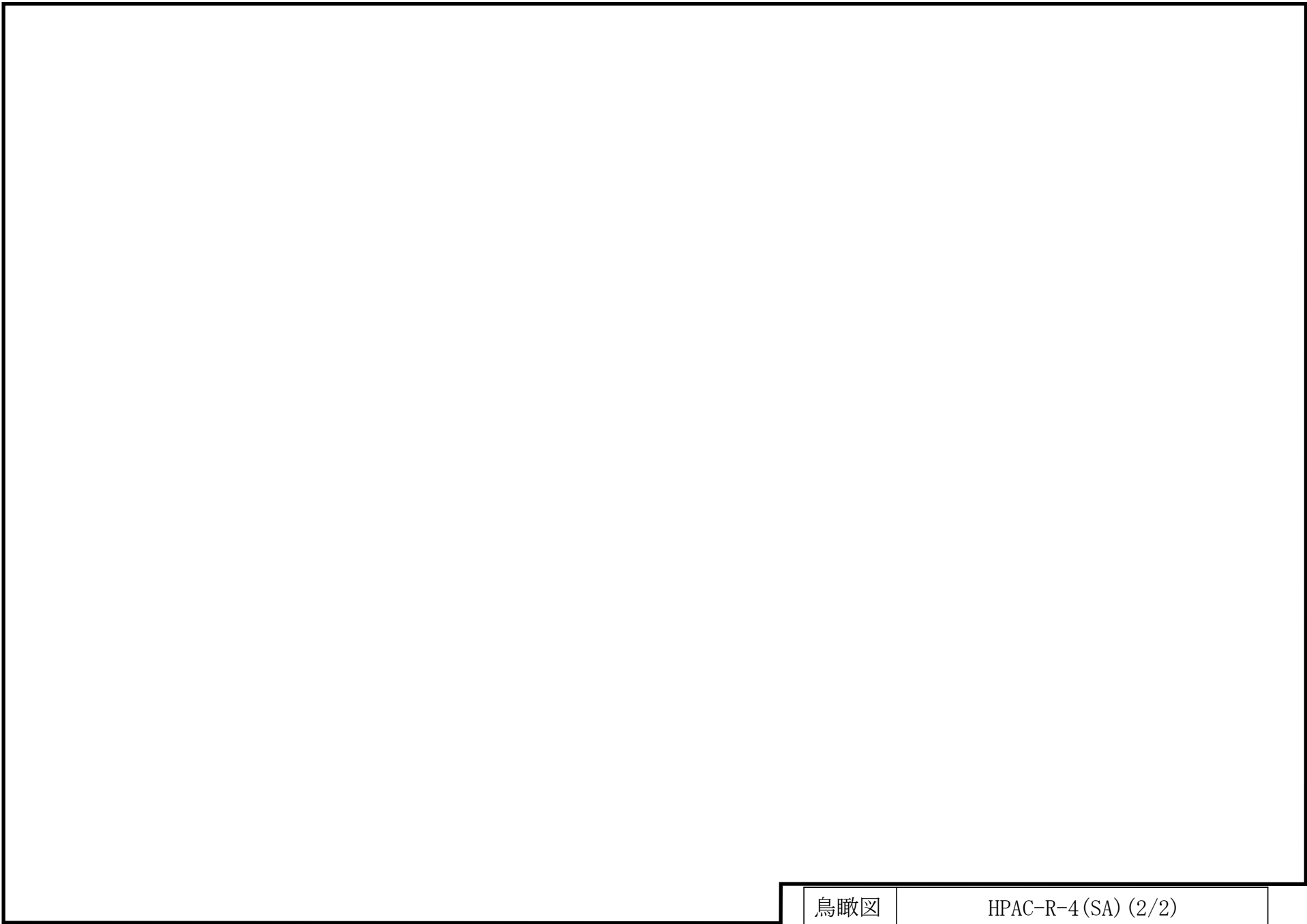
2.2 鳥瞰図

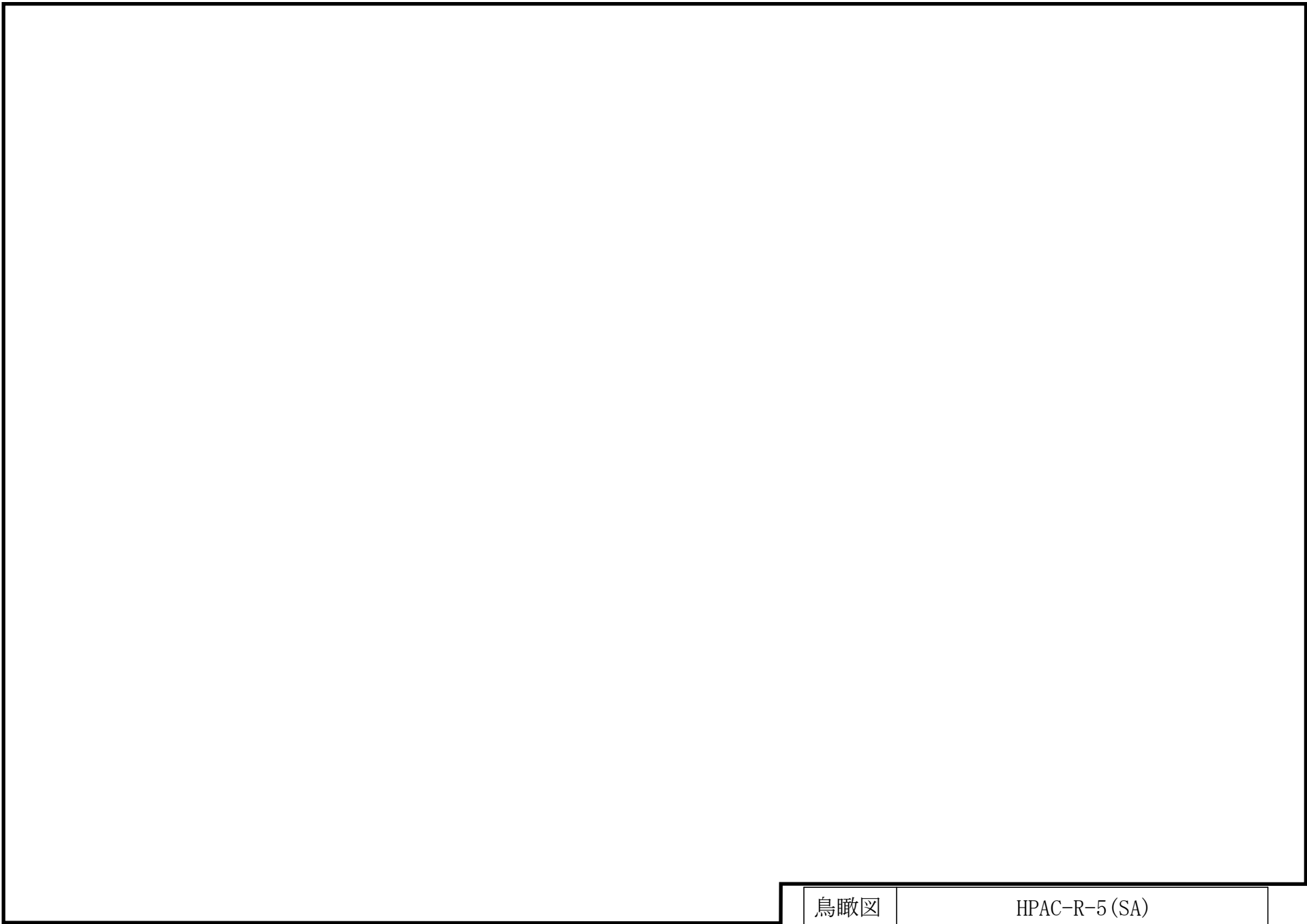
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	HPAC-R-4(SA) (1/2)
-----	--------------------





鳥瞰図	HPAC-R-5 (SA)
-----	---------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S

注記*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2201	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.98	304
2	2206~52	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	53~54N	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～2201	114.3	11.1	STPT410	—	186040
2	2206～52	114.3	11.1	STPT410	—	201667
3	53～54N	89.1	11.1	STPT410	—	201667


配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～2201, 2206～52
<input type="checkbox"/>	53～54N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点
	50F
	54N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	2201, 2206	<input type="checkbox"/>	2202
<input type="checkbox"/>	2203	<input type="checkbox"/>	2205

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2201~2202				2202~2203			
2203~2204				2204~2205			
2202~2206							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
5						
12						
21						
2204						
2207						
26						
31						
36						
43						
54N						

S2 補 VI-2-5-5-3-2 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~2	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184
2	3~36A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	216.3	8.2	STPT410	—	201667
2	3~36A	267.4	9.3	STPT410	—	201667


配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N~2
<input type="checkbox"/>	3~36A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

質量	対応する評価点
	1N
	6F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
8						
15						
22						
25						
29						
36A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	302	—	182	404	—
STPT410	304	—	182	404	—
STPT410	184	—	209	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
HPAC-R-4	原子炉建物	EL			
HPAC-R-5	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

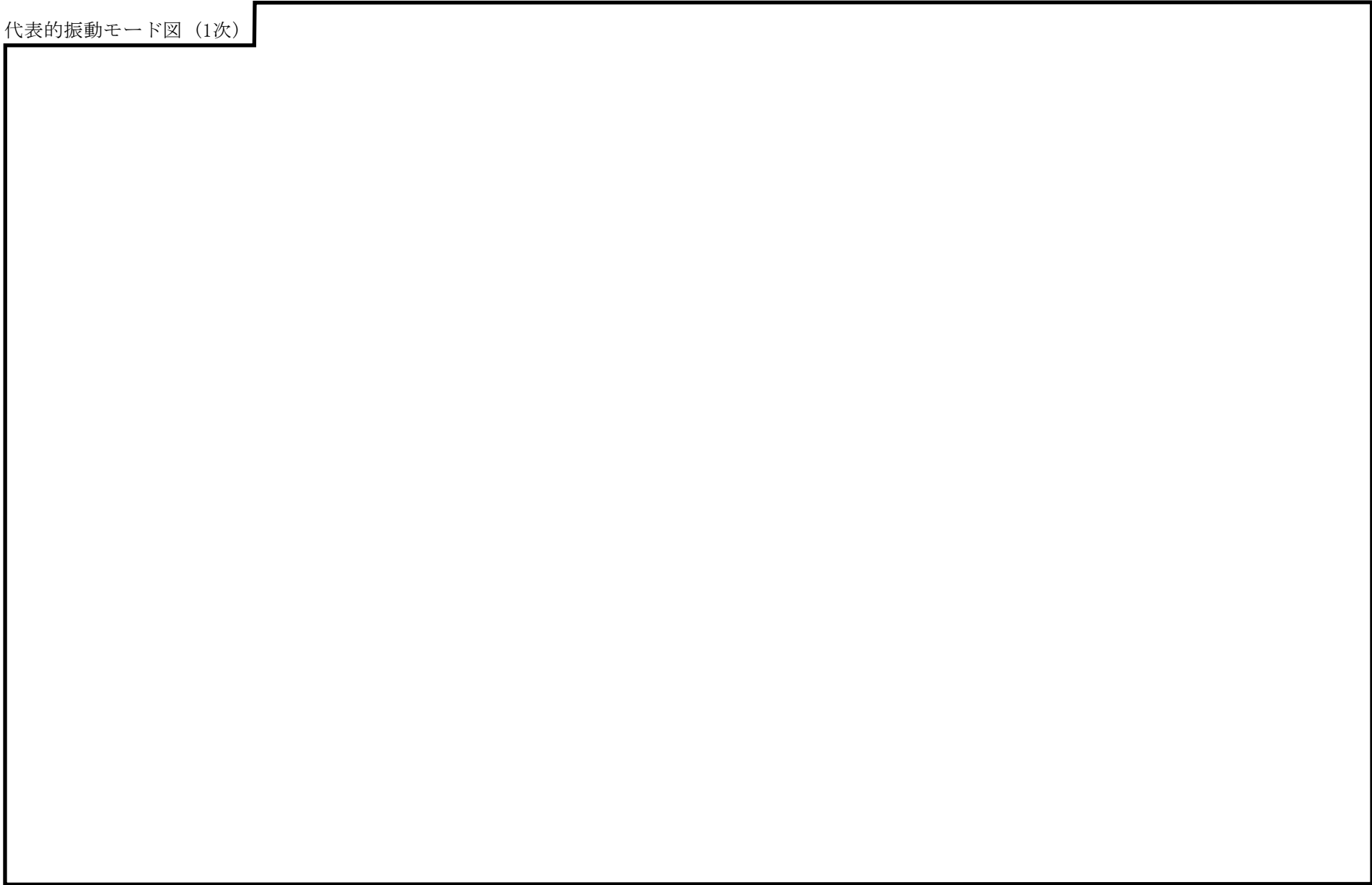
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

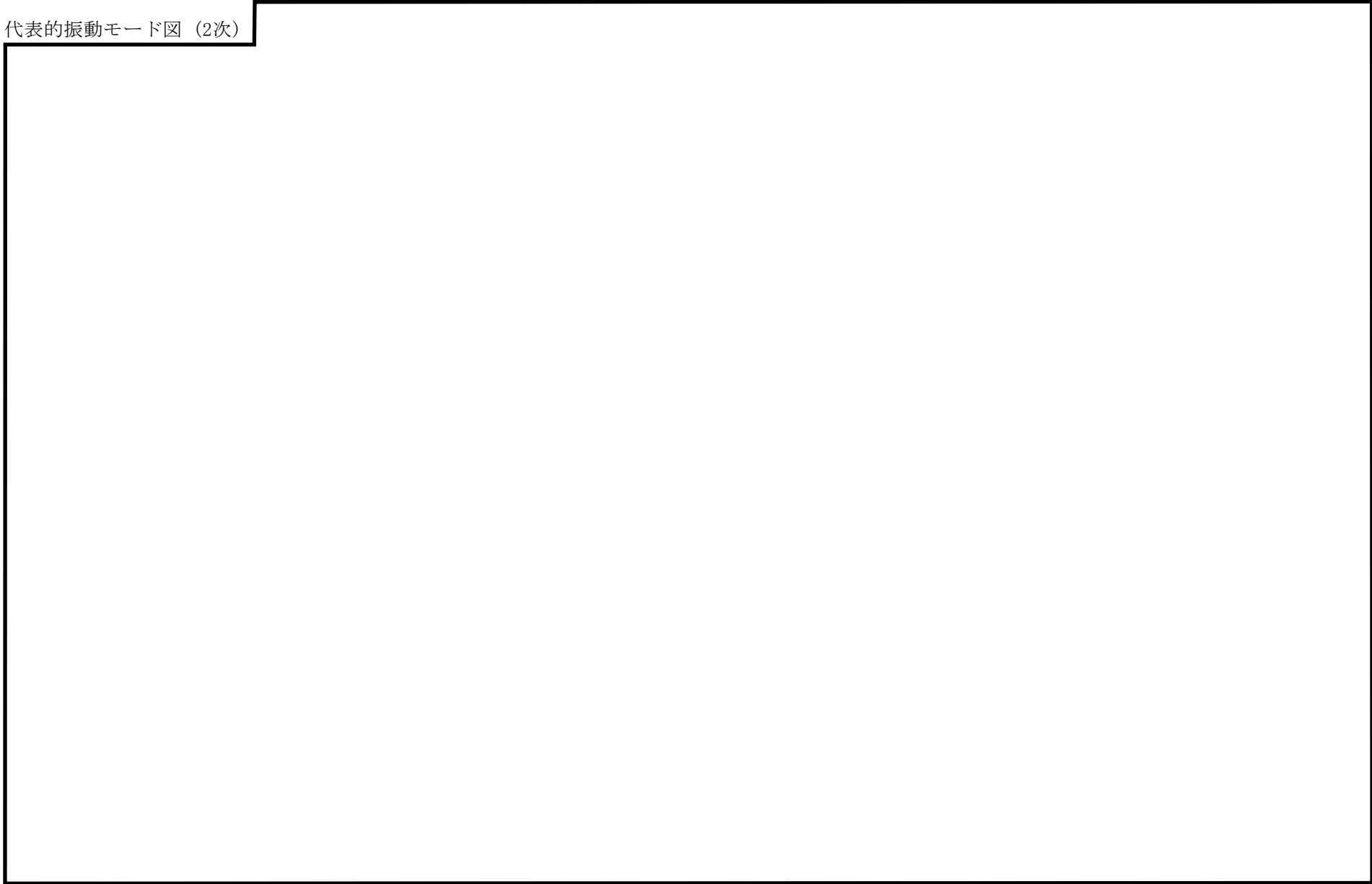
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

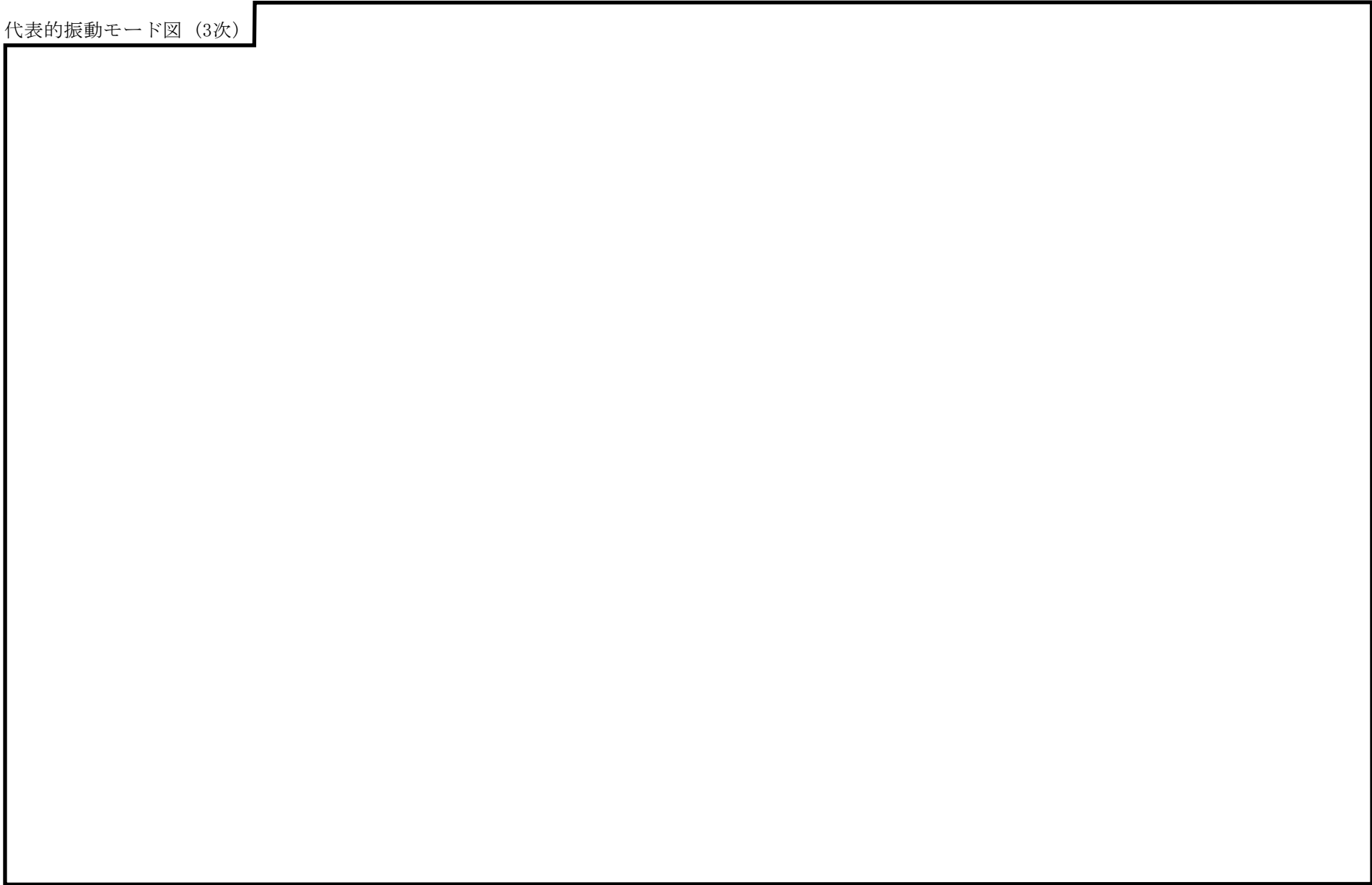
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

- *2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度
- *3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）
- *4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

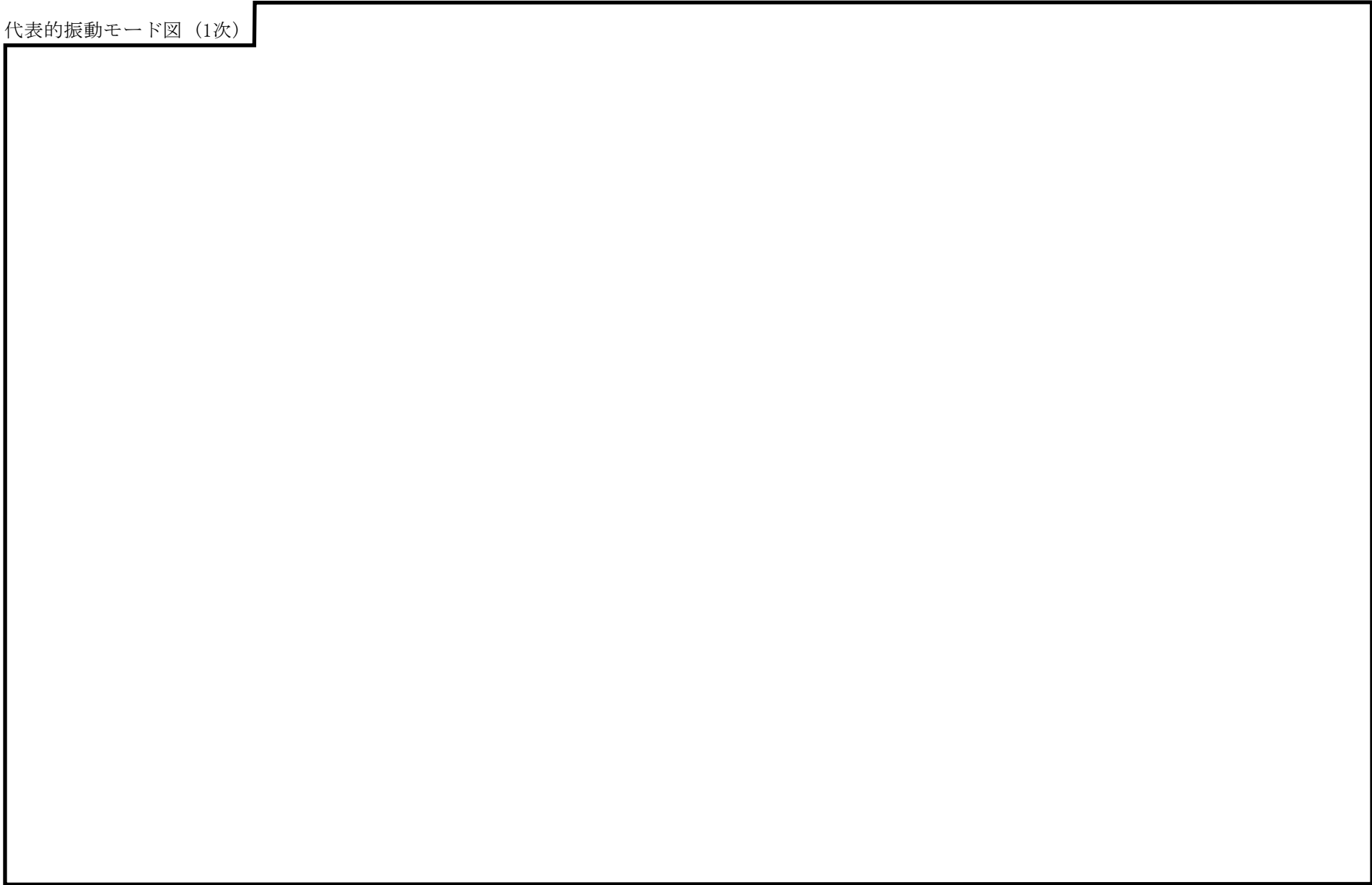
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPAC-R-4	17	132	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPAC-R-5	35	222	418	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPAC-R-4	17	133	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPAC-R-5	35	222	418	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SNO-HPAC-69	オイルスナッパ	SN-3EA			14	45	—
RE-RCIC-276	ロッドレストレイント	RTS-10			47	180	—
SH-HPAC-49	スプリングハンガ	VSA1B-9			4	4	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-HPAC-43	レストレイント	パイプバンド	STKR400	184	0	9	22	—	—	—	圧縮	9	119
AN-HPAC-45	アンカ	ラグ	SGV410	184	27	7	14	4	41	14	組合せ	54	132

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPAC-R-1	54	62	363	5.85	—	54	90	434	4.82	—	—
2	HPAC-R-2	1N	131	363	2.77	—	1N	183	434	2.37	—	—
3	HPAC-R-3	37	117	363	3.10	—	37	158	434	2.74	—	—
4	HPAC-R-4	17	132	363	2.75	○	17	181	364	2.01	—	—
5	HPAC-R-5	35	120	363	3.02	—	35	222	418	1.88	—	○
6	RCIC-R-3	156A	86	363	4.22	—	156A	102	364	3.56	—	—
7	RCIC-R-4	102	28	363	12.96	—	111	105	418	3.98	—	—
8	RHR-R-3	44	71	363	5.11	—	44	95	434	4.56	—	—
9	FW-T-8	506	57	363	6.36	—	506	52	364	7.00	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	HPAC-R-1	54	62	363	5.85	—	54	90	434	4.82	—	—
2	HPAC-R-2	1N	131	363	2.77	—	1N	183	434	2.37	—	—
3	HPAC-R-3	37	117	363	3.10	—	37	158	434	2.74	—	—
4	HPAC-R-4	17	133	363	2.72	○	17	181	364	2.01	—	—
5	HPAC-R-5	35	120	363	3.02	—	35	222	418	1.88	—	○
6	RCIC-R-3	156A	87	363	4.17	—	156A	102	364	3.56	—	—
7	RCIC-R-4	102	28	363	12.96	—	111	105	418	3.98	—	—
8	RHR-R-3	44	71	363	5.11	—	44	95	434	4.56	—	—
9	FW-T-8	506	57	363	6.36	—	506	52	364	7.00	—	—

VI-2-5-5-4 原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-4-1 原子炉隔離時冷却系ストレナの耐震性についての
計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	13
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	16
4.5 設計用地震力	17
4.6 計算方法	18
4.6.1 応力評価点	18
4.6.2 応力の計算方法	19
4.7 計算条件	25
4.8 応力の評価	25
5. 評価結果	25
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	25
6. 引用文献	26

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系ストレーナは、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ストレーナはサプレッションプール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及び取付ボルトにより据え付けられる。</p>	<p>外径 <input type="text"/> mm，長さ <input type="text"/> mm の円筒形の鋼製構造物である。</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応力評価は、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価フローを図2-1に示す。

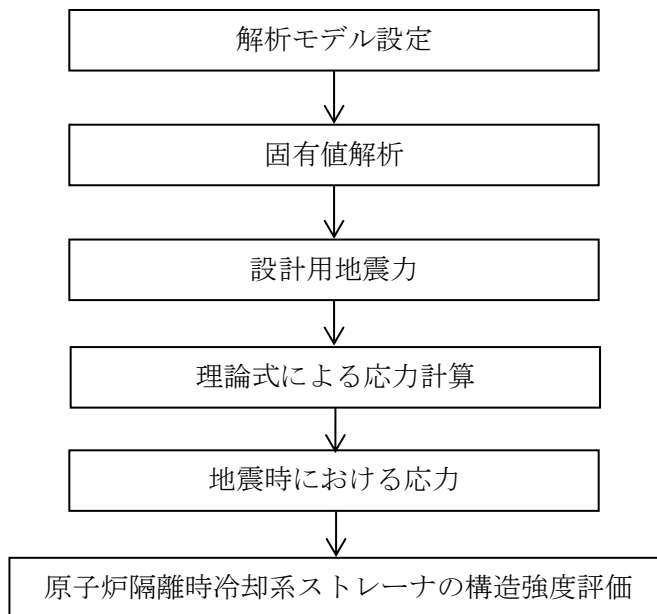


図2-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）
（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D _i	各部位の直径*	mm
d	孔径	mm
F	軸力	N
f _t	ボルトの発生応力	MPa
L	長さ	mm
ℓ	ボルトのZ軸からの距離	mm
M	モーメント	N・mm
n	ボルトの本数	—
P	孔の間隔（中心間）	mm
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	—
X	軸直角方向（水平）	—
Y	軸方向	—
Z	軸直角方向（鉛直）	—
β	形状係数	—
σ _r	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

注記*：D_iの添字iの意味は、以下のとおりとする。

i = 0：ストレーナ直径

i = 1：ボルト孔中心円直径

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位* ¹
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ²
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ⁴	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、主要部品である多孔プレート、フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況、形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に示す。

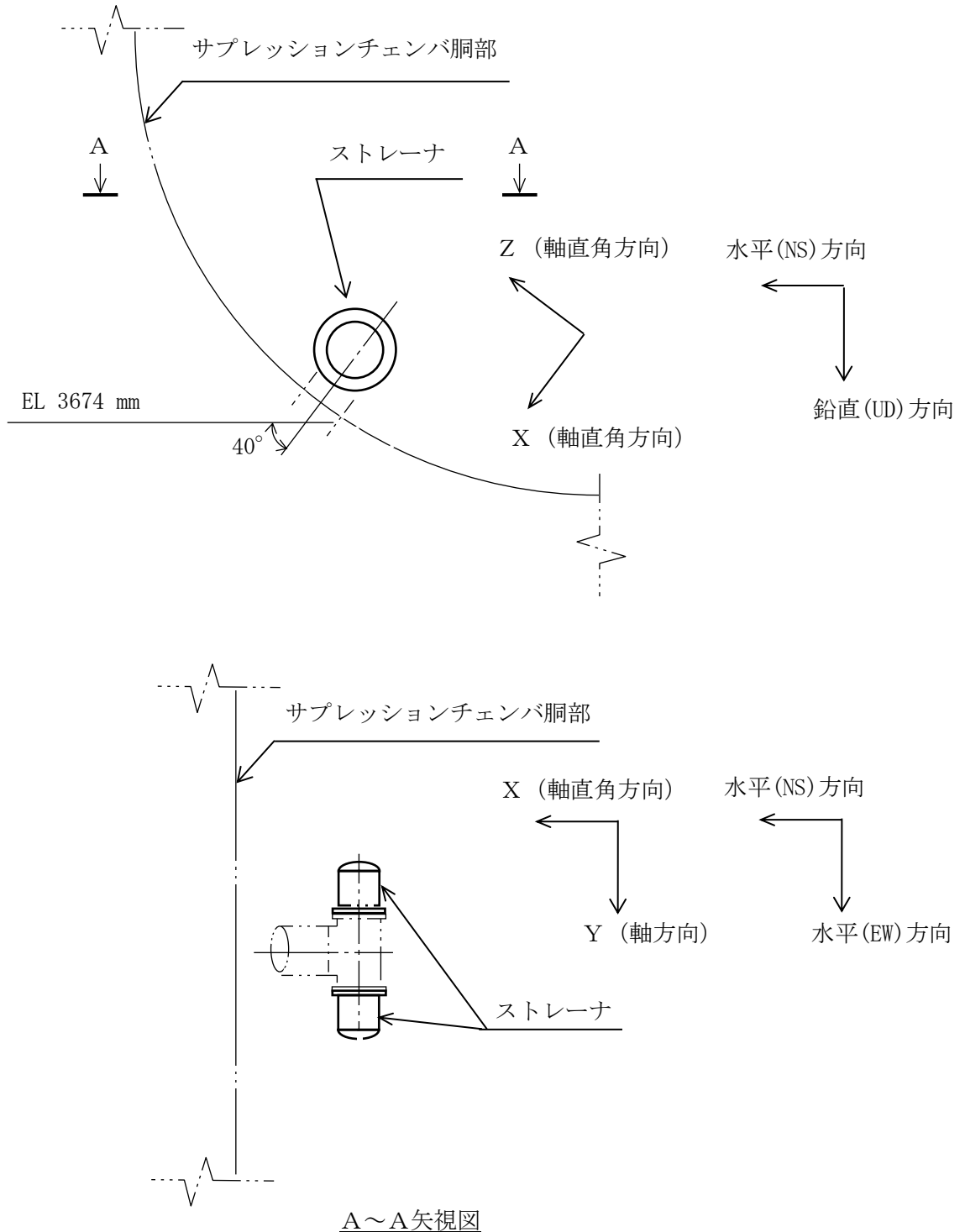
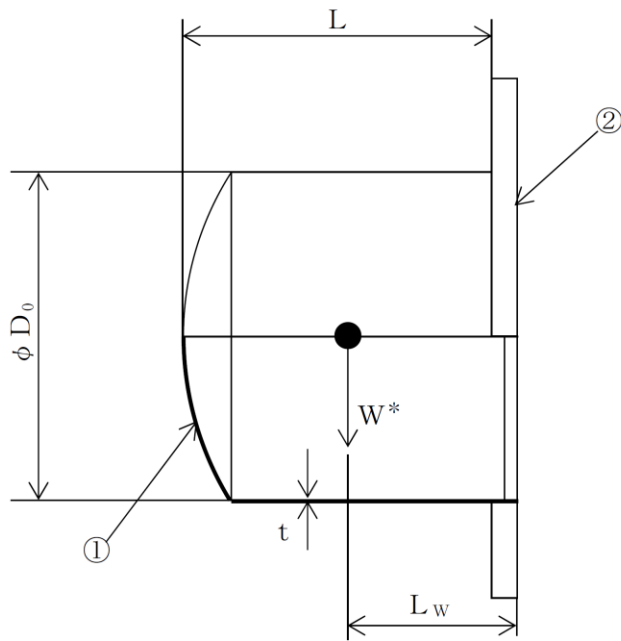
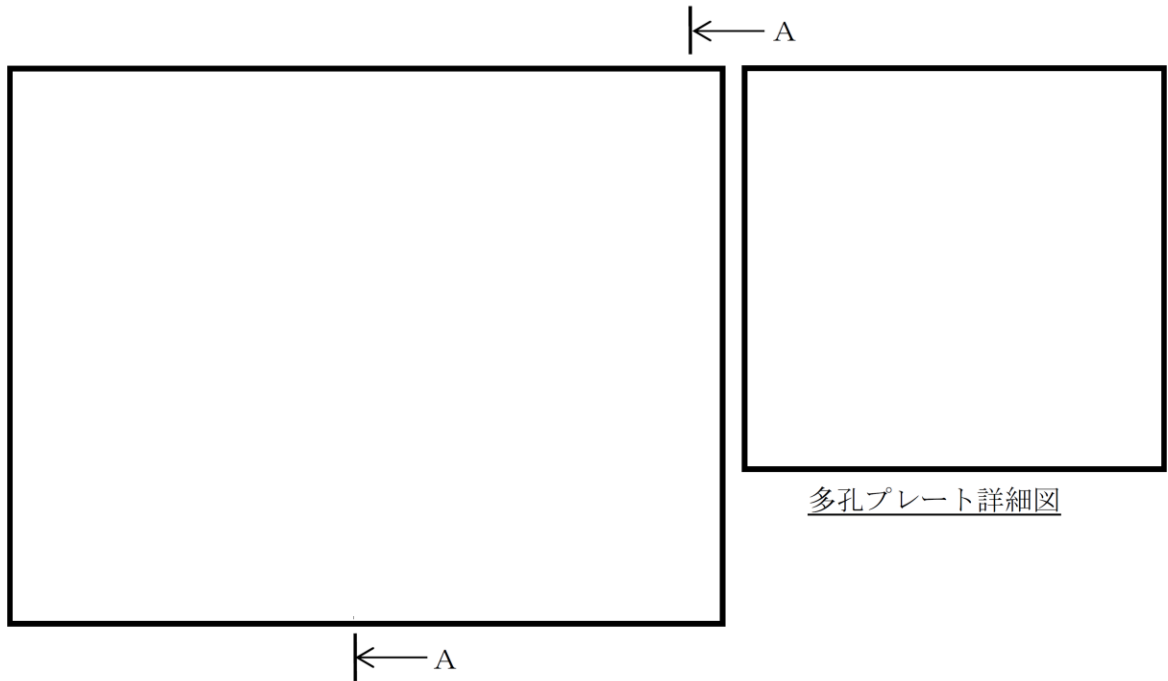


図 3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナの取付け状況



A~A矢視図

$D_0 =$ $L =$ $L_w =$ $t =$ $d =$
 $P =$

① 多孔プレート ② フランジ (厚さ mm)

注記* : W (死荷重) の作用点を示す。

(単位 : mm)

図 3-2 原子炉隔離時冷却系ストレーナの形状及び主要寸法

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 原子炉隔離時冷却系ストレーナの水平方向荷重及び鉛直方向荷重は、ティー及び原子炉格納容器貫通部を介してサブプレッションチェンバに伝達される。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの構造強度評価における固有値解析は、三次元はりモデルによる有限要素解析手法を適用する。

(2) 地震力は、原子炉隔離時冷却系ストレーナに対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させ、原子炉隔離時冷却系ストレーナに対して軸直角方向に作用する荷重については水平方向と鉛直方向地震力の二乗和平方根により算出する。また、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

(3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。また、荷重の組合せの整理表を表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 に示す。なお、評価対象は、構造又は形状の不連続性を有する部分であることから、発生する一次一般膜応力は十分小さいため、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ストレーナの許容応力評価条件について、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

多孔プレート



フランジ



ストレーナ取付部ボルト



表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s$ *2	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容 限界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表4-2 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物 荷重	差圧	SRV荷重		LOCA荷重			地震荷重		許容応力 状態
					運転時	中小 破断時	プール スウェル	蒸気 凝縮 (CO)	チャギング (CH)	Sd* 荷重	Ss 荷重	
SA*1	SA-1	運転状態V(L)*2	○	○						○		VAS*3
	SA-2	運転状態V(LL)	○	○							○	VAS*3

注記*1：重大事故等対処設備

*2：運転状態V(L)は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度104℃とした運転状態V(LL)の評価で代表される。

*3：許容応力状態VASとしてIVASの許容応力を用いる。

表4-3 許容応力（重大事故等クラス2管）

許容応力状態	許容限界* ¹		
	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力* ²
IVAS	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要。
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)			

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

注記*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表 4-4 許容応力（重大事故等クラス 2 耐圧部テンションボルト）

許容応力状態	許容限界
IVAS	2・S
VAS (VASとして、IVASの許容限界を用いる。)	

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度	104				
多孔プレート		最高使用温度	104				—
フランジ		最高使用温度	104				—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	104				—

4.2.4 設計荷重

(1) 死荷重

原子炉隔離時冷却系ストレナの自重による荷重を考慮する。なお、原子炉隔離時冷却系ストレナに付着する異物は想定しない。

原子炉隔離時冷却系ストレナの自重 $W_1 = \square$ N

内包水を含めた原子炉隔離時冷却系ストレナの自重 $W_2 = \square$ N

(2) 差圧

差圧による荷重*は、原子炉隔離時冷却系ストレナを通しての最大設計差圧より設定し、以下のとおりとする。

差圧荷重 $P_{\text{dif}} = \square$ MPa

注記*：差圧荷重は運転状態Ⅳ及びⅤの荷重の組合せ時に考慮する。

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系ストレーナの応答解析に用いる、ストレーナからサプレッションチェンバ胴部までをモデル化した三次元はりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）について説明する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナの解析モデルを図 4-1(1)に、応答解析用モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 応答解析用モデルではストレーナからサプレッションチェンバ胴部までをはり要素を用いた三次元はりモデルとしてモデル化して解析を行い、固有値を算出する。ストレーナについては、構造上十分に剛性が高いため、剛体としてモデル化する。なお、VI-2-5-6-1-4「ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書（原子炉隔離時冷却系）」では、本解析モデルにより水力学的動荷重を算出する。
- (2) ストレーナ部ティーとサプレッションチェンバ胴部は溶接構造で取り付けられている。ストレーナ部ティーの付根部はサプレッションチェンバ胴部の局部剛性を模擬し、剛性の影響の大きいサプレッションチェンバ胴部の面外方向（貫通部スリーブ軸方向及び軸直角2軸回り回転方向）のばねを設定する。ばねとサプレッションチェンバ胴部の接続部は完全拘束する。

サプレッションチェンバ胴部の面外方向ばね定数設定には、図 4-1(2)に示すような、サプレッションチェンバ胴部及び貫通部スリーブをシェル要素でモデル化した有限要素法による解析を実施する。

図 4-1(2)に示すとおり、貫通部スリーブ先端に単位荷重を負荷し、解析結果として変位又は変位角を得る。ばね定数は、入力単位荷重と解析結果の変位又は変位角の比として設定される。
- (3) 各部の質量は、各部の重心位置（図 4-1(1)の○の節点）に集中質量を与える。
- (4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため、内包水の質量及び付加質量（機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した、機器の形状により定まる仮想質量）をストレーナ質量に含める。
- (5) 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

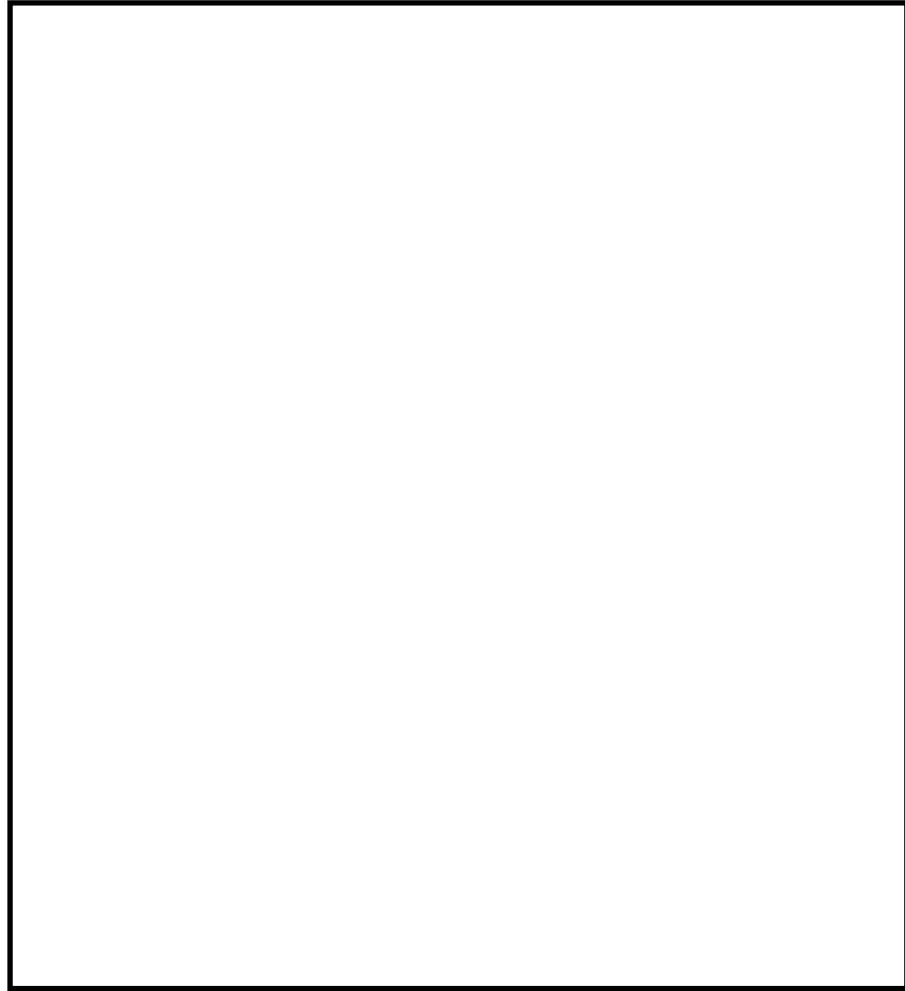


図 4-1(1) 応答解析用モデル

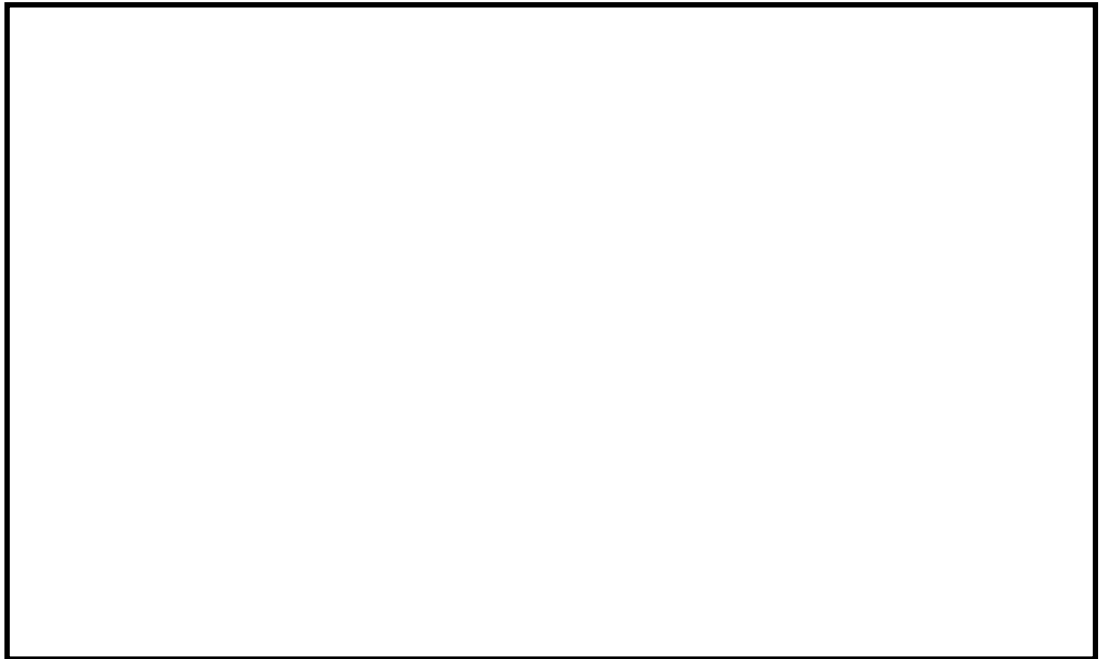


図 4-1(2) サプレッションチェンバ胴部ばね定数設定モデル

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-6，振動モード図を図 4-2 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-6 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			NS 方向	EW 方向	
1 次	軸直角方向 (水平/鉛直)	□	—	—	—

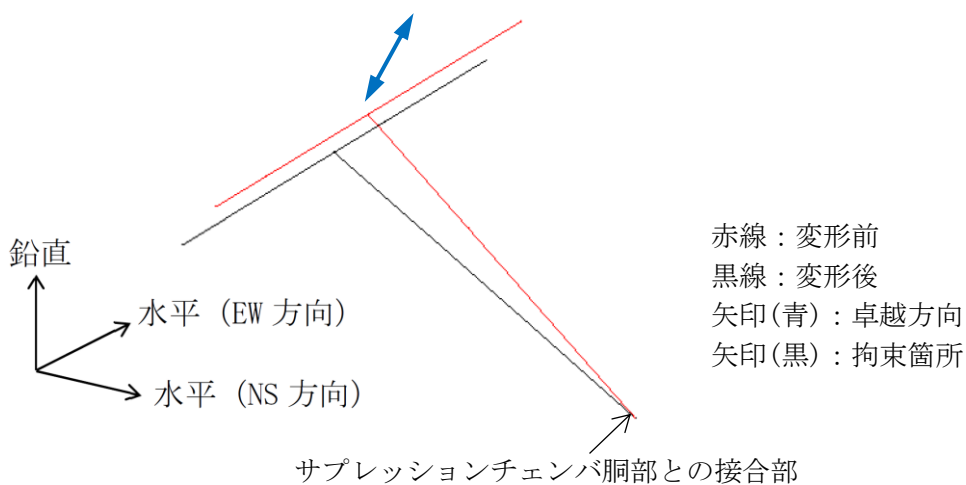


図 4-2 振動モード図 (1 次モード □ s)

4.5 設計用地震力

原子炉隔離時冷却系ストレーナの設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。なお、図 3-1 に示すように、ストレーナの軸方向には水平方向の震度、軸直角方向には水平方向及び鉛直方向の震度が作用するため、軸方向及び軸直角方向に作用する地震力を表 4-8 に示す。

表 4-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
サプレッション チェンバ EL <input type="text"/> (EL 11.400 ~ 1.300)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =6.20* (NS 方向) C _H =7.74* (EW 方向)	C _V =5.84*

注記*：設計用震度（基準地震動 S_s）を上回る震度

表 4-8 ストレーナに作用する地震力

取付け位置 EL <input type="text"/> m		
地震荷重	軸方向震度	軸直角方向震度
S _s	7.74	8.52

注：方向は図 3-1 参照。ただし、軸直角方向震度については、水平(NS)方向と鉛直方向の設計震度の二乗和平方根としている。

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

原子炉隔離時冷却系ストレーナは、フランジに円筒型の多孔プレートが取り付く構造となっている。ここでは、多孔プレートとフランジの取付部、フランジ及びボルトを応力評価点として選定し、評価を実施する。

応力評価点を表 4-9 及び図 4-3 に示す。

表 4-9 応力評価点

名称	応力評価点番号	応力評価点
多孔プレート	P1	多孔プレートとフランジの取付部
フランジ	P2	フランジ
ストレーナ取付部 ボルト	P3	ボルト

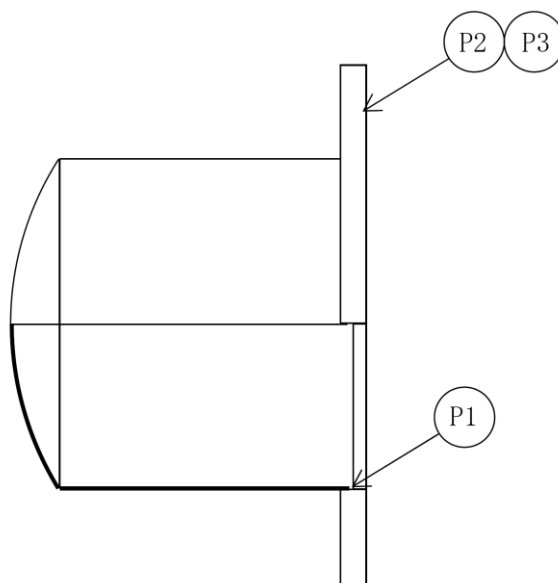


図 4-3 応力評価点

4.6.2 応力の計算方法

応力の計算方法について、以下に示す。なお、フランジ及びボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1) 多孔プレート (応力評価点 P1)

a. 差圧荷重による応力

円周方向応力

$$\sigma_t = -\frac{P_{\text{dif}} \cdot D_0}{2 \cdot t'}$$

ここに、 P_{dif} : 4.2.4(2)項に示す差圧荷重

D_0 : ストレーナ直径 = (mm)

t' : 多孔プレートの等価板厚 (設計・建設規格 PVE-3251 準用)
 $= \frac{P-d}{P} \cdot t$

P : 孔の間隔 (中心間) = (mm)

d : 孔径 = (mm)

t : 板厚 = (mm)

軸方向応力

$$\sigma_\ell = -\frac{P_{\text{dif}} \cdot D_0}{4 \cdot t'}$$

b. ストレーナに作用する荷重による応力

(a) 死荷重による荷重

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{ZX} = W_1 \cdot L_w$$

軸直角方向荷重

$$F_{ZX} = W_1$$

ここに、 W_1 : 4.2.4(1)項に示す原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重(N)

L_w : モーメントアーム = (mm)

(b) 地震荷重作用時荷重

軸方向荷重

$$F_Y = \pm C_A \cdot W_2$$

軸直角方向荷重によるモーメント

$$M_{ZX} = \pm C_R \cdot W_2 \cdot L_w$$

軸直角方向荷重

$$F_{ZX} = \pm C_R \cdot W_2$$

ここに、 C_A ：表 4-8 に示す地震荷重作用時の軸方向震度

C_R ：表 4-8 に示す地震荷重作用時の軸直角方向震度

W_2 ：4.2.4(1)項に示す内包水を含めた原子炉隔離時冷却系ストレーナの自重(N)

L_W ：モーメントアーム

(c) 各荷重による応力

軸方向荷重による応力

$$\sigma = \frac{F_Y}{A}$$

ここに、 A ：ストレーナ取付部円筒胴の断面積

$$= \frac{\pi \cdot \{D_0^2 - (D_0 - 2 \cdot t')^2\}}{4}$$

モーメントによる応力

$$\sigma_b = \frac{M_{ZX}}{Z}$$

ここに、 Z ：ストレーナ取付部円筒胴の断面係数

$$= \frac{\pi \cdot \{D_0^4 - (D_0 - 2 \cdot t')^4\}}{32 \cdot D_0}$$

軸直角方向荷重による応力

$$\tau = \frac{F_{ZX}}{A}$$

ここに、 A ：ストレーナ取付部円筒胴の断面積

(2) フランジ (応力評価点 P2)

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部のフランジは、一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで、フランジを以下のようにモデル化し、応力評価を行う。

フランジを外周 (ボルト穴中心円直径) が固定された平板と考え、表 4-10 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は、引用文献(1)より、図 4-4 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに、 σ_r : 曲げ応力 (MPa)

M_{fmax} : 表 4-10 に示すモーメント (N・mm)

a : ボルト穴中心円半径 = (mm)

b : フランジ内半径 = (mm)

t : フランジ板厚 = (mm)

β : b/a (=) から決まる計算上の係数 =

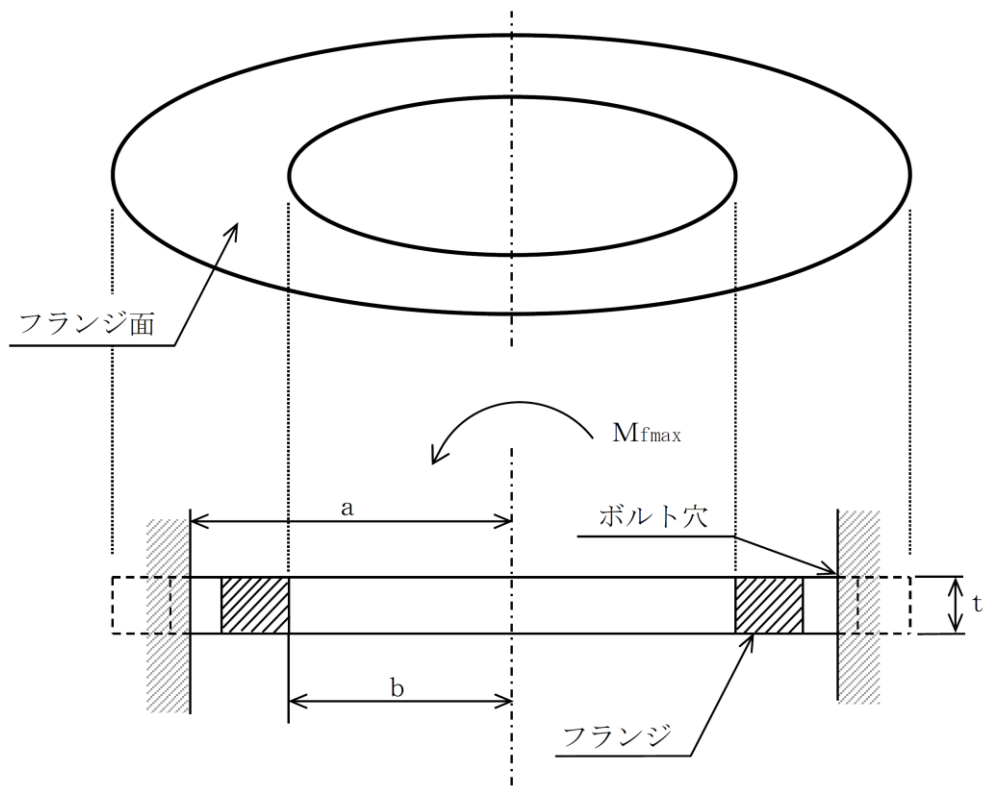


図 4-4 フランジ断面の計算モデル

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は、ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは、図 4-5 に示すように、ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり、フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから、フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため、ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4-10 に示す。

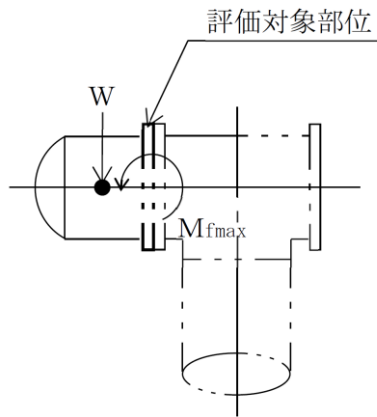


図 4-5 フランジに作用するモーメント

表 4-10 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	差圧	
3	ストレーナ S_s 地震荷重	

(3) ストレーナ取付部ボルト（応力評価点 P3）

ボルトには、表 4-10 に示すモーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより、ボルトに生じる軸力は、以下のように算出する。

図 4-6 に示すフランジの中心を通る中立軸（Z 軸）まわりのモーメントを考える。このとき、Z 軸まわりのモーメントは、各ボルトに発生する軸力とボルトの Z 軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで、軸方向荷重によって中立軸が移動するが、軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため、軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって、Z 軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_Z = \sum_{k=1}^n F_{tk} \cdot l_k$$

ここに、 M_Z ：Z 軸まわりのモーメント (N・mm)

F_{tk} ：各ボルトに発生する軸力 (N)

l_k ：任意のボルト k における Z 軸からの距離 (mm)

n：ボルトの本数 = \square

なお、ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから、フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため、ここでは評価対象としない。

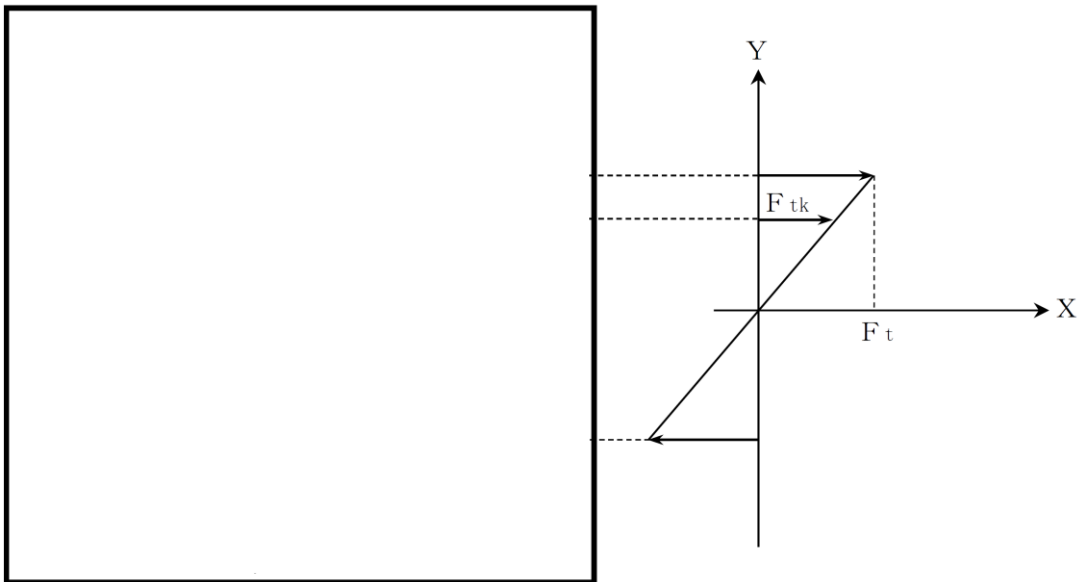


図 4-6 各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また、ボルト軸力の Z 軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり、図 4-6 に示すように、曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合、ボルトに発生する最大の軸力を F_t とすると、各ボルトに発生する軸力 F_{tk} は下記となる。

$$F_{tk} = F_t \cdot \frac{\ell_k}{D_1/2}$$

ここに、 F_t : 最大の軸力が発生するボルトの軸力 (N)

F_{tk} : 各ボルトに発生する軸力 (N)

D_1 : ボルト孔中心円直径 = (mm)

以上より、 n が偶数の場合、 Z 軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_z = \frac{2 \cdot F_t}{D_1} \cdot \sum_{k=1}^n \ell_k^2 = \frac{F_t \cdot D_1 \cdot n}{4}$$

$$\text{ただし、} \ell_k = \frac{D_1}{2} \cdot \sin\left\{\frac{2 \cdot \pi}{n} \cdot (k-1)\right\}$$

よって、表 4-10 に示すモーメントから、ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t = \frac{4 \cdot M_{f \max}}{D_1 \cdot n}$$

したがって、ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t = \frac{F_t}{A_s} + \frac{F_{axl}}{A_s \cdot n}$$

ここに、 f_t : ボルトの発生応力 (MPa)

A_s : ボルトの有効断面積 = $\frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$ (mm²)

d_b : ボルトのねじ部谷径 = (mm)

F_{axl} : 表 4-11 に示す軸方向荷重 (N)

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は、4.6.2(2)項に示すフランジに作用する最大モーメントに加え、ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため、ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。

ボルトの設計荷重を表 4-11 に示す。

表 4-11 ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	差圧	
3	ストレーナ S_s 地震荷重	

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-3～表 4-5 で定める許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお、各評価点における算出応力は表 4-2 に示す荷重の組合せのうち、許容応力状態 VAS で、発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

(1) WARREN C. YOUNG, RICHARD G. BUDYNAS

“ROARK'S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

【原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	常設/防止 (DB 拡張)	サブプレッション チェンバ EL (EL 11.400 ~ 1.300)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =6.20* (NS 方向) C _H =7.74* (EW 方向)	C _V =5.84*	104	—

注記* : 設計用震度 (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

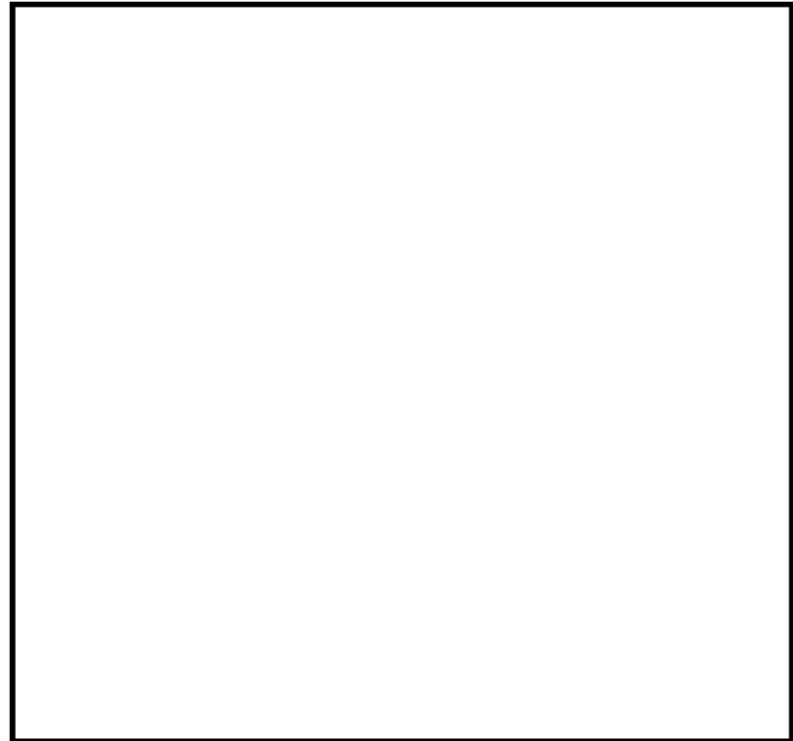
1.2 機器要目

m (kg)	L (mm)	D _o (mm)	L _w (mm)	t (mm)	d (mm)	P (mm)

(単位 : MPa)

部材	材料	S	S _y	S _u	S _y (R T)
多孔プレート					—
フランジ					—
取付ボルト					—

断面積 A (mm ²)	断面係数 Z (mm ³)



(解析モデルの諸元)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系ストレーナの材質	—	
原子炉隔離時冷却系ストレーナの質量	kg/個	
原子炉隔離時冷却系ストレーナの 内包水質量及び付加質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

項目	単位	入力値
壁面回転ばね (i 軸周り)	N・mm/rad	
壁面回転ばね (j 軸周り)	N・mm/rad	
壁面並進ばね (k 軸方向)	N/mm	

項目	断面積		断面二次モーメント	
	単位	入力値	単位	入力値
ストレーナ	剛構造として扱う			
ストレーナ部ティー	mm ²		mm ⁴	
貫通部スリーブ	mm ²		mm ⁴	

1.3 計算数値

1.3.1 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	内包水を含めた自重 (N)	差圧 (MPa)

1.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	差圧	
3	ストレーナ S s 地震荷重	

1.3.3 ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	差圧	
3	ストレーナ S s 地震荷重	

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
軸直角方向 (水平／鉛直)	□

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	V A S		
					算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	P1	多孔プレートとフランジ の取付部	□	一次膜応力 +一次曲げ応力	15	394	SA-2
	P2	フランジ		曲げ応力	3	395	SA-2
	P3	ボルト		引張応力	2	210	SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-5-5 低圧原子炉代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-5-1 低圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	5
3.1 構造強度評価方法	5
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 計算条件	5
4. 機能維持評価	10
4.1 基本方針	10
4.2 ポンプの動的機能維持評価	11
4.3 原動機の動的機能維持評価	20
5. 評価結果	32
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	32

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、低圧原子炉代替注水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

低圧原子炉代替注水ポンプは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、低圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。また、低圧原子炉代替注水ポンプは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の横形多段遠心式ポンプであり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版）（（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会 平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧原子炉代替注水ポンプの構造計画を表2-1～表2-3に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (横形多段遠心式ポンプ)</p>	<p>(平面図)</p> <p>(全体図)</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>ポンプのケーシング内のロータは軸に取り付けられ、軸は軸受に支持される。</p>	<p>ターボ形 (横形多段遠心式ポンプ)</p>	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(ポンプ構造図)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

表 2-3 構造計画 (その 3)

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>原動機の軸 (回転子) は軸受に支持され, 軸受及び固定子はモータフレームに支持される。端子箱は端子箱取付ボルトでモータフレームに固定する。</p>	<p>誘導電動機 (横形ころがり軸受電動機)</p>	<p>端子箱取付ボルト</p> <p>端子箱</p> <p>固定子</p> <p>軸 (回転子)</p> <p>軸受</p> <p>(側面図)</p>	<p>モータフレーム</p> <p>(正面図)</p>
		(原動機構造図)	
		(単位 : mm)	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

低圧原子炉代替注水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧原子炉代替注水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

低圧原子炉代替注水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧原子炉代替注水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【低圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）（1/2）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	低圧原子炉代替注水ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)
原子炉格納 施設	圧力低減設備そ の他の安全設備 原子炉格納容器 安全設備 (格納容器代替 スプレイ系)	低圧原子炉代替注水ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）（2/2）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	低圧原子炉代替注水ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
	原子炉格納容 器安全設備 (ペDESTAL 代替注水系, 低圧原子炉代 替注水系)				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		715	838	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	699	803	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		715	838	—

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

低圧原子炉代替注水ポンプ及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の横形多段遠心式ポンプ及び横形ころがり軸受電動機であり、表4-1に示すとおり機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

詳細評価に用いる応答加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

表4-1 機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段 遠心式ポンプ	水平	4.60	1.4
		鉛直	3.50	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.60	4.7
		鉛直	3.50	1.0

4.2 ポンプの動的機能維持評価

低圧原子炉代替注水ポンプは、地震後機能維持が要求される設備であるが、ポンプの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の横形ポンプの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）
- c. 基礎ボルト
- d. ポンプ取付ボルト
- e. 軸受
- f. メカニカルシール
- g. ケーシング吐出配管
- h. 軸継手

このうち「b. 摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）」については既往研究*において地震時の健全性が確認されているため評価を省略する。「c. 基礎ボルト」及び「d. ポンプ取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。「g. ケーシング吐出配管」については、ケーシング部に接続される配管側の評価に代表されることから評価を省略する。「h. 軸継手」については、駆動側・被駆動側ともに水平地震力及び運転時により発生するスラスト荷重は軸受で負担するため有意な応力が発生しないことから評価を省略する。以上より、本計算書においては、軸、軸受及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

注記*：原子力発電施設耐震信頼性実証に関する報告書 機器耐力その1（横形ポンプ、電気品）（平成14～16年度）（独立行政法人原子力安全基盤機構）

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態ⅢASに準拠し設定する。また、軸受については、メーカ規定の軸受の定格荷重（面圧）を評価基準値として設定する。メカニカルシールについては、シール回転環の変位可能寸法を評価基準値として設定する。評価基準値を表4-2に示す。

表 4-2 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
軸			MPa	298
軸受	ラジアル軸受	軸継手側	—	MPa
		反軸継手側	—	MPa
	スラスト軸受	—	N	
メカニカルシール		—	mm	

4.2.3 記号の説明

低圧原子炉代替注水ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-3 に示す。

表 4-3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _s	軸の断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _s	軸の直径	mm
E	軸の縦弾性係数	MPa
F _{b1}	軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重	N
F _{b2}	反軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重	N
F _c	地震力を考慮した軸継手の質量による荷重	N
F _f	地震力を考慮した付加部品の集中荷重	N
F _r	地震力を考慮したロータの全質量による荷重	N
F _{rt}	スラスト軸受に作用するラジアル荷重	N
F _t	スラスト軸受の静等価荷重	N
F _{tr}	地震力を考慮したロータの全質量によるスラスト荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _P	予想最大両振幅	μm
I	軸の断面二次モーメント	mm ⁴
l _b	軸受の長さ	mm
l _{bb}	軸受間の距離	mm
l _d	軸受の内径	mm
l _{m1}	軸端から評価部位までの距離 (軸継手側)	mm
l _{m2}	軸受中心から評価部位までの距離 (軸継手側)	mm
l _s	軸の長さ	mm
l _o	軸端部から軸受中心までの距離 (反軸継手側)	mm

記号	記号の説明	単位
M	軸に作用する最大曲げモーメント	N・mm
M _f	地震力を考慮した付加部品の集中荷重による最大曲げモーメント	N・mm
M _P	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
M _s	地震力を考慮した軸単体質量による最大曲げモーメント	N・mm
m _c	軸継手の質量	kg
m _f	付加部品の質量	kg
m _r	ロータの全質量	kg
m _s	軸の質量	kg
m _w	羽根車内包水の質量	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
P	原動機出力	kW
P _{b1}	地震力を考慮した軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧	MPa
P _{b2}	地震力を考慮した反軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧	MPa
Q	スラスト軸受に作用するスラスト荷重	N
Q _c	軸継手の質量によるスラスト荷重	N
Q _r	ロータの全質量によるスラスト荷重	N
w _s	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
Z _s	軸の断面係数	mm ³
Z _{sp}	軸の極断面係数	mm ³
δ	軸等分布荷重によるたわみ量及び付加部品の集中荷重によるたわみ量	mm
δ ₁	軸等分布荷重によるたわみ量	mm
δ ₂	付加部品の集中荷重によるたわみ量	mm
π	円周率 (=3.141593)	—
σ	軸に生じる組合せ応力	MPa
σ _s	軸に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
τ _P	ポンプの回転モーメントにより発生するねじり応力	MPa

4.2.4 評価方法

(1) 軸

図4-1及び図4-2に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

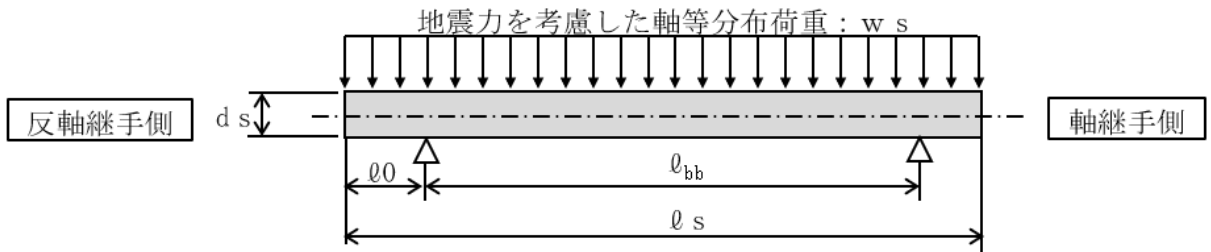


図4-1 軸の計算モデル（軸等分布荷重）

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.2.4.1)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.2.4.2)$$

軸の断面係数

$$Z_s = \frac{\pi \cdot d_s^3}{32} \dots\dots\dots (4.2.4.3)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重

$$w_s = \frac{m_s \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right)}{l_s} \dots\dots\dots (4.2.4.4)$$

地震力を考慮した軸単体質量による最大曲げモーメント

$$M_s = -\frac{w_s}{2} \cdot \left(\frac{l_s}{2} \cdot \left(\frac{l_s}{2} - l_s\right) + l_s \cdot l_0\right) \dots\dots\dots (4.2.4.5)$$

ただし、

$$l_0 \leq \frac{l_s}{2} \leq l_0 + l_{bb}$$

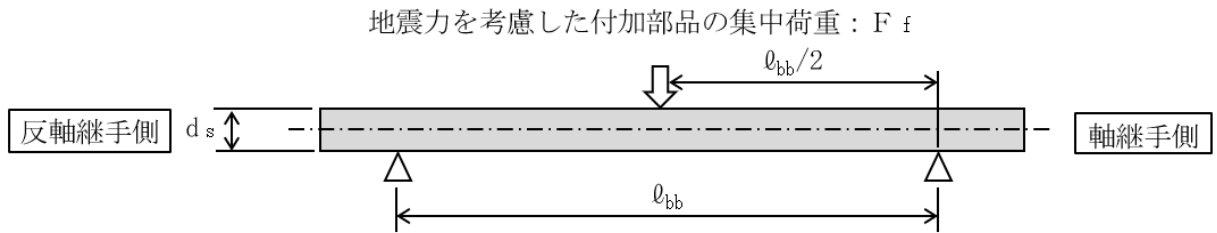


図 4-2 軸の計算モデル (付加部品による集中荷重)

地震力を考慮した付加部品の集中荷重

$$F_f = m_f \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P \right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.6)$$

地震力を考慮した付加部品の集中荷重による最大曲げモーメント

$$M_f = F_f \cdot \frac{l_{bb}}{4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

軸に作用する最大曲げモーメント

$$M = M_s + M_f \quad \dots\dots\dots (4.2.4.8)$$

地震力を考慮したロータの全質量によるスラスト荷重

$$F_{tr} = m_r \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.9)$$

軸の断面積

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot d_s^2 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

軸に生じる引張応力及び曲げ応力

$$\sigma_s = \frac{M}{Z_s} + \frac{F_{tr}}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

軸の極断面係数

$$Z_{sp} = \frac{\pi \cdot d_s^3}{16} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

ポンプの回転モーメントにより発生するねじり応力

$$\tau_P = \frac{M_P}{Z_{sP}} \dots\dots\dots (4.2.4.13)$$

軸に生じる組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_P^2} \dots\dots\dots (4.2.4.14)$$

(2) 軸受

図4-3に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重について保守的にそれぞれの軸受が受けるものとする。評価にあたりラジアル軸受に生じる面圧を求め、軸受の許容面圧以下であることを確認する。また、スラスト軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカ規定の許容値以下であることを確認する。

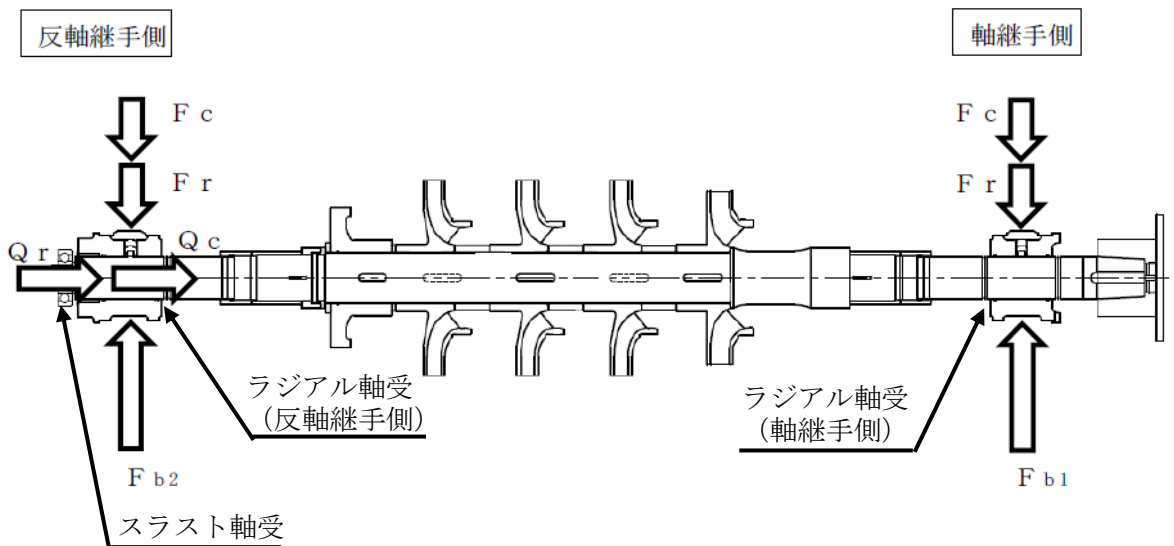


図4-3 軸受の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.2.4.15)$$

地震力を考慮したロータの全質量による荷重

$$F_r = m_r \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.2.4.16)$$

地震力を考慮した軸継手質量による荷重

$$F_c = m_c \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.17)$$

軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重

$$F_{b1} = F_r + F_c \quad \dots\dots\dots (4.2.4.18)$$

地震力を考慮した軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧

$$P_{b1} = \frac{F_{b1}}{\ell_b \cdot \ell_d} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.19)$$

反軸継手側ラジアル軸受のラジアル荷重

$$F_{b2} = F_r + F_c \quad \dots\dots\dots (4.2.4.20)$$

地震力を考慮した反軸継手側ラジアル軸受の軸受面圧

$$P_{b2} = \frac{F_{b2}}{\ell_b \cdot \ell_d} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.21)$$

ロータの全質量によるスラスト荷重

$$Q_r = m_r \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.22)$$

軸継手の質量によるスラスト荷重

$$Q_c = m_c \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.23)$$

スラスト軸受に作用するスラスト荷重

$$Q = Q_r + Q_c \quad \dots\dots\dots (4.2.4.24)$$

スラスト軸受の静等価荷重

$$F_t = \text{Max} (0.6 \cdot F_{rt} + 0.5 \cdot Q, F_{rt}) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.25)$$

ラジアル荷重 F_{rt} はラジアル軸受で負荷するため、スラスト軸受の評価においては考慮しない。 ($F_{rt} = 0$)

(3) メカニカルシール

図4-4及び図4-5に示す計算モデルにて、軸に生じる変位量を求め、メカニカルシール回転環の変位可能量以下であることを確認する。

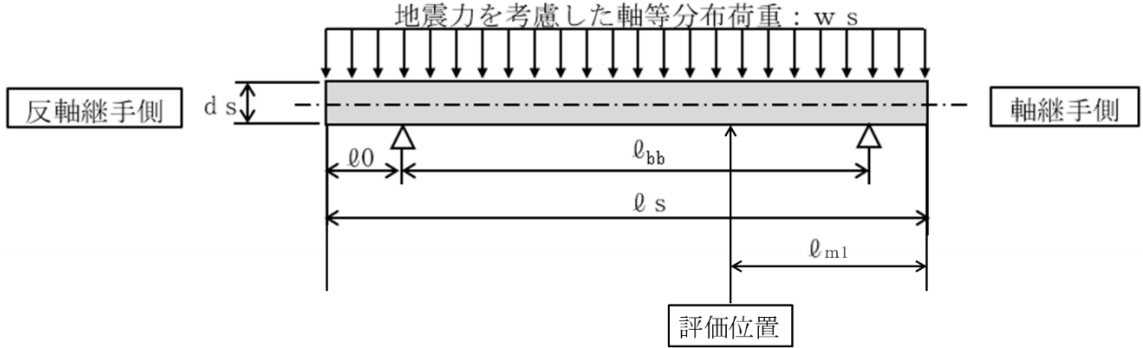


図4-4 メカニカルシールの計算モデル（軸等分布荷重）

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.2.4.26)$$

軸の断面二次モーメント

$$I = \frac{\pi \cdot d_s^4}{64} \dots\dots\dots (4.2.4.27)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重

$$w_s = \frac{m_s \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right)}{l_s} \dots\dots\dots (4.2.4.28)$$

軸等分布荷重によるたわみ量

$$\delta_1 = \frac{w_s \cdot l_s^4}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot l_0}{l_s}\right) \times \frac{l_{m1}}{l_s} + \frac{6 \cdot l_0 \cdot l_{m1}^2}{l_s^3} - \frac{2 \cdot l_{m1}^3}{l_s^3} + \frac{(l_{m1}^4 - l_0^4)}{l_s^4} - \frac{4 \times l_0^3}{l_s^3} + \frac{6 \times l_0^2}{l_s^2} - \frac{l_0}{l_s} \dots\dots\dots (4.2.4.29)$$

ただし、

$$l_0 \leq \frac{l_{m1}}{2} \leq l_0 + l_{bb}$$

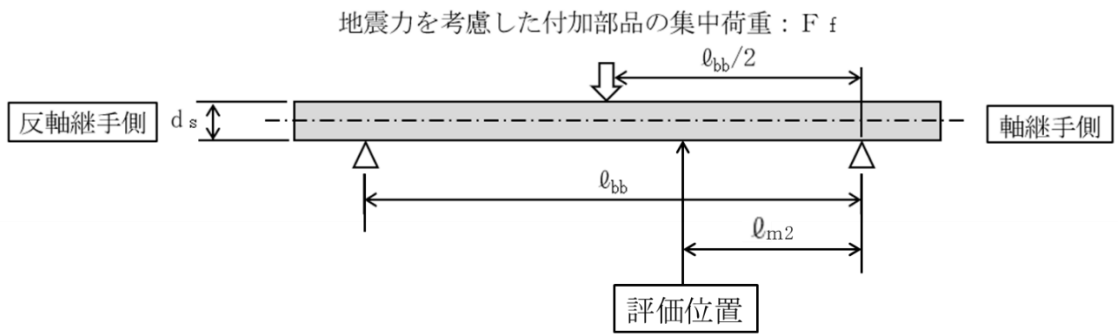


図 4-5 メカニカルシールの計算モデル（付加部品による集中荷重）

地震力を考慮した付加部品の集中荷重

$$F_f = m_f \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P \right) \dots\dots\dots (4.2.4.30)$$

付加部品の集中荷重によるたわみ量

$$\delta_2 = \frac{F_f \cdot l_{bb}^3}{48 \cdot E \cdot I} \cdot \left(\frac{3 \cdot l_{m2}}{l_{bb}} - \frac{4 \cdot l_{m2}^3}{l_{bb}^3} \right) \dots\dots\dots (4.2.4.31)$$

軸等分布荷重によるたわみ量及び付加部品の集中荷重によるたわみ量

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 \dots\dots\dots (4.2.4.32)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

低圧原子炉代替注水ポンプ用原動機は、地震後機能維持が要求される設備であるが、原動機の動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 固定子
- b. 軸（回転子）
- c. 端子箱
- d. 軸受
- e. 固定子と回転子間のクリアランス
- f. モータフレーム
- g. 基礎ボルト
- h. 原動機取付ボルト
- i. 冷却ファン，クーラユニット

このうち「g. 基礎ボルト」及び「h. 原動機取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。「i. 冷却ファン，クーラユニット」については、冷却ファンは遠心直動式ファンであり、インペラ・ケーシング間の接触が回転機能の喪失に関わるが、原動機においては、同じ軸上に取り付けられている固定子と回転子のクリアランスの方が許容可能変位の観点より厳しいことから、当該クリアランスで回転機能維持の評価を代表するため、冷却ファンの評価を省略する。

以上より、本計算書においては、固定子，軸（回転子），端子箱，軸受，固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

端子箱及びモータフレームの許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。固定子及び軸（回転子）の許容応力は、クラス2支持構造物の許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定する。また、軸受については、メーカ規定の軸受の定格荷重を、固定子と回転子間のクリアランスは、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値を表4-4に示す。

表4-4 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子			MPa	
軸（回転子）			MPa	248
端子箱	引張		MPa	
	せん断		MPa	
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム			MPa	

4.3.3 記号の説明

低圧原子炉代替注水ポンプ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-5に示す。

表4-5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _k	キーの断面積	mm ²
A _{m f}	モータフレームの断面積	mm ²
A _{m s}	軸の断面積	mm ²
A _t	端子箱取付ボルトの断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _{m s}	軸の直径	mm
d _t	端子箱取付ボルトの呼び径	mm
E _{m s}	軸の縦弾性係数	MPa
F ₁	回転子質量による荷重	N
F ₂	軸継手質量による荷重	N
F _{B1}	軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F _{B1} '	軸継手側軸受の静等価荷重	N
F _{B2}	反軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F _{B2} '	反軸継手側軸受の静等価荷重	N
F _H	水平方向に発生する荷重	N
F _K	キーに発生する荷重の合計	N
F _M	原動機回転によりキーに発生する荷重	N
F _{m s}	軸（回転子）質量によるラジアル荷重	N
F _t	端子箱取付ボルト1本当たりの引張力（軸方向）	N
F _t	端子箱取付ボルト1本当たりの引張力（軸直角方向）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H _P	予想最大両振幅	μm
h _m	原動機取付面から重心までの距離	mm
h _t	端子箱取付面から重心までの距離	mm
I _{m s}	軸（回転子）の断面二次モーメント	mm ⁴
L ₁	重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
L ₂	端子箱取付ボルト間の距離	mm
L _B	軸受間の距離	mm
ℓ _{m s 1}	反軸継手側軸受から軸受間距離の1/2までの距離	mm
ℓ _{m s 2}	軸継手側軸受から軸受間距離の1/2までの距離	mm
MM	原動機回転により作用するモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
MP	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
m	原動機の質量（軸継手含む）	kg
m _a	回転子コア・アーム等の質量	kg
m _{c p}	軸継手の質量	kg
m _j	軸の質量	kg
m _k	固定子の質量	kg
m _{m r}	回転子の質量	kg
m _t	端子箱の質量	kg
N	回転数（原動機の同期回転数）	rpm
n _t	端子箱取付ボルトの本数	—
n _{t f}	引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
P	原動機出力	kW
Q _B	スラスト荷重	N
Q _{m s}	軸（回転子）質量によるスラスト荷重	N
Q _t	端子箱取付ボルトのせん断力	N
R	固定子の半径	mm
T _{m a}	原動機最大トルク（定格トルクに対する割合）	%
y	軸（回転子）の変位量	mm
Z _{m f}	モータフレームの断面係数	mm ³
Z _{m s}	軸の断面係数	mm ³
Z _{m s p}	軸の極断面係数	mm ³
π	円周率（=3.141593）	—
σ _{m f}	モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力	MPa
σ _{m f 1}	水平方向の荷重による曲げ応力（圧縮）	MPa
σ _{m f 2}	自重及び鉛直方向の荷重による圧縮応力	MPa
σ _{m f 3}	原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力	MPa
σ _{m s}	軸（回転子）に生じる組合せ応力	MPa
σ _{m s 1}	軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
σ _t	端子箱取付ボルトに発生する引張応力	MPa
τ _k	キーに発生するせん断応力	MPa
τ _{m f 1}	水平方向の荷重によるせん断応力	MPa
τ _{m m s}	原動機の回転モーメントにより発生するねじり応力	MPa
τ _t	端子箱取付ボルトに発生するせん断応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

図4-6に示す計算モデルにて、キーに生じるせん断力を算出し、キーに生じるせん断応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

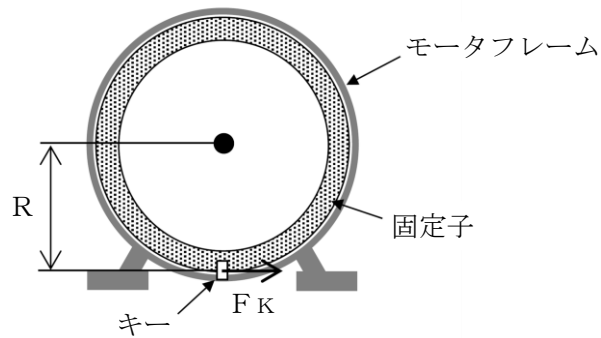


図4-6 固定子の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.1)$$

原動機回転により作用するモーメント

$$M_M = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \cdot \frac{T_{ma}}{100} \dots\dots\dots (4.3.4.2)$$

原動機回転によりキーに発生する荷重

$$F_M = \frac{M_M}{R} \dots\dots\dots (4.3.4.3)$$

水平方向に発生する荷重

$$F_H = m_k \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.4)$$

キーに発生する荷重の合計

$$F_K = F_M + F_H \dots\dots\dots (4.3.4.5)$$

キーに発生するせん断応力

$$\tau_k = \frac{F_K}{A_k} \dots\dots\dots (4.3.4.6)$$

(2) 軸（回転子）

図4-7に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸（回転子）に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

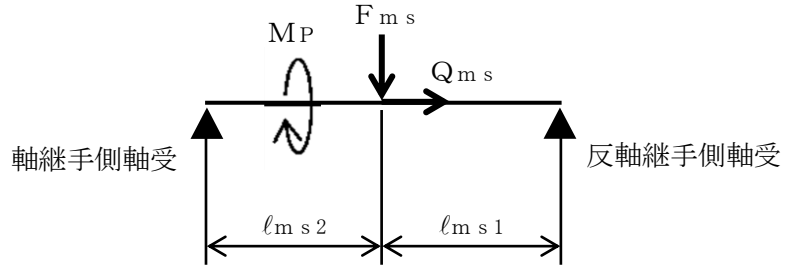


図4-7 軸（回転子）の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.7)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.8)$$

軸の断面係数

$$Z_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{32} \dots\dots\dots (4.3.4.9)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.3.4.10)$$

軸（回転子）質量によるスラスト荷重

$$Q_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.11)$$

軸の極断面係数

$$Z_{msp} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{16} \dots\dots\dots (4.3.4.12)$$

原動機の回転モーメントにより発生するねじり応力

$$\tau_{mms} = \frac{MP}{Z_{m s p}} \dots\dots\dots (4.3.4.13)$$

軸の断面積

$$A_{ms} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ms}^2 \dots\dots\dots (4.3.4.14)$$

軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力

$$\sigma_{ms1} = \frac{l_{ms1} \cdot l_{ms2}}{Z_{ms} \cdot (l_{ms1} + l_{ms2})} \cdot F_{ms} + \frac{Q_{ms}}{A_{ms}} \dots\dots\dots (4.3.4.15)$$

軸（回転子）に生じる組合せ応力

$$\sigma_{ms} = \sqrt{\sigma_{ms1}^2 + 3 \cdot \tau_{mms}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.16)$$

(3) 端子箱

図4-8に示す計算モデルにて、端子箱取付ボルトに生じる荷重を算出し、端子箱取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

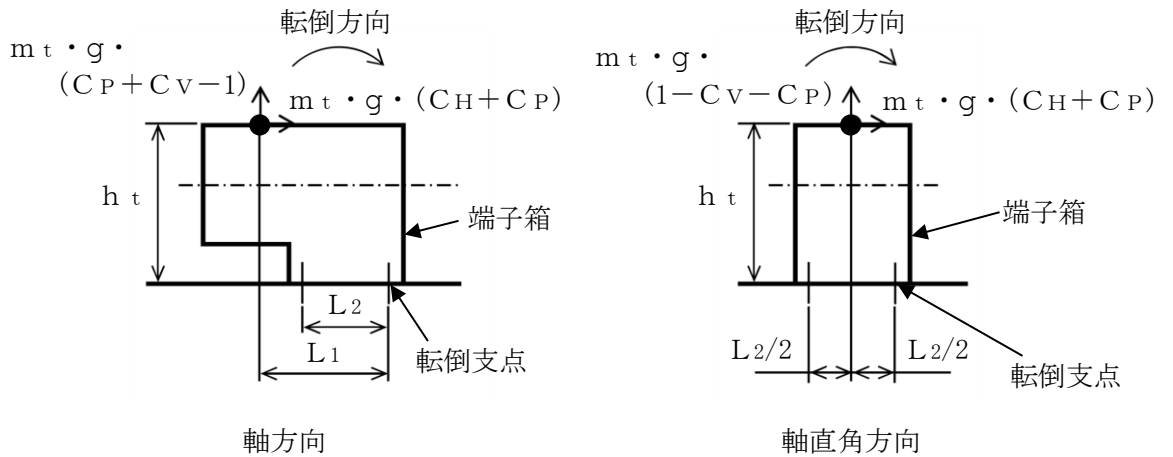


図4-8 端子箱の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.17)$$

端子箱取付ボルトの断面積

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2 \quad \dots\dots\dots (4.3.4.18)$$

端子箱取付ボルト1本当たりの引張力

軸方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t + m_t \cdot g \cdot (C_P + C_V - 1) \cdot L_1}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.19)$$

軸直角方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t - m_t \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \cdot \frac{L_2}{2}}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.20)$$

端子箱取付ボルトに発生する引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.21)$$

端子箱取付ボルトのせん断力

$$Q_t = m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.22)$$

端子箱取付ボルトに発生するせん断応力

$$\tau_t = \frac{Q_t}{n_t \cdot A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.23)$$

(4) 軸受

図4-9に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重について保守的にそれぞれの軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

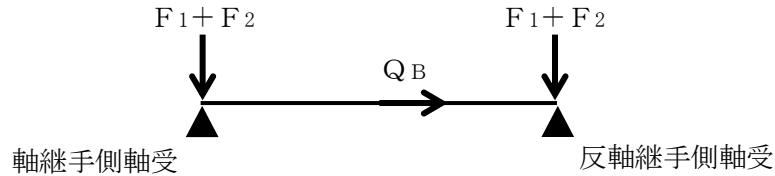


図4-9 軸受の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.24)$$

回転子質量による荷重

$$F_1 = m_{mr} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.25)$$

軸継手質量による荷重

$$F_2 = m_{cp} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.26)$$

軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B1} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.27)$$

反軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B2} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.28)$$

スラスト荷重

$$Q_B = (m_{mr} + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.29)$$

軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B1}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B1} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B1}) \dots\dots\dots (4.3.4.30)$$

反軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B2}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B2} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B2}) \dots\dots\dots (4.3.4.31)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

図4-10に示す計算モデルにて、軸（回転子）に生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

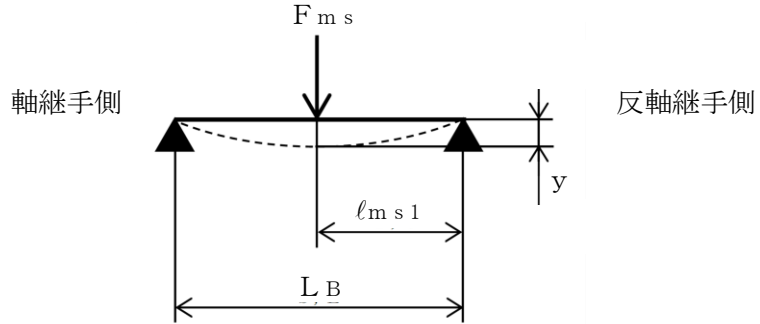


図4-10 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.32)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{CH^2 + (CV+1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.33)$$

軸（回転子）の断面二次モーメント

$$I_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^4}{64} \dots\dots\dots (4.3.4.34)$$

軸（回転子）の変位量

$$y = \frac{F_{ms} \cdot \ell_{ms1} \cdot (L_B^2 - \ell_{ms1}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E_{ms} \cdot I_{ms} \cdot L_B} \dots\dots\dots (4.3.4.35)$$

(6) モータフレーム

図4-11に示す計算モデルにて、モータフレーム（脚部）に生じる応力を算出し、モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。なお、モータフレーム（脚部）の評価は、構造上厳しくなる軸直角方向について評価を実施する。

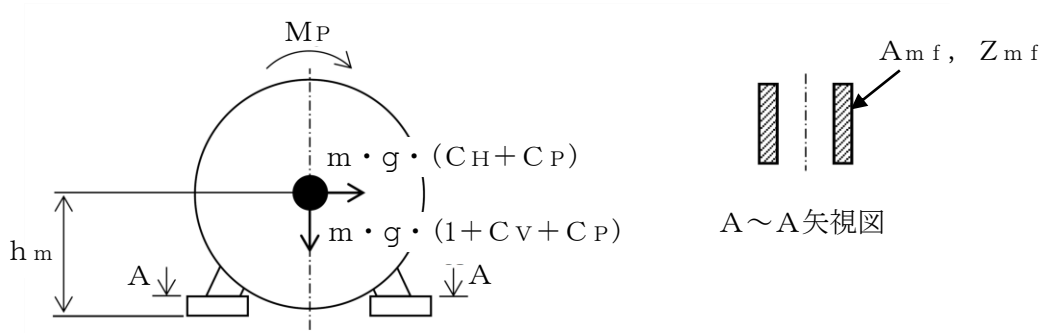


図4-11 モータフレームの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.36)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.37)$$

水平方向の荷重によるせん断応力

$$\tau_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.38)$$

水平方向の荷重による曲げ応力（圧縮）

$$\sigma_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_m}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.39)$$

自重及び鉛直方向の荷重による圧縮応力

$$\sigma_{mf2} = \frac{m \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.40)$$

ポンプ回転により作用するモーメントによる圧縮応力

$$\sigma_{mf3} = \frac{MP}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.41)$$

モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力

$$\sigma_{mf} = \sqrt{(\sigma_{mf1} + \sigma_{mf2} + \sigma_{mf3})^2 + 3 \cdot \tau_{mf1}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.42)$$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

低圧原子炉代替注水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【低圧原子炉代替注水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
低圧原子炉代替注水ポンプ	常設耐震/防止 常設/緩和	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 0.7*1	—*2	—*2	—	—	C _H =5.50*3	C _V =4.10*3	C _P =0.11	66	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)					—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (ポンプ) (rpm)	N (原動機) (rpm)

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=142$	$f_{ts1}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=65$	$f_{sb1}=338$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=68$	$f_{ts2}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=40$	$f_{sb2}=324$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=58$	$f_{ts3}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=32$	$f_{sb3}=338$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$
 すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
低圧原子炉代替注水ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	230	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 0.7*1	—*2	—*2	C _H =4.60*3	C _V =3.50*3	C _P =0.11	66	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
低圧原子炉代替注水 ポンプ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	210	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 0.7*1	—*2	—*2	C _H =4.60*3	C _V =3.50*3	C _P =0.11	140	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

1.2.2.1 横形多段遠心式ポンプの機器要目

(1) 軸

部材	m _r (kg)	m _s (kg)	m _c (kg)	m _w (kg)	m _f (kg)	d _s (mm)	ℓ _s (mm)	ℓ _{b b} (mm)	ℓ _o (mm)	N (rpm)	P (kW)
軸											210

(2) 軸受

部材	m _r (kg)	m _c (kg)	ℓ _b (mm)	ℓ _d (mm)	N (rpm)
軸受					

(3) メカニカルシール

部材	m_r (kg)	m_s (kg)	m_c (kg)	m_w (kg)	m_f (kg)	d_s (mm)	ℓ_s (mm)	ℓ_{bb} (mm)	ℓ_0 (mm)	ℓ_{m1} (mm)	ℓ_{m2} (mm)	N (rpm)	E (MPa)
メカニカルシール													

1.2.2.2 横形ころがり軸受電動機の機器要目

(1) 固定子

部材	A_k (mm ²)	m_k (kg)	N (rpm)	R (mm)	T_{ma} (%)	P (kW)
固定子						210

(2) 軸 (回転子)

部材	D_{ms} (mm)	ℓ_{ms1} (mm)	ℓ_{ms2} (mm)	m_a (kg)	m_{cp} (kg)	m_j (kg)	N (rpm)	Z_{ms} (mm ²)	P (kW)
軸 (回転子)									210

(3) 端子箱

部材	A_t (mm ²)	h_t (mm)	L_1 (mm)	L_2^* (mm)	m_t (kg)	n_t	n_{tf}
端子箱							

注記* : 端子箱の機器要目における上段は軸直角方向に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向に対する評価時の要目を示す。

(4) 軸受

部材	m_{cp} (kg)	m_{mr} (kg)
軸受		

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	D_{ms} (mm)	E_{ms} (MPa)	L_B (mm)	ℓ_{ms1} (mm)
固定子と回転子間のクリアランス				

(6) モータフレーム

部材	A_{mf} (mm^2)	h_m (mm)	m (kg)	Z_{mf} (mm^3)
モータフレーム				

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	4.60	1.4
	鉛直方向	3.50	1.0
原動機	水平方向	4.60	4.7
	鉛直方向	3.50	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.2 横形多段遠心式ポンプの動的機能維持評価で評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価で評価する。

37

1.2.3.2 横形多段遠心式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト及びポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸	69	298

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出面圧	許容面圧
ラジアル軸受（軸継手側）	1.71	
ラジアル軸受（反軸継手側）	1.71	

すべて許容面圧以下である。

(単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
スラスト軸受	5.172×10^3	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.3 メカニカルシールの評価 (単位: mm)

評価部位	変位量	許容変位量
メカニカルシール	0.91	

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	40	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸(回転子)の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸(回転子)	71	248

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位: MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
端子箱	引張	23	
	せん断	5	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位: N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側	2.959×10^4	
反軸継手側	2.959×10^4	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.45	

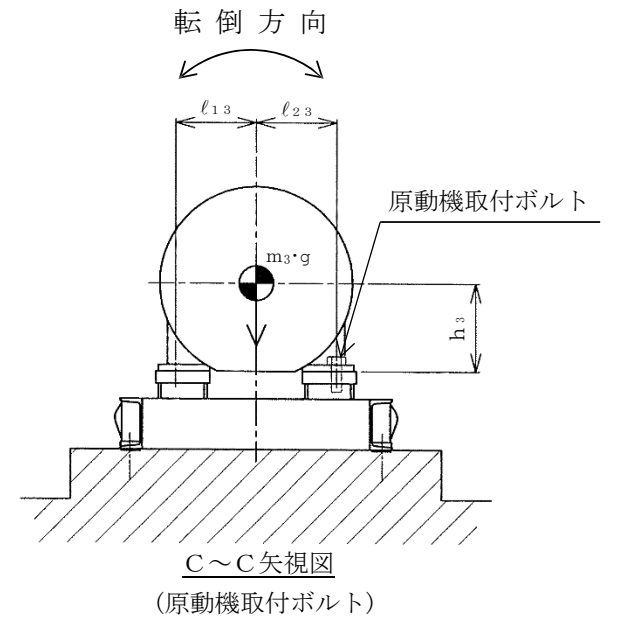
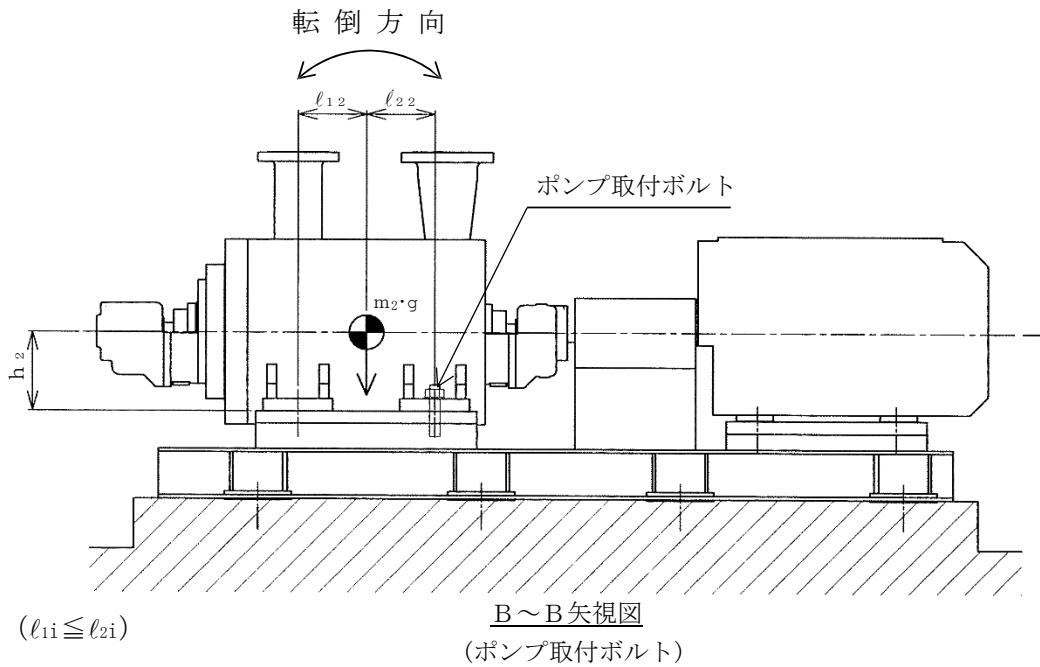
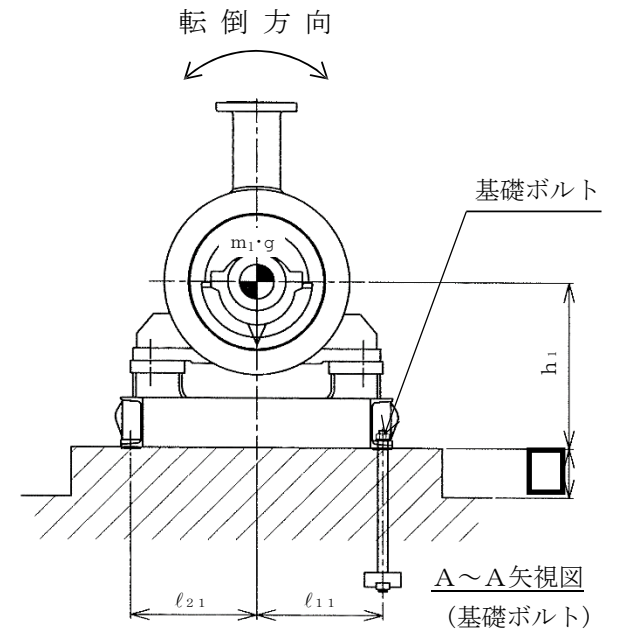
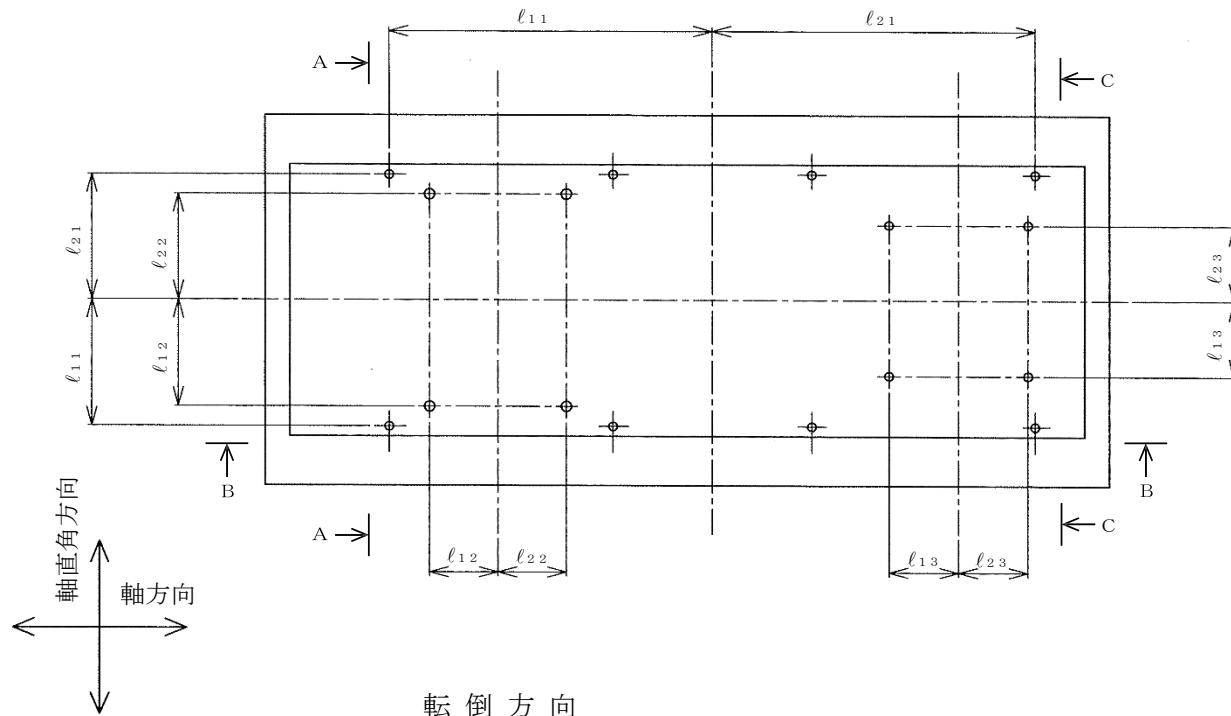
すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
モータフレーム	15	

すべて許容応力以下である。

S2 補 VI-2-5-5-5-1 R1E



VI-2-5-5-5-2 管の耐震性についての計算書
(低圧原子炉代替注水系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	30
4.2.1 管の応力評価結果	30
4.2.2 支持構造物評価結果	31
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	32
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	33

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、低圧原子炉代替注水系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全10モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

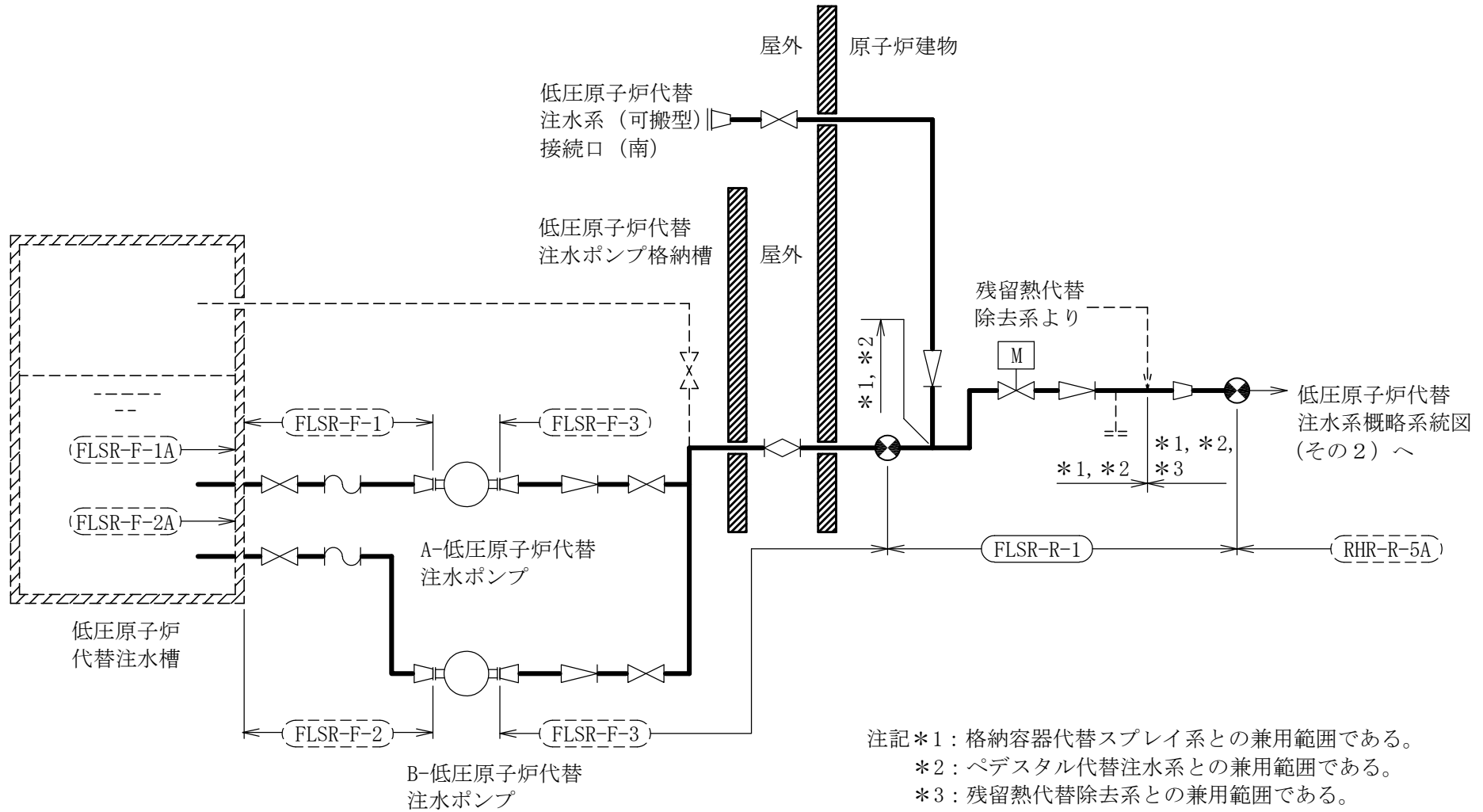
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

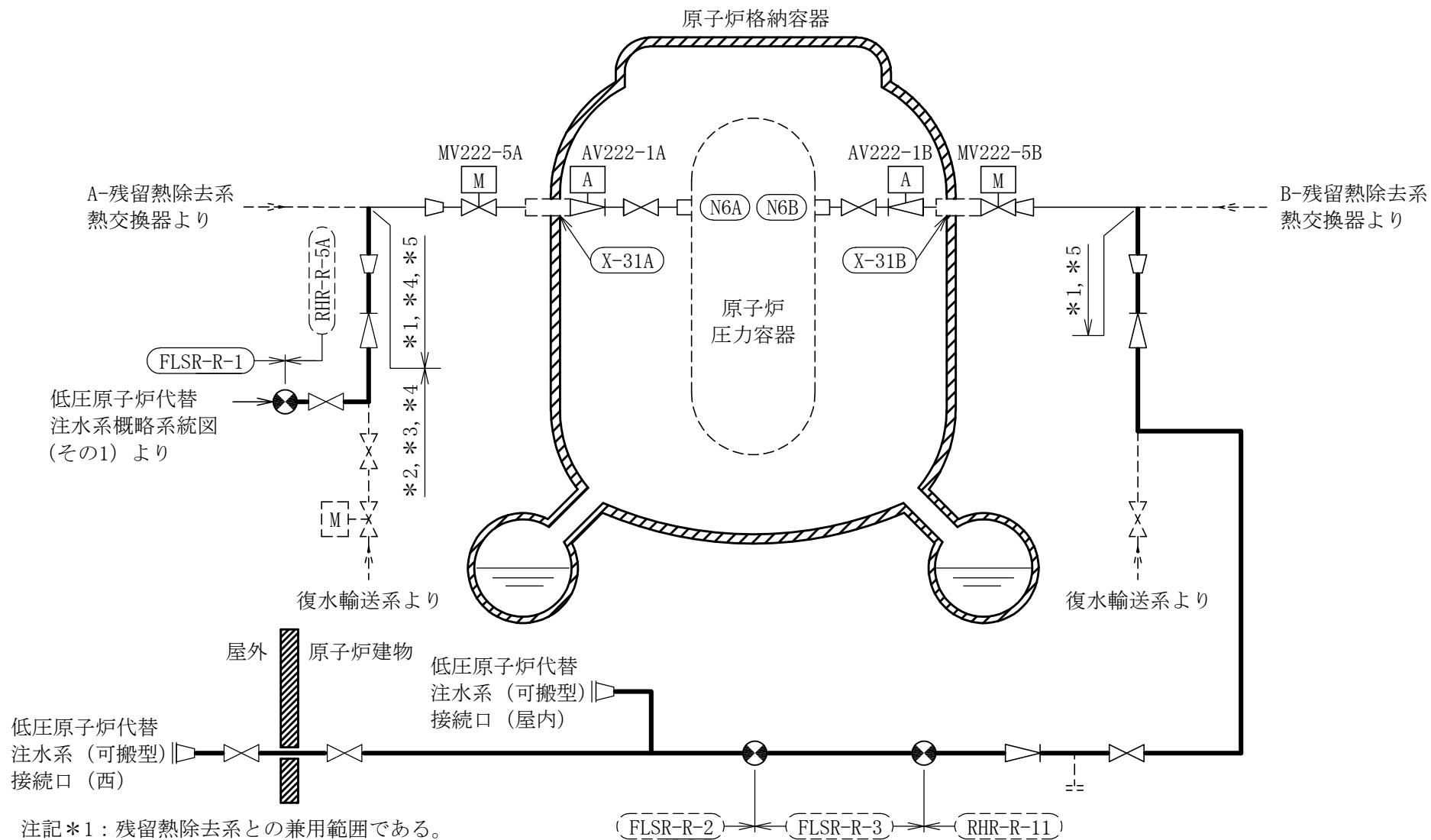
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



[注] 太線範囲の管クラス：SA2

低圧原子炉代替注水系概略系統図 (その1)





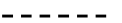


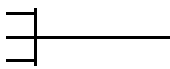
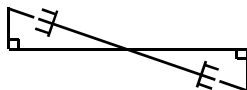
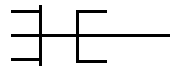
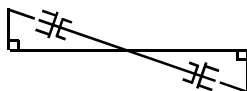

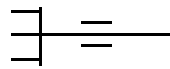
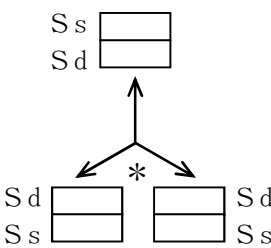
- 注記*1：残留熱除去系との兼用範囲である。
 *2：格納容器代替スプレイ系との兼用範囲である。
 *3：ペDESTAL代替注水系との兼用範囲である。
 *4：残留熱代替除去系との兼用範囲である。
 *5：計算結果は残留熱除去系に含めて示す。

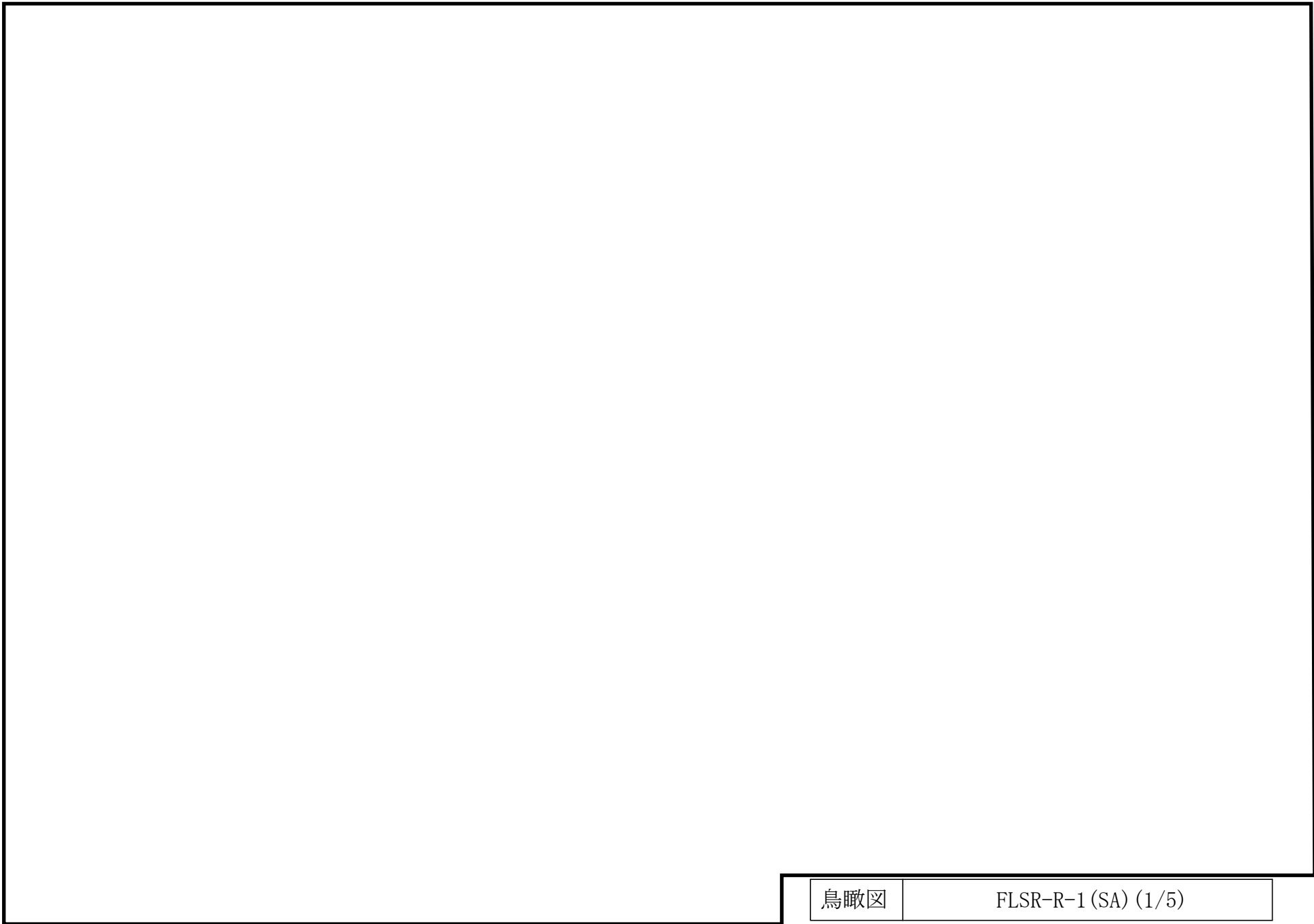
[注] 太線範囲の管クラス：SA2

低圧原子炉代替注水系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

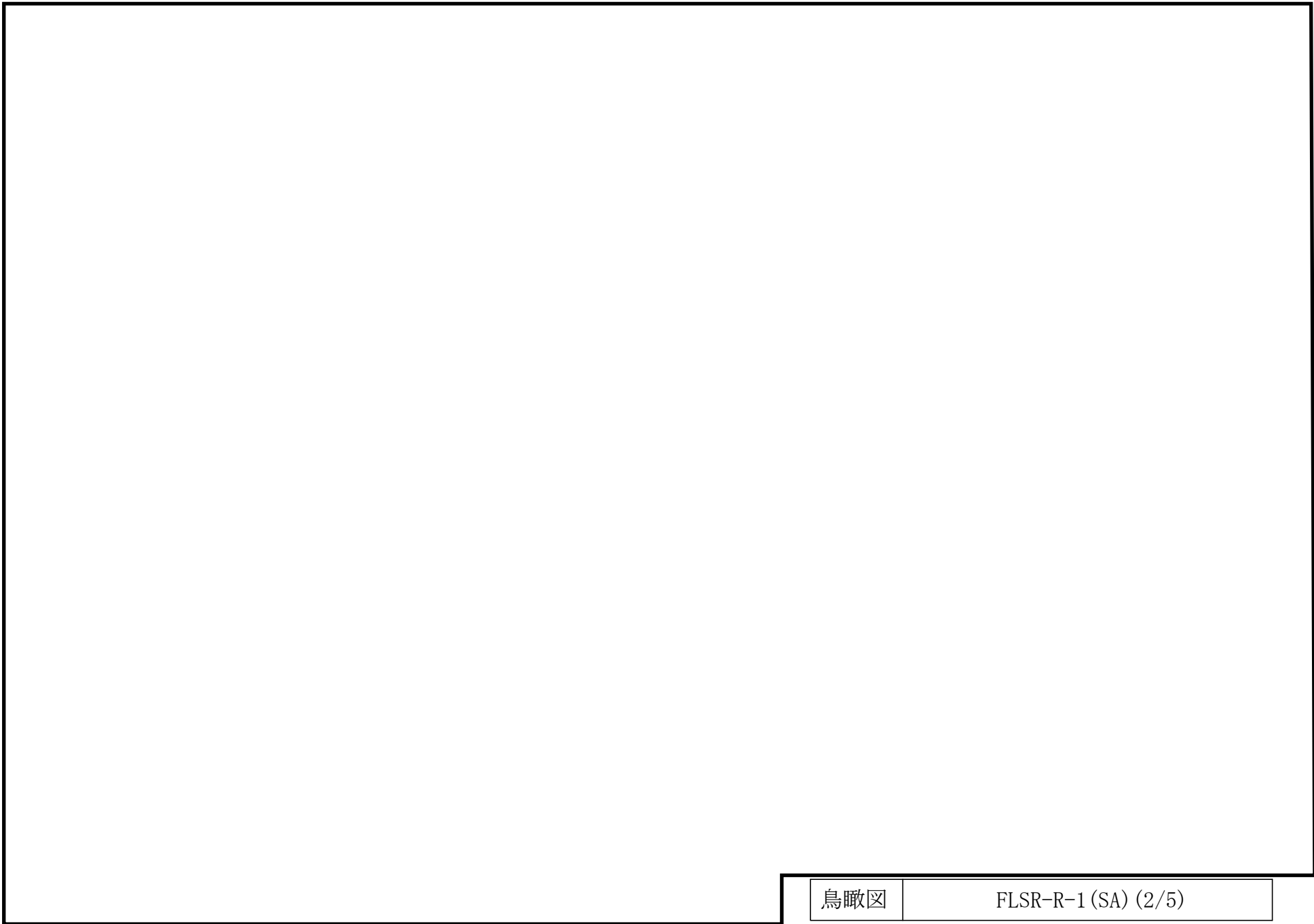
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図

FLSR-R-1 (SA) (1/5)



鳥瞰図

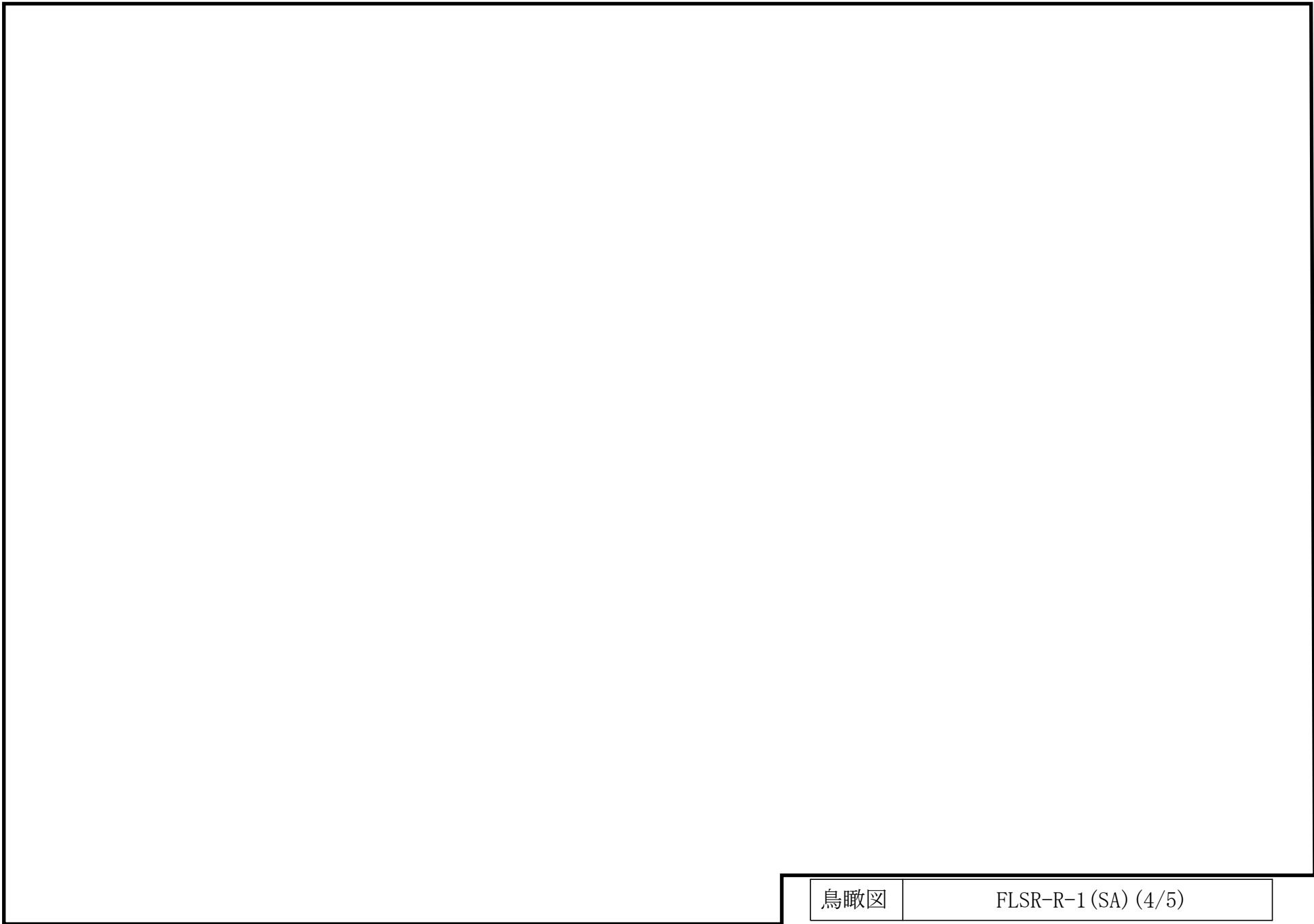
FLSR-R-1 (SA) (2/5)

∞

1

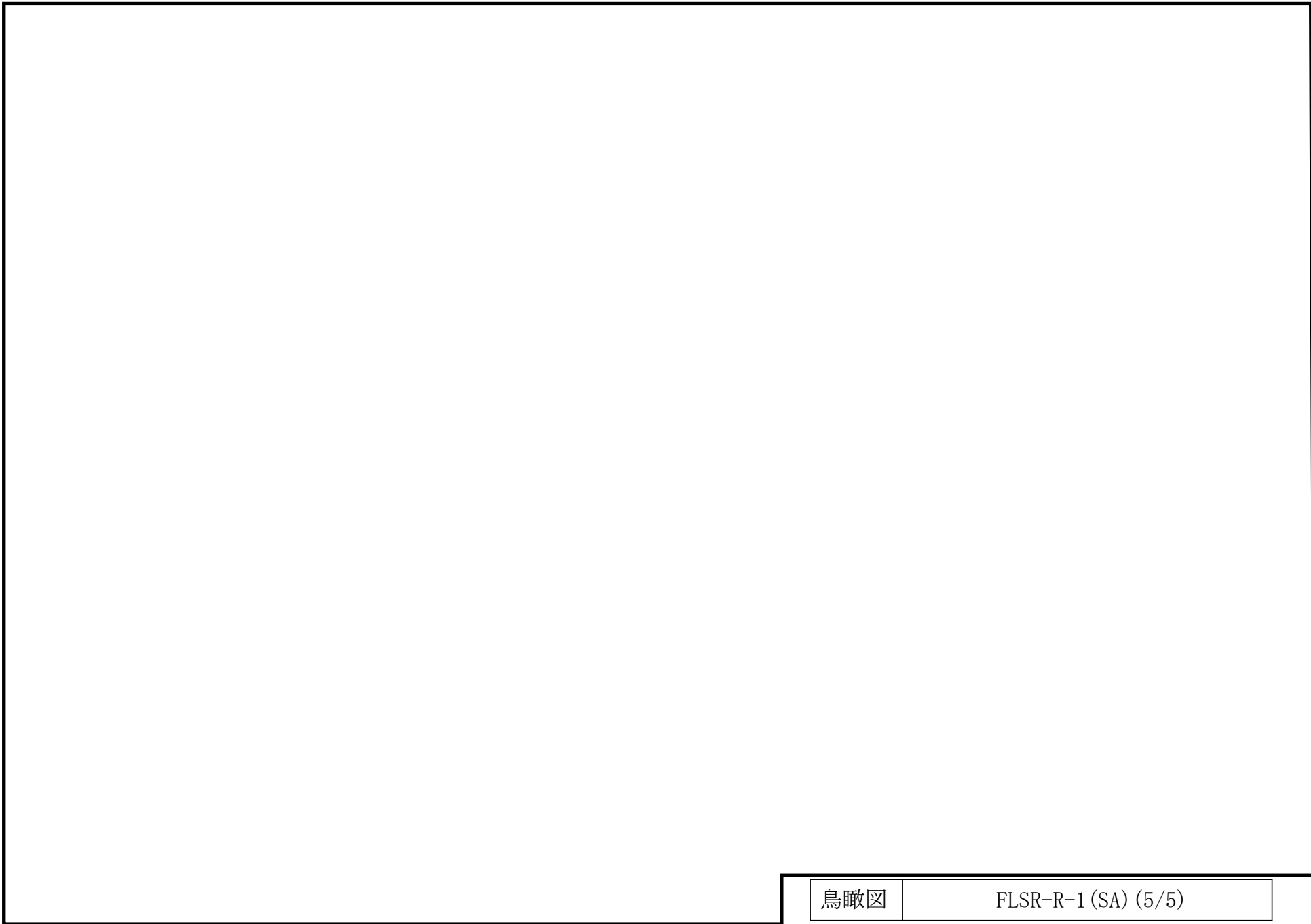
鳥瞰図

FLSR-R-1 (SA) (3/5)



鳥瞰図

FLSR-R-1 (SA) (4/5)



鳥瞰図

FLSR-R-1 (SA) (5/5)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I L + S s	IV A S
							II L + S s	
							V L + S s ^{*6}	VA S
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	低圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I L + S s	IV A S
							II L + S s	
							V L + S s ^{*6}	VA S
		格納容器代替スプレイ系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I L + S s	IV A S
							II L + S s	
							V L + S s ^{*6}	VA S
		ペDESTAL代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I L + S s	IV A S
							II L + S s	
							V L + S s ^{*6}	VA S

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	残留熱代替除去系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S

注記*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~88, 89~157	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.92	66
		Ⅴ _A S	3.92	66
2	158~170	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.92	185
		Ⅴ _A S	3.92	185
3	171~181A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.92	185
		Ⅴ _A S	3.92	185
4	64~2100, 2101~216	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.92	66
		Ⅴ _A S	3.92	66
5	217~238S	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
6	238S~245, 246~249	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
7	250~251F	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～88, 89～157	216.3	8.2	SUS304TP	—	193667
2	158～170	216.3	8.2	SUS304TP	—	193667
3	171～181A	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667
4	64～2100, 2101～216	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667
5	217～238S	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667
6	238S～245, 246～249	114.3	6.0	SUS304TP	—	193867
7	250～251F	165.2	7.1	SUS304TP	—	193867


配管の付加質量

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	158～170
<input type="checkbox"/>	171～181A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

質量	対応する評価点
	13F
	251F

弁部の質量

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	88, 89		8801, 8802
	8804		157～158
	216～217		245～246

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
88~8801				8801~8802			
8802~8803				8803~8804			
8801~89				157~158			
216~217				245~246			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
8						
15						
23						
29						
40						
43						
51						
59						
67						
76						
79						
8803						
8803						
90						
96						
100						
106						
110						
122						
130						
137						
145						
151						
153						
156						
164						
** 164 **						
173						
181A						

S2 補 VI-2-5-5-5-2 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
203						
206						
209						
213						
220						
228						
233						
241						
244						
247						

S2 補 VI-2-5-5-5-2 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	66	—	188	479	—
SUS304TP	185	—	147	408	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
FLSR-R-1	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FLSR-R-1

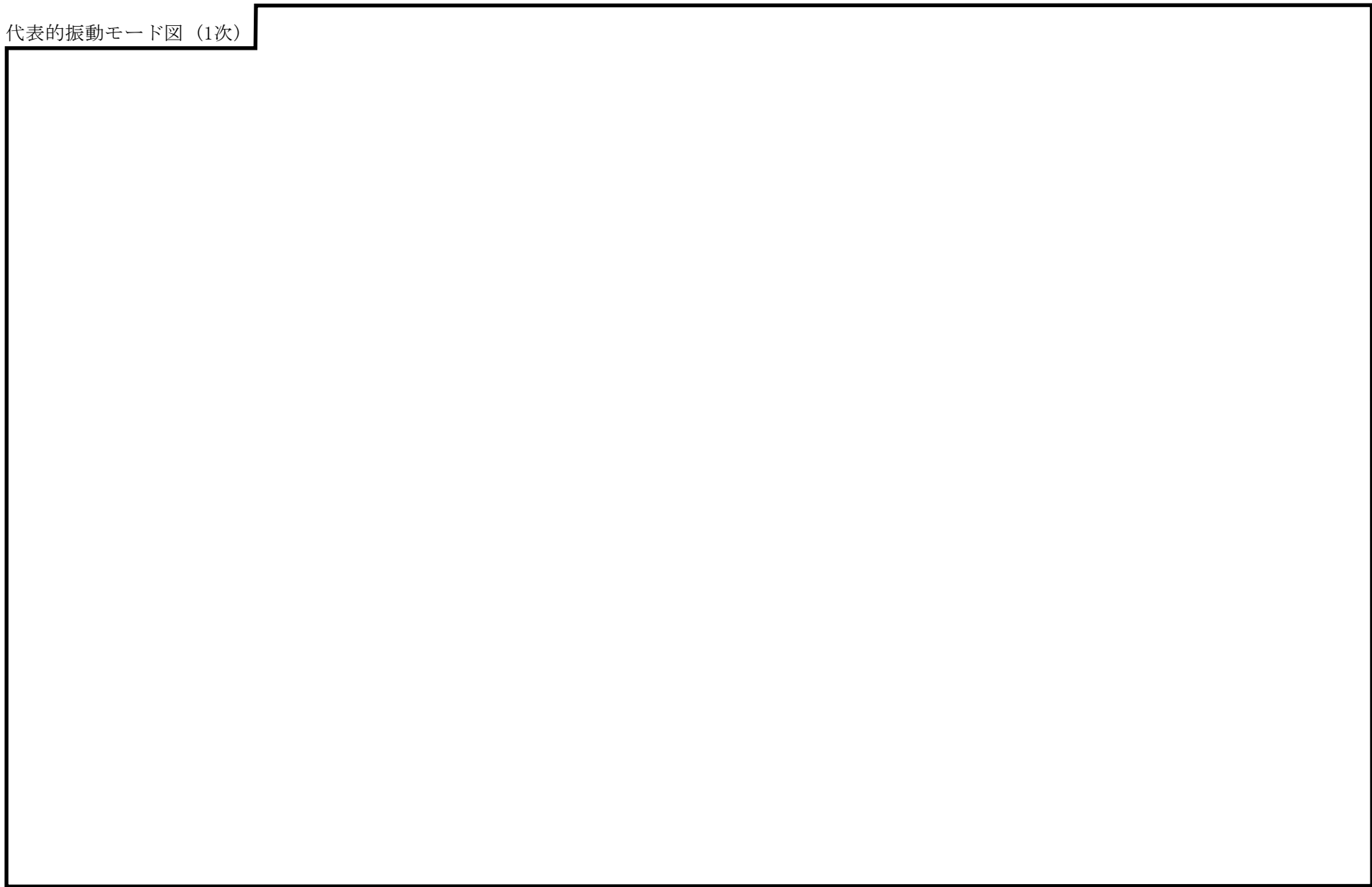
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

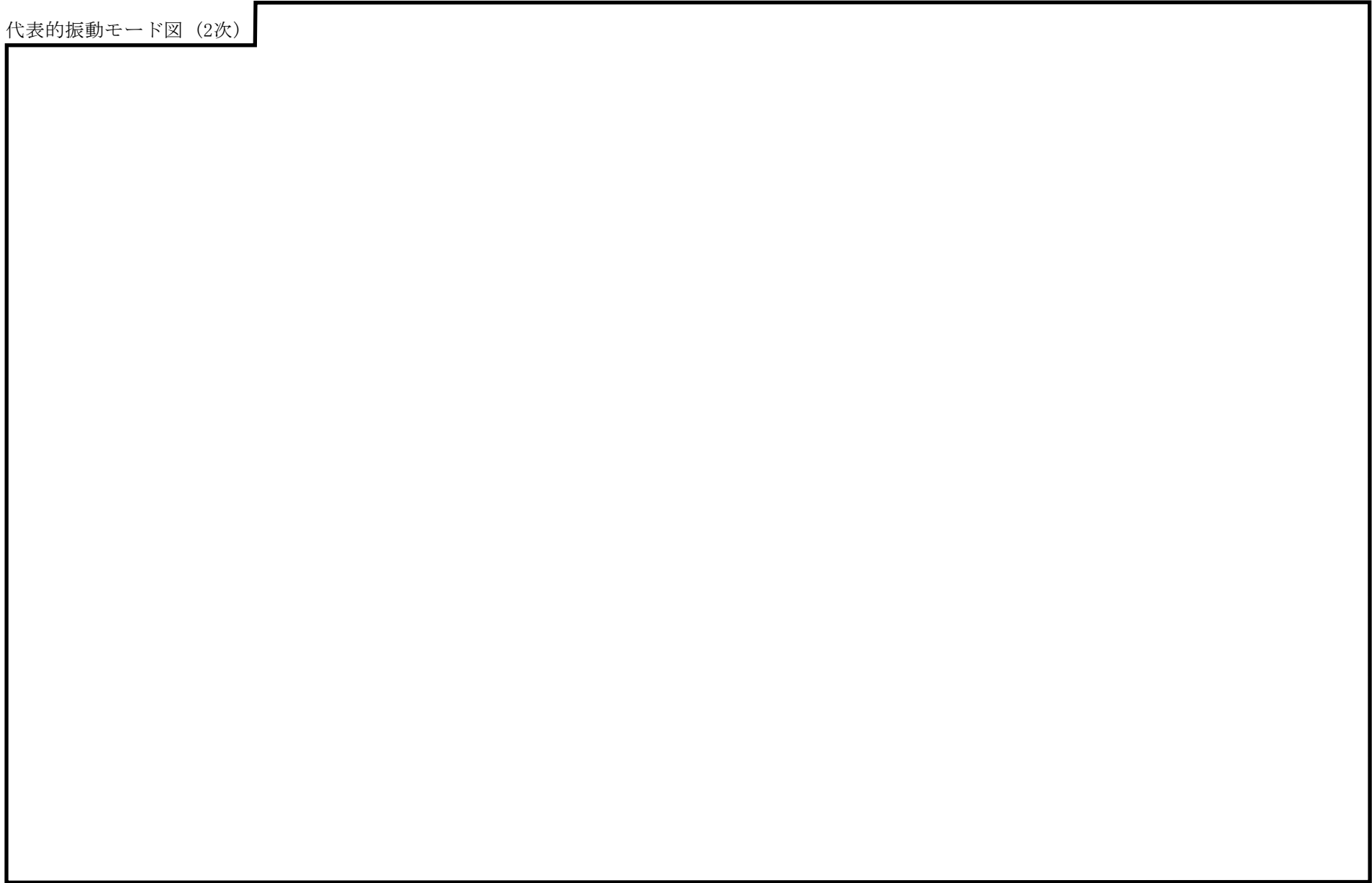
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

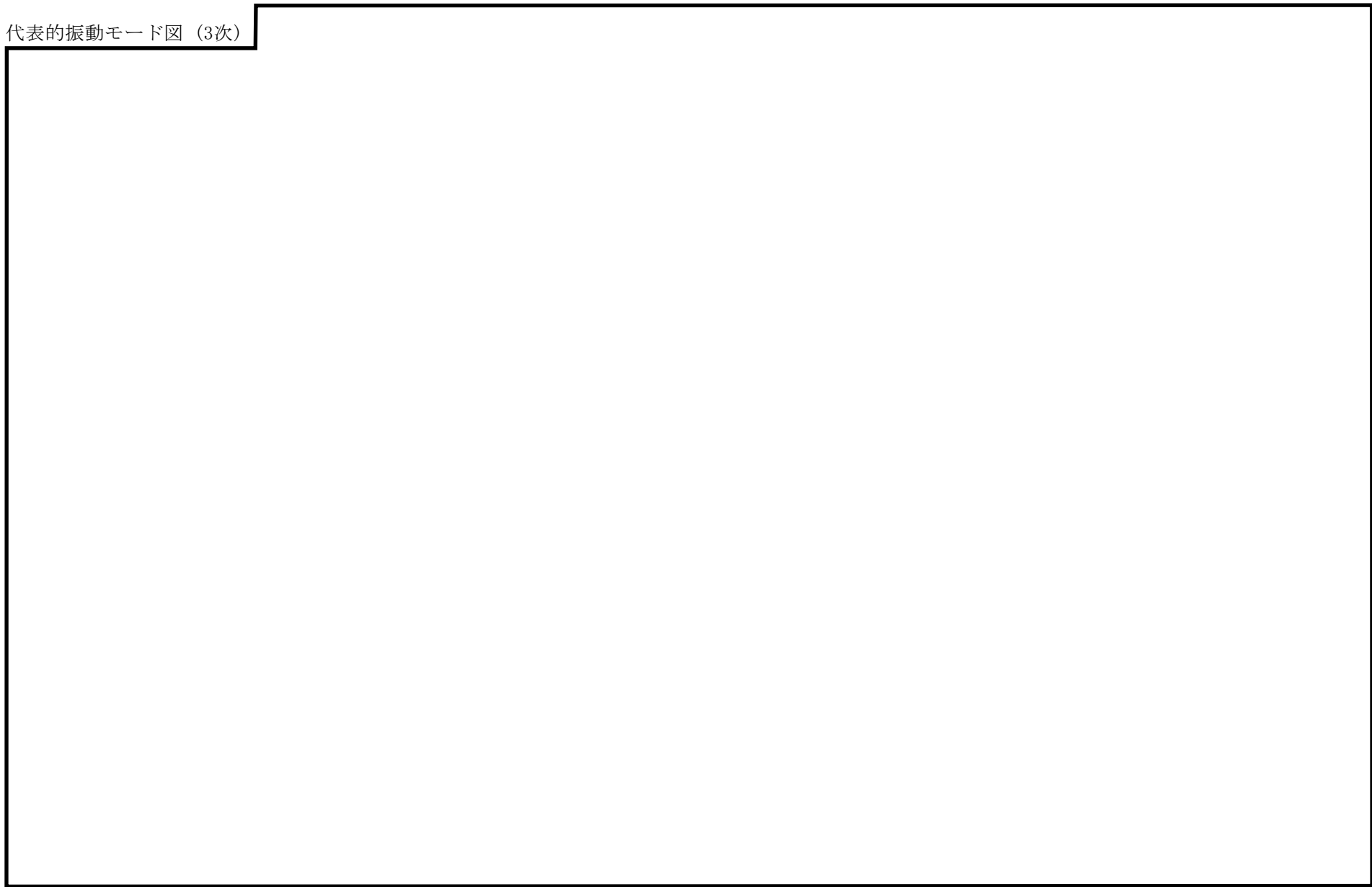
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FLSR-R-1	243	190	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FLSR-R-1	243	311	376	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FLSR-R-1	243	190	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FLSR-R-1	243	311	376	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
—	オイルスナッパ	—		—	—	—	
RE-FLSR-70Z	ロッドレストレイント	RSA-3		19	54	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-FLSR-51	レストレイント	ラグ	SUS304	66	11	47	8	—	—	—	組合せ	17	142
AN-FLSR-57	アンカ	ラグ	SUS304	66	23	9	17	10	8	4	組合せ	35	142

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
								動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FLSR-R-1	243	190	431	2.26	○	243	311	376	1.20	—	○
2	FLSR-R-2	5	182	431	2.36	—	5	303	376	1.24	—	—
3	FLSR-R-3	27	120	431	3.59	—	27	183	376	2.05	—	—
4	RHR-R-5A	303	107	363	3.39	—	303	138	294	2.13	—	—
5	RHR-R-11	506	58	363	6.25	—	506	62	418	6.74	—	—
6	FLSR-F-1	2	26	431	16.57	—	2	32	376	11.75	—	—
7	FLSR-F-1A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
8	FLSR-F-2	2	26	431	16.57	—	2	32	376	11.75	—	—
9	FLSR-F-2A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
10	FLSR-F-3	64	94	431	4.58	—	64	95	376	3.95	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	FLSR-R-1	243	190	431	2.26	○	243	311	376	1.20	—	○
2	FLSR-R-2	5	182	431	2.36	—	5	303	376	1.24	—	—
3	FLSR-R-3	27	120	431	3.59	—	27	183	376	2.05	—	—
4	RHR-R-5A	303	107	363	3.39	—	303	138	294	2.13	—	—
5	RHR-R-11	506	58	363	6.25	—	506	62	418	6.74	—	—
6	FLSR-F-1	2	26	431	16.57	—	2	32	376	11.75	—	—
7	FLSR-F-1A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
8	FLSR-F-2	2	26	431	16.57	—	2	32	376	11.75	—	—
9	FLSR-F-2A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
10	FLSR-F-3	64	94	431	4.58	—	64	95	376	3.95	—	—

VI-2-5-6 原子炉冷却材補給設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-6-1 原子炉隔離時冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプベースにポンプ取付ボルトで固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横形ポンプ)</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉 冷却材 補給設備	原子炉隔離時冷却 ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷 却設備その他 原子炉注水設 備	原子炉隔離時冷却 ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	730	868	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	730	868	—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	685	847	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	100	685	847	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時冷却ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却 ポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	C _H =0.90*3	C _V =0.47*3	C _H =1.79*4	C _V =0.94*4	C _p =0.38	66	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		
基礎ボルト (i=1)	730*2 (径≦60mm)	868*2 (径≦60mm)	607	607	軸直角	軸	1.281×10 ⁶	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	730*3 (径≦60mm)	868*3 (径≦60mm)	607	607	軸直角	軸直角	1.281×10 ⁶	1.281×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=18$	$f_{ts1}=455^*$	$\sigma_{b1}=35$	$f_{ts1}=455^*$
		せん断	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=350$	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=2$	$f_{ts2}=455^*$	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=455^*$
		せん断	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=350$	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=350$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却 ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.79*3	C _V =0.94*3	C _P =0.38	100	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	685*2 (径≦60mm)	847*2 (径≦60mm)	—	592	—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	685*3 (径≦60mm)	847*3 (径≦60mm)	—	592	—	軸直角	1.281×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=35$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=342$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

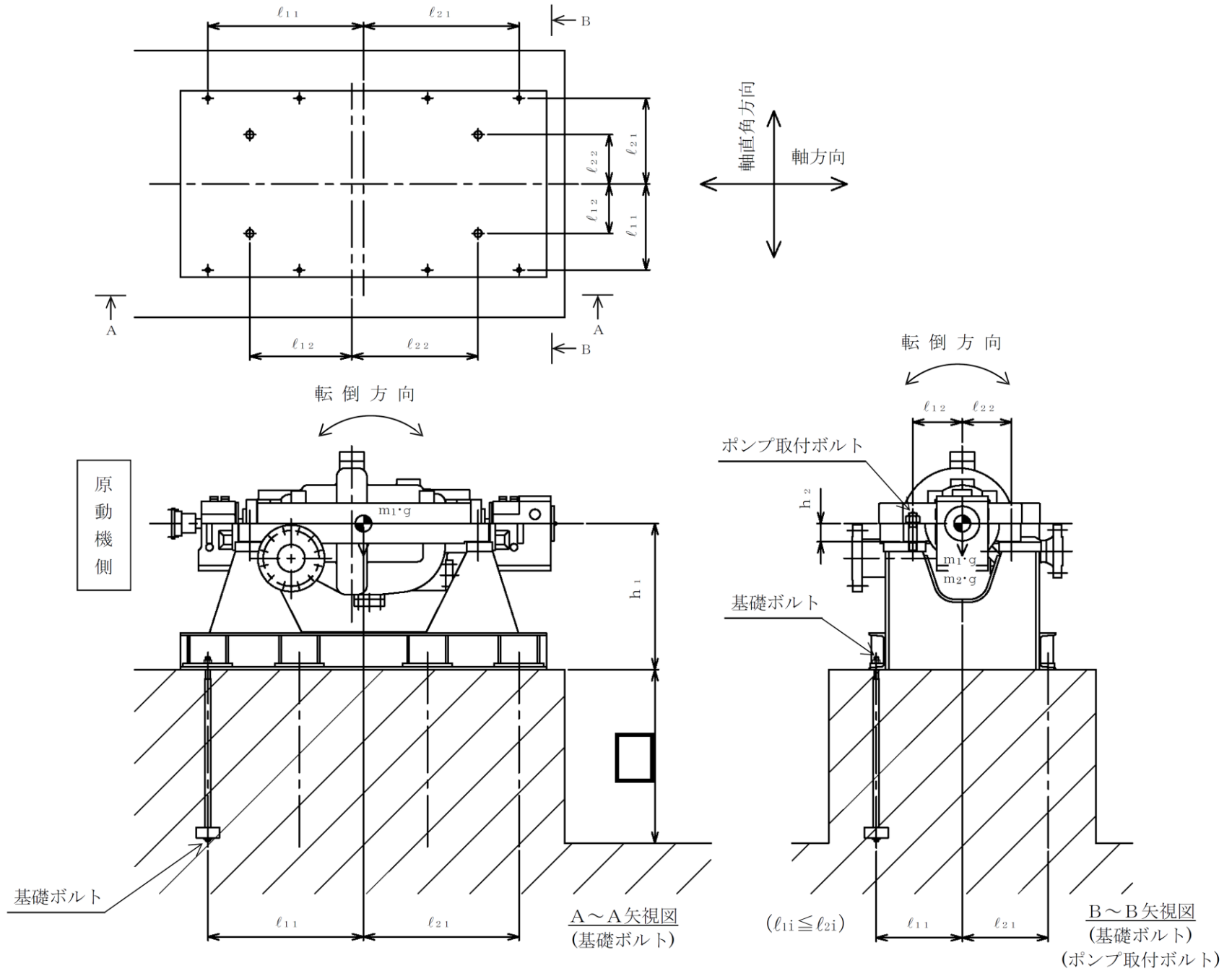
12

2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-6-1-2 原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
タービンはタービンベースにタービン取付ボルトで固定され、タービンベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	背圧式蒸気タービン	<p>(側面図)</p> <p>(全体図)</p> <p>(単位:mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉 冷却材 補給設備	原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス2ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、クラス2ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他原子 炉注水設備	原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	常設／防止 (DB拡張)	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

注記*¹：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*²：重大事故等クラス2ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

*³：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	66			
基礎ボルト		周囲環境温度	66			—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302			—

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	100			
基礎ボルト		周囲環境温度	100			—
タービン取付ボルト		最高使用温度	302			—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ駆動用タービン	背圧式蒸気タービン	水平	2.4
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	S	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	C _H =0.90*3	C _V =0.47*3	C _H =1.79*4	C _V =0.94*4	C _p =	302	66

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d) 及び静的震度を上回る設計震度

*4: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} *1 (mm)	l _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
タービン取付ボルト (i=2)								1
							6	2
								2

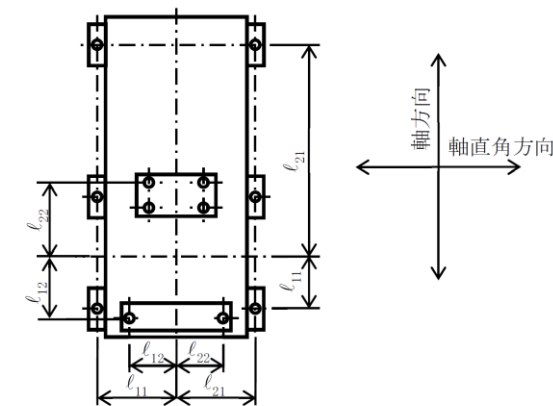
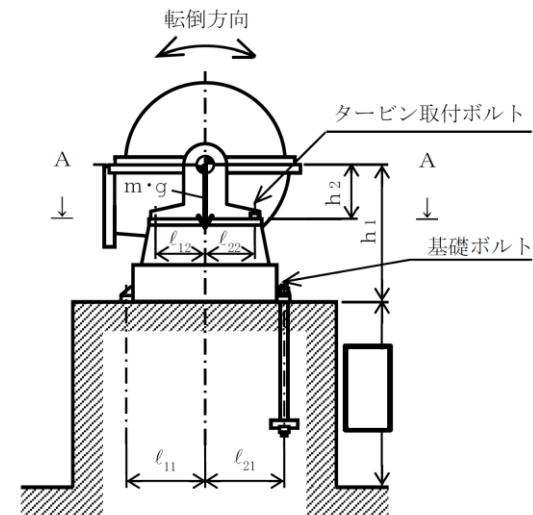
部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)					軸直角	軸直角	
タービン取付ボルト (i=2)					軸直角	軸直角	

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)



(l_{1i} ≤ l_{2i}) A~A 矢視図

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
タービン取付ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1} = 21$	$f_{ts1} = 455^*$	$\sigma_{b1} = 40$	$f_{ts1} = 455^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 12$	$f_{sb1} = 350$	$\tau_{b1} = 21$	$f_{sb1} = 350$
タービン取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2} = 33$	$f_{ts2} = 443^*$	$\sigma_{b2} = 64$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 10$	$f_{sb2} = 341$	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 342$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ駆動用 タービン	水平方向	1.17	2.4
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービンの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉隔離時冷却ポンプ 駆動用蒸気タービン	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =1.79*3	C _V =0.94*3	C _P =	302	100

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
タービン取付ボルト (i=2)							6	1
								2

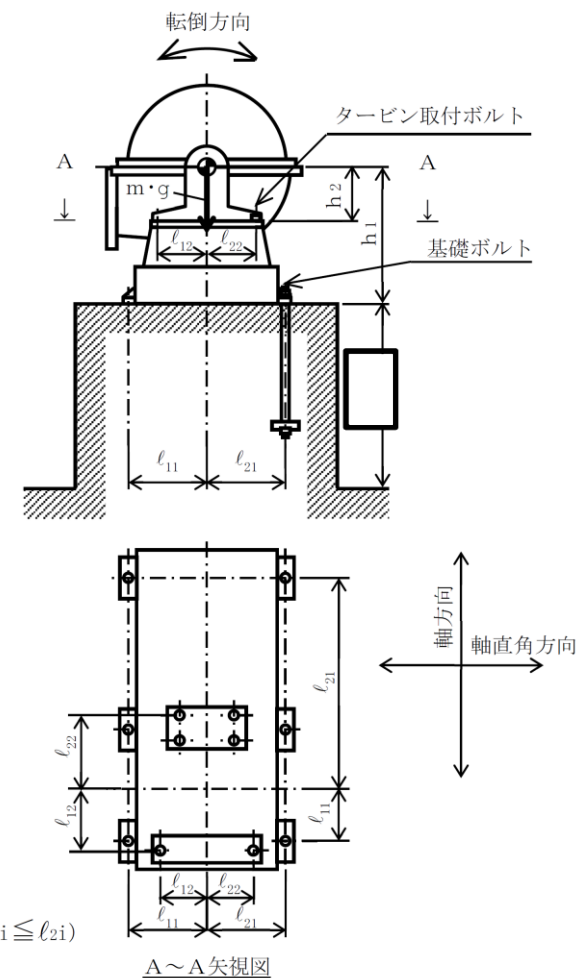
部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸直角	
タービン取付ボルト (i=2)			—		—	軸直角	

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)



2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
タービン取付ボルト (i=2)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1} = 40$	$f_{ts1} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 21$	$f_{sb1} = 342$
タービン取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2} = 64$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 342$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ駆動用	水平方向	1.17	2.4
	タービン	0.87	1.0
	鉛直方向		

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書
(原子炉隔離時冷却系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	20
3.1 計算方法	20
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	21
3.3 設計条件	23
3.4 材料及び許容応力	46
3.5 設計用地震力	47
4. 解析結果及び評価	48
4.1 固有周期及び設計震度	48
4.2 評価結果	69
4.2.1 管の応力評価結果	69
4.2.2 支持構造物評価結果	73
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	74
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	75

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉隔離時冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全6モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

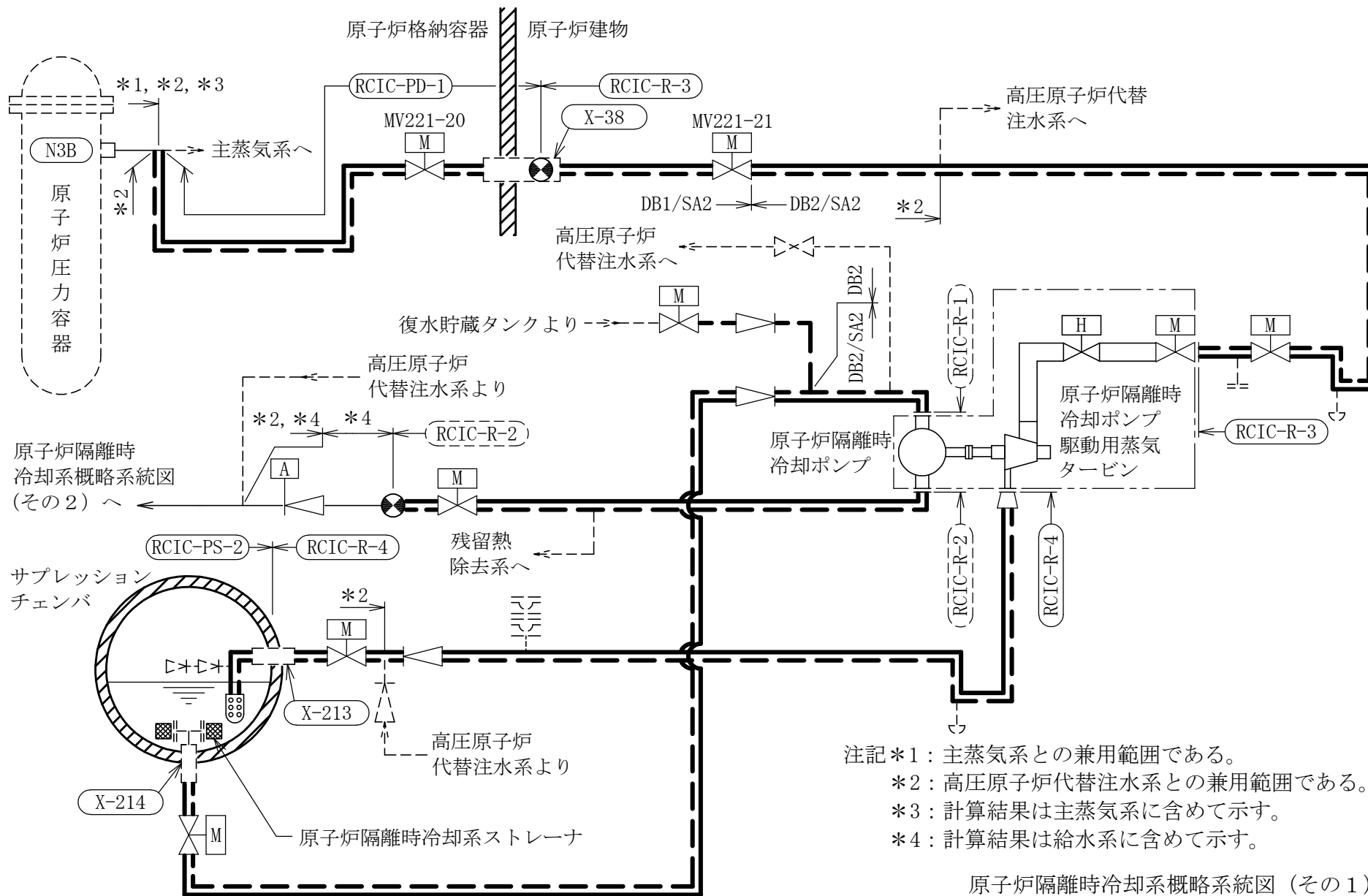
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

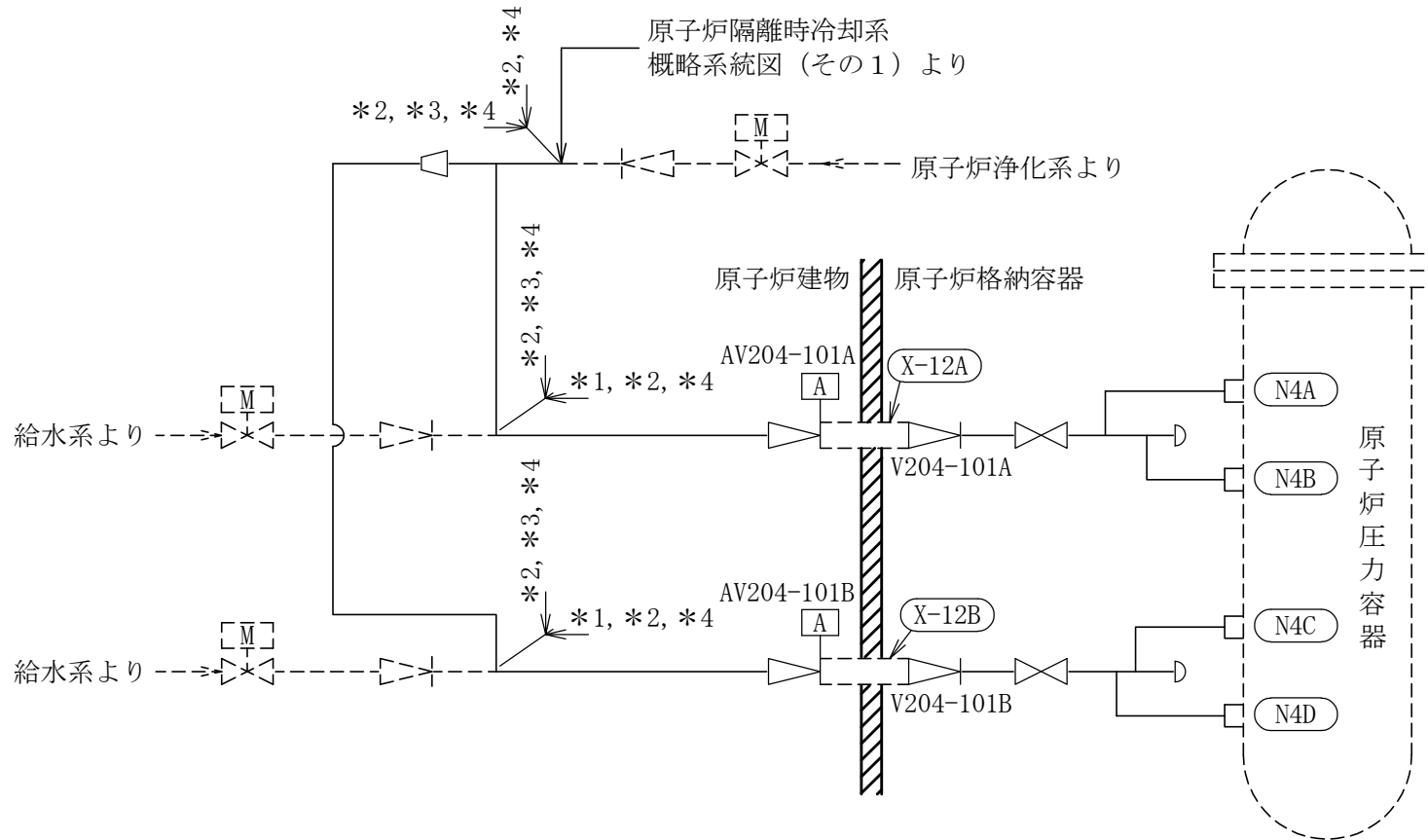
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



- 注記*1：主蒸気系との兼用範囲である。
 *2：高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *3：計算結果は主蒸気系に含めて示す。
 *4：計算結果は給水系に含めて示す。

原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その1)


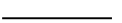
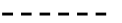


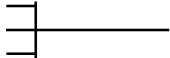
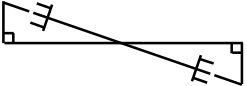
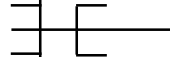
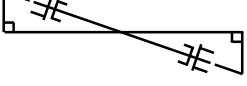

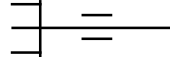
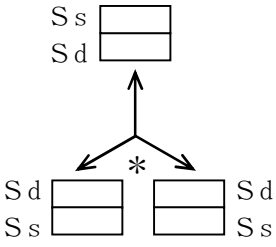


- 注記*1：給水系との兼用範囲である。
 *2：高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *3：原子炉浄化系との兼用範囲である。
 *4：計算結果は給水系に含めて示す。

原子炉隔離時冷却系概略系統図（その2）

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図

RCIC-PD-1 (DB) (1/2)

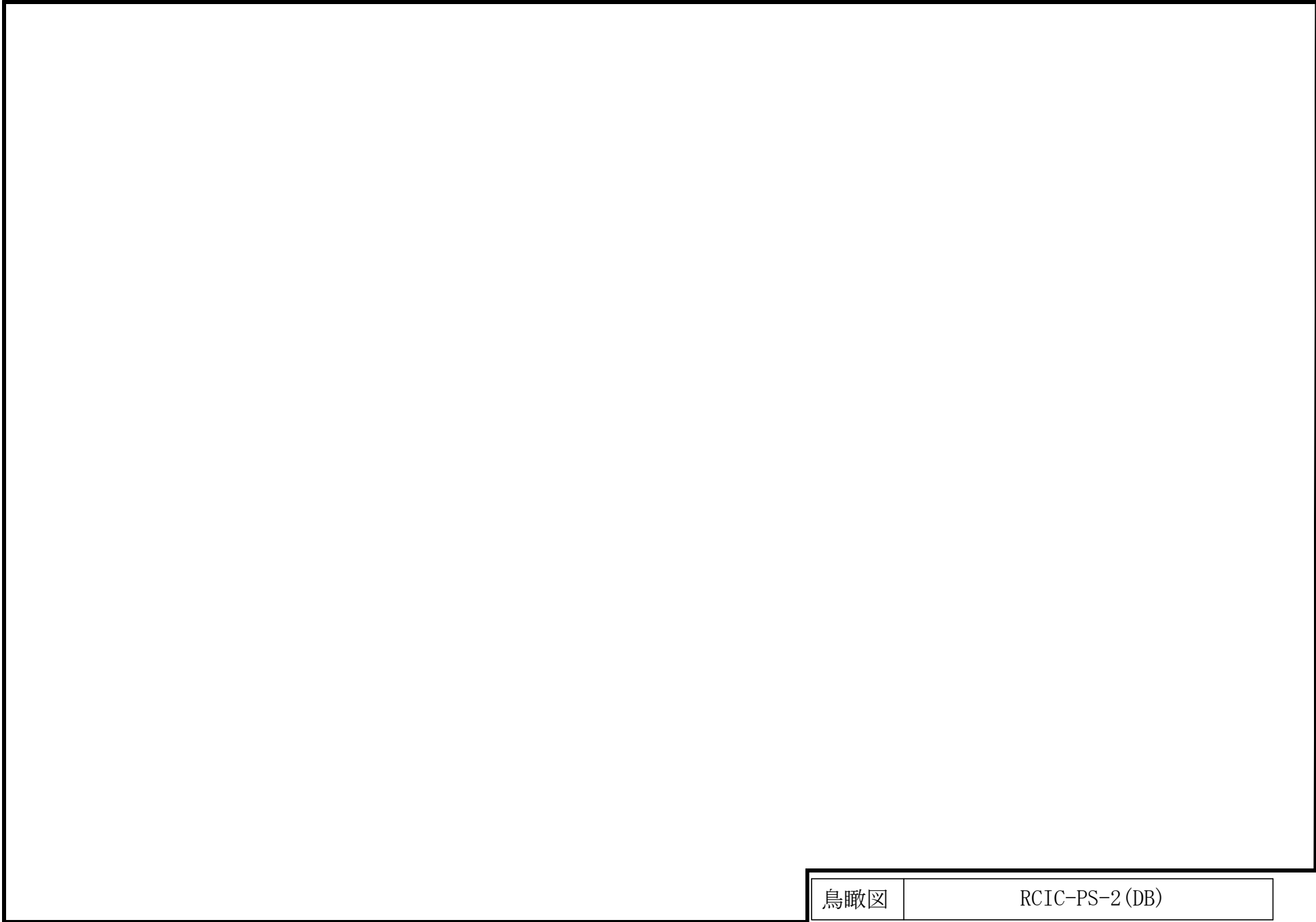
鳥瞰図

RCIC-PD-1 (DB) (2/2)

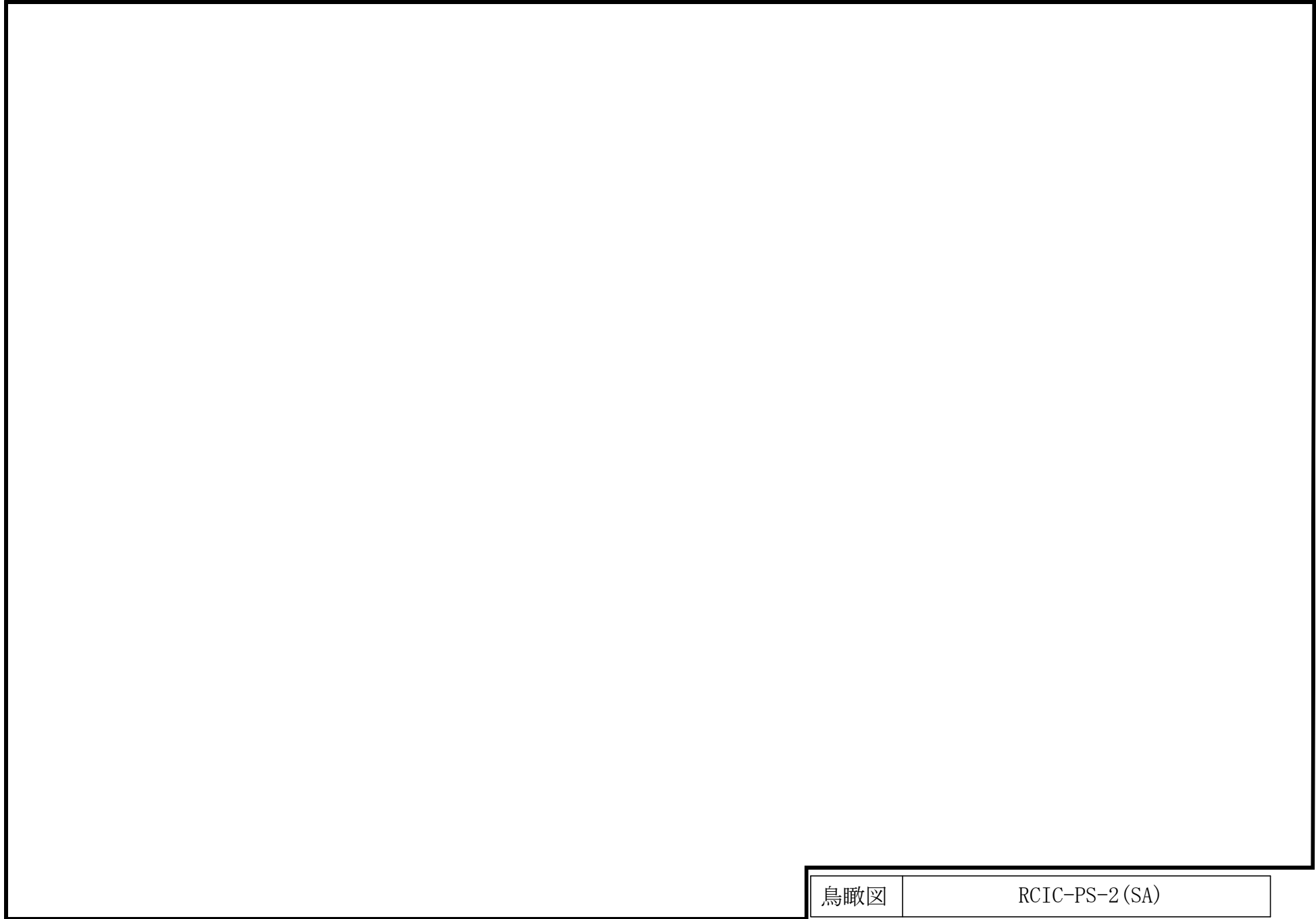
∞

鳥瞰図

RCIC-PD-1 (SA) (1/2)



鳥瞰図	RCIC-PS-2 (DB)
-----	----------------



鳥瞰図	RCIC-PS-2 (SA)
-----	----------------

鳥瞰図

RCIC-R-3(DB) (1/2)

鳥瞰図

RCIC-R-3(DB) (2/2)

鳥瞰図

RCIC-R-3(SA) (1/2)

鳥瞰図

RCIC-R-4 (DB) (2/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	$I_L + S_d$	III _A S
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	SA	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$	
		原子炉隔離時冷却系	SA	常設/防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	V _A S
$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$								
$V_L + S_s^{*11}$								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
							V _L + S _s ^{*11}	

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止 (D B 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~1	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	1~25, 30~34	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~1	114.3	11.1	SFVC2B	S	185880
2	1~25, 30~34	114.3	11.1	STS42	S	185880

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

質量	対応する評価点
	1N～201, 401～501, 702～1201, 1301～1501, 1901～2001 2002～2101, 2201～25, 30～3001, 3301～34
	201～401, 501～702, 1201～1301, 1501～1901, 2001～2002 2101～2201, 3001～3301

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	25～26, 26～30		25, 30
	26		27
	29		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
25～26				26～27			
27～28				28～29			
26～30							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
** 4 **						
** 4 **						
8						
** 10 **						
** 10 **						
** 13 **						
** 13 **						
16						
** 17 **						
17						
21						
** 24 **						
28						
28						
** 33 **						
** 33 **						
37A						

S2 補 VI-2-5-6-1-3 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-PS-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	5～11	Ⅲ _A S	0.98	184
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-PS-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	5～11	267.4	9.3	STPT42	S	201667

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCIC-PS-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
** 9 **						
** 9 **						

S2 補 VI-2-5-6-1-3 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	3~6	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	11~620, 623~80 80~87	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.98	304
3	620~623	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.98	304
4	91~103N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～6	114.3	11.1	STS42	S	186040
2	11～620, 623～80 80～87	114.3	11.1	STPT42	S	186040
3	620～623	114.3	11.1	STPT410	S	186040
4	91～103N	114.3	11.1	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

質量	対応する評価点
	11～80, 80～87, 91～103N
	3～5
	5～6

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

質量	対応する評価点
	103N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	6~7, 7~8		7~11
	6, 11		7
	8		10
	87, 91		88
	89		90

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
6~7				7~8			
8~9				9~10			
7~11				87~88			
88~89				89~8901			
8901~90				88~91			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
9						
** 9 **						
** 12 **						
19						
24						
28						
31						
40						
45						
51						
57						
62						
6201						
66						
66						
76						
8901						
8901						
92						
92						
9501						
103N						

S2 補 VI-2-5-6-1-3 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~4, 4~53 54~56, 58~60 64~65, 65~68	Ⅲ _A S	0.98	184
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184
2	56~58	Ⅲ _A S	0.98	184
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~4, 4~53 54~56, 58~60 64~65, 65~68	267.4	9.3	STPT42	S	201667
2	56~58	267.4	9.3	STPT410	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

質量	対応する評価点
	1N～2001
	2001～4, 4～8, 241Z～28, 34～37S, 66～68
	8～1301, 15～22, 28～34, 37S～39S, 41～43 47～53, 54～60
	1301～15, 39S～41
	22～241Z
	43～47, 64～66

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

質量	対応する評価点
	1N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	53～54		60～61, 61～62
	61～64		60, 64
	61		62
	63		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
53～54				60～61			
61～62				62～6201			
6201～63				61～64			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
** 10 **						
** 10 **						
14						
21						
21						
32						
45						
49						
5801						
** 59 **						
6201						
6201						
** 70N **						
** 70N **						
** 70N **						

S2 補 VI-2-5-6-1-3 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SFVC2B	302	125	—	—	—
STS42	302	122	—	—	—
STPT42	184	—	209	404	—
STPT42	302	—	182	404	—
STPT42	304	—	182	404	—
STPT410	302	—	182	404	—
STPT410	304	—	182	404	—
STPT410	184	—	209	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RCIC-PD-1	ガンマ線遮蔽壁	EL []	[]	[]	[]
RCIC-PS-2	サプレッション チェンバ	EL [] ~ EL []			
	サプレッション チェンバ (補強リング及び サポート)	EL [] ~ EL []			
RCIC-R-3	原子炉建物	EL []			
RCIC-R-4	原子炉建物	EL []			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCIC-PD-1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

51

鳥瞰図

R C I C - P D - 1

代表的振動モード図 (2次)

52

鳥瞰図

R C I C - P D - 1

代表的振動モード図 (3次)

53

鳥瞰図

R C I C - P D - 1

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCIC-PS-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*2, *3							
静的震度*4							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

*4： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

56

鳥瞰図

R C I C - P S - 2

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
9次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCIC-R-3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

60

鳥瞰図

R C I C - R - 3

代表的振動モード図 (2次)

61

鳥瞰図

R C I C - R - 3

代表的振動モード図 (3次)

62

鳥瞰図

R C I C - R - 3

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCIC-R-4

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

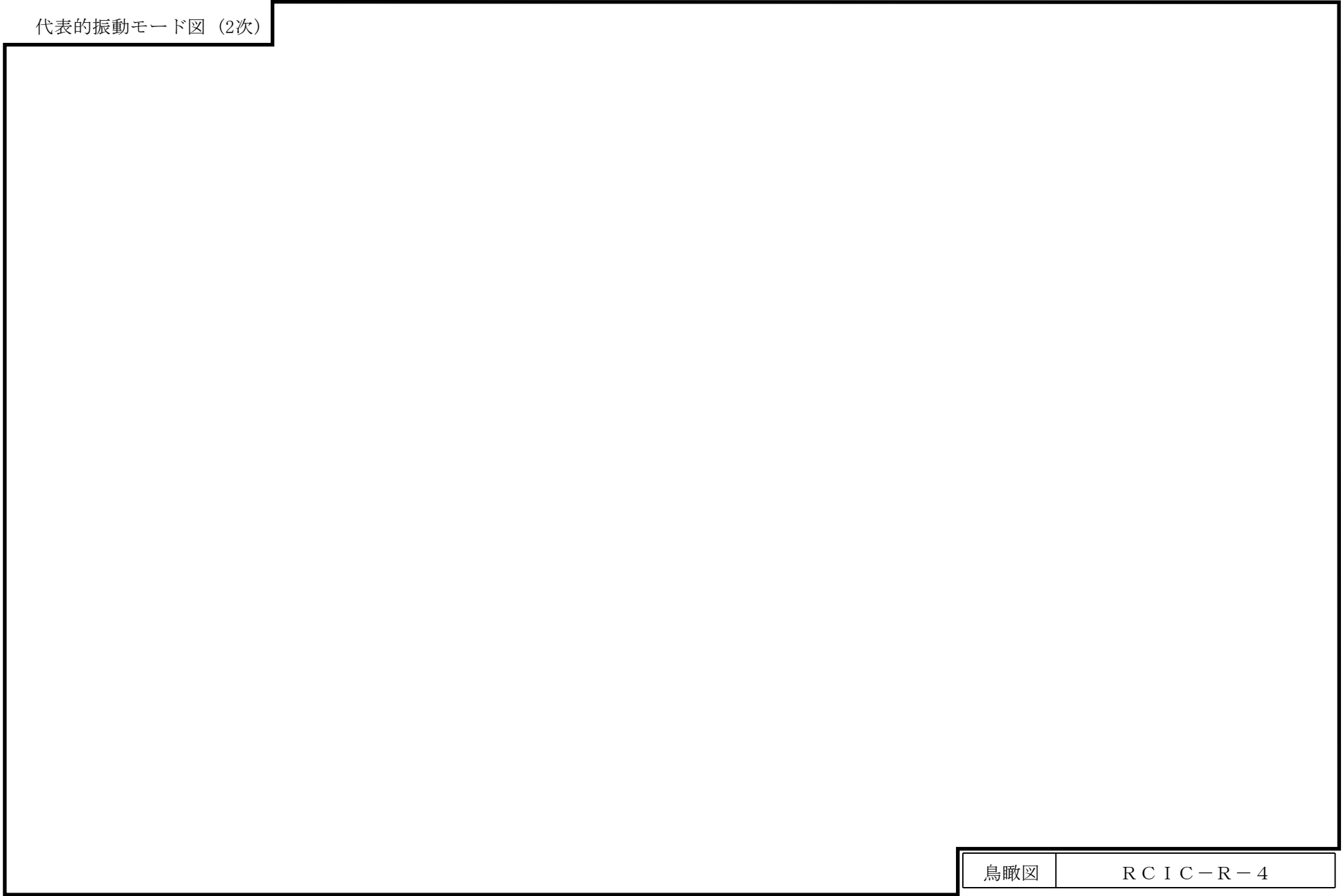
代表的振動モード図 (1次)

66

鳥瞰図

R C I C - R - 4

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

68

鳥瞰図

R C I C - R - 4

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(2.25 \cdot S m)$	RCIC-PD-1	30	BUTT WELD	89	274	—
		ねじり $S_t(0.55 \cdot S m)$	RCIC-PD-1	11	ELBOW	18	67	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(1.8 \cdot S m)$	RCIC-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	264	366	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	—	—	0.0100
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m}(3 \cdot S m)$	RCIC-PD-1	12	ELBOW	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	RCIC-PD-1	31	ELBOW	37	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	RCIC-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	506	366	0.0868
	疲労累積係数 $U + U S s$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	—	—	0.0868

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	RCIC-PD-1	12	ELBOW	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	RCIC-PD-1	31	ELBOW	37	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	RCIC-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	506	366	0.0868
	疲労累積係数 $U + U S_s$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	—	—	0.0868
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	RCIC-PD-1	12	ELBOW	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	RCIC-PD-1	31	ELBOW	37	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	RCIC-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	506	366	0.0868
	疲労累積係数 $U + U S_s$		RCIC-PD-1	31	ELBOW	—	—	0.0868

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RCIC-R-3	11	103	182	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCIC-PS-2	7	122	418	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RCIC-R-3	11	147	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCIC-R-4	65	260	418	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RCIC-R-3	11	147	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCIC-R-4	65	260	418	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RCIC-R-3	11	148	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCIC-R-4	65	260	418	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SN0-RCIC-280	オイルスナッパ	SN-6		73	90	—	
RE-RCIC-237	ロッドレストレイント	RSA-10		103	180	—	
SH-RCIC-236	スプリングハンガ	VSA1B-13		11	13		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RCIC-235	レストレイント	ラグ	SGV410	184	11	25	6	—	—	—	せん断	122	132
AN-RCIC-216	アンカ	ラグ	SGV480	302	41	23	39	18	19	19	組合せ	38	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
MV221-20	電動ゲート弁	β (S s)	3.2	3.8	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PD-1	30	89	274	3.07	○	31	264	366	1.38	○	31	0.0100	○
2	RCIC-R-3	6	78	274	3.51	—	6	66	366	5.54	—	6	0.0048	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅳ _A S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PD-1	12	138	366	2.65	○	31	506	366	0.72	○	31	0.0868	○
2	RCIC-R-3	6	130	366	2.81	—	6	156	366	2.34	—	6	0.0058	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PD-1	12	138	366	2.65	○	31	506	366	0.72	○	31	0.0868	○
2	RCIC-R-3	6	130	366	2.81	—	6	156	366	2.34	—	6	0.0058	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリ範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PD-1	12	138	366	2.65	○	31	506	366	0.72	○	31	0.0868	○
2	RCIC-R-3	6	130	366	2.81	—	6	156	366	2.34	—	6	0.0058	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PS-2	7	98	209	2.13	—	7	122	418	3.42	—	○
2	RCIC-R-1	37	51	188	3.68	—	10	101	438	4.33	—	—
3	RCIC-R-2	13	98	231	2.35	—	13	90	462	5.13	—	—
4	RCIC-R-3	11	103	182	1.76	○	11	94	364	3.87	—	—
5	RCIC-R-4	26	39	209	5.35	—	65	121	418	3.45	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PS-2	7	146	363	2.48	—	7	253	418	1.65	—	—
2	RCIC-R-1	37	78	431	5.52	—	10	208	438	2.10	—	—
3	RCIC-R-2	13	137	366	2.67	—	13	187	462	2.47	—	—
4	RCIC-R-3	11	147	363	2.46	○	11	183	364	1.98	—	—
5	RCIC-R-4	26	64	363	5.67	—	65	260	418	1.60	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PS-2	7	146	363	2.48	—	7	253	418	1.65	—	—
2	RCIC-R-1	37	78	431	5.52	—	10	208	438	2.10	—	—
3	RCIC-R-2	13	137	366	2.67	—	13	187	462	2.47	—	—
4	RCIC-R-3	11	147	363	2.46	○	11	183	364	1.98	—	—
5	RCIC-R-4	26	64	363	5.67	—	65	260	418	1.60	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管（原子炉冷却材圧力バウンダリを除く範囲）

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RCIC-PS-2	7	146	363	2.48	—	7	253	418	1.65	—	—
2	RCIC-R-1	37	78	396	5.07	—	10	208	438	2.10	—	—
3	RCIC-R-2	13	137	364	2.65	—	13	187	440	2.35	—	—
4	RCIC-R-3	11	148	363	2.45	○	11	183	364	1.98	—	—
5	RCIC-R-4	26	64	363	5.67	—	65	260	418	1.60	—	○

VI-2-5-6-1-4 ストレーナ部ティーの耐震性についての計算書
(原子炉隔離時冷却系)

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法.....	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態.....	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件.....	8
4.2.4 設計荷重	13
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	14
4.5 設計用地震力	15
4.6 計算方法	16
4.6.1 応力の計算方法	16
4.6.2 応力解析に用いるモーメント.....	16
4.7 計算条件	17
4.8 応力の評価	17
5. 評価結果	18
5.1 設計基準対象施設としての評価結果.....	18
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果.....	18
6. 引用文献	19

1. 概要

本計算書は、技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ティーは、サプレッションプール内に水没された状態で設置されており、原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。</p>	<p>ティー形の管継手</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの応力評価は、「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

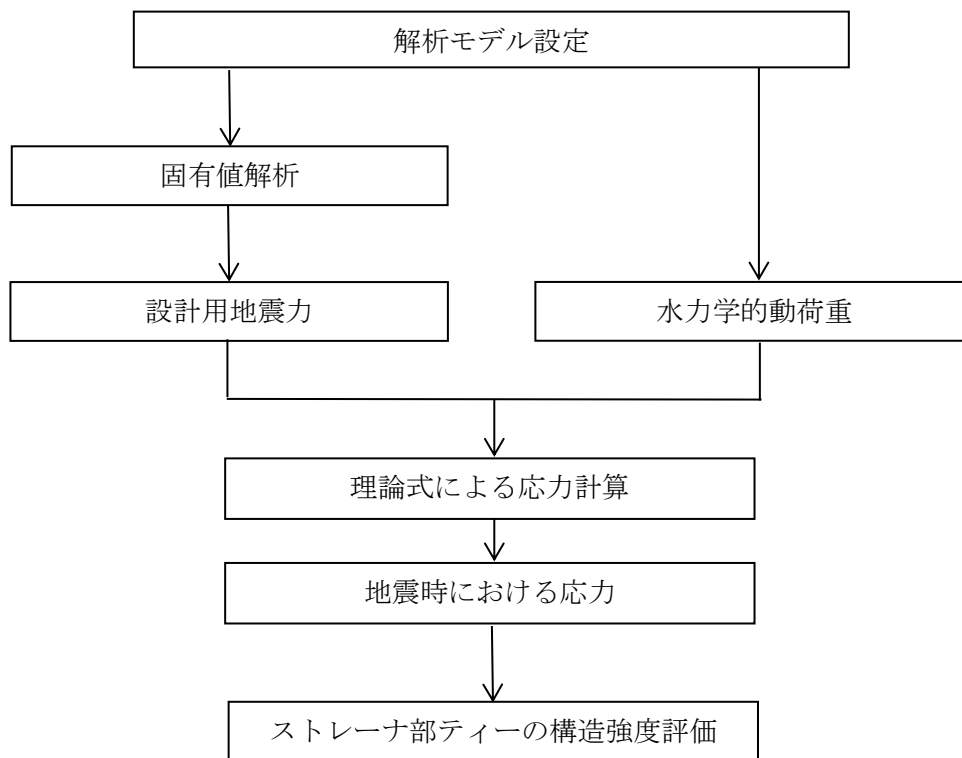


図 2-1 原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）
（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
S_{prm}	発生応力	MPa
P	最高使用圧力（設計圧力）	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1	設計・建設規格 表 PPB-3812. 1-1 で規定する応力係数 (= <input type="text"/>)	—
B_{2b}	設計・建設規格 式 PPB-4. 29 により計算した分岐管の応力係数 $=0.4 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}} (= \text{})$	—
R_m	主管の平均半径	mm
T_r	主管の厚さ	mm
B_{2r}	設計・建設規格 式 PPB-4. 30 により計算した主管の応力係数 $=0.5 \cdot \left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}} (= \text{})$	—
M_b	表 4-11 に示す分岐管に作用する最大モーメント	N・mm
M_r	表 4-11 に示す主管に作用する最大モーメント	N・mm
Z_b	分岐管の断面係数	mm ³
Z_r	主管の断面係数	mm ³

注：ここで定義されない記号については、各計算の項目において説明する。

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位* ¹
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ²
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ³
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ⁴	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：必要に応じて小数点以下第 3 位とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*4：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、ティーについて実施する。なお、原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーのフランジの評価は、ストレーナ側フランジより板厚を大きく設計しており（ティー側フランジ厚さ \square mm, ストレーナ側フランジ厚さ \square mm），ティー側フランジにかかる荷重はストレーナ側フランジと同じであるため、VI-2-5-5-4-1「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ側フランジの評価に包含されるため、ここでは記載を省略する。

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に示す。

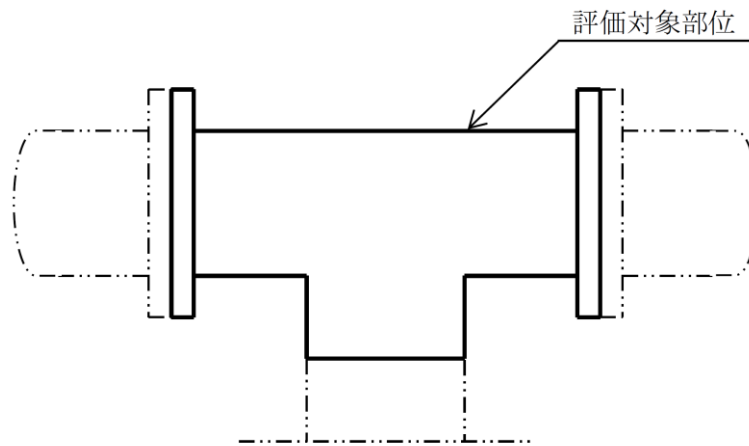


図 3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの形状

表 3-1 原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの主要寸法

(単位：mm)

貫通部番号	部位	外径	板厚	フランジ間距離
X-214	主管			
	分岐管			

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 原子炉隔離時冷却系ストレーナの水平方向荷重及び鉛直方向荷重は、ティー及び原子炉格納容器貫通部を介してサプレッションチェンバに伝達される。
- (2) 地震力は、原子炉隔離時冷却系ストレーナに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せには、SRSS法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) ストレーナ部ティーは、ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から水力学的動荷重によるモーメントを求め、構造強度評価を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。また、荷重の組合せの整理表を表4-3に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規)」(平成20・02・12 原院第5号(平成20年2月27日原子力安全・保安院制定))及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。なお、評価対象は、基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから、一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

なお、各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー



表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 補給設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	S	クラス2	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却 設備その他 原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2	$D + P_D + M_D + S_s^{*2}$	ⅣA S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V A S (V A SとしてⅣA S の許容限界を用いる)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 荷重の組合せ整理表

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	SRV 荷重		LOCA 荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮(CO)	チャギング(CH)	S d* 荷重	S s 荷重	
DBA* ¹	DBA-1	運転状態 I	○							○		ⅢAS
	DBA-2	運転状態 I	○								○	ⅣAS
	DBA-3	運転状態 II	○			○				○		ⅢAS
	DBA-4	運転状態 II	○			○					○	ⅣAS
	DBA-5	運転状態Ⅳ(L)	○		○					○		ⅢAS
SA* ²	SA-1	運転状態Ⅴ(L)* ³	○		○					○		ⅤAS* ⁴
	SA-2	運転状態Ⅴ(LL)	○		○						○	ⅤAS* ⁴

注記*1：設計基準対象施設

*2：重大事故等対処設備

*3：運転状態Ⅴ(L)は、温度条件を重大事故等時における最高使用温度 104℃とした運転状態Ⅴ(LL)の評価で代表される。

*4：許容応力状態ⅤASとしてⅣASの許容応力を用いる。

表4-4 許容応力（クラス2，3管及び重大事故等クラス2管（クラス2，3管））

許容応力 状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力*2	一次+二次応力 +ピーク応力*2
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい 方	S_y ただし，オーステナイト系ステン レス鋼及び高ニッケル合金につい ては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい 方	S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行 い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不 要。	S_s 地震動のみによる疲労解析を行い，疲労 累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば，疲労解析は不 要。
ⅣAS				
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)	$0.6 \cdot S_u$	左欄の1.5倍の値		

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	104				
ティー		最高使用温度	104				—

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	104				
ティー		最高使用温度	104				—

4.2.4 設計荷重

ストレーナに作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重，地震荷重等）はフランジを介してティーに伝達される。なお，原子炉隔離時冷却系ストレーナに付着する異物は想定しない。

(1) 死荷重

ティーの死荷重は N を考慮する。

(2) 差圧

ティーの設計圧力は MPa を考慮する。

(3) 水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

逃がし安全弁作動時には，サプレッションチェンバ内の水中構造物に水力学的動荷重が作用する。この荷重については，原子力安全委員会が策定した評価指針（以下「MARK I 動荷重指針」という。）及び引用文献(1)～(3)に準じて荷重の評価を実施する。

MARK I 動荷重指針及び引用文献(1)～(3)に基づき，ストレーナに加わる水力学的動荷重を算出した結果を表4-7に示す。表4-7に示した荷重は，考慮すべき水力学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値であり，地震荷重と組み合わせる逃がし安全弁作動時荷重のみ記載する。

なお，ストレーナは，逃がし安全弁作動時荷重として，排気管内にたまっていた水の噴流による荷重（水ジェット），排気管内にたまっていた非凝縮性ガスの膨張・収縮による荷重（気泡振動）及び排気管から流入する蒸気の凝縮による荷重のうち，水ジェットによる荷重及び蒸気凝縮過程による荷重については十分小さいため評価対象としない。また，気泡振動による荷重は，流速の変化率によって生じる荷重（加速度ドラッグ荷重）と流速の大きさによって生じる荷重（定常ドラッグ荷重）の代数和とし，逃がし安全弁作動時荷重として用いる。

表4-7 水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

（単位：N）

荷重名称	軸方向荷重	軸直角方向荷重
S R V 荷重（運転時）	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注1：軸直角方向（水平方向X及び鉛直方向Z）については，二乗和平方根としている。

注2：加速度ドラッグ荷重と定常ドラッグ荷重との代数和としている。

4.3 解析モデル及び諸元

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの応答解析用解析モデルはVI-2-5-5-4-1「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-8，振動モード図を図 4-1 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-8 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			NS 方向	EW 方向	
1 次	軸直角方向 (水平/鉛直)	□	—	—	—

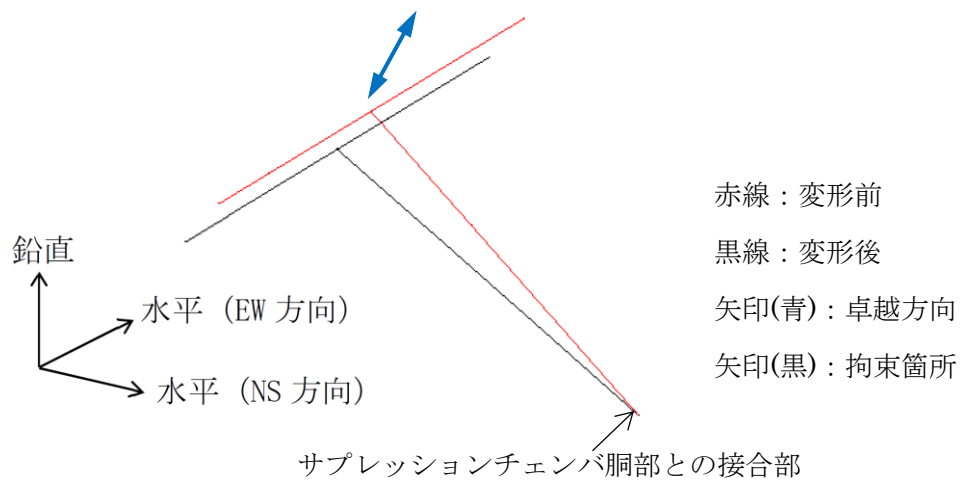


図 4-1 振動モード図 (1 次モード □ s)

4.5 設計用地震力

原子炉隔離時冷却系ストレナ部ティーの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-9 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
サプレッション チェンバ EL (EL 11.400 ~ 1.300)	0.05 以下	0.05 以下	$C_H=3.44^{*1}$ (NS 方向) $C_H=3.86^{*1}$ (EW 方向)	$C_V=3.02^{*1}$	$C_H=6.20^{*2}$ (NS 方向) $C_H=7.74^{*2}$ (EW 方向)	$C_V=5.84^{*2}$

注記*1：設計用震度（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る震度

*2：設計用震度（基準地震動 S s）を上回る震度

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
サプレッション チェンバ EL (EL 11.400 ~ 1.300)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	$C_H=6.20^*$ (NS 方向) $C_H=7.74^*$ (EW 方向)	$C_V=5.84^*$

注記*：設計用震度（基準地震動 S s）を上回る震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

ティーに発生する応力は、設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出する。なお、ティーの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計しているため、ここでは管についての評価を行う。

$$S_{\text{prim}} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b} \cdot M_b}{Z_b} + \frac{B_{2r} \cdot M_r}{Z_r}$$

4.6.2 応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは、図 4-2 に示す主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管と分岐管のモーメントは 4.2.4 項に示したようにストレナーからの伝達荷重を考慮する。

算出したモーメントを表 4-11 に示す。ここでのモーメントとは、設計・建設規格 解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

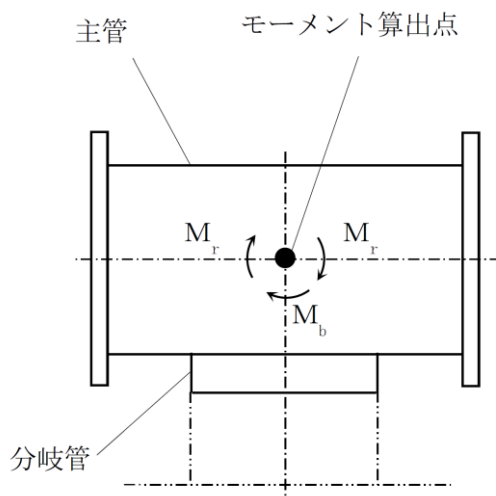


図 4-2 ティーのモーメント算出点

表 4-11 ティーの設計荷重

(単位：N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	差圧		
3	S R V 荷重		
4	S d *地震荷重		
5	S s 地震荷重		

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-4～表 4-6 で定める許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお，各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態 IIIAS 及び IVAS で，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

なお，各評価点における算出応力は表 4-3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態 VAS で，発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

- (1) NEDO-21888, “Mark I Containment Program Load Definition Report” ,
General Electric, November 1981.
- (2) NEDO-21471, “Analytical Model for Estimating Drag Forces on Rigid Submerged
Structures Caused by LOCA and Safety Relief Valve Ramshead Air Discharges” ,
General Electric, September 1977.
- (3) MARK-I 型格納容器の動荷重評価について
MARK-I 型格納容器評価検討会 昭和 59 年 9 月

【原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	S	サブプレッション チェンバ EL (EL 11.400 ～ 1.300)	0.05 以下	0.05 以下	$C_H = 3.44^{*1}$ (NS 方向) $C_H = 3.86^{*1}$ (EW 方向)	$C_V = 3.02^{*1}$	$C_H = 6.20^{*2}$ (NS 方向) $C_H = 7.74^{*2}$ (EW 方向)	$C_V = 5.84^{*2}$	104	—

注記*1：設計用震度（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

(単位：mm)

貫通部番号	部位	外径 D_o	板厚 t	フランジ間距離 L
X-214	主管			
	分岐管			

B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

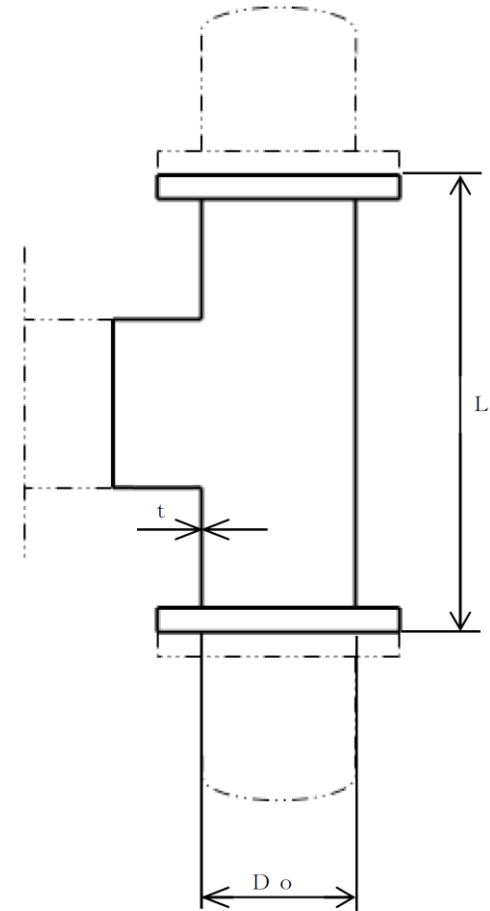
(単位：MPa)

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y (RT)
ティー					—

(解析モデルの諸元)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの材質	—	
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの質量	kg	
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	kg	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

この他の諸元はVI-2-5-5-4-1「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。



1.3 計算数値

1.3.1 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力 P (MPa)

(単位 : N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	差圧		
3	S R V 荷重		
4	S d *地震荷重		
5	S s 地震荷重		

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
軸直角方向 (水平/鉛直)	□

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	材料	応力分類	Ⅲ A S			Ⅳ A S		
			算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ	算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	□	一次応力	7	219	DBA-5	7	364	DBA-4

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティール	常設/防止 (DB 拡張)	サブプレッション チェンバ EL (EL 11.400 ~ 1.300)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H = 6.20* (NS 方向) C _H = 7.74* (EW 方向)	C _V = 5.84*	104	—

注記* : 設計用震度 (基準地震動 S s) を上回る設計震度

2.2 機器要目

(単位：mm)

貫通部番号	部位	外径 D_o	板厚 t	フランジ間距離 L
X-214	主管			
	分岐管			

B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

(単位：MPa)

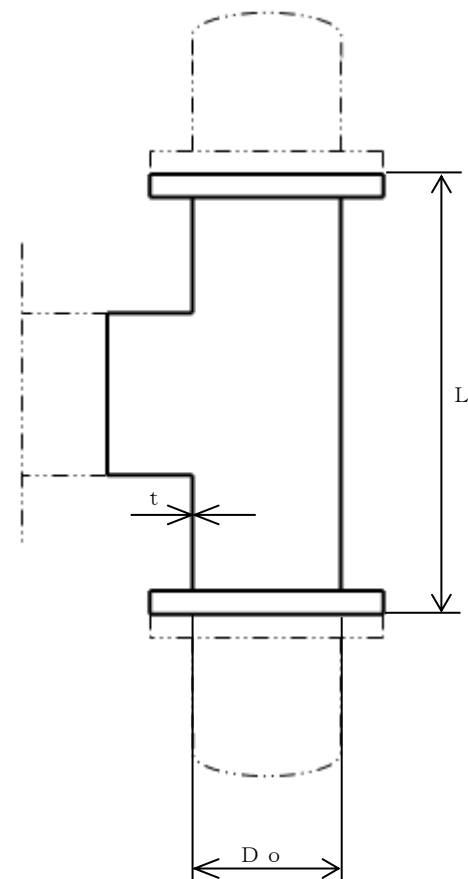
部材	材料	S	S_y	S_u	S_y (RT)
ティー					—

(解析モデルの諸元)

項目	単位	入力値
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの材質	—	
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの質量	kg	
原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	kg	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

25

この他の諸元はVI-2-5-5-4-1「原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性についての計算書」に記載する。



2.3 計算数値

2.3.1 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力 P (MPa)

(単位 : N・mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	差圧		
3	S s 地震荷重		

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
軸直角方向 (水平/鉛直)	□

2.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	材料	応力分類	V Δ S		
			算出 応力	許容 応力	荷重 組合せ
原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	□	一次応力	9	364	SA-2

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-7 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-1 原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系の
耐震性についての計算書

VI-2-5-7-1-1 原子炉補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	5
3.1 固有周期の計算	5
4. 構造強度評価	6
4.1 構造強度評価方法	6
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
4.3 耐震補強サポートの計算方法	11
4.4 計算条件	14
4.5 応力の評価	14
5. 評価結果	14
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	14
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	14

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉補機冷却系熱交換器は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、原子炉補機冷却系熱交換器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。ただし、本設備の耐震補強サポートは基本方針によらないことから、「4.3 耐震補強サポートの計算方法」に記載の方法により評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却系熱交換器の構造計画を表2-1、表2-2及び表2-3に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図 (全体図)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴を当板を介して 2 個の脚で支持し、脚を基礎ボルト及び耐震補強サポート (サポート、連結板及びスペーサ) で基礎に据え付ける。</p>	<p>横置直管式 (前後水室に平板及び鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p>(単位 : mm)</p>

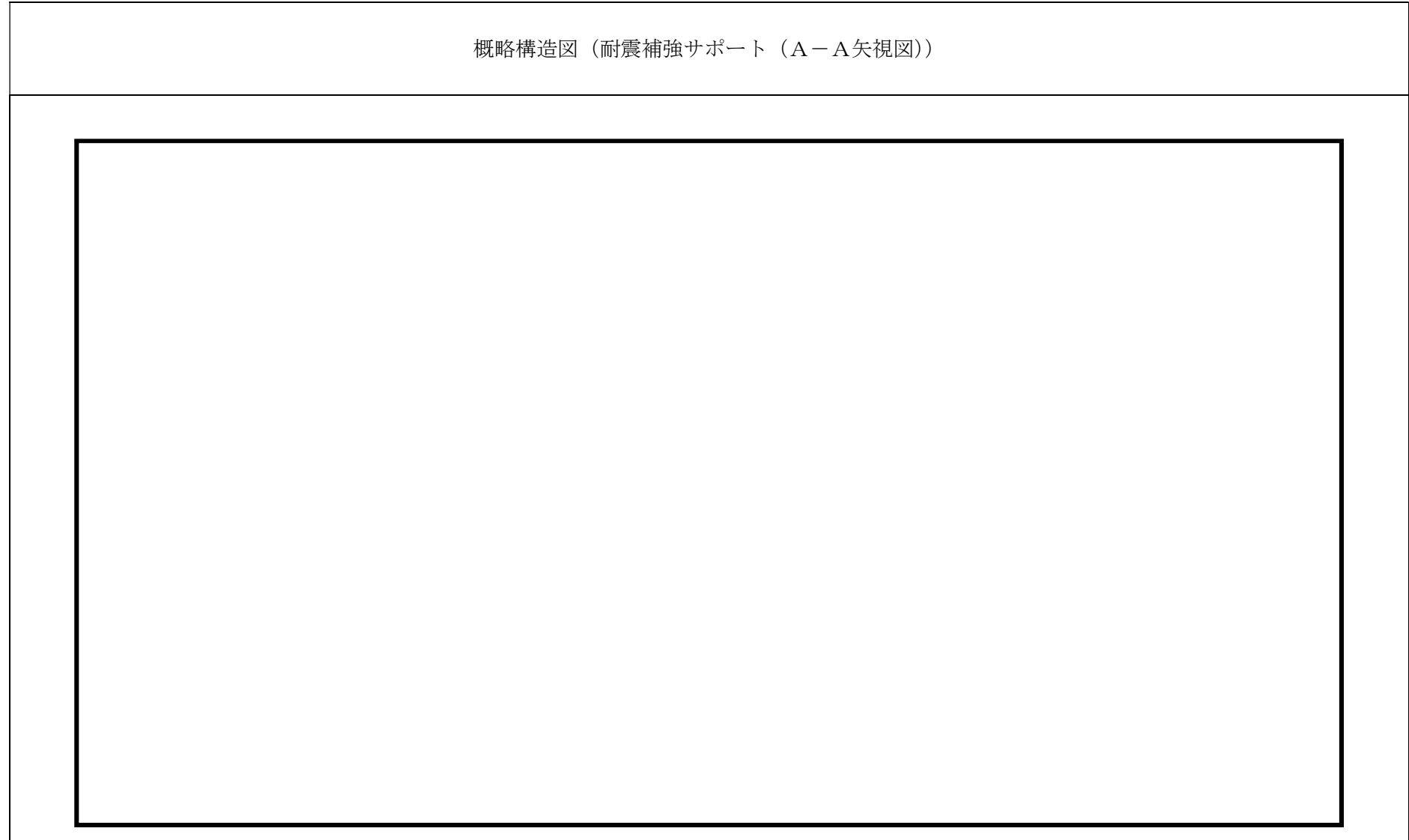
表 2-2 構造計画 (その 2)

概略構造図 (耐震補強サポート (平面図))



表 2-3 構造計画 (その 3)

概略構造図 (耐震補強サポート (A-A 矢視図))



3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表3-1 固有周期 (単位：s)

水平（長手方向）	
水平（横方向）	
鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却系熱交換器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。ただし、本設備の耐震補強サポートは基本方針によらないことから、「4.3 耐震補強サポートの計算方法」に記載の方法により評価を実施する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉補機冷却系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却系 熱交換器	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却系 熱交換器	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界* ¹			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	* ² 弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	* ² 基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界 を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SGV49 ^{*1}	最高使用温度	85	—	242	441	—
脚	SM41A ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	85	—	218	377	—
基礎ボルト	SS41 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	55	—	209	391	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	55	—	229	391	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SM400A 相当

*3：SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SGV49 ^{*1}	最高使用温度	85	—	242	441	—
脚	SM41A ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	85	—	218	377	—
基礎ボルト	SS41 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	55	—	209	391	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	55	—	229	391	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SM400A 相当

*3：SS400 相当

4.3 耐震補強サポートの計算方法

4.3.1 記号の説明

原子炉補機冷却系熱交換器の耐震補強サポートの応力評価に使用する記号を下表に示す。

記号	記号の説明	単位
A_f	耐震補強サポートの連結板の断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_{tf}	耐震補強サポートの連結板の許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
m_0	容器の運転時質量	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
m_{ss1}	第1脚の耐震補強サポートの質量	kg
m_{ss2}	第2脚の耐震補強サポートの質量	kg
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
σ_f	耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{f1}	長手方向地震により耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa
σ_{f2}	横方向地震により耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa
σ_{f21}	横方向地震により第1脚の耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa
σ_{f22}	横方向地震により第2脚の耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa

4.3.2 応力の計算方法

耐震補強サポートの荷重伝達機構（横方向荷重が作用する場合）を図4-1に示す。長手方向荷重が作用する場合は荷重の方向が異なるが、荷重伝達機構は同様である。第1脚については、脚底板に生じる長手方向荷重及び横方向荷重を耐震補強サポートにより基礎に伝達する。第2脚については、脚底板に生じる横方向荷重のみ耐震補強サポートにより基礎に伝達する。この荷重伝達機構により、基礎ボルトにせん断応力は生じない。

耐震補強サポートの構造強度評価は、耐震評価上厳しくなる連結板について実施する。構造強度評価として、荷重伝達の際に連結板に生じる引張応力について、材料力学の公式に基づいて評価する。

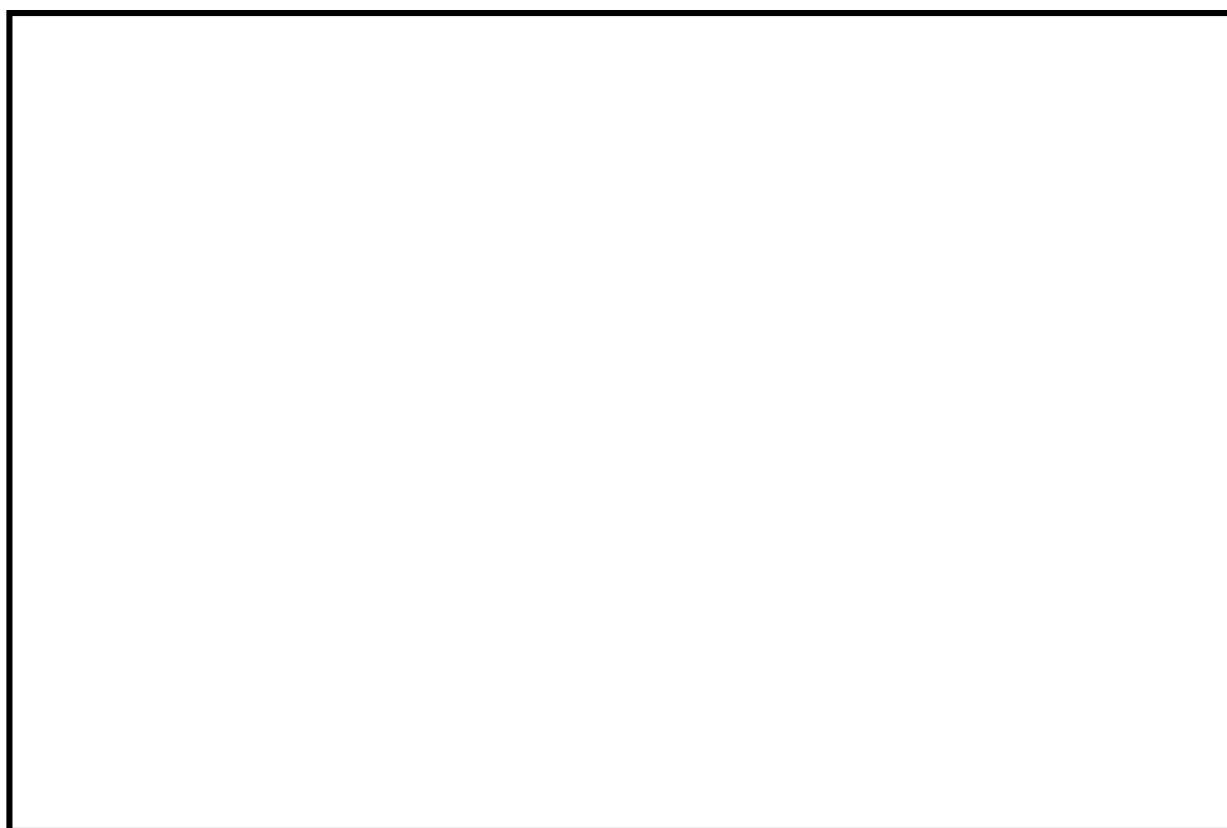


図4-1 耐震補強サポートの荷重伝達機構（横方向荷重が作用する場合）

(1) 長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に連結板に作用する引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{f1} = \frac{C_H \cdot (m_0 + m_{s1} + m_{s2}) \cdot g}{2 \cdot A_f} \dots\dots\dots (4.3.2.1)$$

(2) 横方向地震が作用した場合

a. 第1脚の連結板に作用する引張応力

横方向地震が作用した場合に第1脚の連結板に作用する引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{f21} = \frac{C_H \cdot \{R_1 + (m_{s1} + m_{s1}) \cdot g\}}{2 \cdot A_f} \dots\dots\dots (4.3.2.2)$$

b. 第2脚の連結板に作用する引張応力

a. と同様にして第2脚の連結板に作用する引張応力 σ_{f22} は求められるが、 R_1 を R_2 、 m_{s1} を m_{s2} 、 m_{s1} を m_{s2} とする。横方向地震が作用した場合に第2脚の連結板に作用する引張応力は次式で求める。

a. 及び b. より求められた横方向地震が作用した場合に連結板に作用する引張応力のうち最大のものを σ_{f2} とする。

c. 横方向連結板の最大引張応力

$$\sigma_{f2} = \text{Max} \{ \text{第1脚の連結板に作用する応力} (\sigma_{f21}), \text{第2脚の連結板に作用する応力} (\sigma_{f22}) \} \dots\dots\dots (4.3.2.3)$$

(3) 連結板に生じる最大引張応力

(1) 及び (2) より求められた連結板の引張応力のうち最大のものを σ_f とする。

a. 連結板の最大引張応力

$$\sigma_f = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{f1}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{f2}) \} \dots\dots\dots (4.3.2.4)$$

4.4 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.5 応力の評価

4.5.1 連結板の応力評価

4.3.2項で求めた連結板の引張応力 σ_f が許容引張応力 f_{tf} 以下であること。ただし、 f_{tf} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tf}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却系熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却系熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却系 熱交換器	S	原子炉建物 EL 15.3*1			CH=0.89*2	Cv=0.81*2	CH=1.45*3	Cv=1.16*3	1.37	85	55

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

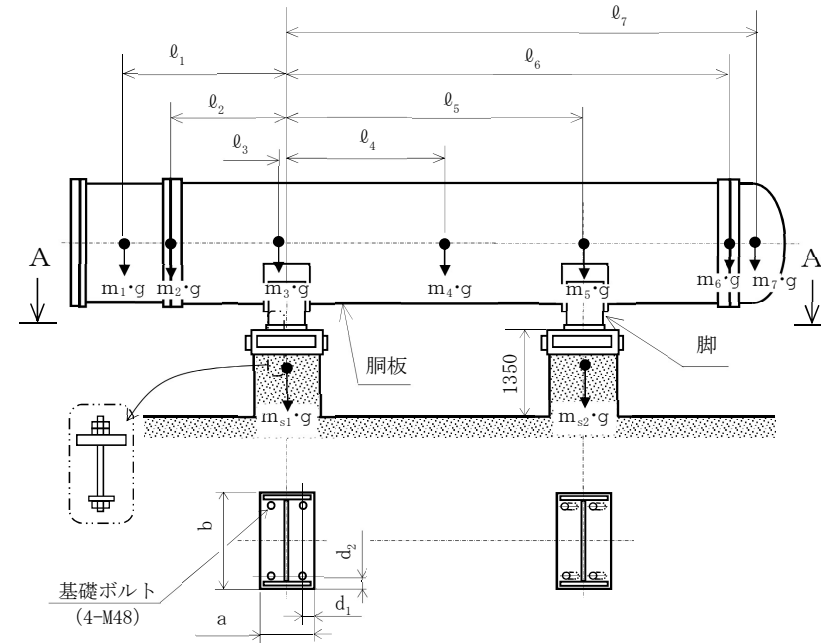
*3：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l ₅ (mm)	l ₆ (mm)	l ₇ (mm)
-2000	-790	0	1960	3900	4860	5520

M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
2.380×10 ⁸	1.143×10 ⁸	3.079×10 ⁵	1.930×10 ⁵



A~A矢視図

(単位：mm)

S2 補 VI-2-5-7-1-1 R1

m_o (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	$m_{s s 1}$ (kg)	$m_{s s 2}$ (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
					1700	14.0	36.0*1	3900	753	1200	0.354	180

C_1 (mm)	C_2 (mm)	$I_{s x}$ (mm ⁴)	$I_{s y}$ (mm ⁴)	$Z_{s x}$ (mm ³)	$Z_{s y}$ (mm ³)	θ_o (rad)	θ (rad)
765	340	2.895×10^{10}	1.470×10^9	3.784×10^7	4.324×10^6	2.100	1.392

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	$A_{s 1}$ (mm ²)	$A_{s 2}$ (mm ²)	$A_{s 3}$ (mm ²)	$A_{s 4}$ (mm ²)
7.935×10^4	199000*3	76500*3	3.440×10^4	4.188×10^4	2.548×10^4	3.701×10^4

K_{11} *2	K_{12} *2	K_{21} *2	K_{22} *2	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	$K_{c 1}$	$K_{c 2}$	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	$C_{c 1}$	$C_{c 2}$
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	A_f (mm ²)
15	4	2	2	750	1600	48 (M48)	1810	100	175	3.840×10^3

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
242*3	441*3	218*3 (16mm<厚さ≤40mm)	377*3 (16mm<厚さ≤40mm)	218	261	209*4 (40mm<径≤100mm)	391*4 (40mm<径≤100mm)	209	250

S_y (連結板) (MPa)	S_u (連結板) (MPa)	F (連結板) (MPa)	F^* (連結板) (MPa)
229*4 (16mm<厚さ≤40mm)	391*4 (16mm<厚さ≤40mm)	229	273

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力		$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力		—	$\sigma_{x 413}=6$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=10$	—	—
組合せ応力		$\sigma_{0\ell}=91$		$\sigma_{0c}=90$		$\sigma_{0\ell}=101$		$\sigma_{0c}=100$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力		$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
運転時質量による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=25$	$\sigma_{x 71}=25$	$\sigma_{\phi 71}=25$	$\sigma_{x 71}=25$
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 411}=14$	$\sigma_{x 411}=6$	$\sigma_{\phi 51}=16$	$\sigma_{x 51}=42$	$\sigma_{\phi 411}=22$	$\sigma_{x 411}=10$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x 51}=68$
		$\sigma_{\phi 412}=7$	$\sigma_{x 412}=7$			$\sigma_{\phi 412}=11$	$\sigma_{x 412}=11$		
	せん断	$\sigma_{\phi 41}=20$	$\sigma_{x 41}=19$	$\tau_{\ell}=24$	$\tau_c=7$	$\sigma_{\phi 41}=33$	$\sigma_{x 41}=30$	$\tau_{\ell}=39$	$\tau_c=11$
組合せ応力		$\sigma_{1\ell}=156$		$\sigma_{1c}=149$		$\sigma_{1\ell}=188$		$\sigma_{1c}=180$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x6} = 22$	—	$\sigma_{x6} = 22$	—	$\sigma_{x6} = 31$	—	$\sigma_{x6} = 31$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71} = 18$ $\sigma_{\phi 72} = 70$	$\sigma_{x71} = 18$ $\sigma_{x72} = 36$	$\sigma_{\phi 71} = 18$ $\sigma_{\phi 72} = 70$	$\sigma_{x71} = 18$ $\sigma_{x72} = 36$	$\sigma_{\phi 71} = 25$ $\sigma_{\phi 72} = 101$	$\sigma_{x71} = 25$ $\sigma_{x72} = 51$	$\sigma_{\phi 71} = 25$ $\sigma_{\phi 72} = 101$	$\sigma_{x71} = 25$ $\sigma_{x72} = 51$
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 41} = 20$	$\sigma_{x41} = 19$	$\sigma_{\phi 51} = 16$	$\sigma_{x51} = 42$	$\sigma_{\phi 41} = 33$	$\sigma_{x41} = 30$	$\sigma_{\phi 51} = 26$	$\sigma_{x51} = 68$
		$\sigma_{\phi 421} = 16$	$\sigma_{x421} = 36$	$\sigma_{\phi 52} = 101$	$\sigma_{x52} = 56$	$\sigma_{\phi 421} = 26$	$\sigma_{x421} = 58$	$\sigma_{\phi 52} = 164$	$\sigma_{x52} = 91$
		$\sigma_{\phi 422} = 27$	$\sigma_{x422} = 14$			$\sigma_{\phi 422} = 44$	$\sigma_{x422} = 22$		
	せん断	$\tau_{\ell} = 24$		$\tau_c = 7$		$\tau_{\ell} = 39$		$\tau_c = 11$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell} = 255$		$\sigma_{2c} = 295$		$\sigma_{2\ell} = 391$		$\sigma_{2c} = 460$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1} = 4$	$\sigma_{s1} = 4$	$\sigma_{s1} = 4$	$\sigma_{s1} = 4$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4} = 4$	$\sigma_{s4} = 4$	$\sigma_{s4} = 5$	$\sigma_{s4} = 5$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} = 41$	$\sigma_{s3} = 9$	$\sigma_{s2} = 67$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	$\tau_{s2} = 18$	$\tau_{s3} = 8$	$\tau_{s2} = 30$	$\tau_{s3} = 13$
組合せ応力		$\sigma_{sf} = 55$	$\sigma_{sc} = 19$	$\sigma_{sf} = 88$	$\sigma_{sc} = 29$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張	$\sigma_{b1} = 75$	$\sigma_{b2} = 64$	$\sigma_{b1} = 143$	$\sigma_{b2} = 124$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	—	—

1.3.4 連結板に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{f1} = 61$	$\sigma_{f2} = 38$	$\sigma_{f1} = 100$	$\sigma_{f2} = 61$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV49*1	一次一般膜	$\sigma_0 = 91$	$S_a = 242$	$\sigma_0 = 101$	$S_a = 264$
		一次	$\sigma_1 = 156$	$S_a = 363$	$\sigma_1 = 188$	$S_a = 396$
		一次+二次	$\sigma_2 = 295$	$S_a = 484$	$\sigma_2 = 460$	$S_a = 484$
脚	SM41A*2 (16mm<厚さ≤40mm)	組合せ	$\sigma_s = 55$	$f_{tm} = 218$	$\sigma_s = 88$	$f_{tm} = 261$
基礎ボルト	SS41*3 (40mm<径≤100mm)	引張	$\sigma_b = 75$	$f_{ts} = 156^{*4}$	$\sigma_b = 143$	$f_{ts} = 187^{*4}$
		せん断	—	—	—	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	引張	$\sigma_f = 61$	$f_{tf} = 229$	$\sigma_f = 100$	$f_{tf} = 273$

注記*1: SGV480 相当

*2: SM400A 相当

*3: SS400 相当

*4: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却系 熱交換器	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 15.3*1			—	—	C _H =1.45*2	C _V =1.16*2	1.37	85	55

注記*1：基準床レベルを示す。

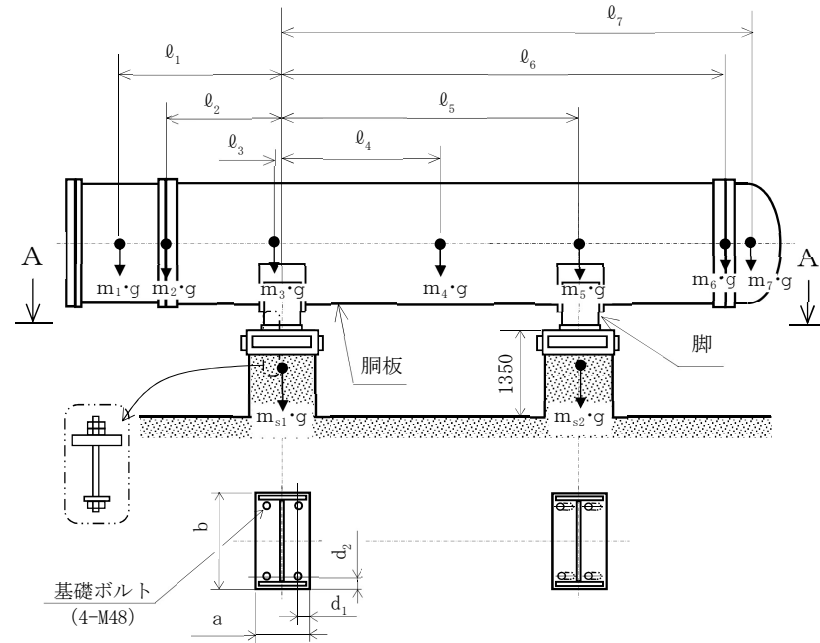
*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
-2000	-790	0	1960	3900	4860	5520

M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
2.380×10 ⁸	1.143×10 ⁸	3.079×10 ⁵	1.930×10 ⁵



A~A矢视图

(单位：mm)

S2 補 VI-2-5-7-1-1 R1

m_o (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	m_{ss1} (kg)	m_{ss2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
					1700	14.0	36.0*1	3900	753	1200	0.354	180

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_o (rad)	θ (rad)
765	340	2.895×10^{10}	1.470×10^9	3.784×10^7	4.324×10^6	2.100	1.392

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
7.935×10^4	199000*3	76500*3	3.440×10^4	4.188×10^4	2.548×10^4	3.701×10^4

K_{11} *2	K_{12} *2	K_{21} *2	K_{22} *2	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	A_f (mm ²)
15	4	2	2	750	1600	48 (M48)	1810	100	175	3.840×10^3

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
242*3	441*3	218*3 (16mm<厚さ≤40mm)	377*3 (16mm<厚さ≤40mm)	261	209*4 (40mm<径≤100mm)	391*4 (40mm<径≤100mm)	250

S_y (連結板) (MPa)	S_u (連結板) (MPa)	F^* (連結板) (MPa)
229*4 (16mm<厚さ≤40mm)	391*4 (16mm<厚さ≤40mm)	273

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=10$	—	—
組合せ応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{0t}=101$		$\sigma_{0c}=100$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=25$	$\sigma_{x 71}=25$	$\sigma_{\phi 71}=25$	$\sigma_{x 71}=25$
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=22$	$\sigma_{x 411}=10$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x 51}=68$
		—	—			$\sigma_{\phi 412}=11$	$\sigma_{x 412}=11$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell}=39$		$\tau_{c}=11$	
組合せ応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{1t}=188$		$\sigma_{1c}=180$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6} = 31$	—	$\sigma_{x6} = 31$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} = 25$ $\sigma_{\phi 72} = 101$	$\sigma_{x71} = 25$ $\sigma_{x72} = 51$	$\sigma_{\phi 71} = 25$ $\sigma_{\phi 72} = 101$	$\sigma_{x71} = 25$ $\sigma_{x72} = 51$
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} = 33$	$\sigma_{x41} = 30$	$\sigma_{\phi 51} = 26$	$\sigma_{x51} = 68$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} = 26$ $\sigma_{\phi 422} = 44$	$\sigma_{x421} = 58$ $\sigma_{x422} = 22$	$\sigma_{\phi 52} = 164$	$\sigma_{x52} = 91$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42} = 70$	$\sigma_{x42} = 80$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_f = 39$		$\tau_c = 11$	
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2f} = 391$		$\sigma_{2c} = 460$		

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 4$	$\sigma_{s1} = 4$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 5$	$\sigma_{s4} = 5$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 67$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 30$	$\tau_{s3} = 13$
組合せ応力	—	—	—	$\sigma_{sf} = 88$	$\sigma_{sc} = 29$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 143$	$\sigma_{b2} = 124$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	—	—

2.3.4 連結板に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{f1} = 100$	$\sigma_{f2} = 61$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV49*1	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 101$	$S_a = 264$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 188$	$S_a = 396$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 460$	$S_a = 484$
脚	SM41A*2 (16mm<厚さ≤40mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 88$	$f_{tm} = 261$
基礎ボルト	SS41*3 (40mm<径≤100mm)	引張	—	—	$\sigma_b = 143$	$f_{ts} = 187^{*4}$
		せん断	—	—	—	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	引張	—	—	$\sigma_f = 100$	$f_{tf} = 273$

注記*1: SGV480 相当

*2: SM400A 相当

*3: SS400 相当

*4: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-7-1-2 原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉補機冷却水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉補機冷却水ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機冷却水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプベースにポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトで固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>うず巻形 (うず巻形横形ポンプ)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉補機冷却水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水ポンプ	S	クラス 3 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	753	894	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	85	701	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	229	391	—

注記* : □

6

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	685	847	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	85	701	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	212	373	—

注記* : □

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉補機冷却水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-7-1-2 R1

【原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却水 ポンプ	S	原子炉建物 EL 15.3*1	—*2	—*2	C _H =1.56*3	C _V =0.75*3	C _H =3.17*4	C _V =1.50*4	C _p =0.11	85	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{f_i} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

6

部材	S _{y_i} (MPa)	S _{u_i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	753*2 (径≤60mm)	894*2 (径≤60mm)	626	626	軸直角	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	701*3 (径≤60mm)	847*3 (径≤60mm)	592	592	軸直角	軸直角	1.910×10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)	229*2 (16mm<径≤40mm)	391*2	229	274	軸直角	軸直角	1.910×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=21$	$f_{ts1}=469^*$	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=469^*$
		せん断	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=361$	$\tau_{b1}=27$	$f_{sb1}=361$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=12$	$f_{ts2}=444^*$	$\sigma_{b2}=25$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=342$	$\tau_{b2}=21$	$f_{sb2}=342$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	$\sigma_{b3}=10$	$f_{ts3}=172^*$	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=205^*$
		せん断	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=132$	$\tau_{b3}=21$	$f_{sb3}=158$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.92	1.4
	鉛直方向	0.97	1.0
原動機	水平方向	0.92	4.7
	鉛直方向	0.97	1.0

注記*：設計用震度 I (基準地震動 S_s) により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

S2 補 VI-2-5-7-1-2 R1

【原子炉補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉補機冷却水 ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 15.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =3.17*3	C _V =1.50*3	C _P =0.11	85	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

11

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	685*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	—	592	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	701*3 (径≤60mm)	847*3 (径≤60mm)	—	592	—	軸直角	1.910×10 ⁶
原動機取付ボルト (i=3)	212*2 (16mm<径≤40mm)	373*2	—	254	—	軸直角	1.910×10 ⁶

H _p (μm)	N (rpm)

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=27$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=25$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=21$	$f_{sb2}=342$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=21$	$f_{sb3}=146$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

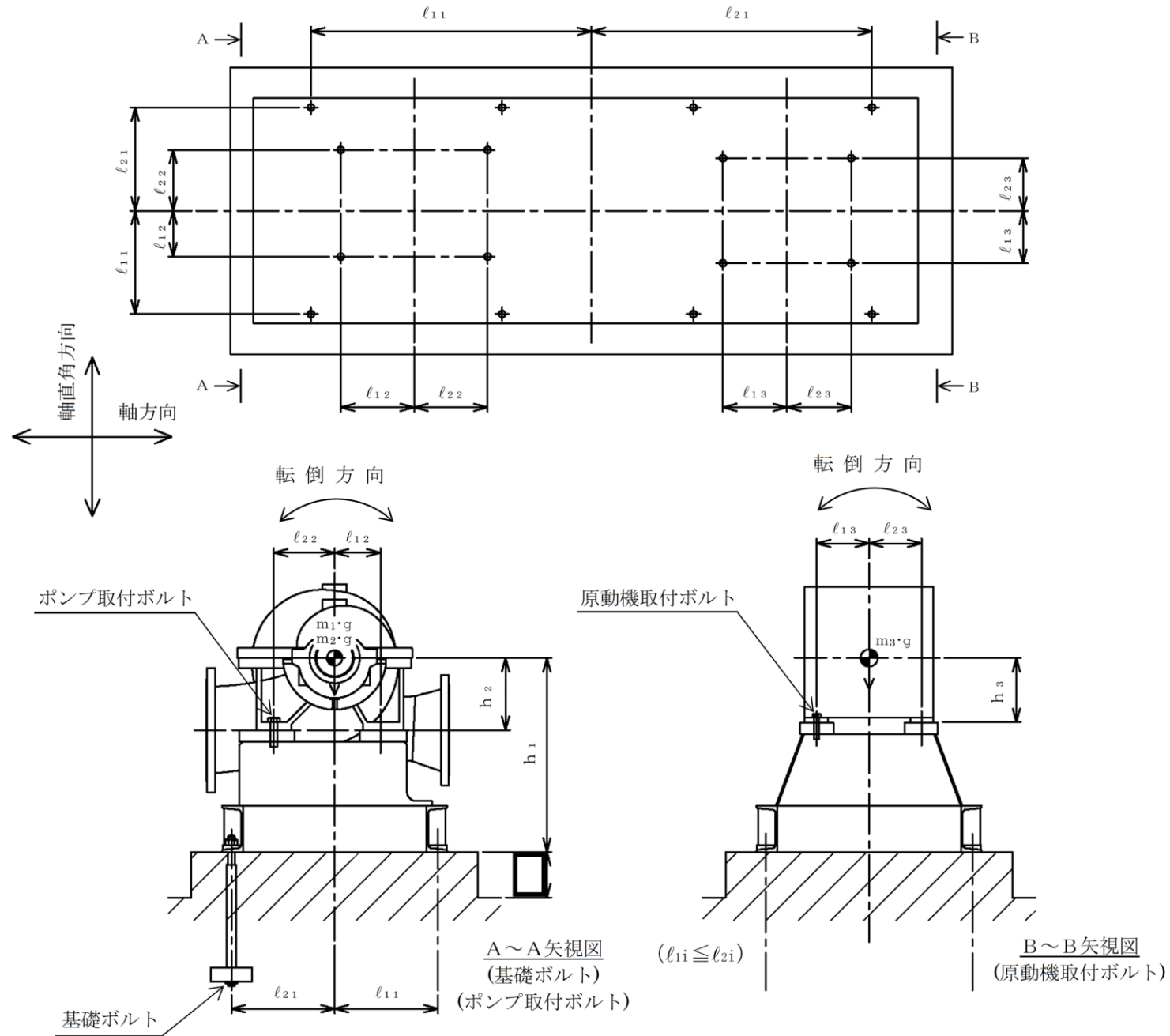
2.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.92	1.4
	鉛直方向	0.97	1.0
原動機	水平方向	0.92	4.7
	鉛直方向	0.97	1.0

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-7-1-3 原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	11
3.6 サポート部の計算方法	13
3.7 計算条件	15
3.8 応力の評価	15
4. 機能維持評価	16
4.1 動的機能維持評価方法	16
5. 評価結果	17
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	17

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉補機海水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉補機海水ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機海水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機海水ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。コラムパイプはサポートに支持され、サポートはサポート取付ボルトでサポートベースに固定され、サポートベースはサポート基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>原動機取付ボルト</p> <p>原動機</p> <p>ポンプ</p> <p>ポンプ取付ボルト</p> <p>ポンプベース</p> <p>基礎ボルト</p> <p>基礎</p> <p>サポート</p> <p>サポート取付ボルト</p> <p>A~A矢視図</p> <p>サポート基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>サポートベース</p> <p>B~B矢視図</p> <p>サポート</p> <p>サポート取付ボルト</p> <p>サポートベース</p> <p>サポート基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>基礎</p> <p>コラムパイプ</p> <p>ロータ</p> <p>軸受</p> <p>基礎 (単位: mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

原子炉補機海水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。コラムパイプはサポートに支持されるため、サポート取付ボルト及びサポート基礎ボルト（以下「サポート部ボルト」という。）について評価を実施する。サポート部ボルトの耐震計算方法は上記方針によらないため、「3.6 サポート部の計算方法」に基づき実施する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機海水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

原子炉補機海水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機 海水ポンプ	S	クラス外*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 3 ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機 海水ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界* ¹			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と 1.2・S との大きい方とする。	左欄の 1.5 倍の値	* ² S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係 数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	* ² S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは 2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		コラムパイプ	最高使用温度	40	—	245	400
基礎ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205	
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	205	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	715	838	—	
サポート基礎ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	205	
サポート取付ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	205	

注記* :

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
コラムパイプ		最高使用温度	40	—	—	400	—
基礎ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	715	838	—
サポート基礎ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—
サポート取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—

注記* :

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表3-7、振動モード図を図3-1に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は2次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表3-7 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS方向	EW方向	
1次	水平	0.117	2.624	2.624	—

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

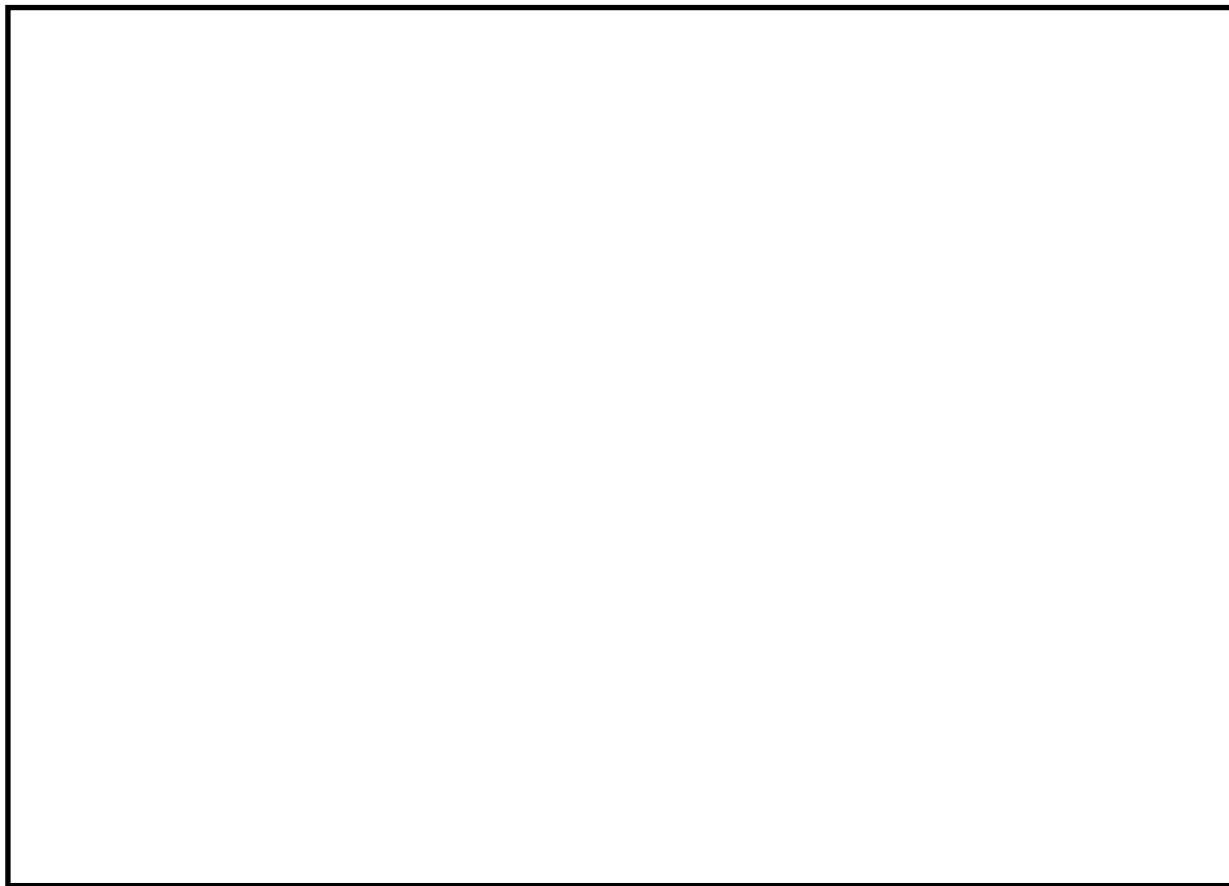


図 3-1 振動モード図 (1 次モード 水平方向 0.117s)

3.5 設計用地震力

原子炉補機海水ポンプの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.117 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.117	6.64	7.39	—	6.64	7.39	—
動的震度 ^{*6, *7}		1.41	1.67	1.28	1.41	1.67	1.28
静的震度 ^{*8}		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.117 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.117	—	—	—	6.64	7.39	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	—	—	1.41	1.67	1.28
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

3.6 サポート部の計算方法

3.6.1 記号の説明

原子炉補機海水ポンプのサポート部の応力評価に使用する記号を表 3-10 に示す。

表 3-10 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{s b j}$	サポート部ボルトの軸断面積*	mm ²
C_p	ポンプ振動による震度（鉛直方向）	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
$D_{s j}$	サポート部ボルトのピッチ円直径*	mm
$d_{s j}$	サポート部ボルトの呼び径*	mm
F_j	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値*	MPa
F_j^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値*	MPa
$F_{s b j}$	サポート部ボルトに作用する引張力（1本当たり）*	N
$f_{s s b j}$	せん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力*	MPa
$f_{s t o j}$	引張力のみを受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
$f_{s t s j}$	引張力とせん断力を同時に受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
$M_{s j}$	サポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	N・mm
$M_{s C p j}$	水平方向のポンプ振動による震度によりサポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	N・mm
$m_{s j}$	サポート部ボルトに作用するサポート質量*	kg
$n_{s j}$	サポート部ボルトの本数*	—
$n_{s f j}$	評価上引張力を受けるとして期待するサポート部ボルトの本数*	—
$Q_{s b j}$	サポート部ボルトに作用するせん断力*	N
$S_u, S_{u j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*	MPa
$S_y, S_{y j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*	MPa
$S_{y j} (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値*	MPa
$\sigma_{s b j}$	サポート部ボルトに生じる引張応力*	MPa
$\tau_{s b j}$	サポート部ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 j の意味は、以下のとおりとする。

$j = 1$ ：サポート基礎ボルト

$j = 2$ ：サポート取付ボルト

3.6.2 応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，サポート部ボルトに生じる応力を次式で求める。なお，図 3-2 にサポート部の応力計算モデルを示す。

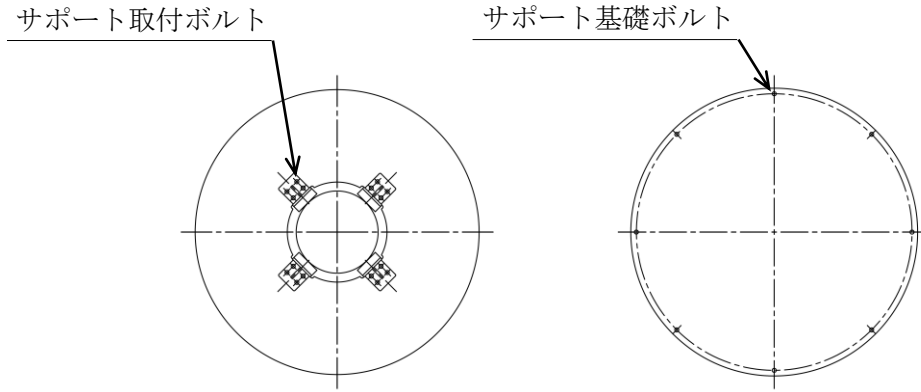


図 3-2 サポート部の応力計算モデル

(1) 引張応力

サポート基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし，最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

なお，サポート取付ボルトについては，荷重の発生方向がせん断方向のみのため，引張応力は発生しない。

引張力

$$F_{sbj} =$$

$$\frac{\sqrt{M_{sj}^2 + (C_v \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2})^2} + M_{scpj} + (C_p - 1) \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{sfj} \cdot D_{sj}}$$

..... (3.6.2.1)

引張応力

$$\sigma_{sbj} = \frac{F_{sbj}}{A_{sbj}} \quad \text{..... (3.6.2.2)}$$

ここで，サポート部ボルトの軸断面積 A_{sbj} は次式により求める。

$$A_{sbj} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{sj}^2 \quad \text{..... (3.6.2.3)}$$

(2) せん断応力

サポート部ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau_{s b j} = \frac{Q_{s b j}}{n_{s j} \cdot A_{s b j}} \dots\dots\dots (3.6.2.4)$$

3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.8 応力の評価

3.8.1 サポート部ボルトの応力評価

3.6.2 項で求めたサポート部ボルトの引張応力 $\sigma_{s b j}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{s t s j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s t o j}$ は下表による。

$$f_{s t s j} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{s t o j} - 1.6 \cdot \tau_{s b j}, f_{s t o j}] \dots\dots\dots (3.8.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{s b j}$ はせん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力 $f_{s s b j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s s b j}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{s t o j}$	$\frac{F_j}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s s b j}$	$\frac{F_j}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉補機海水ポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉補機海水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	立形斜流 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり 軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機海水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機海水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
原子炉補機海水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.117	0.05 以下	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _H =1.67*4 又は*5	C _V =1.28*4	C _p =0.06	40		0.98

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (R T) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	3.263×10 ⁶	205*2	520*2	205	205	205
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	3.263×10 ⁶	715*1	838*1	—	586	586

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	245* (厚さ ≤ 16mm)	400* (厚さ ≤ 16mm)		

注記*：最高使用温度で算出

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R1

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	S_{yj} (RT) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	205	205	205
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	205	205	205

注記*：最高使用温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M_i (N・mm)		M_{Cp_i} (N・mm)	F_{b_i} (N)		Q_{b_i} (N)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)							
ポンプ取付ボルト ($i=2$)							
原動機取付ボルト ($i=4$)							

(2) コラムパイプに作用する力

(単位 : N・mm)

部材	M		M_{Cp}
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	
コラムパイプ			

(3) サポート部ボルトに作用する力

部材	M_{s_j} (N・mm)		M_{sCp_j} (N・mm)	$F_{s_b_j}$ (N)		$Q_{s_b_j}$ (N)	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート基礎ボルト ($j=1$)							
サポート取付ボルト ($j=2$)							

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1}=0.117$
鉛直方向	$T_{V1}=0.05$ 以下

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=79$	$f_{ts1}=153^*$	$\sigma_{b1}=79$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	$\sigma_{b4}=144$	$f_{ts4}=440^*$	$\sigma_{b4}=144$	$f_{ts4}=440^*$
		せん断	$\tau_{b4}=50$	$f_{sb4}=338$	$\tau_{b4}=50$	$f_{sb4}=338$

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

21

1.4.4 サポート部ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	$\sigma_{sb1}=36$	$f_{sts1}=119^*$	$\sigma_{sb1}=36$	$f_{sts1}=119^*$
		せん断	$\tau_{sb1}=41$	$f_{ssb1}=94$	$\tau_{sb1}=41$	$f_{ssb1}=94$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$
		せん断	$\tau_{sb2}=37$	$f_{ssb2}=118$	$\tau_{sb2}=37$	$f_{ssb2}=118$

注記*: $f_{stsj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj} - 1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma=113$	$S_a=240$
		基準地震動 S _s	$\sigma=113$	$S_a=240$

すべて許容応力以下である。

1.4.5 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.40	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.40	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）を上回る設計震度により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
60			
61			
62			

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		4.909×10 ⁶
2	2-3	1		4.909×10 ⁶
3	3-4	1		1.018×10 ⁷
4	4-5	1		1.018×10 ⁷
5	5-6	1		1.018×10 ⁷
6	6-7	1		1.018×10 ⁷
7	7-8	1		4.715×10 ⁶
8	8-9	1		4.715×10 ⁶
9	9-10	1		4.715×10 ⁶
10	10-11	1		1.018×10 ⁷
11	11-12	1		1.198×10 ⁷
12	12-13	1		1.198×10 ⁷
13	13-14	1		1.402×10 ⁷
14	14-61	1		8.004×10 ⁶
15	15-16	1		8.004×10 ⁶
16	16-17	1		8.004×10 ⁶
17	17-18	1		1.018×10 ⁷
18	18-19	1		4.528×10 ⁶
19	19-20	1		4.528×10 ⁶
20	20-21	1		4.528×10 ⁶
21	21-22	1		4.909×10 ⁶
22	22-23	2		3.580×10 ⁷
23	23-24	3		4.528×10 ⁶
24	24-25	3		2.485×10 ⁷
25	25-26	3		2.485×10 ⁷
26	26-27	3		1.018×10 ⁷
27	28-29	1		3.395×10 ⁸
28	29-30	1		1.089×10 ⁹
29	30-31	1		1.089×10 ⁹
30	31-32	4		8.896×10 ⁸
31	32-33	4		8.896×10 ⁸
32	33-34	4		8.896×10 ⁸
33	34-35	4		8.896×10 ⁸
34	35-36	4		8.896×10 ⁸
35	36-37	4		8.896×10 ⁸
36	37-38	4		8.896×10 ⁸
37	38-39	4		8.896×10 ⁸
38	39-40	4		8.896×10 ⁸
39	40-41	4		8.896×10 ⁸
40	41-42	4		8.896×10 ⁸

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-62	4		8.896×10^8
42	43-44	4		8.896×10^8
43	44-45	4		8.896×10^8
44	45-46	4		8.896×10^8
45	46-47	4		8.127×10^8
46	47-48	4		8.127×10^8
47	48-49	4		9.613×10^7
48	50-51	4		9.799×10^9
49	51-52	4		9.799×10^9
50	52-53	4		9.799×10^9
51	53-54	3		3.837×10^9
52	54-55	3		3.837×10^9
53	55-56	3		3.837×10^9
54	56-57	3		2.500×10^9
55	58-50	2		5.075×10^{11}
56	61-15	1		8.004×10^6
57	62-43	4		8.896×10^8

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	30		
6	34		
10	38		
13	41		
17	45		
24	54		
26	56		
47	50		
26	56		
47	50		
29	60		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)


節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
60	
61	
62	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1	40	1.94×10^5		0.3	
2		2.01×10^5		0.3	
3		2.00×10^5		0.3	
4	40	2.02×10^5		0.3	

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
原子炉補機海水ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	取水槽 EL 1.1*1	0.117	0.05 以下	—	—	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _p =0.06	40		0.98

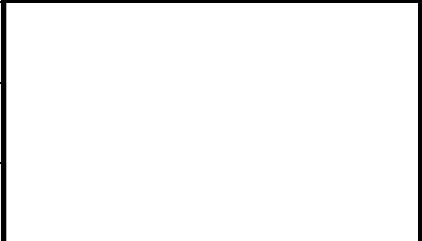
注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目


(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	—	246
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	3.263×10 ⁶	205*2	520*2	—	—	246
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	3.263×10 ⁶	715*1	838*1	—	—	586

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	—	400* (厚さ ≤ 16mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R1

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	S_{yj} (RT) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	—	—	246
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	—	—	246

注記*：最高使用温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{C_Pi} (N・mm)	F _{b_i} (N)		Q _{b_i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—			—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—			—		—	
原動機取付ボルト (i=4)	—			—		—	

(2) コラムパイプに作用する力

(単位 : N・mm)

部材	M		M _{C_P}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ	—		

(3) サポート部ボルトに作用する力

部材	M _{s_j} (N・mm)		M _{s_{C_Pj}} (N・mm)	F _{s_{b_j}} (N)		Q _{s_{b_j}} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎ボルト (j=1)	—			—		—	
サポート取付ボルト (j=2)	—			—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1}=0.117$
鉛直方向	$T_{V1}=0.05$ 以下

2.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=79$	$f_{ts1}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=142$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=142$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4}=144$	$f_{ts4}=440^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=50$	$f_{sb4}=338$

2.4.3 コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力	許容応力
コラムパイプ		基準地震動 S _s	$\sigma=113$	$S_a=240$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

34

2.4.4 サポート部ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	—	—	$\sigma_{sb1}=36$	$f_{sts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{sb1}=41$	$f_{ssb1}=113$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	—	—	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$
		せん断	—	—	$\tau_{sb2}=37$	$f_{ssb2}=142$

注記*： $f_{stsj}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj}-1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.5 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.40	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.40	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）を上回る設計震度により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度
又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
60			
61			
62			

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R1

(2) 要素の断面性

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		4.909×10^6
2	2-3	1		4.909×10^6
3	3-4	1		1.018×10^7
4	4-5	1		1.018×10^7
5	5-6	1		1.018×10^7
6	6-7	1		1.018×10^7
7	7-8	1		4.715×10^6
8	8-9	1		4.715×10^6
9	9-10	1		4.715×10^6
10	10-11	1		1.018×10^7
11	11-12	1		1.198×10^7
12	12-13	1		1.198×10^7
13	13-14	1		1.402×10^7
14	14-61	1		8.004×10^6
15	15-16	1		8.004×10^6
16	16-17	1		8.004×10^6
17	17-18	1		1.018×10^7
18	18-19	1		4.528×10^6
19	19-20	1		4.528×10^6
20	20-21	1		4.528×10^6
21	21-22	1		4.909×10^6
22	22-23	2		3.580×10^7
23	23-24	3		4.528×10^6
24	24-25	3		2.485×10^7
25	25-26	3		2.485×10^7
26	26-27	3		1.018×10^7
27	28-29	1		3.395×10^8
28	29-30	1		1.089×10^9
29	30-31	1		1.089×10^9
30	31-32	4		8.896×10^8
31	32-33	4		8.896×10^8
32	33-34	4		8.896×10^8
33	34-35	4		8.896×10^8
34	35-36	4		8.896×10^8
35	36-37	4		8.896×10^8
36	37-38	4		8.896×10^8
37	38-39	4		8.896×10^8
38	39-40	4		8.896×10^8
39	40-41	4		8.896×10^8
40	41-42	4		8.896×10^8

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-62	4		8.896×10^8
42	43-44	4		8.896×10^8
43	44-45	4		8.896×10^8
44	45-46	4		8.896×10^8
45	46-47	4		8.127×10^8
46	47-48	4		8.127×10^8
47	48-49	4		9.613×10^7
48	50-51	4		9.799×10^9
49	51-52	4		9.799×10^9
50	52-53	4		9.799×10^9
51	53-54	3		3.837×10^9
52	54-55	3		3.837×10^9
53	55-56	3		3.837×10^9
54	56-57	3		2.500×10^9
55	58-50	2		5.075×10^{11}
56	61-15	1		8.004×10^6
57	62-43	4		8.896×10^8

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	30		
6	34		
10	38		
13	41		
17	45		
24	54		
26	56		
47	50		
26	56		
47	50		
29	60		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

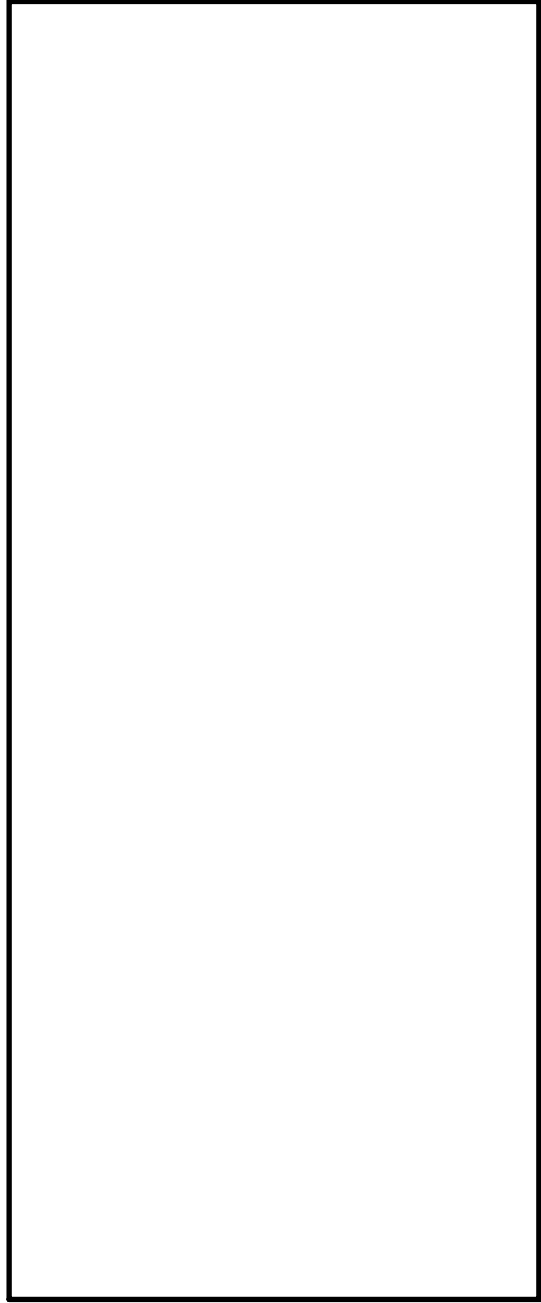
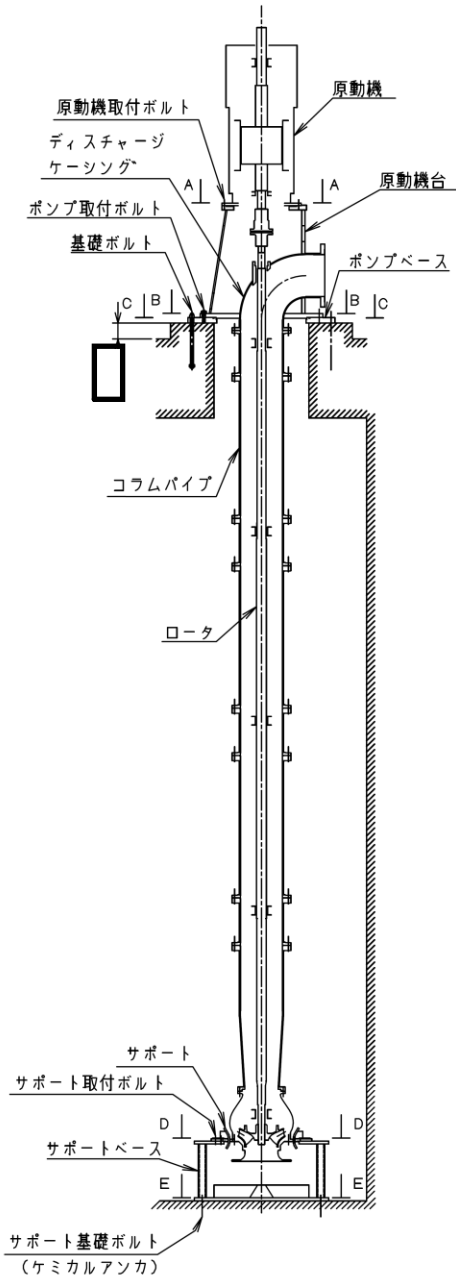
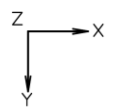
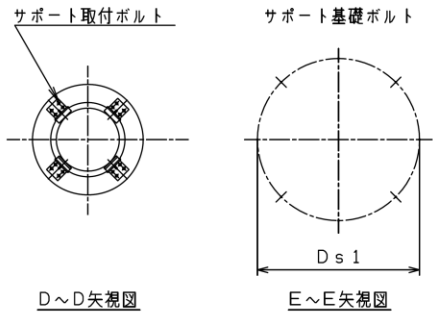
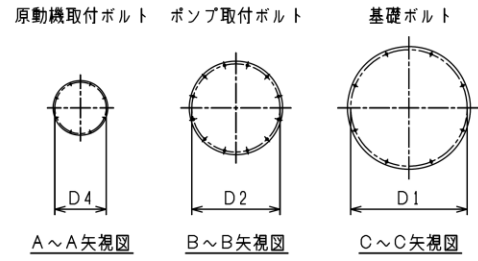
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
60	
61	
62	

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R1

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1	40	1.94×10^5		0.3	
2		2.01×10^5		0.3	
3		2.00×10^5		0.3	
4	40	2.02×10^5		0.3	



VI-2-5-7-1-4 原子炉補機冷却系サージタンクの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機冷却系サージタンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉補機冷却系サージタンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、原子炉補機冷却系サージタンクは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機冷却系サージタンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面に平板、下面に 鏡板を有するスカート 支持たて置円筒形容 器)</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却系サージタンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却系サージタンクの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却系サージタンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉補機冷却系サージタンクの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却系サージタンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却系サージタンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却系サージタンク	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却系サージタンク	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	*2 弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS				
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	*2 基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2： $2 \cdot S_y$ を超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)		許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	
	引張	座屈 ^{*3}	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_b,$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界 を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	66	—	234	385	—
スカート	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*1 : SM400A 相当

*2 : SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	100				
胴板	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	100	—	221	373	—
スカート	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	100	—	221	373	—
基礎ボルト	SS41 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—

注記*1：SM400A 相当

*2：SS400 相当

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却系サージタンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却系サージタンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-7-1-4 R1

【原子炉補機冷却系サージタンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
原子炉補機冷却系 サージタンク	S	原子炉建物 EL 42.8*1			$C_H=2.04^{*2}$	$C_V=1.34^{*2}$	$C_H=2.74^{*3}$	$C_V=2.46^{*3}$	静水頭	66	50	1.00

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

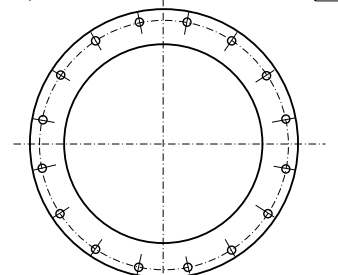
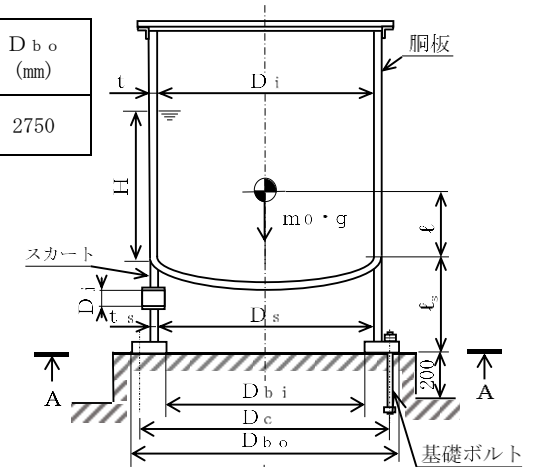
m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
		2500	9.0	2500	9.0	200000*1	201000*2	76900*1	77300*2

ℓ (mm)	ℓ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	D_4 (mm)	D_5 (mm)	D_6 (mm)	D_7 (mm)	H (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{b_o} (mm)
710	1140	700	700	130	130	130	160	240	2060	15	16	2650	2750

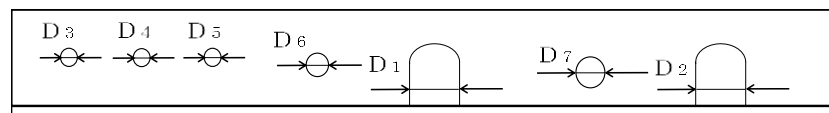
D_{b_i} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	M_s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
2300	20 (M20)	314.2	2209	5.404×10^8	7.258×10^8

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
234*1 (厚さ ≤ 16mm)	385*1 (厚さ ≤ 16mm)	—	241*2 (厚さ ≤ 16mm)	394*2 (厚さ ≤ 16mm)	241	275

S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	231	275



A~A 矢視図



スカート開口部の形状を示す。

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出

(単位：mm)

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1} = 3$	$\sigma_{x1} = 0$	—	$\sigma_{\phi 1} = 3$	$\sigma_{x1} = 0$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x2} = 2$	—	—	$\sigma_{x2} = 2$	—
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2} = 4$	$\sigma_{x5} = 3$	—	$\sigma_{\phi 2} = 7$	$\sigma_{x5} = 5$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x3} = 1$	—	—	$\sigma_{x3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x6} = 1$	—	—	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4} = 5$	$\tau = 9$	—	$\sigma_{x4} = 7$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi} = 7$	$\sigma_{xt} = 7$	—	$\sigma_{\phi} = 10$	$\sigma_{xt} = 10$
	圧縮側	$\sigma_{\phi} = -7$	$\sigma_{xc} = 5$	—	$\sigma_{\phi} = -10$	$\sigma_{xc} = 7$
組合せ応力	引張				$\sigma_{ot} = 21$	
	圧縮				$\sigma_{oc} = 22$	

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x5} = 3$	—	—	$\sigma_{x5} = 5$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	$\sigma_{\phi 2} = 4$	$\sigma_{x6} = 1$	—	$\sigma_{\phi 2} = 7$	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x4} = 5$	$\tau = 9$	—	$\sigma_{x4} = 7$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi} = 4$	$\sigma_{2xt} = 6$	—	$\sigma_{2\phi} = 7$	$\sigma_{2xt} = 8$
	圧縮側	$\sigma_{2\phi} = -4$	$\sigma_{2xc} = 5$	—	$\sigma_{2\phi} = -7$	$\sigma_{2xc} = 7$
組合せ応力 (変動値)	引張				$\sigma_{2t} = 37$	
	圧縮				$\sigma_{2c} = 26$	

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	
運転時質量による応力	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_s = 37$	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_s = 49$	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s3} = 4$		$\sigma_{s3} = 7$		
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = 28$		$\sigma_{s2} = 38$
	せん断		$\tau_s = 12$		$\tau_s = 16$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	$\sigma_b = 85$	$\sigma_b = 138$
せん断応力	$\tau_b = 59$	$\tau_b = 78$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_V =$ <input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM41A	一次一般膜	$\sigma_o = 16$	$S_a = 231$	$\sigma_o = 22$	$S_a = 231$
		一次+二次	$\sigma_2 = 26$	$S_a = 468$	$\sigma_2 = 37$	$S_a = 468$
スカート	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 37$	$f_{tm} = 241$	$\sigma_s = 49$	$f_{tm} = 275$
		圧縮と曲げ の組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
			0.19 (無次元)		0.26 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張	$\sigma_b = 85$	$f_{ts} = 149^*$	$\sigma_b = 138$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	$\tau_b = 59$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 78$	$f_{sb} = 158$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
原子炉補機冷却系 サージタンク	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 42.8*1			—	—	C _H =2.74*2	C _V =2.46*2	静水頭	100	100	1.00

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
		2500	9.0	2500	9.0	198000*1	198000*2	76100*1	76100*2

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	D ₆ (mm)	D ₇ (mm)	H (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)
710	1140	700	700	130	130	130	160	240	2060	15	16	2650	2750

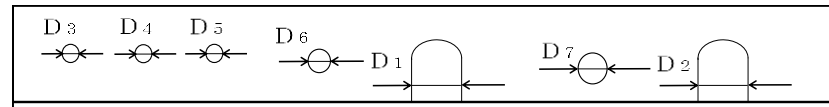
D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
2300	20 (M20)	314.2	2209	—	7.258×10 ⁸

S _y (銅板) (MPa)	S _u (銅板) (MPa)	S (銅板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
221*1 (厚さ ≤ 16mm)	373*1 (厚さ ≤ 16mm)	—	221*2 (厚さ ≤ 16mm)	373*2 (厚さ ≤ 16mm)	221	261

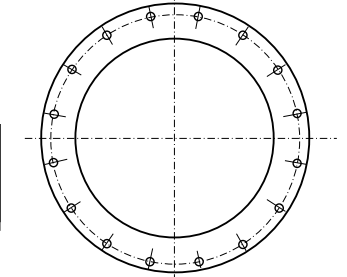
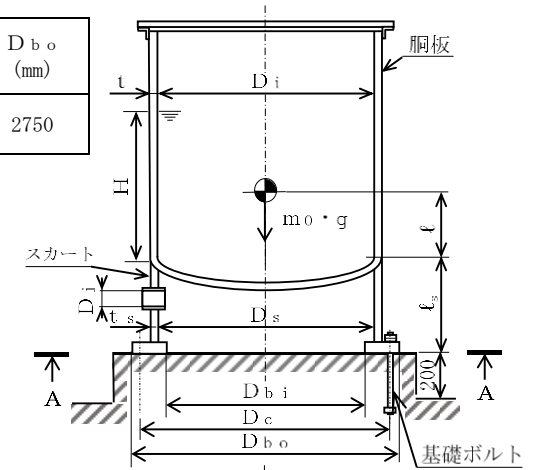
S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
212*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	373*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	—	254

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A~A 矢視図

(単位：mm)

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 3$	$\sigma_{x1} = 0$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2} = 2$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 7$	$\sigma_{x5} = 5$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4} = 7$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} = 10$	$\sigma_{xt} = 10$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} = -10$	$\sigma_{xc} = 7$	—
組合せ応力	引張	—	—	$\sigma_{ot} = 21$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{oc} = 22$		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5} = 5$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 7$	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4} = 7$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 7$	$\sigma_{2xt} = 8$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = -7$	$\sigma_{2xc} = 7$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	—	—	$\sigma_{2t} = 37$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c} = 26$		

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_s = 49$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3} = 7$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = 38$	
	せん断		$\tau_s = 16$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b = 138$
せん断応力	—	$\tau_b = 78$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_V =$ <input type="text"/>

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM41A	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 22$	$S_a = 223$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 37$	$S_a = 442$
スカート	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 49$	$f_{tm} = 261$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
			—		0.27 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 138$	$f_{ts} = 141^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 78$	$f_{sb} = 146$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

VI-2-5-7-1-5 原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	8
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	18
6. 評価結果	19
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、原子炉補機海水ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉補機海水ストレーナは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機海水ストレーナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
原子炉補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	バスケット形ダブルストレーナ	<p>(N1-N2 直角方向)</p> <p>(N1-N2 方向)</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉補機海水ストレーナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉補機海水ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉補機海水ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

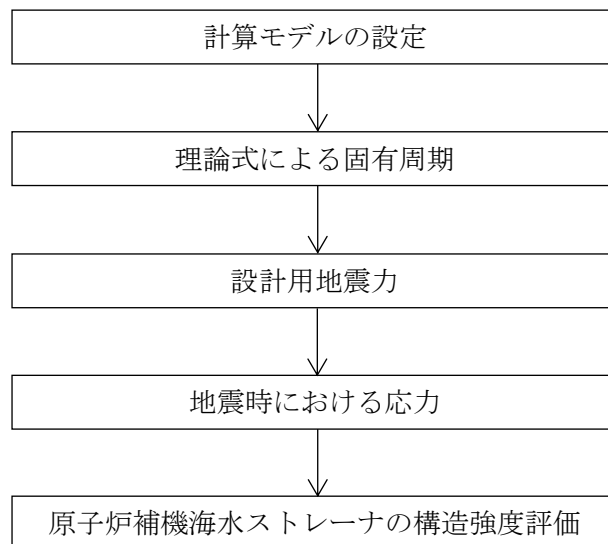


図 2-1 原子炉補機海水ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	脚の断面二次モーメント	mm^4
l_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

原子炉補機海水ストレーナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。原子炉補機海水ストレーナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

原子炉補機海水ストレーナの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 原子炉補機海水ストレーナの質量は重心に集中するものとする。
- b. 原子炉補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. 原子炉補機海水ストレーナは，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

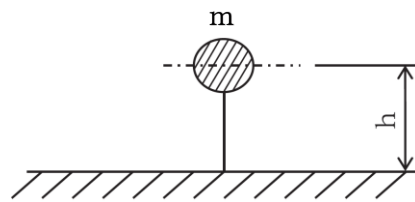


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{A_s \cdot G} \right)} \quad \dots (4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	0.012
鉛直	—*

注記*：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は原子炉補機海水ストレーナに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における N1-N2 直角方向及び N1-N2 方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機海水ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

原子炉補機海水ストレーナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機海水ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機海水ストレーナ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機海水ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

5.3 設計用地震力

原子炉補機海水ストレーナの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-6に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-7に示す。

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1 ^{*1}	0.012	— ^{*2}	C _H =1.97 ^{*3}	C _V =0.95 ^{*3}	C _H =3.45 ^{*4}	C _V =2.13 ^{*4}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度

表5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1 ^{*1}	0.012	— ^{*2}	—	—	C _H =3.45 ^{*3}	C _V =2.13 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

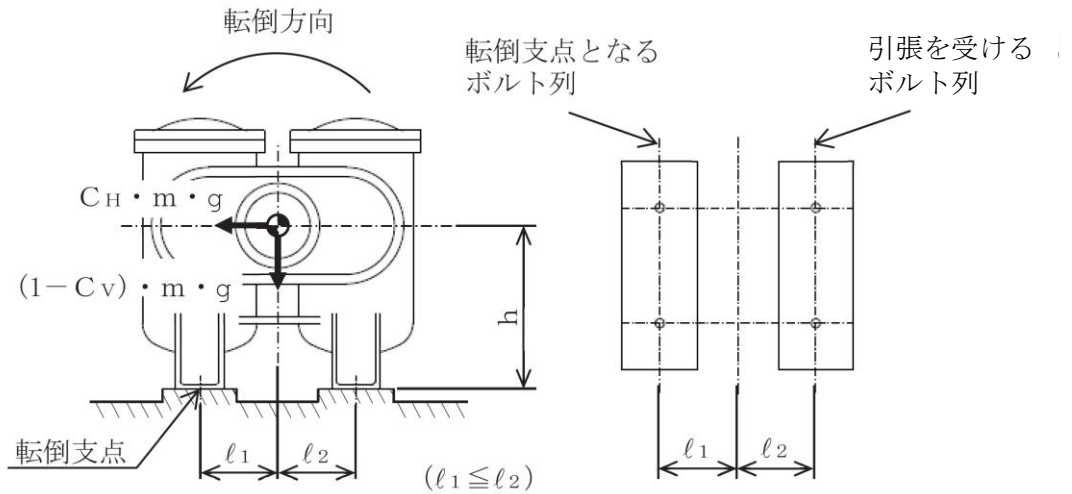
*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

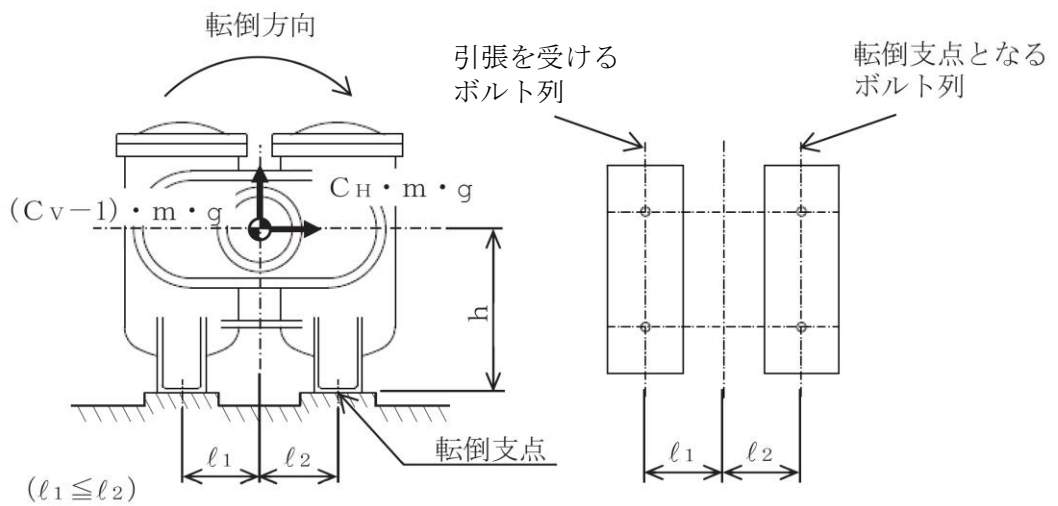
5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。



$(1 - C_v) \geq 0$ の場合

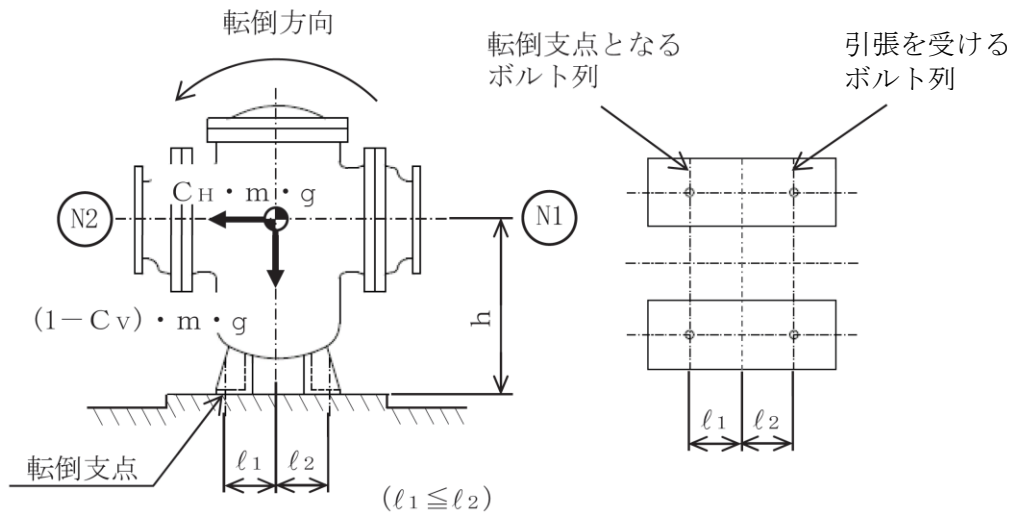
(弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)



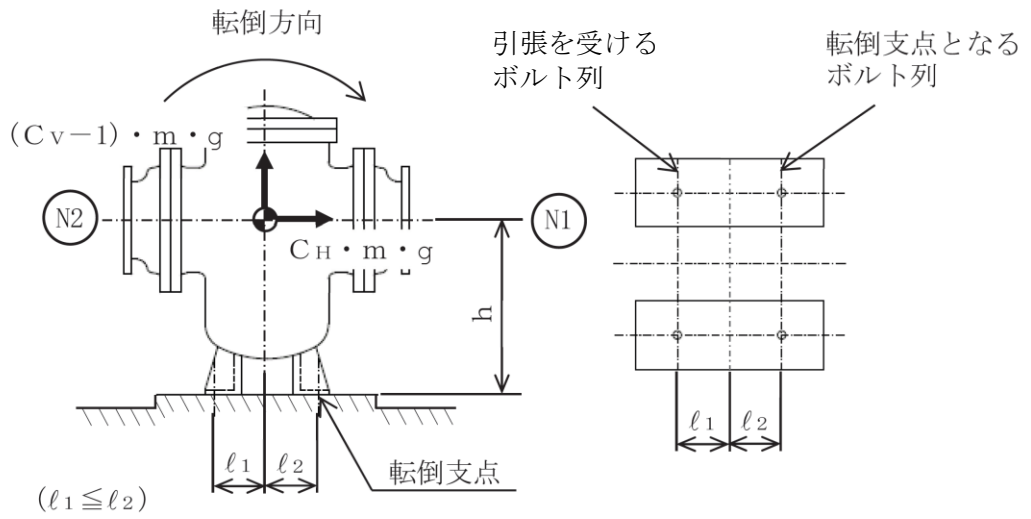
$(1 - C_v) < 0$ の場合

(基準地震動 S_s の場合)

図 5-1 計算モデル (N1-N2 直角方向転倒)



($1 - C_v \geq 0$) の場合
 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)



($1 - C_v < 0$) の場合
 (基準地震動 S_s の場合)

図 5-2 計算モデル (N1-N2 方向転倒)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-1及び図5-2で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

【 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張力

【 $(1 - C_v) < 0$ の場合 (基準地震動 S_s の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S _s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機海水ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機海水ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-7-1-5 R1

【原子炉補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉補機海水ストレーナ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.012	—*2	C _H =1.97*3	C _V =0.95*3	C _H =3.45*4	C _V =2.13*4	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト	21000	1550	42 (M42)	750	750	4	2
				600	600		2

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	1.385×10 ³	764*2 (径≤60mm)	906*2 (径≤60mm)	634	634	N1-N2	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
201000*2	77300*2	3.896×10 ¹⁰	8.828×10 ⁵

注記*1：基礎ボルトにおける上段は N1-N2 直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は N1-N2 方向転倒に対する評価時の要目を示す。

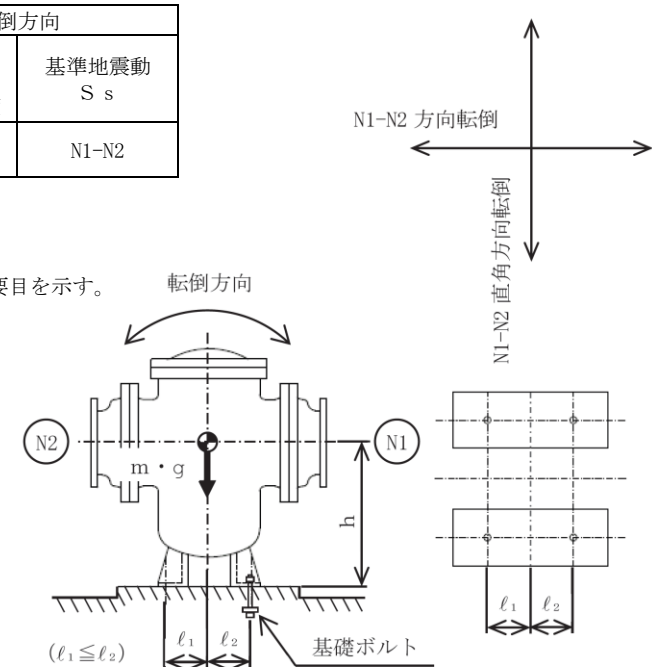
*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	2.594×10 ⁵	5.170×10 ⁵	4.057×10 ⁵	7.105×10 ⁵



S2 補 VI-2-5-7-1-5 R1

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H=0.012$
鉛直方向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_b=188$	$f_{ts}=475^*$	$\sigma_b=374$	$f_{ts}=460^*$
		せん断	$\tau_b=74$	$f_{sb}=366$	$\tau_b=129$	$f_{sb}=366$

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

S2 補 VI-2-5-7-1-5 R1

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
原子炉補機海水ストレーナ	常設/防止 (DB 拡張)	取水槽 EL 1.1*1	0.012	—*2	—	—	C _H =3.45*3	C _V =2.13*3	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト	21000	1550	42	750	750	4	2
			(M42)	600	600		2

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	1.385×10 ³	764*2 (径≦60mm)	906*2 (径≦60mm)	—	634	—	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
201000*2	77300*2	3.896×10 ¹⁰	8.828×10 ⁵

注記*1：基礎ボルトにおける上段は N1-N2 直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は N1-N2 方向転倒に対する評価時の要目を示す。

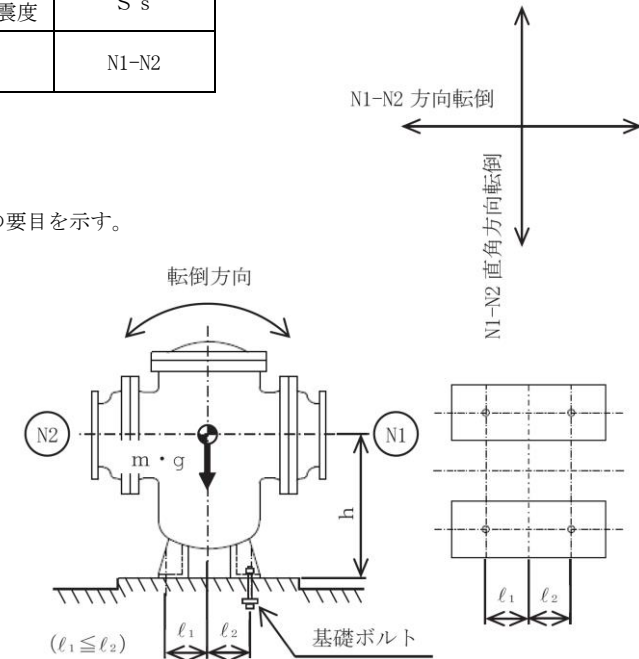
*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	5.170×10 ⁵	—	7.105×10 ⁵



S2 補 VI-2-5-7-1-5 R1E

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H=0.012$
鉛直方向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張	—	—	$\sigma_b=374$	$f_{ts}=460^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=129$	$f_{sb}=366$

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-7-1-6 管の耐震性についての計算書
(原子炉補機冷却系及び原子炉補機海水系)

(1) 原子炉補機冷却系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	9
3. 計算条件	20
3.1 計算方法	20
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	21
3.3 設計条件	23
3.4 材料及び許容応力	39
3.5 設計用地震力	40
4. 解析結果及び評価	41
4.1 固有周期及び設計震度	41
4.2 評価結果	53
4.2.1 管の応力評価結果	53
4.2.2 支持構造物評価結果	55
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	56
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	57

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全26モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

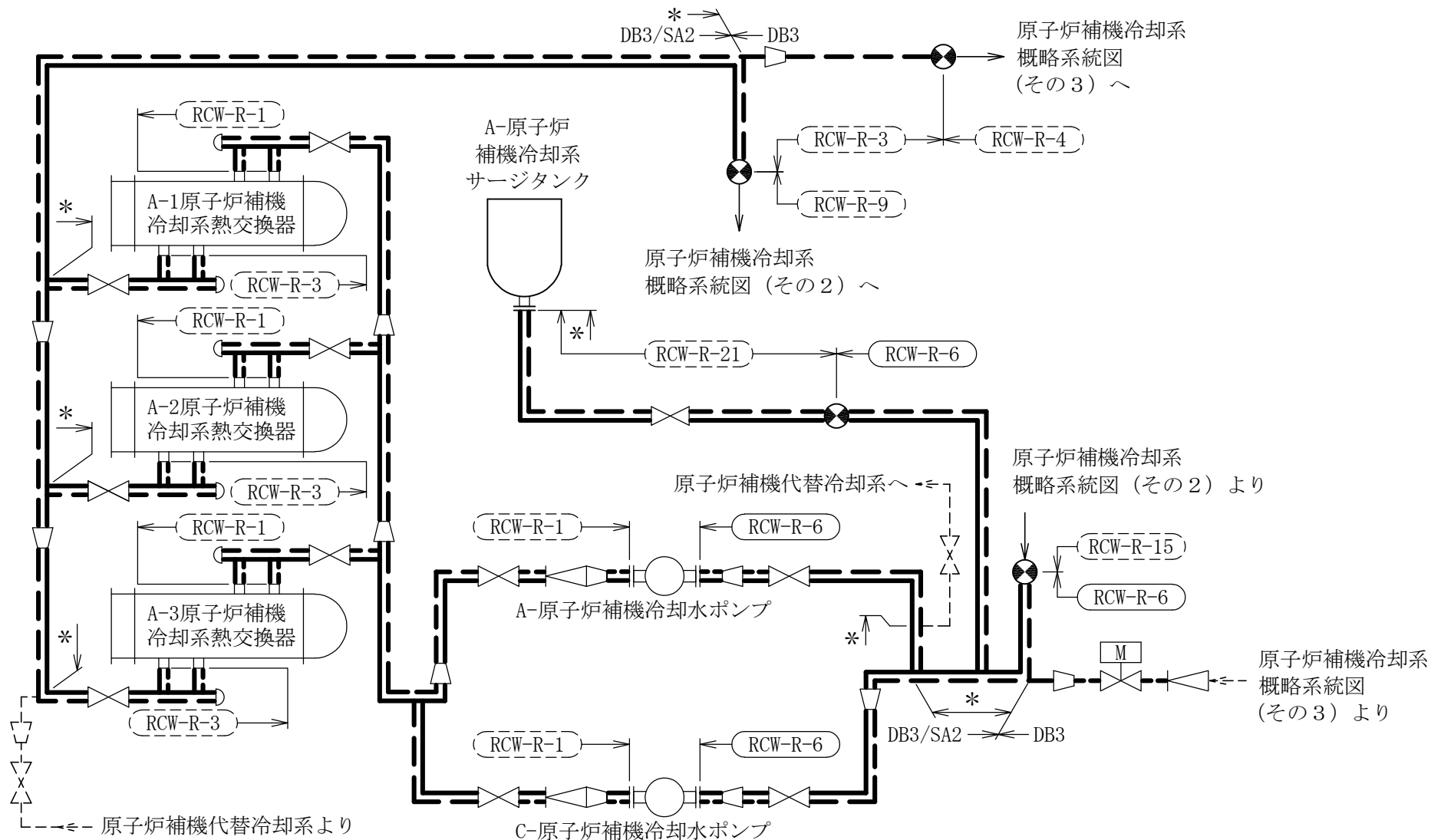
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

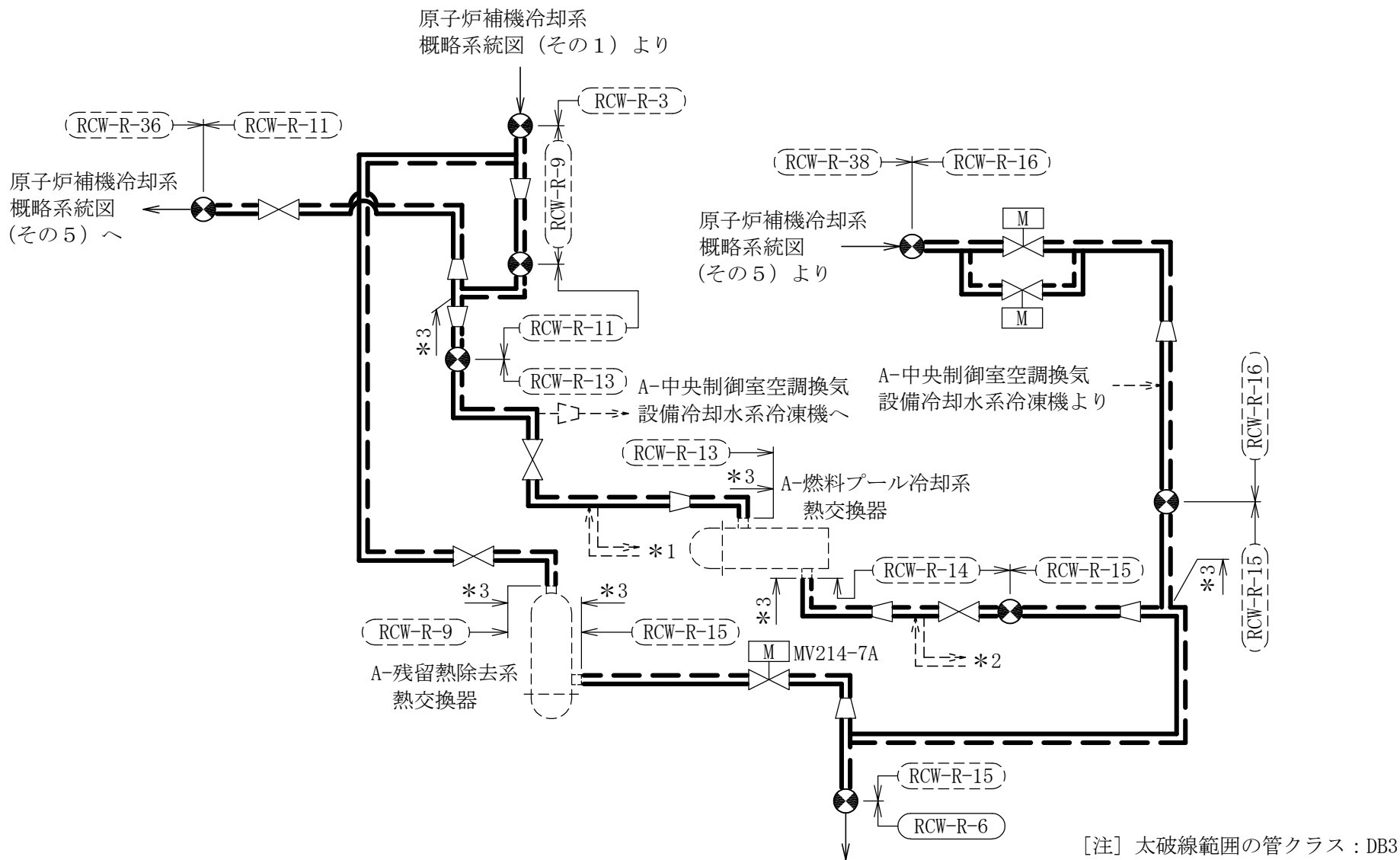
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



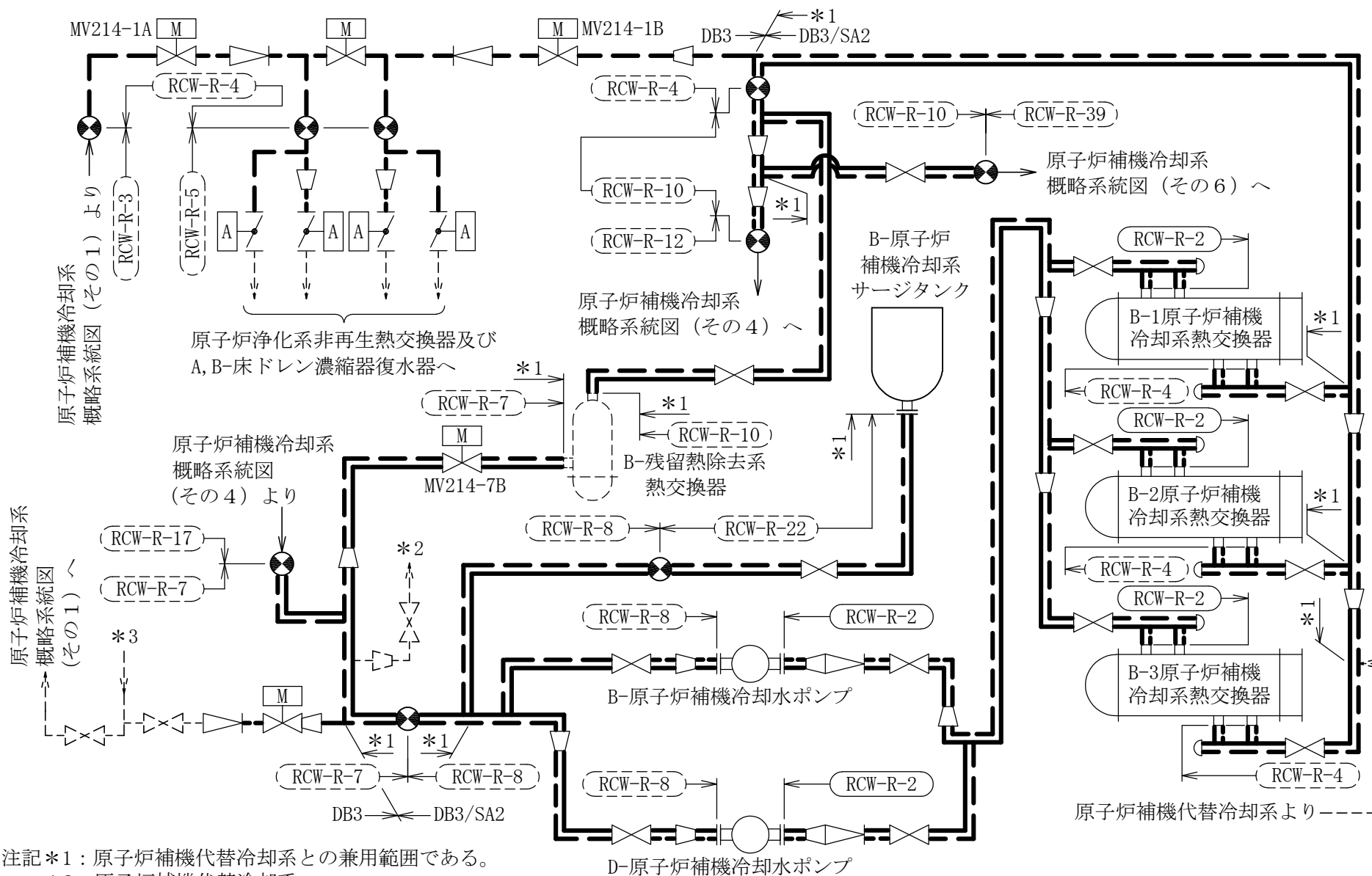
注記* : 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。

原子炉補機冷却系概略系統図 (その1)



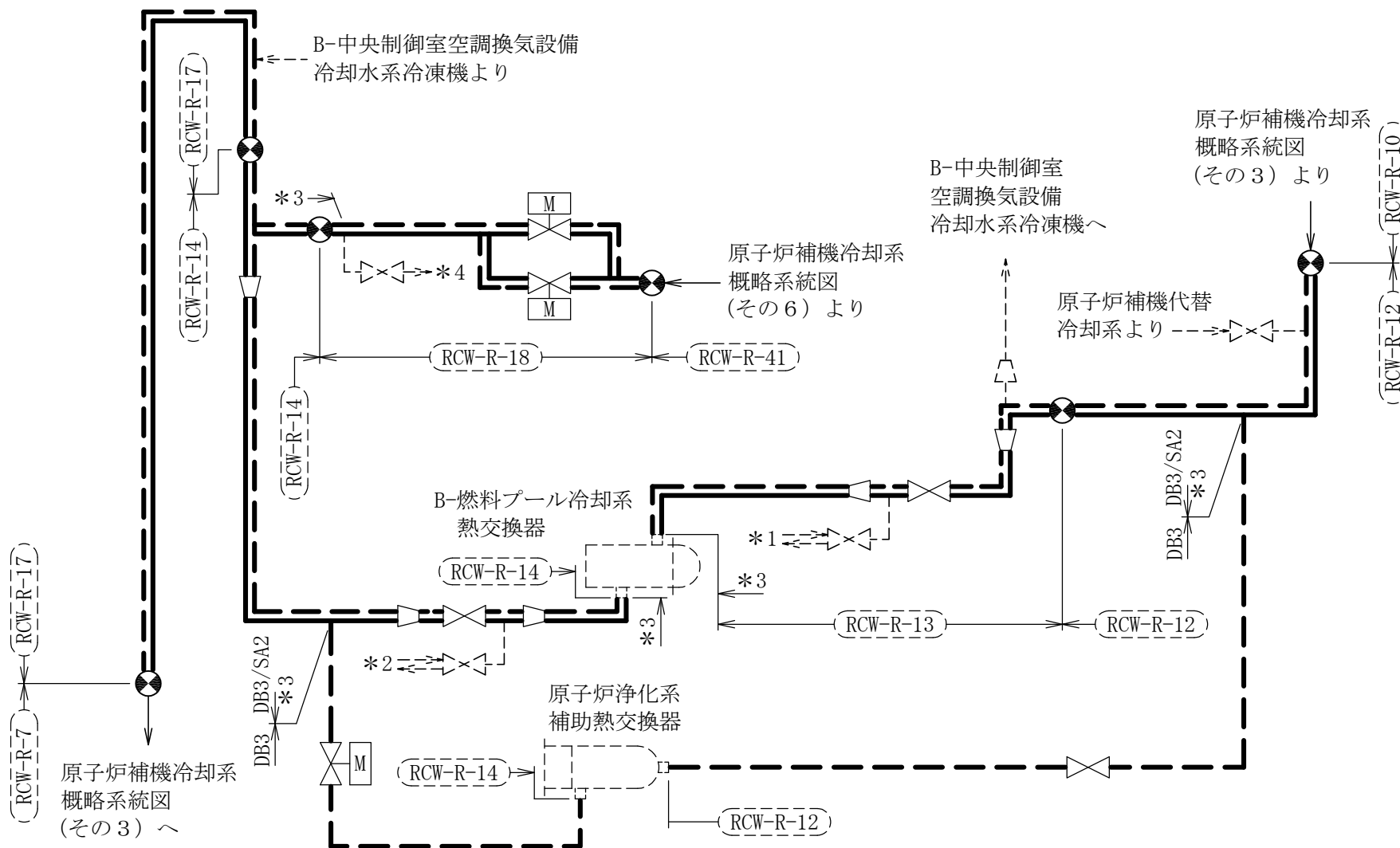
注記*1 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その4) の*1より (〜)
 *2 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その4) の*2より (〜)
 *3 : 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。

原子炉補機冷却系
概略系統図 (その1) へ 原子炉補機冷却系概略系統図 (その2)



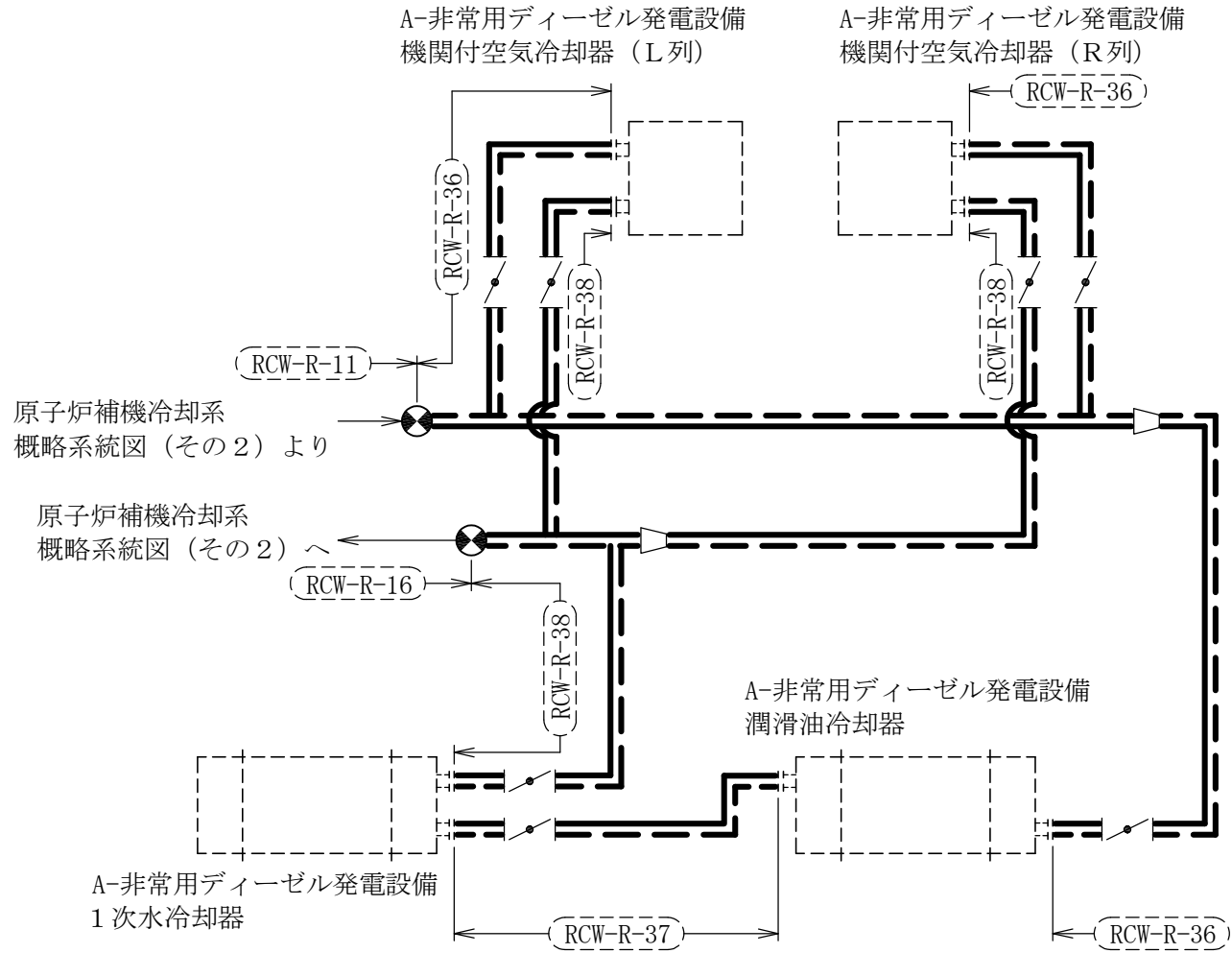
注記*1: 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。
 *2: 原子炉補機代替冷却系へ
 *3: 原子炉浄化系非再生熱交換器及びA, B-床ドレン濃縮器復水器より

原子炉補機冷却系概略系統図 (その3)



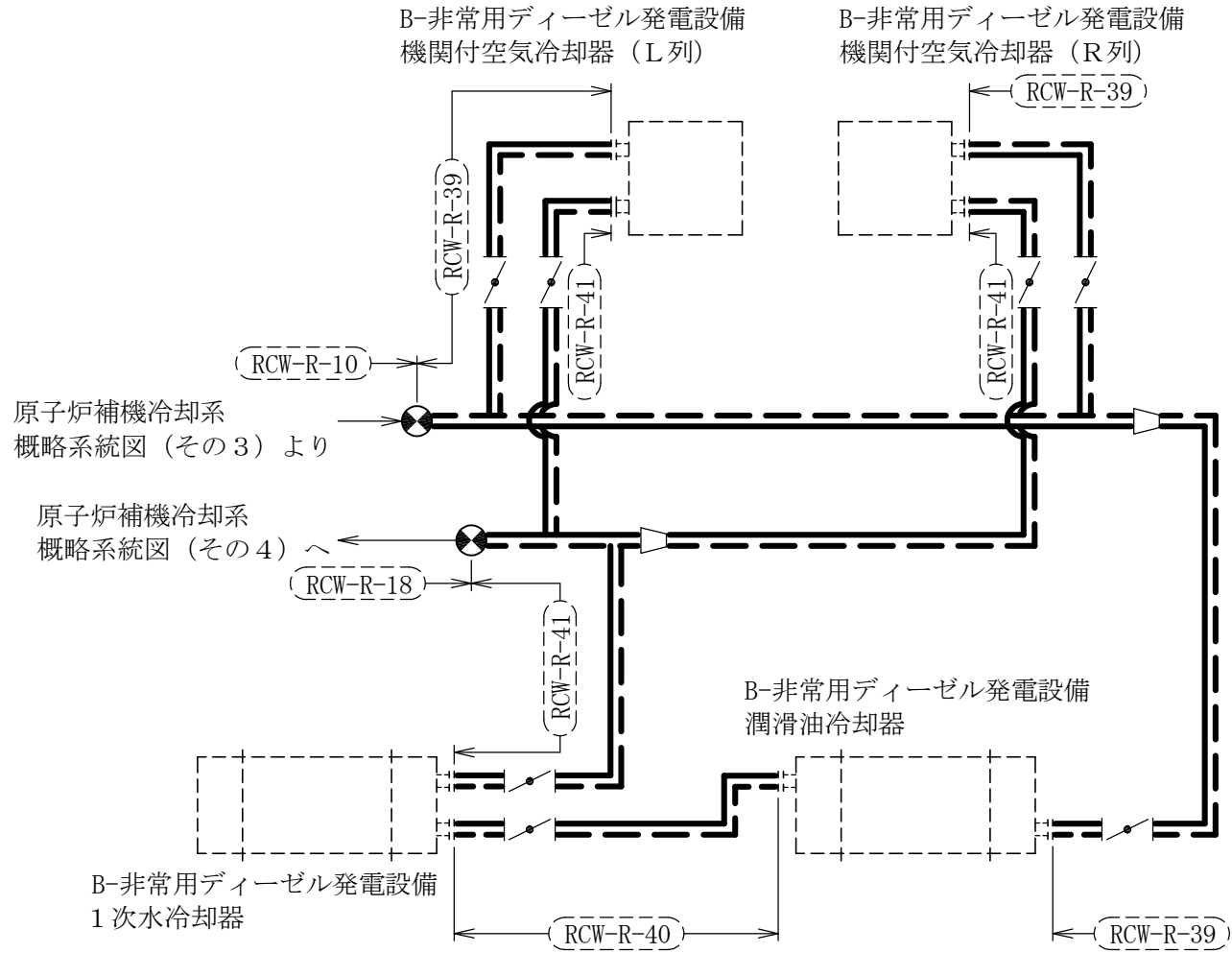
- 注記 *1 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その2) の*1より (〜)
 *2 : 原子炉補機冷却系概略系統図 (その2) の*2より (〜)
 *3 : 原子炉補機代替冷却系との兼用範囲である。
 *4 : 原子炉補機代替冷却系へ

原子炉補機冷却系概略系統図 (その4)



[注] 太破線範囲の管クラス : DB3
太線範囲の管クラス : SA2

原子炉補機冷却系概略系統図 (その5)



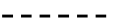


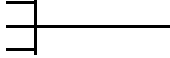
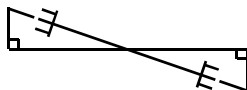
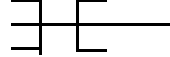
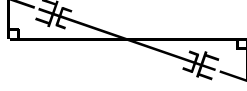

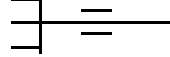
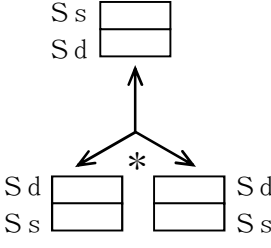


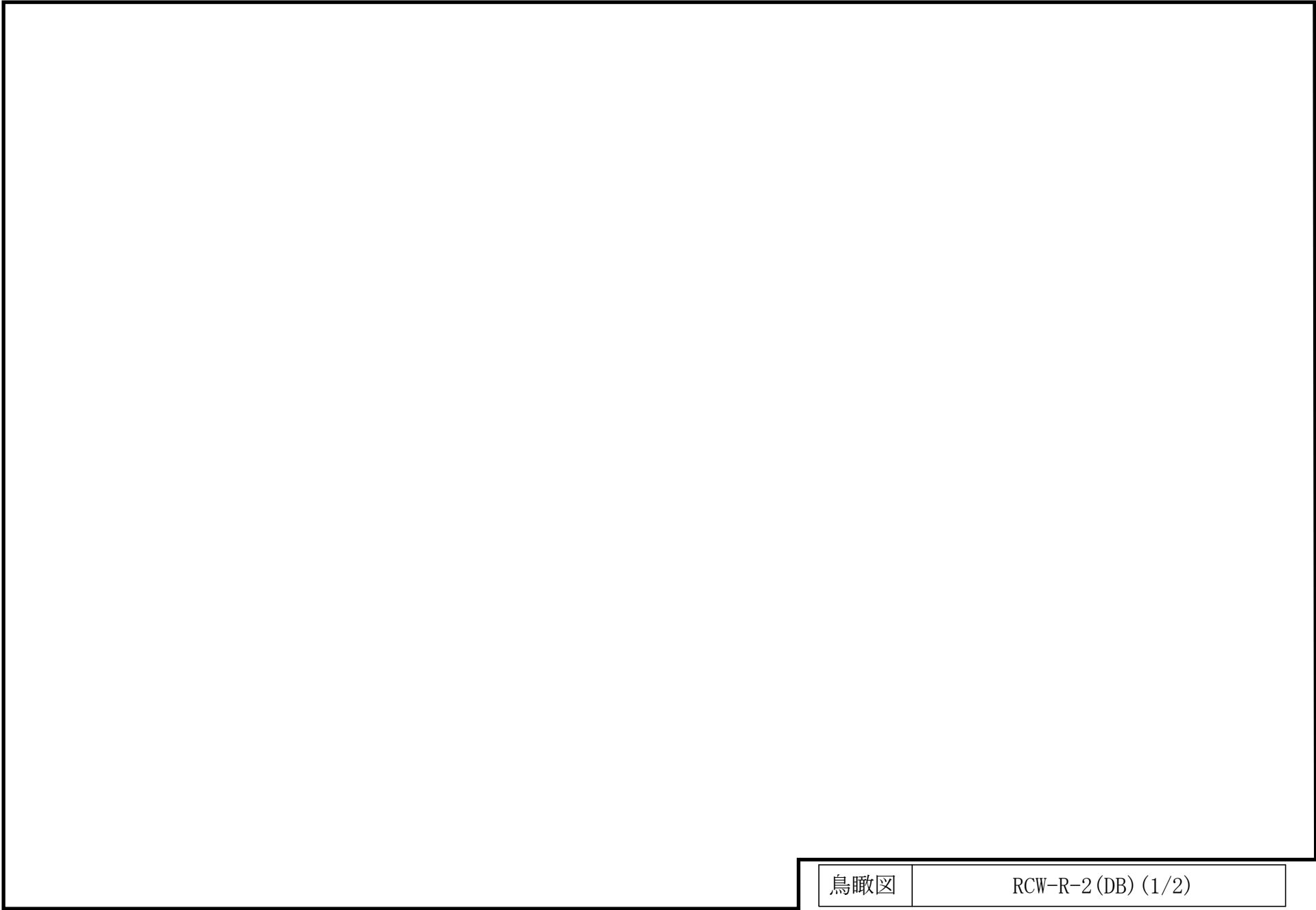
[注] 太破線範囲の管クラス : DB3
太線範囲の管クラス : SA2

原子炉補機冷却系概略系統図 (その6)

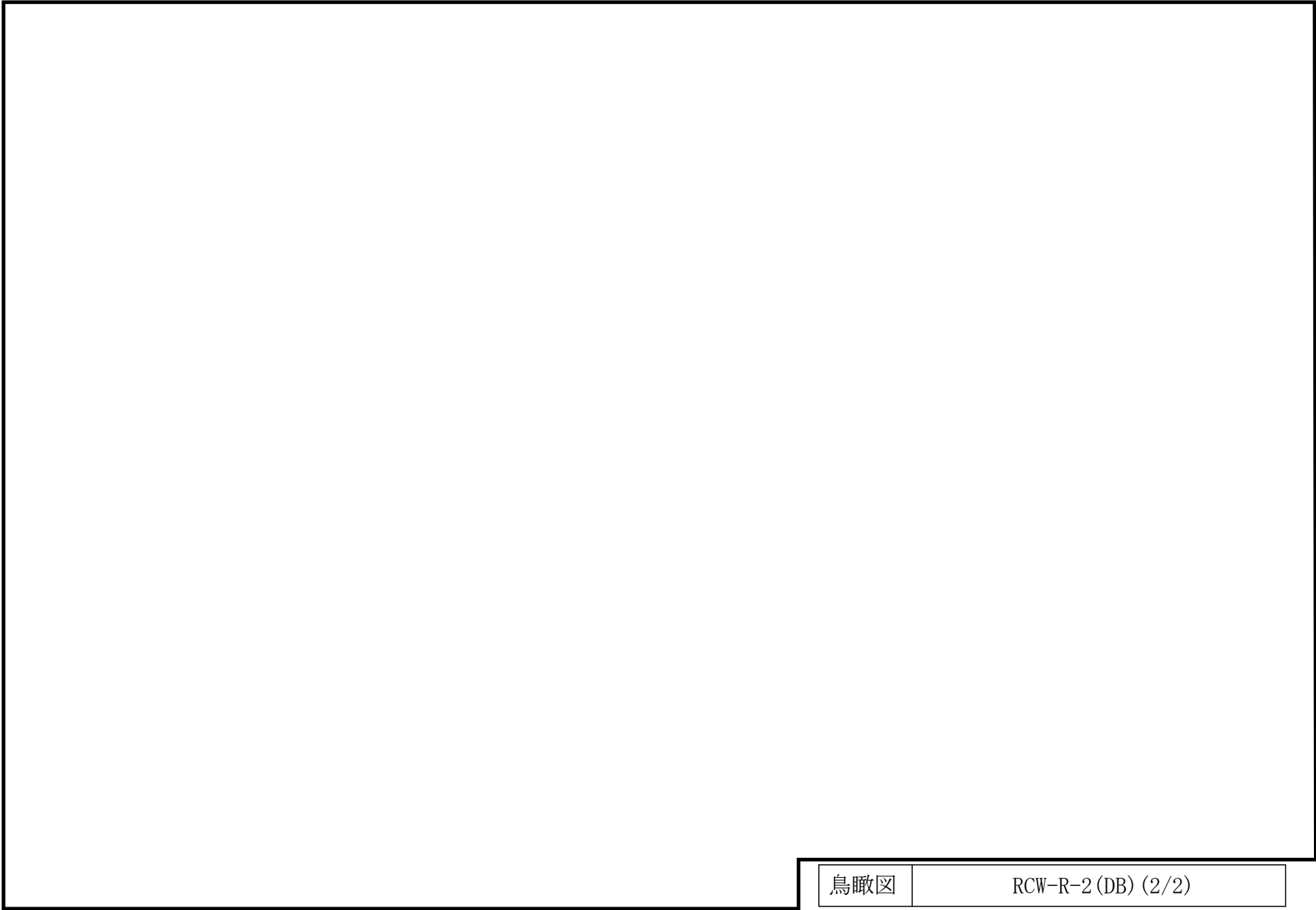
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

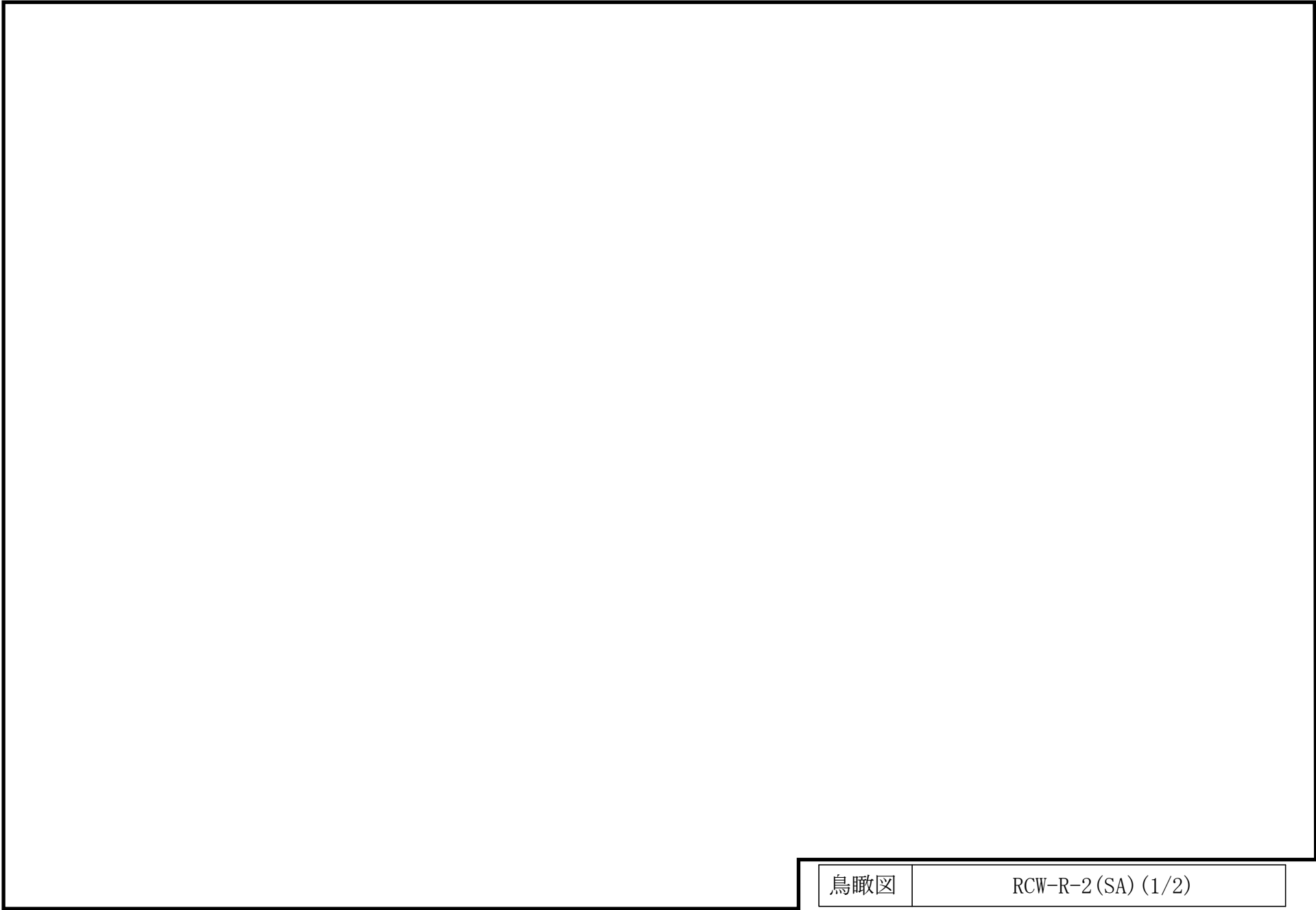
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	RCW-R-2 (DB) (1/2)
-----	--------------------

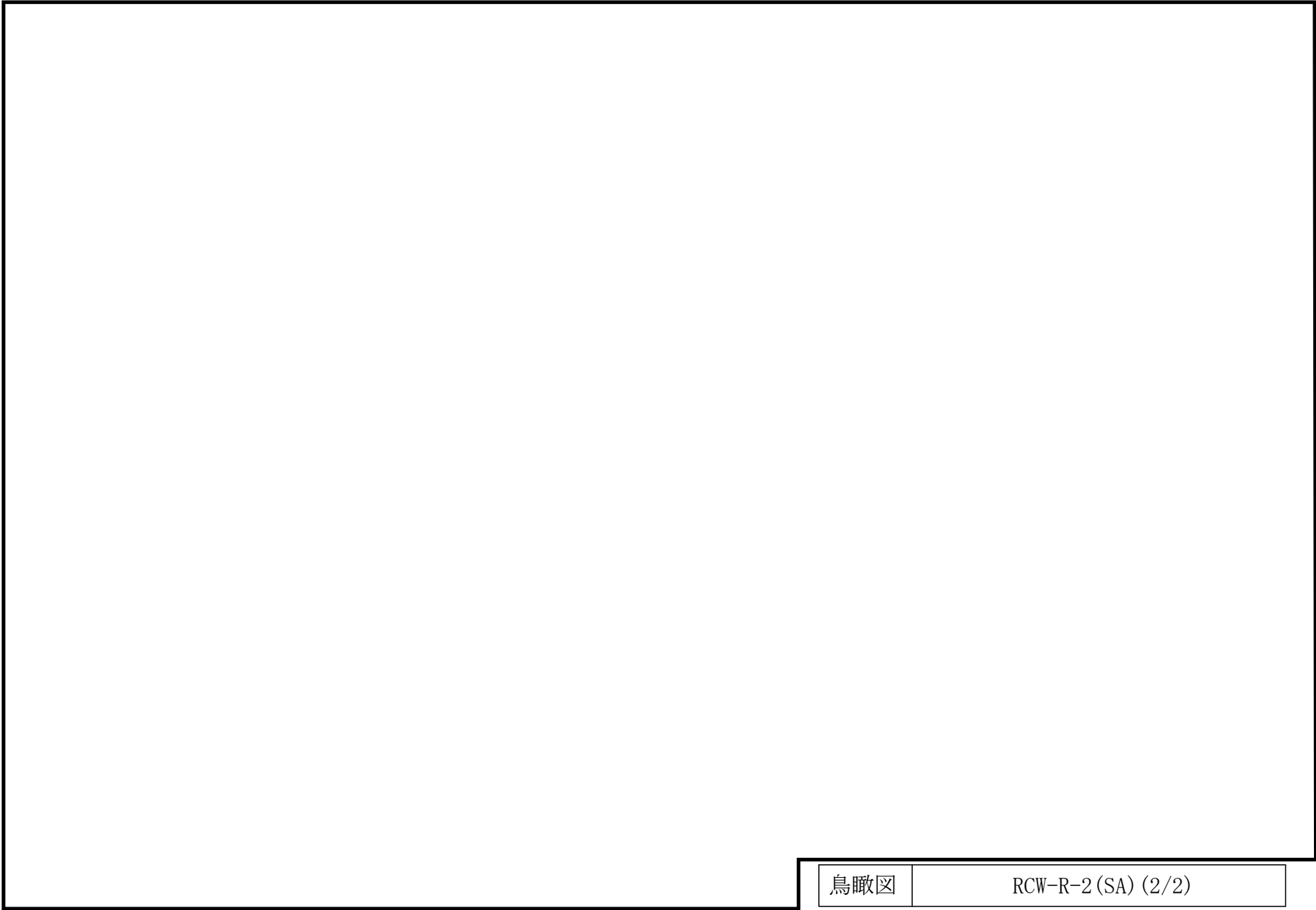


鳥瞰図	RCW-R-2 (DB) (2/2)
-----	--------------------



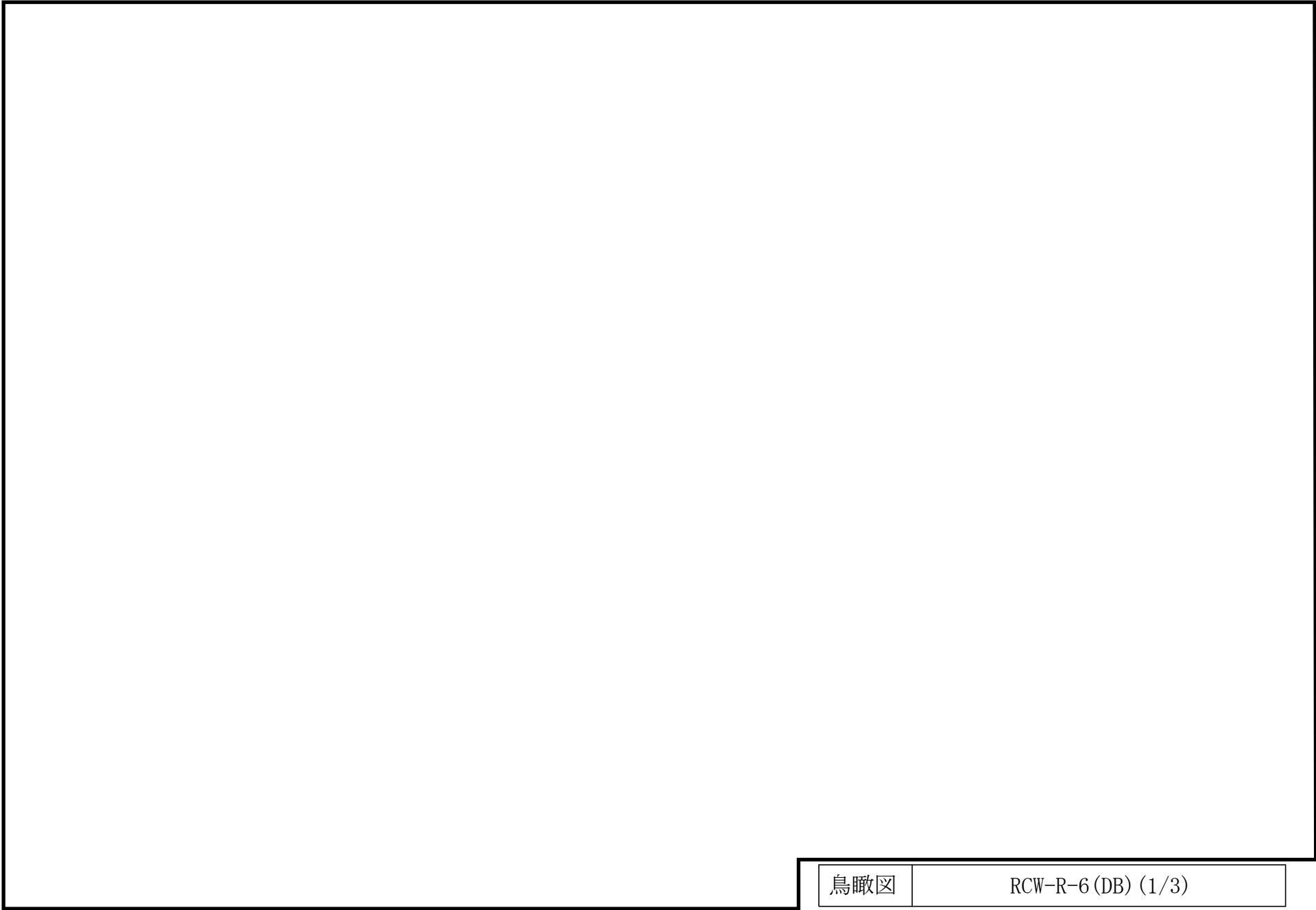
鳥瞰図

RCW-R-2 (SA) (1/2)

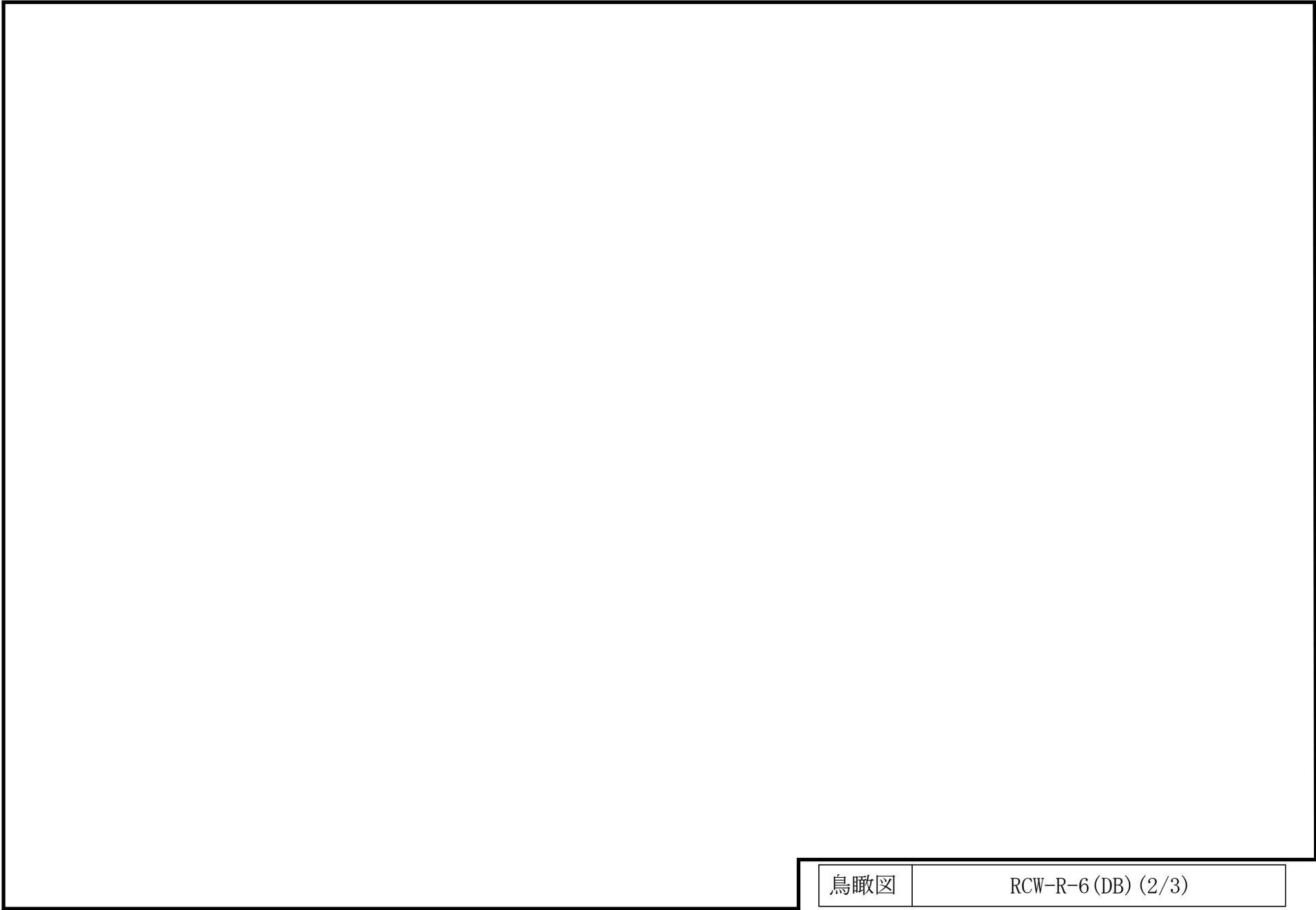


鳥瞰図

RCW-R-2 (SA) (2/2)

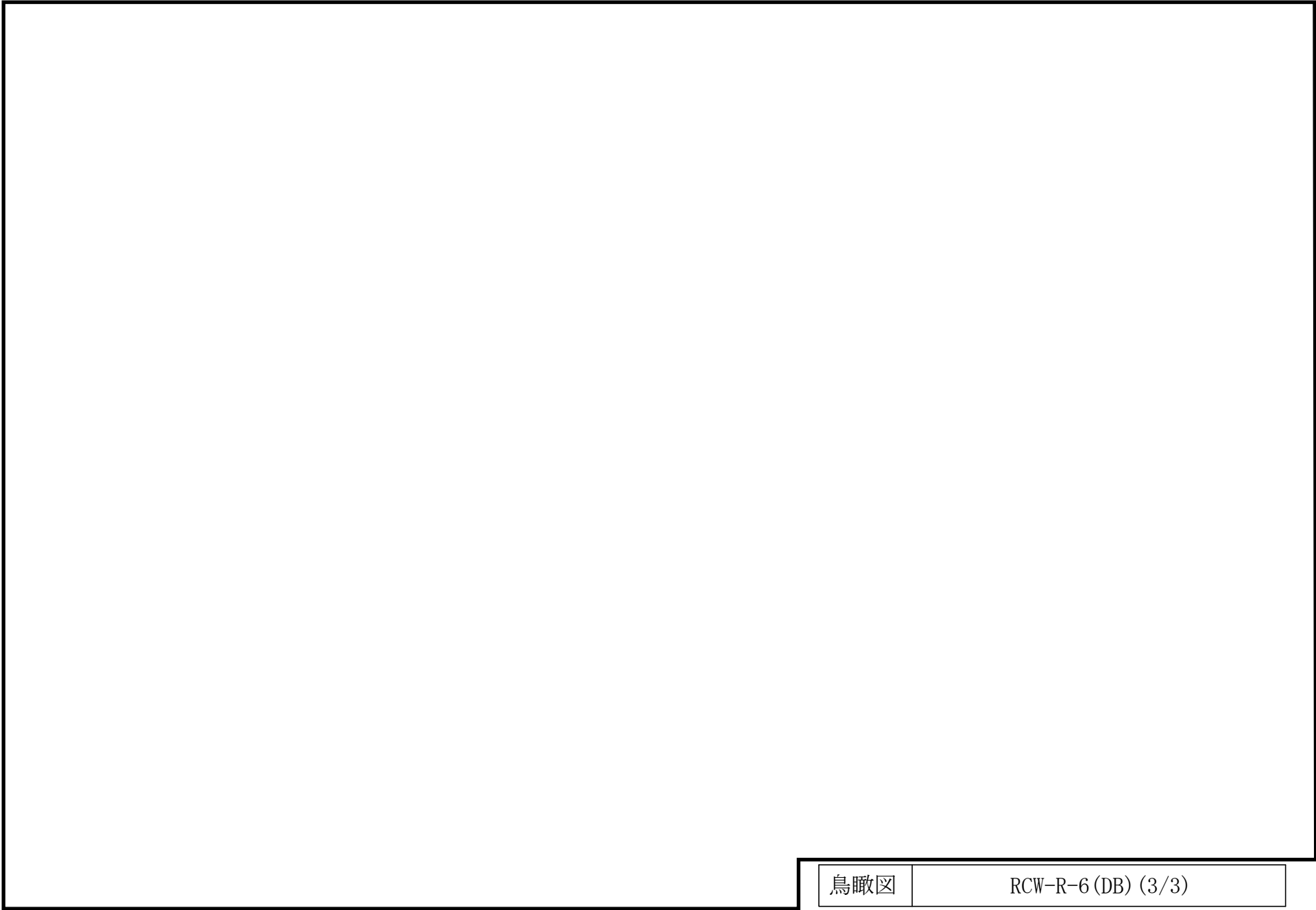


鳥瞰図	RCW-R-6 (DB) (1/3)
-----	--------------------

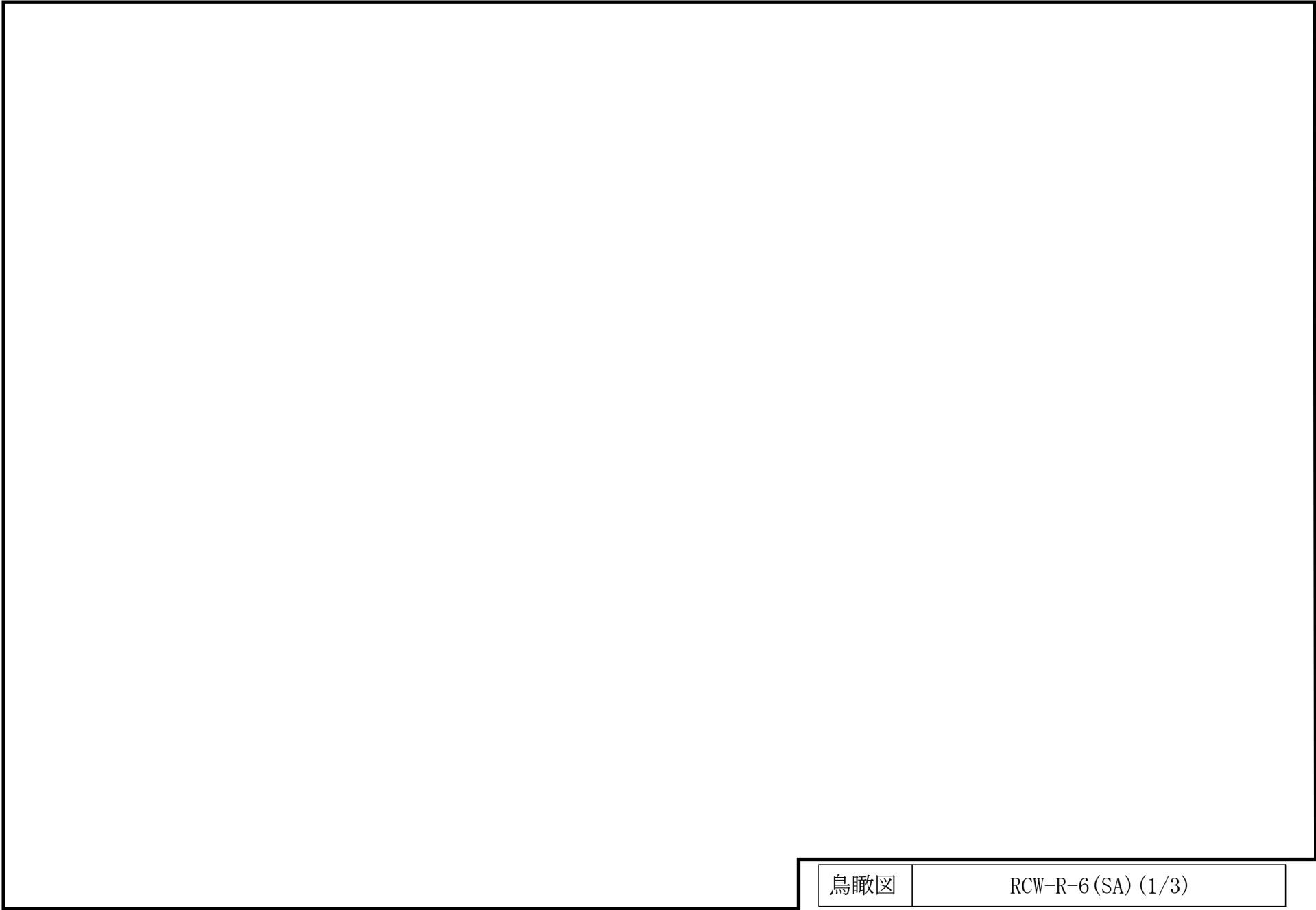


鳥瞰図

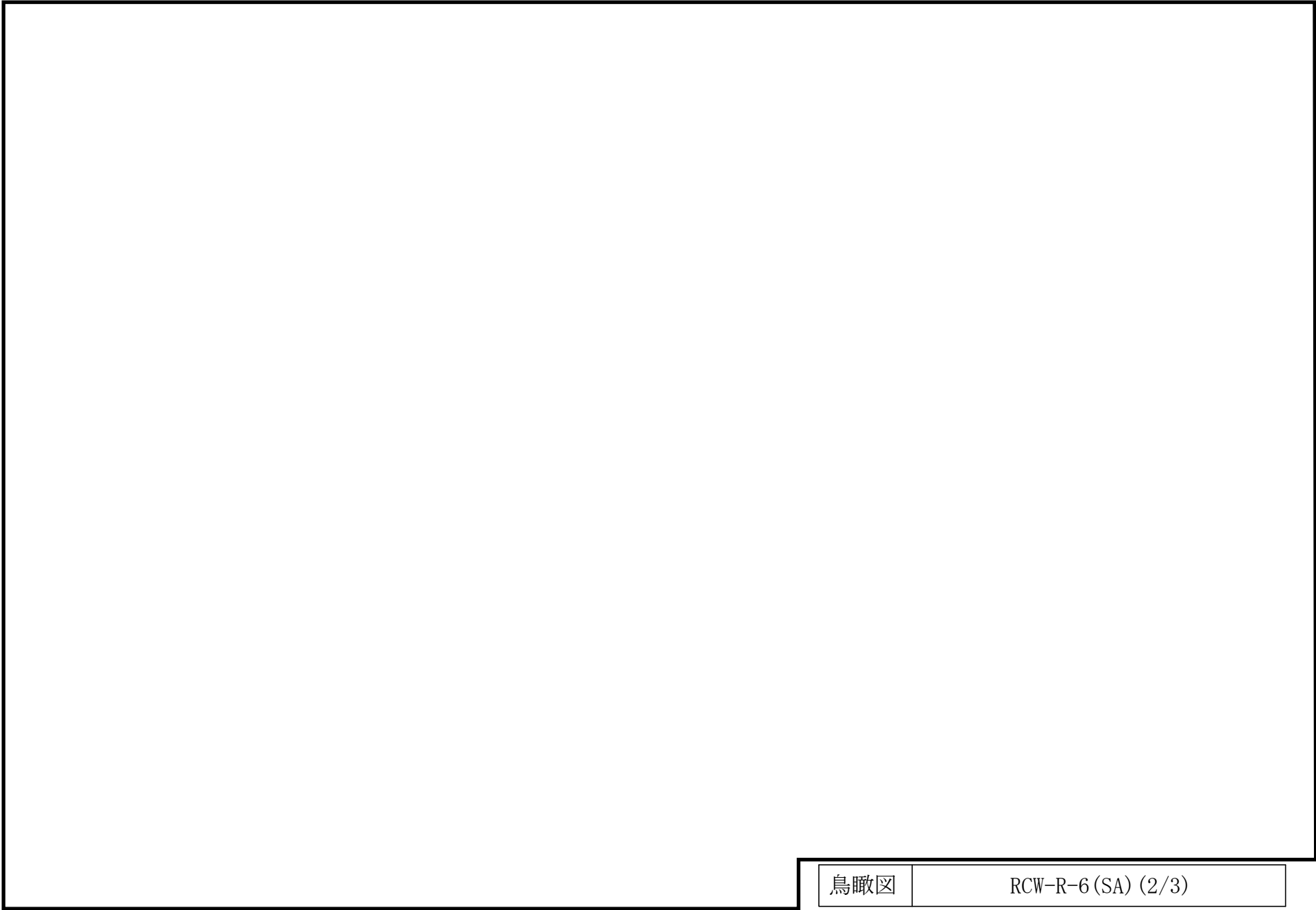
RCW-R-6 (DB) (2/3)



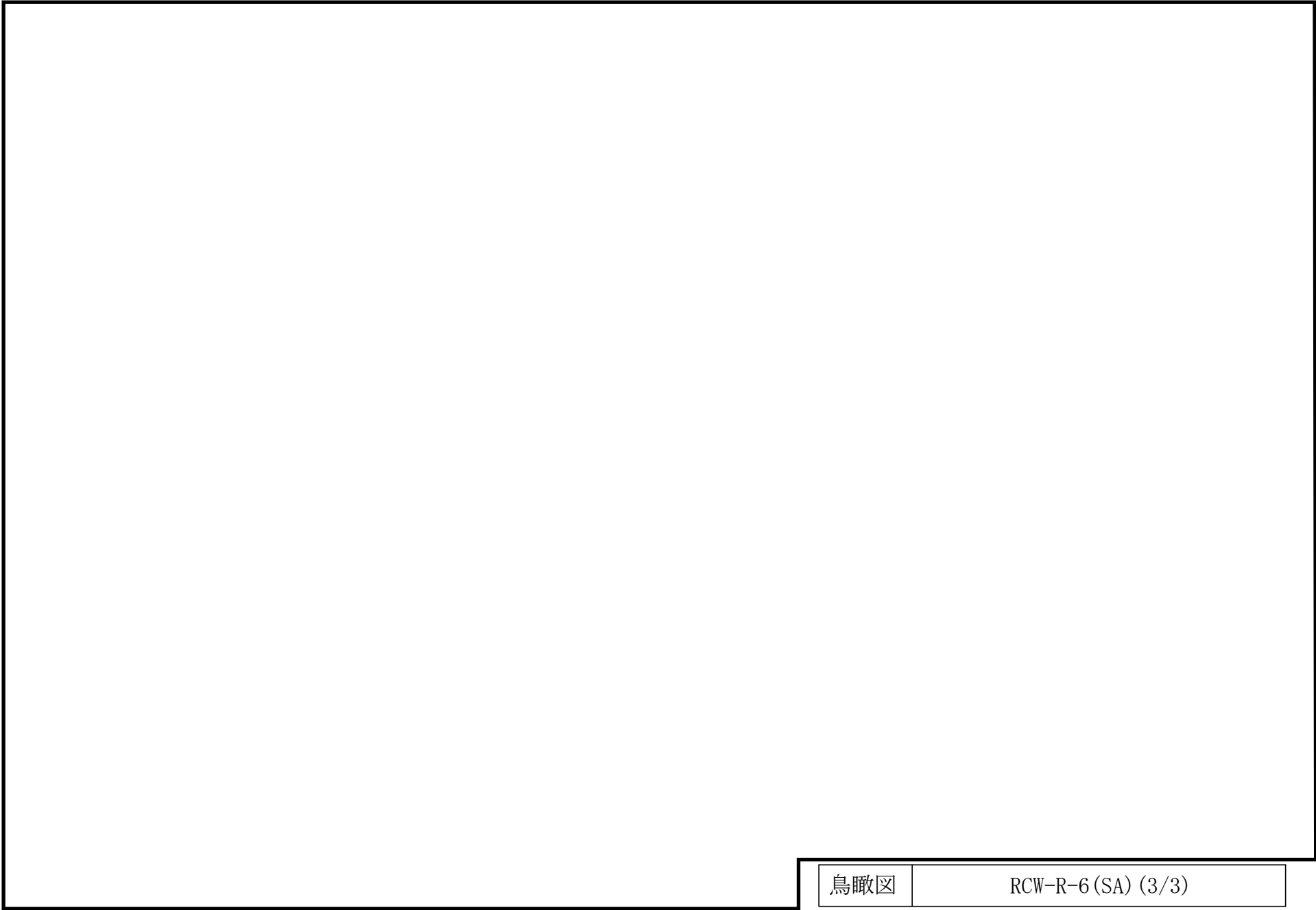
鳥瞰図	RCW-R-6 (DB) (3/3)
-----	--------------------



鳥瞰図	RCW-R-6 (SA) (1/3)
-----	--------------------



鳥瞰図	RCW-R-6 (SA) (2/3)
-----	--------------------



鳥瞰図	RCW-R-6 (SA) (3/3)
-----	--------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
			SA	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機代替冷却系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	VA S

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態VA Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~3, 32~34N 50~52, 54~64N 62~70N, 68~71 80~82, 84~92N 90~98N, 96~99 104~108, 110~121N 119~127N, 125~128	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
2	5~7, 9~12 16~26, 28~30	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
3	13~16, 16~48	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
4	48~49, 49~75	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
5	49~50	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
6	76~79, 79~103	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
7	79~80	III _A S	1.37	85
		IV _A S	1.37	85
		V _A S	1.37	85

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~3, 32~34N 50~52, 54~64N 62~70N, 68~71 80~82, 84~92N 90~98N, 96~99 104~108, 110~121N 119~127N, 125~128	406.4	12.7	STPT42	S	201000
2	5~7, 9~12 16~26, 28~30	508.0	9.5	SM41C	S	201000
3	13~16, 16~48	711.2	12.7	SM41C	S	201000
4	48~49, 49~75	723.8	19.0	SM41C	S	201000
5	49~50	419.0	19.0	SM41C	S	201000
6	76~79, 79~103	558.8	12.7	SM41C	S	201000
7	79~80	406.4	12.7	SM41C	S	201000

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCW-R-2

質量	対応する評価点
	1N～3, 32～34N, 49～52, 54～64N, 62～70N 68～71, 79～82, 84～92N, 90～98N, 96～99 104～108, 110～121N, 119～127N, 125～128
	5～7, 9～12, 16～26, 28～30, 76～79 79～103
	13～16, 16～49, 49～75

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-2

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1N, 34N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	4~5, 30~31	<input type="checkbox"/>	7~9, 26~28
<input type="checkbox"/>	52~54, 82~84	<input type="checkbox"/>	108~110

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCW-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4~5				7~9			
26~28							
52~54							
108~110							
				30~31			
				82~84			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCW-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
1001						
10						
11						
24						
25						
3401						
34N						
37						
46						
59						
64N						
70N						
77						
81						
92N						
98N						
106						
107						
112						
121N						
127N						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(1) R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-6

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	3~5, 6~7	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	—	—
2	8~9	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	—	—
3	9~20	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
4	21~22, 23~38 19~102, 104~111 112~127	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
5	39~44N, 128~133N	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
6	102~104	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
7	9~209A	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-6

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	11~301	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
9	301~3061, 307~318A	Ⅲ _A S	1.37	85
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-6

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～5, 6～7	609.6	12.7	SM41C	S	201533
2	8～9	711.2	12.7	SM41C	S	201533
3	9～20	711.2	12.7	SM41C	S	201533
4	21～22, 23～38 19～102, 104～111 112～127	508.0	9.5	SM41C	S	201533
5	39～44N, 128～133N	457.2	9.5	SM41C	S	201533
6	102～104	508.0	9.5	STPT410	S	201533
7	9～209A	558.8	12.7	SM41C	S	201533
8	11～301	165.2	7.1	SF45A	S	200533
9	301～3061, 307～318A	165.2	7.1	STPT42	S	201533

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCW-R-6

質量	対応する評価点
<div style="border: 2px solid black; width: 50px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div>	3～5, 6～7, 8～20
	21～22, 23～38, 19～111, 112～127, 9～209A
	39～44N, 128～133N
	11～3061, 307～318A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-6

質量	対応する評価点
	33F, 36F, 122F, 125F
	44N, 133N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-6

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2~3		5, 6
	5001		5002
	5004		22~23, 111~112
	3061~307		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCW-R-6

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				5~5001			
5001~5002							
5003~5004							
22~23							
3061~307							
				5002~5003			
				5001~6			
				111~112			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCW-R-6

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 5003 **						
5003						
12						
12						
17						
18						
24						
25						
26						
29						
40						
44N						
** 107 **						
113						
115						
118						
129						
133N						
201						
209A						
308						
318A						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(1) R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT42	85	—	224	406	—
SM41C	85	—	227	377	—
SM41C	85	—	218	377	—
STPT410	85	—	224	406	—
SF45A	85	—	212	401	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RCW-R-2	原子炉建物	EL			
RCW-R-6	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCW-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCW-R-2

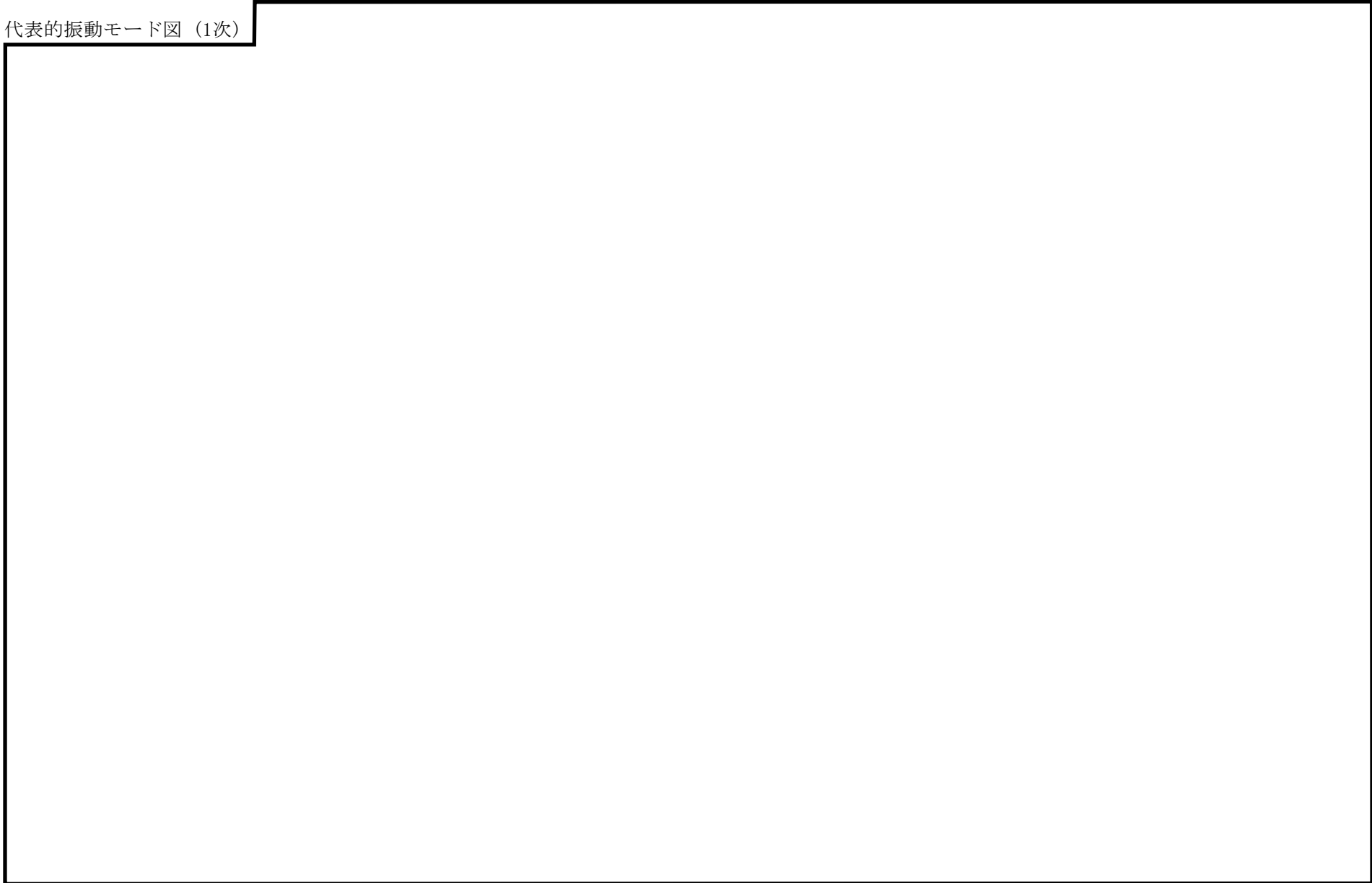
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

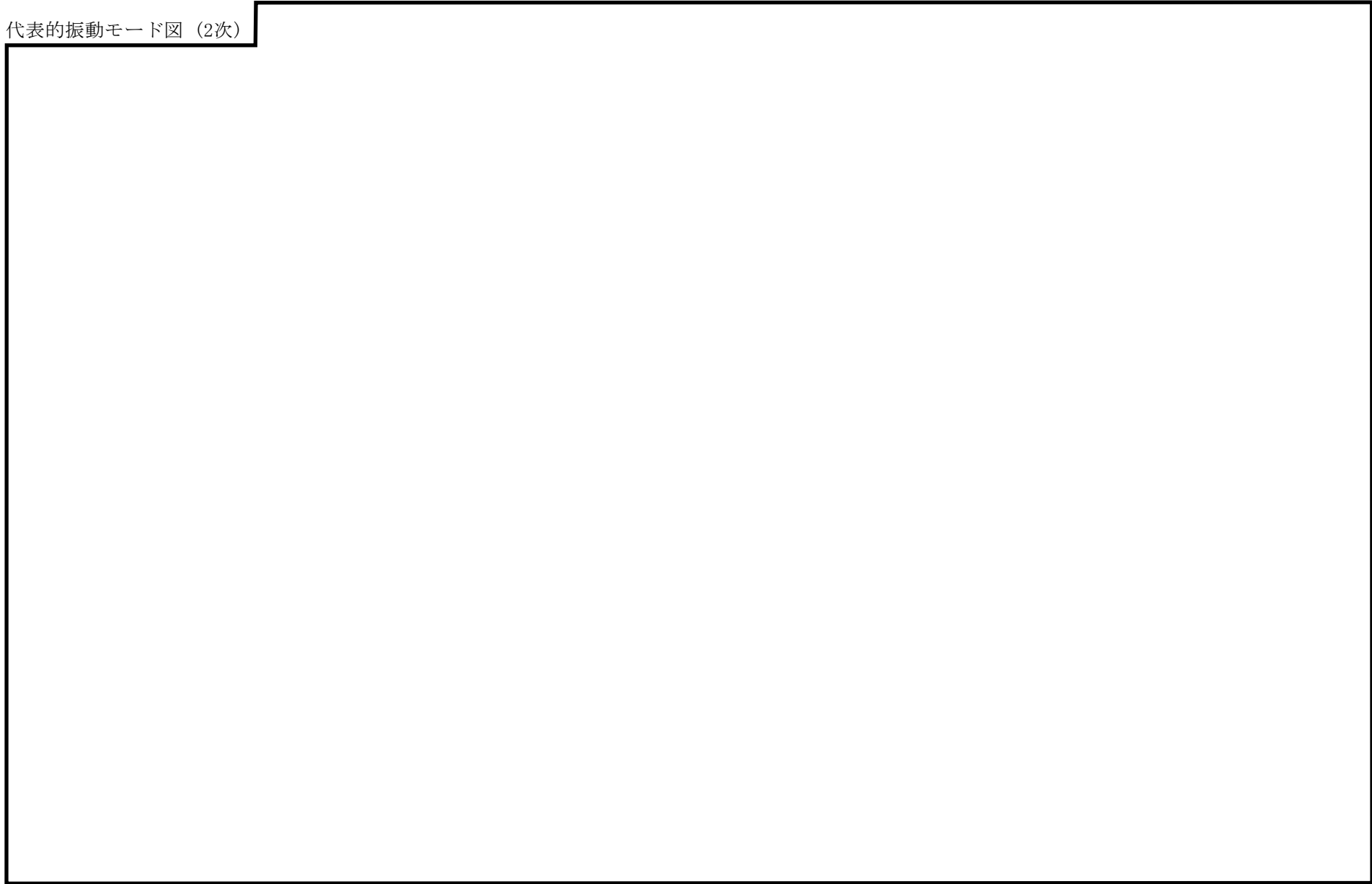
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

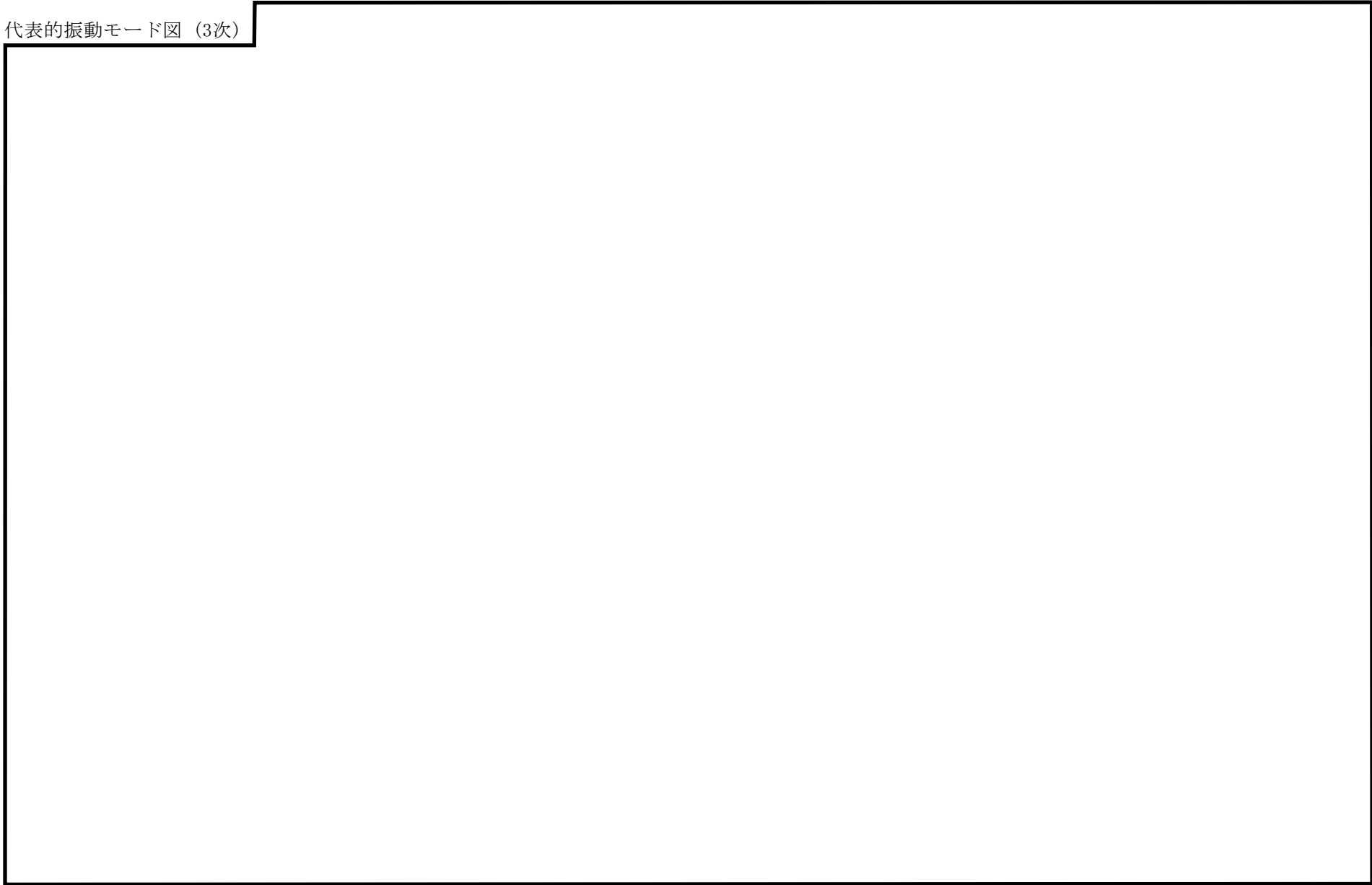


代表的振動モード図 (2次)



45

代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCW-R-6

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
9次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCW-R-6

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

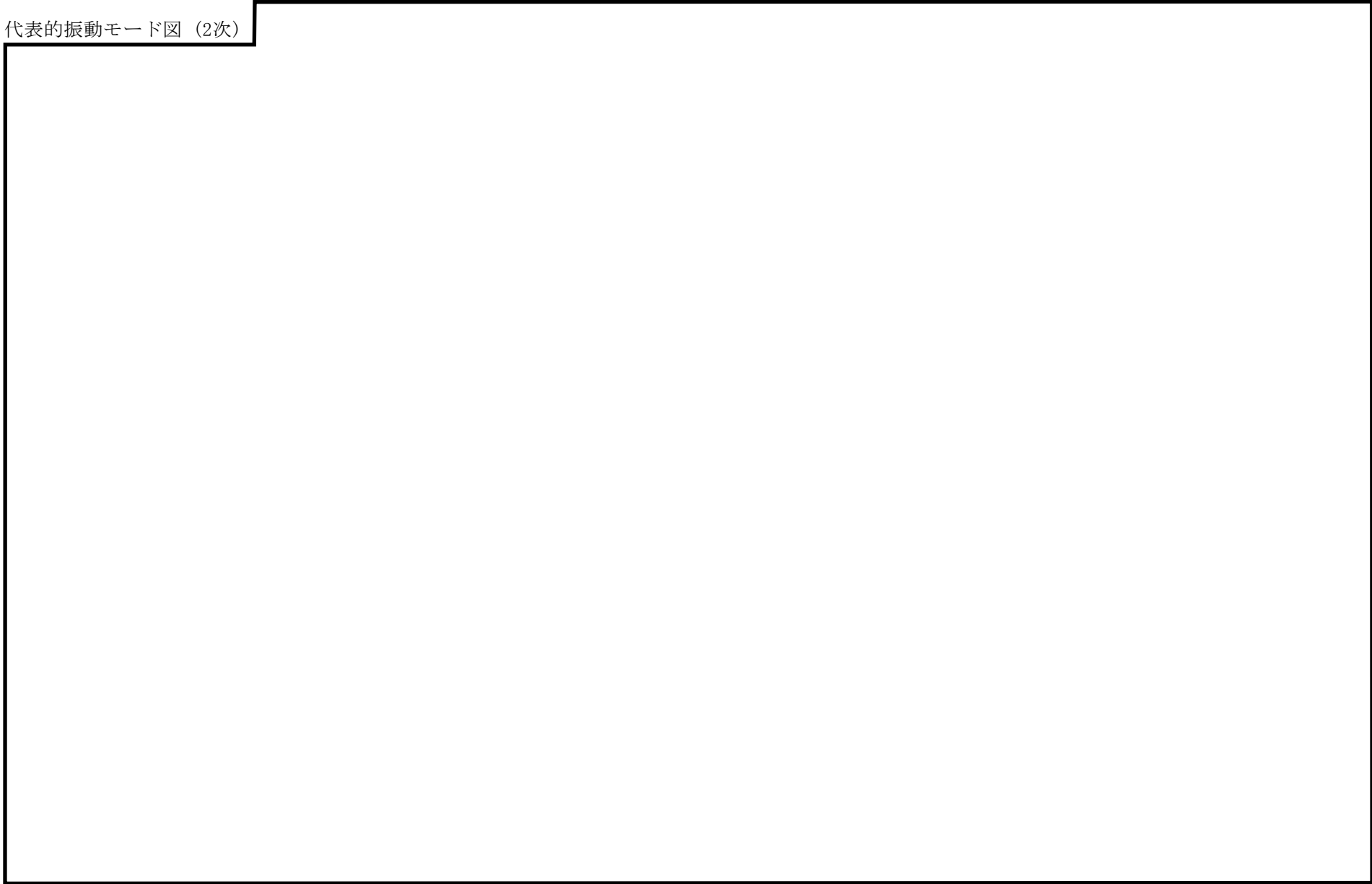
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

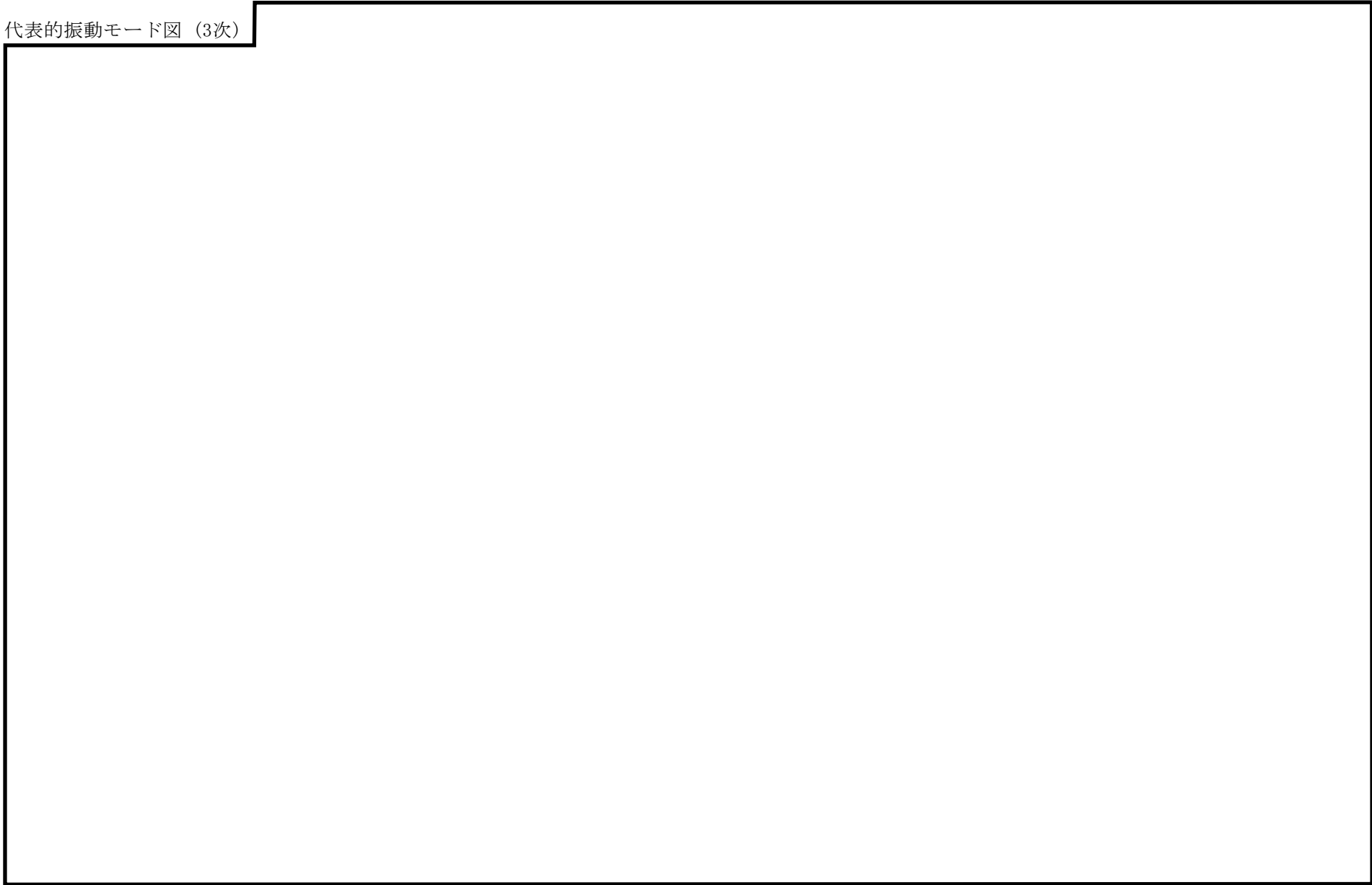
代表的振動モード図 (1次)

50

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RCW-R-6	9	129	227	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	199	454	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-2	79	216	339	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	382	454	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-2	79	216	339	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	382	454	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-2	79	216	339	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-2	79	382	454	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	85	—	—	—
SNO-RCW-817	オイルスナッパ	SN-25			197	375	—
RE-RCW-908	ロッドレストレイント	RTS-25			175	450	—
SH-RCW-815	スプリングハンガ	VSB1F-19			57	72	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RCW-284	レストレイント	ラグ	SGV410	85	0	205	17	—	—	—	圧縮	42	142
AN-RCW-234	アンカ	ラグ	SGV410	85	237	107	54	26	58	75	組合せ	58	142

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
MV214-1B	電動ゲート弁	β (S s)	3.1	1.3	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV214-7B	電動グローブ弁	β (S s)	3.8	2.4	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RCW-R-1	45	117	227	1.94	—	79	159	436	2.74	—	—
2	RCW-R-2	79	124	227	1.83	—	79	199	454	2.28	—	○
3	RCW-R-3	31	125	227	1.81	—	31	196	454	2.31	—	—
4	RCW-R-4	123	112	227	2.02	—	123	179	454	2.53	—	—
5	RCW-R-5	17	116	227	1.95	—	17	149	454	3.04	—	—
6	RCW-R-6	9	129	227	1.75	○	9	190	454	2.38	—	—
7	RCW-R-7	76	105	218	2.07	—	76	165	436	2.64	—	—
8	RCW-R-8	50	119	227	1.90	—	50	143	454	3.17	—	—
9	RCW-R-9	101	106	227	2.14	—	24	156	454	2.91	—	—
10	RCW-R-10	115	117	227	1.94	—	79	153	454	2.96	—	—
11	RCW-R-11	66	82	224	2.73	—	66	108	448	4.14	—	—
12	RCW-R-12	33	98	224	2.28	—	33	136	448	3.29	—	—
13	RCW-R-13	126	118	224	1.89	—	126	179	448	2.50	—	—
14	RCW-R-14	97	114	224	1.96	—	158	165	454	2.75	—	—
15	RCW-R-15	95	113	227	2.00	—	95	143	454	3.17	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RCW-R-16	102	68	224	3.29	—	102	95	448	4.71	—	—
17	RCW-R-17	42A	126	227	1.80	—	42A	166	454	2.73	—	—
18	RCW-R-18	82	74	224	3.02	—	82	95	448	4.71	—	—
19	RCW-R-21	67A	102	224	2.19	—	67A	170	448	2.63	—	—
20	RCW-R-22	48	76	224	2.94	—	48	107	448	4.18	—	—
21	RCW-R-36	101	78	224	2.87	—	11	136	448	3.29	—	—
22	RCW-R-37	3	45	224	4.97	—	7	57	448	7.85	—	—
23	RCW-R-38	62	57	224	3.92	—	62	86	448	5.20	—	—
24	RCW-R-39	12	42	224	5.33	—	211	56	448	8.00	—	—
25	RCW-R-40	3	45	224	4.97	—	7	57	448	7.85	—	—
26	RCW-R-41	58	34	224	6.58	—	58	36	448	12.44	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RCW-R-1	79	200	339	1.69	—	79	362	436	1.20	—	—
2	RCW-R-2	79	216	339	1.56	○	79	382	454	1.18	—	○
3	RCW-R-3	31	216	339	1.56	—	31	378	454	1.20	—	—
4	RCW-R-4	123	207	339	1.63	—	123	323	454	1.40	—	—
5	RCW-R-5	17	174	339	1.94	—	17	270	454	1.68	—	—
6	RCW-R-6	9	194	339	1.74	—	318A	353	448	1.26	—	—
7	RCW-R-7	76	194	339	1.74	—	76	316	436	1.37	—	—
8	RCW-R-8	50	192	339	1.76	—	50	291	454	1.56	—	—
9	RCW-R-9	24	178	339	1.90	—	24	303	454	1.49	—	—
10	RCW-R-10	115	189	339	1.79	—	115	285	454	1.59	—	—
11	RCW-R-11	66	132	365	2.76	—	66	208	448	2.15	—	—
12	RCW-R-12	33	161	365	2.26	—	33	261	448	1.71	—	—
13	RCW-R-13	126	197	365	1.85	—	126	339	448	1.32	—	—
14	RCW-R-14	89	183	365	1.99	—	158	305	454	1.48	—	—
15	RCW-R-15	95	161	339	2.10	—	95	238	454	1.90	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RCW-R-16	110	108	365	3.37	—	102	177	448	2.53	—	—
17	RCW-R-17	42A	203	339	1.66	—	42A	320	454	1.41	—	—
18	RCW-R-18	82	119	365	3.06	—	82	188	448	2.38	—	—
19	RCW-R-21	67A	182	365	2.00	—	67A	329	448	1.36	—	—
20	RCW-R-22	48	118	365	3.09	—	48	191	448	2.34	—	—
21	RCW-R-36	101	144	365	2.53	—	11	267	448	1.67	—	—
22	RCW-R-37	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
23	RCW-R-38	62	117	365	3.11	—	62	204	448	2.19	—	—
24	RCW-R-39	211	65	365	5.61	—	211	102	448	4.39	—	—
25	RCW-R-40	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
26	RCW-R-41	58	52	365	7.01	—	58	70	448	6.40	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RCW-R-1	79	200	339	1.69	—	79	362	436	1.20	—	—
2	RCW-R-2	79	216	339	1.56	○	79	382	454	1.18	—	○
3	RCW-R-3	31	216	339	1.56	—	31	378	454	1.20	—	—
4	RCW-R-4	56	201	339	1.68	—	98	270	454	1.68	—	—
5	RCW-R-6	9	194	339	1.74	—	318A	353	448	1.26	—	—
6	RCW-R-7	76	194	339	1.74	—	76	316	436	1.37	—	—
7	RCW-R-8	50	192	339	1.76	—	50	291	454	1.56	—	—
8	RCW-R-9	24	178	339	1.90	—	24	303	454	1.49	—	—
9	RCW-R-10	115	189	339	1.79	—	115	285	454	1.59	—	—
10	RCW-R-11	66	132	365	2.76	—	66	208	448	2.15	—	—
11	RCW-R-12	33	161	365	2.26	—	33	261	448	1.71	—	—
12	RCW-R-13	126	197	365	1.85	—	126	339	448	1.32	—	—
13	RCW-R-14	89	183	365	1.99	—	158	305	454	1.48	—	—
14	RCW-R-15	95	161	339	2.10	—	95	238	454	1.90	—	—
15	RCW-R-16	110	108	365	3.37	—	102	177	448	2.53	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RCW-R-17	42A	203	339	1.66	—	42A	320	454	1.41	—	—
17	RCW-R-18	82	119	365	3.06	—	82	188	448	2.38	—	—
18	RCW-R-21	67A	182	365	2.00	—	67A	329	448	1.36	—	—
19	RCW-R-22	48	118	365	3.09	—	48	191	448	2.34	—	—
20	RCW-R-36	101	144	365	2.53	—	11	267	448	1.67	—	—
21	RCW-R-37	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
22	RCW-R-38	62	117	365	3.11	—	62	204	448	2.19	—	—
23	RCW-R-39	211	65	365	5.61	—	211	102	448	4.39	—	—
24	RCW-R-40	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
25	RCW-R-41	58	52	365	7.01	—	58	70	448	6.40	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RCW-R-1	79	200	339	1.69	—	79	362	436	1.20	—	—
2	RCW-R-2	79	216	339	1.56	○	79	382	454	1.18	—	○
3	RCW-R-3	31	216	339	1.56	—	31	378	454	1.20	—	—
4	RCW-R-4	56	201	339	1.68	—	98	270	454	1.68	—	—
5	RCW-R-6	9	194	339	1.74	—	318A	353	448	1.26	—	—
6	RCW-R-7	76	194	339	1.74	—	76	316	436	1.37	—	—
7	RCW-R-8	50	192	339	1.76	—	50	291	454	1.56	—	—
8	RCW-R-9	24	178	339	1.90	—	24	303	454	1.49	—	—
9	RCW-R-10	115	189	339	1.79	—	115	285	454	1.59	—	—
10	RCW-R-11	66	132	365	2.76	—	66	208	448	2.15	—	—
11	RCW-R-12	33	161	365	2.26	—	33	261	448	1.71	—	—
12	RCW-R-13	126	197	365	1.85	—	126	339	448	1.32	—	—
13	RCW-R-14	89	183	365	1.99	—	158	305	454	1.48	—	—
14	RCW-R-15	95	161	339	2.10	—	95	238	454	1.90	—	—
15	RCW-R-16	110	108	365	3.37	—	102	177	448	2.53	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
16	RCW-R-17	42A	203	339	1.66	—	42A	320	454	1.41	—	—
17	RCW-R-18	82	119	365	3.06	—	82	188	448	2.38	—	—
18	RCW-R-21	67A	182	365	2.00	—	67A	329	448	1.36	—	—
19	RCW-R-22	48	118	365	3.09	—	48	191	448	2.34	—	—
20	RCW-R-36	101	144	365	2.53	—	11	267	448	1.67	—	—
21	RCW-R-37	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
22	RCW-R-38	62	117	365	3.11	—	62	204	448	2.19	—	—
23	RCW-R-39	211	65	365	5.61	—	211	102	448	4.39	—	—
24	RCW-R-40	7	72	365	5.06	—	7	116	448	3.86	—	—
25	RCW-R-41	58	52	365	7.01	—	58	70	448	6.40	—	—

(2) 原子炉補機海水系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	15
3.1 計算方法	15
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
3.3 設計条件	17
3.4 材料及び許容応力	31
3.5 設計用地震力	32
4. 解析結果及び評価	33
4.1 固有周期及び設計震度	33
4.2 評価結果	45
4.2.1 管の応力評価結果	45
4.2.2 支持構造物評価結果	47
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	48
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	49

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機海水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全6モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

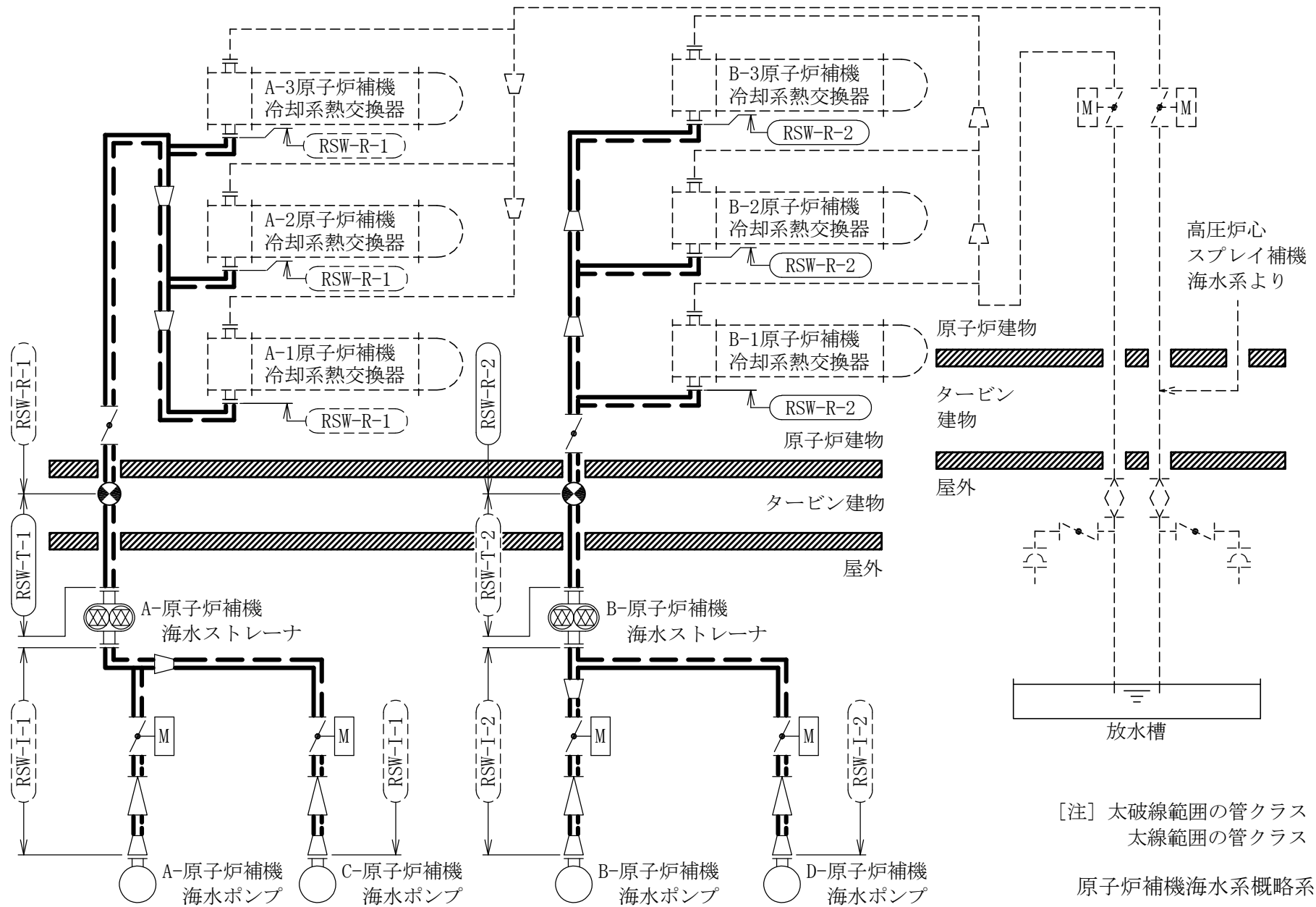
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



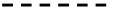


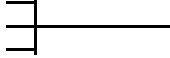
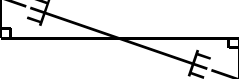
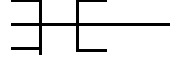
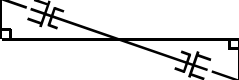

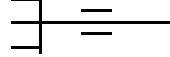
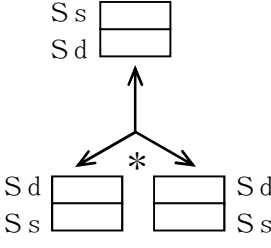


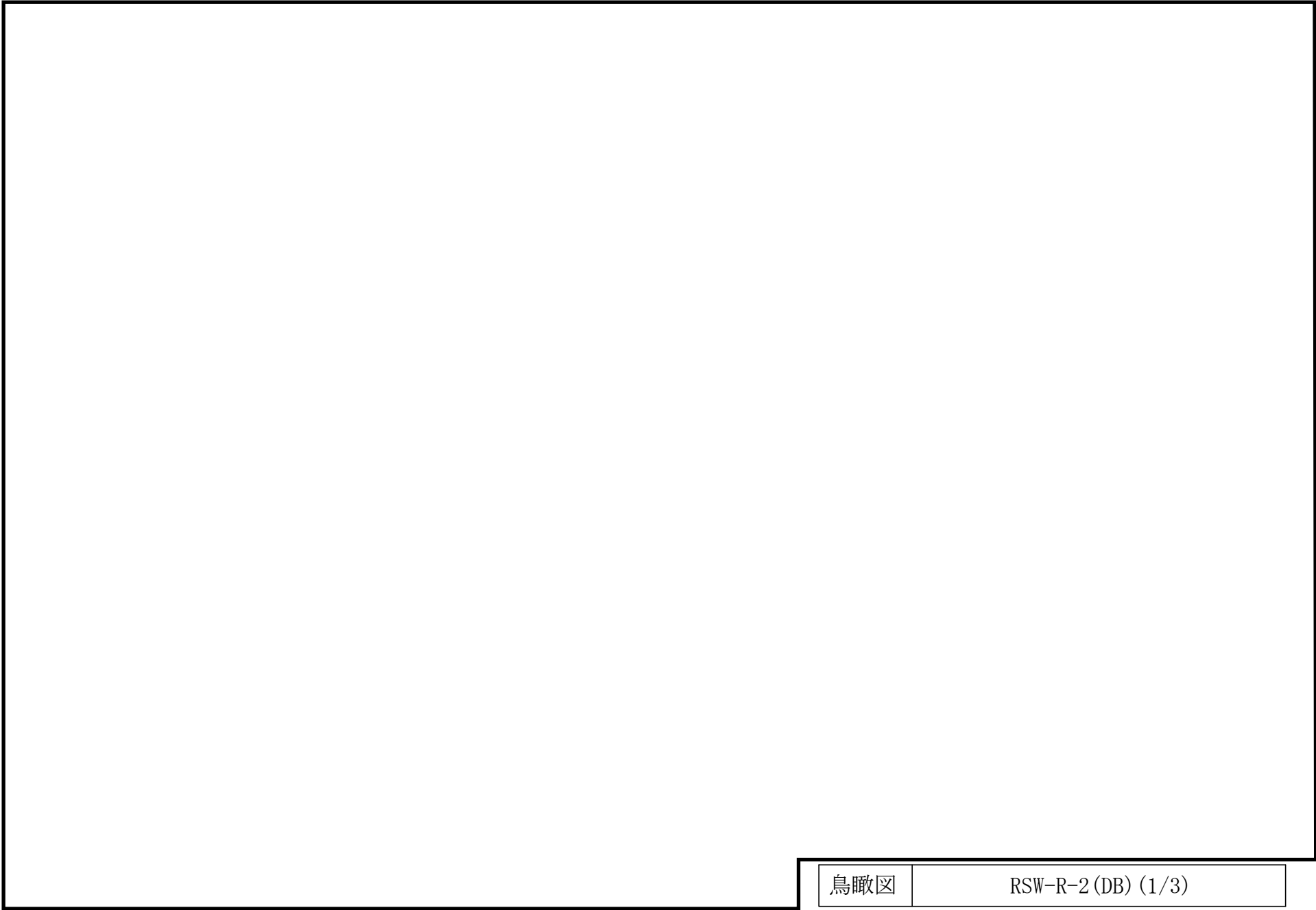
[注] 太破線範囲の管クラス : DB3
 太線範囲の管クラス : SA2

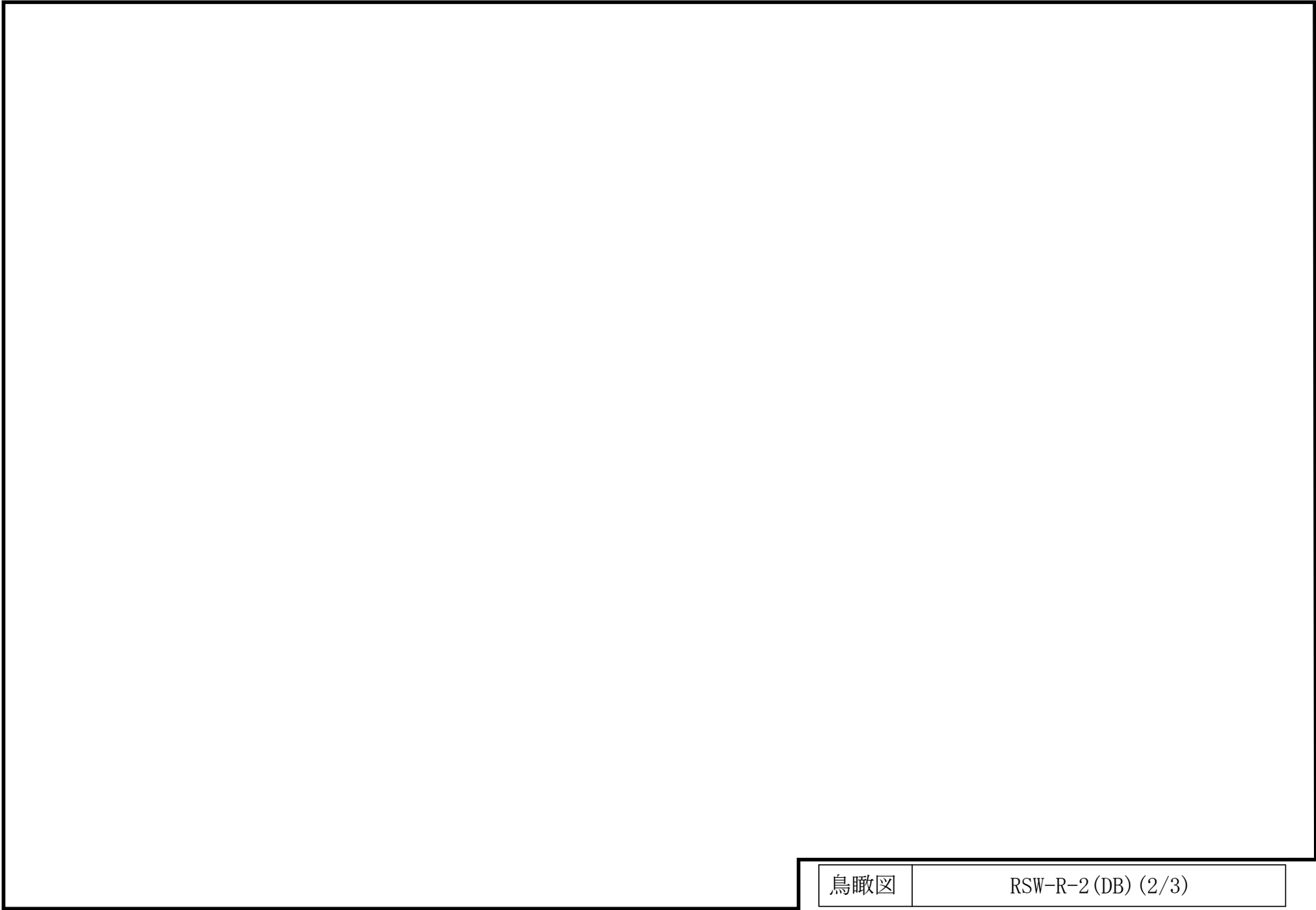
原子炉補機海水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。





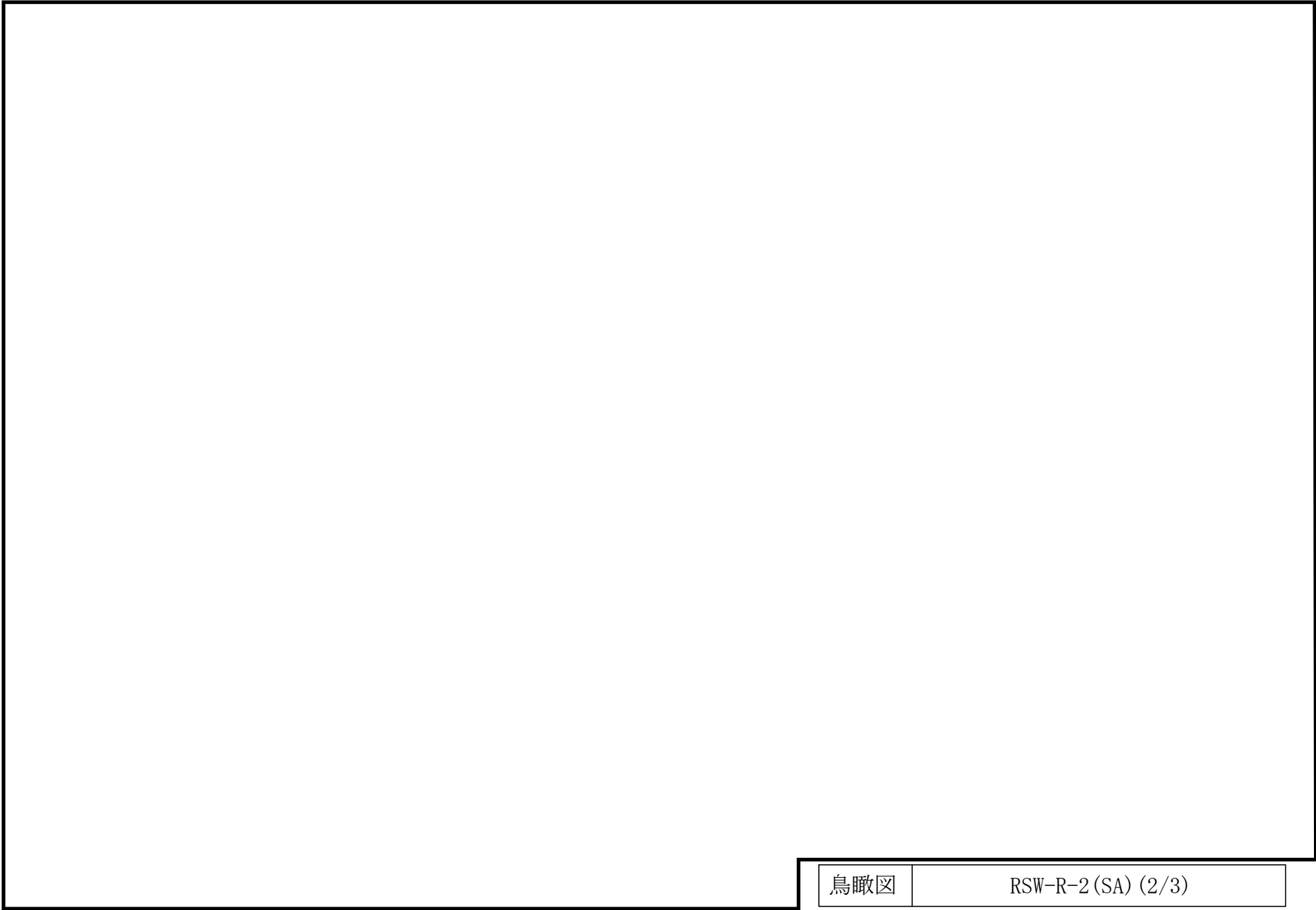
鳥瞰図

RSW-R-2(DB) (3/3)

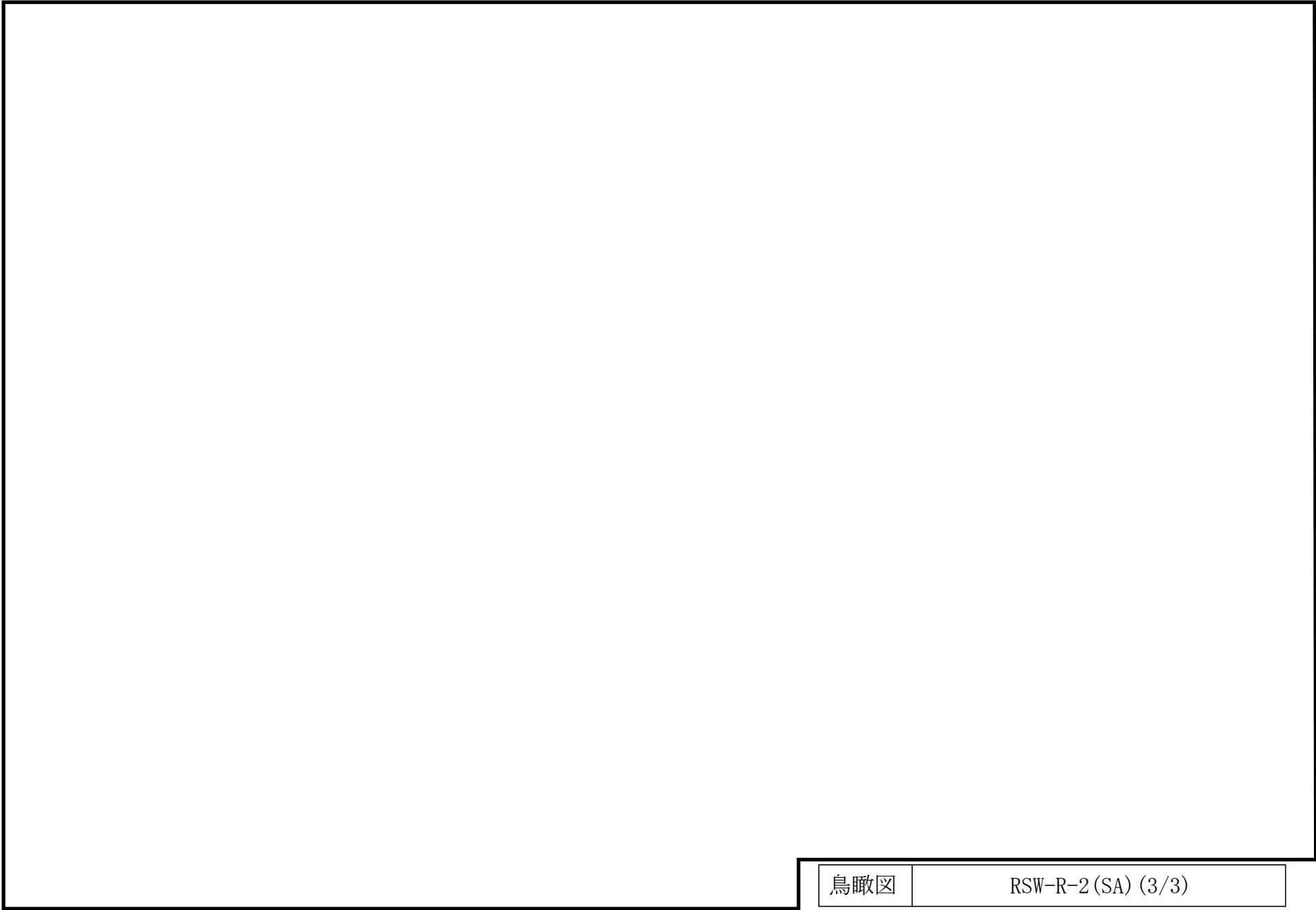
∞

鳥瞰図

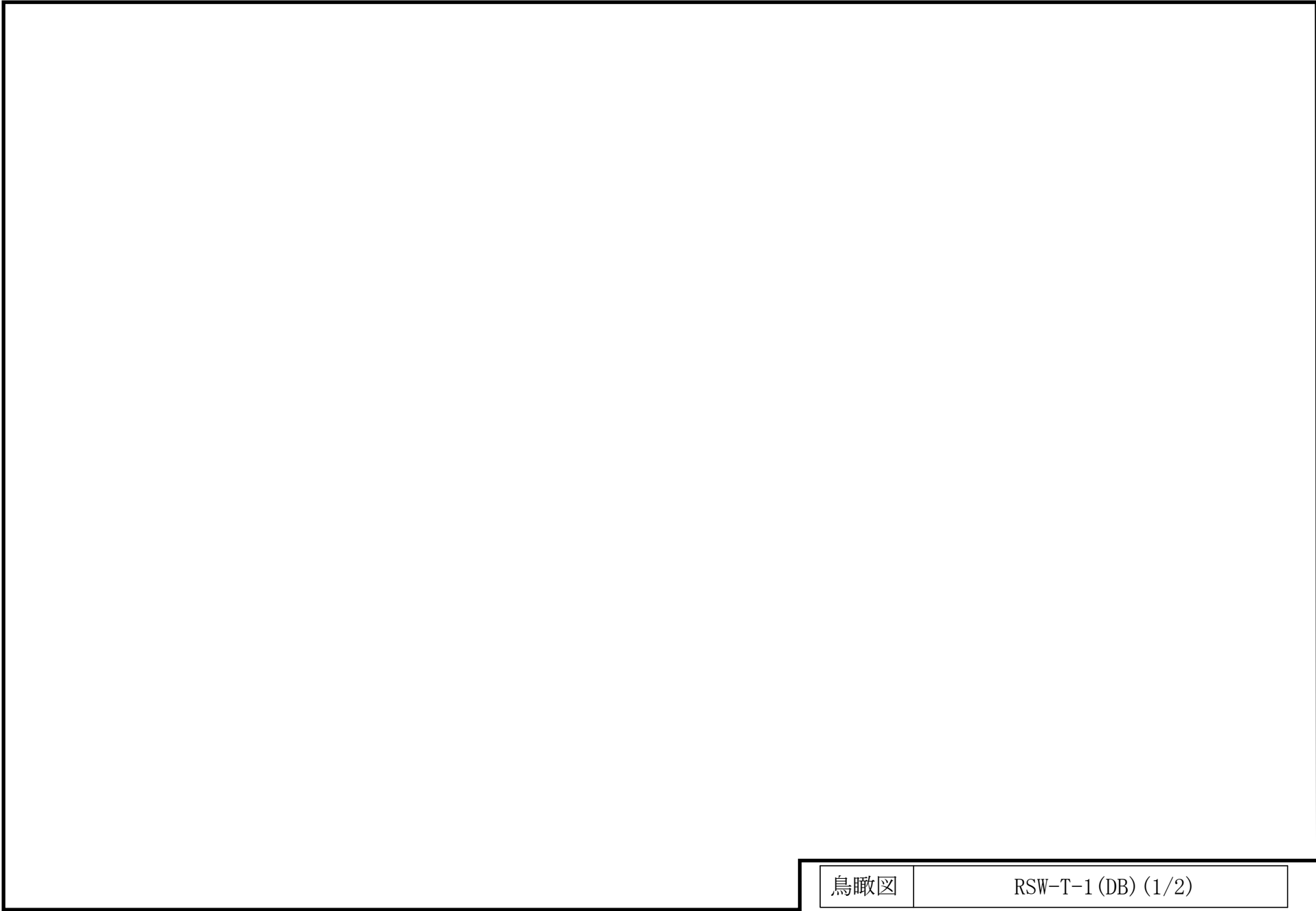
RSW-R-2(SA) (1/3)



鳥瞰図	RSW-R-2(SA) (2/3)
-----	-------------------



鳥瞰図	RSW-R-2(SA) (3/3)
-----	-------------------



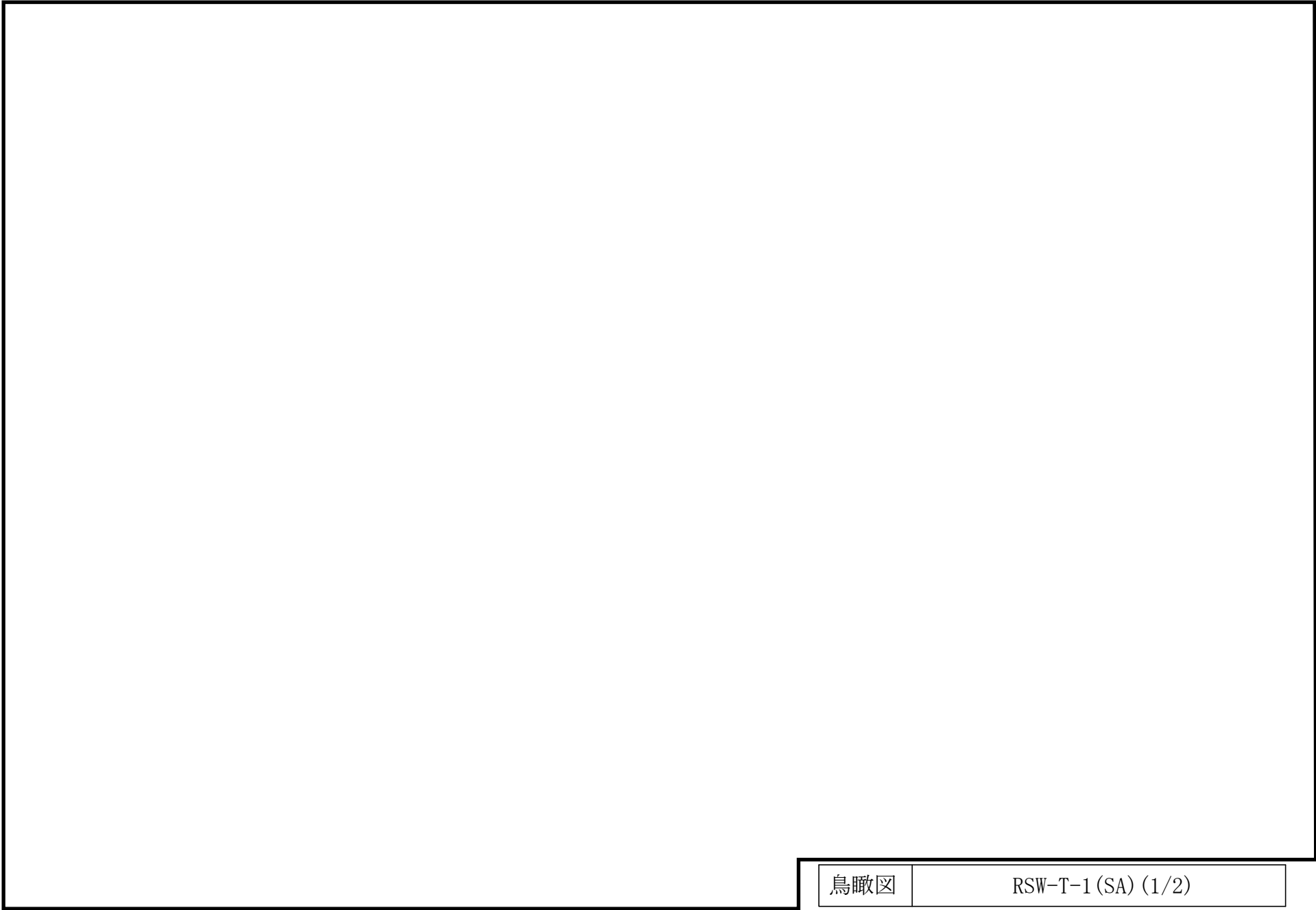
鳥瞰図

RSW-T-1 (DB) (1/2)

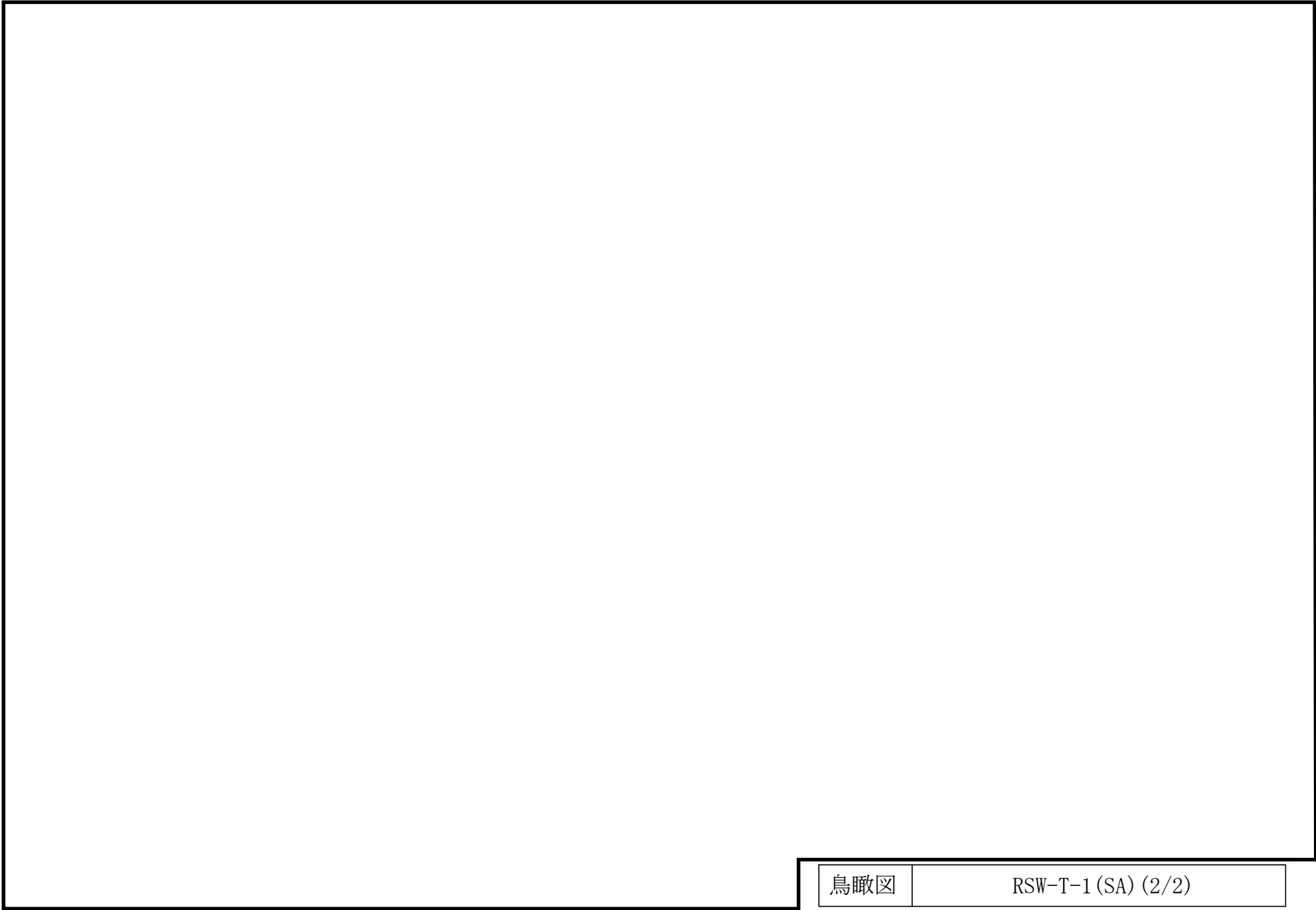


鳥瞰図

RSW-T-1 (DB) (2/2)



鳥瞰図	RSW-T-1 (SA) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図	RSW-T-1 (SA) (2/2)
-----	--------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機海水系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
			II _L +S _s					
			SA	常設/防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設/防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~37F, 38F~44 4501~46	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
2	44~4501	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
3	47~58, 60~61	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
4	58~60	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
5	62~72N, 73~82N 83~97N	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
6	59~73, 45~83	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～37F, 38F～44 4501～46	711.2	9.5	SM41C	S	201667
2	44～4501	720.8	14.3	SM41C	S	201667
3	47～58, 60～61	558.8	9.5	SM41C	S	201667
4	58～60	568.4	14.3	SM41C	S	201667
5	62～72N, 73～82N 83～97N	457.2	9.5	SM41C	S	201667
6	59～73, 45～83	466.8	14.3	SM41C	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-2

質量	対応する評価点
□	1A～37F, 38F～46
□	47～61
□	62～72N, 59～82N, 45～97N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-2

質量	対応する評価点
	1F, 3F, 8F, 10F, 12F, 14F, 17F, 22F, 25F, 27F, 29F, 32F 34F, 39F, 41F
	37F, 38F
	48F, 49F, 51F, 54F, 57F
	63F, 64F, 66F, 67F, 69F, 73F, 74F, 76F, 77F, 79F, 83F, 85F 87F, 89F, 92F, 94F
	72N, 82N, 97N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	37F, 38F	<input type="text"/>	3701
<input type="text"/>	3702		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
37F~3701				3701~3702			
3701~38F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
101						
3001						
** 3001 **						
7001						
8						
** 1001 **						
1001						
1201						
15						
15						
17						
20						
24						
** 26 **						
** 26 **						
2701						
32						
3601						
39						
49						
54						
** 57 **						
** 57 **						
630						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(2) R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
64						
67						
72N						
7401						
77						
7701						
82N						
8301						
8301						
8501						
** 87 **						
** 87 **						
890						
9200						
97N						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(2) R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-T-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)
1	1N～65A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-T-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~65A	711.2	9.5	SM41C	S	202333

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-T-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	4S～65A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-T-1

質量	対応する評価点
	1N
	101F
	6F, 801F, 901F, 110F, 130F, 150F, 170F, 190F, 210F, 220F, 240F, 261F 280F, 290F, 310F, 330F, 350F, 380F, 410F, 431F, 460F, 480F, 51F, 530F 560F, 580F, 601F, 620F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
9						
1102						
12						
13						
15						
16						
17						
** 22 **						
** 22 **						
2402						
2601						
2802						
32						
321						
331						
35						
381						
44						
441						
46						
471						
50						
52						
54						
551						
6000						
6001						

S2 補 VI-2-5-7-1-6(2) R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 6202 **						
6203						
65A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41C	40	—	245	400	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RSW-R-2	原子炉建物	EL <input type="text"/>	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>		
	タービン建物	EL <input type="text"/> ~ EL <input type="text"/>			
RSW-T-1	タービン建物	EL <input type="text"/>			
	取水槽	EL <input type="text"/>			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-2

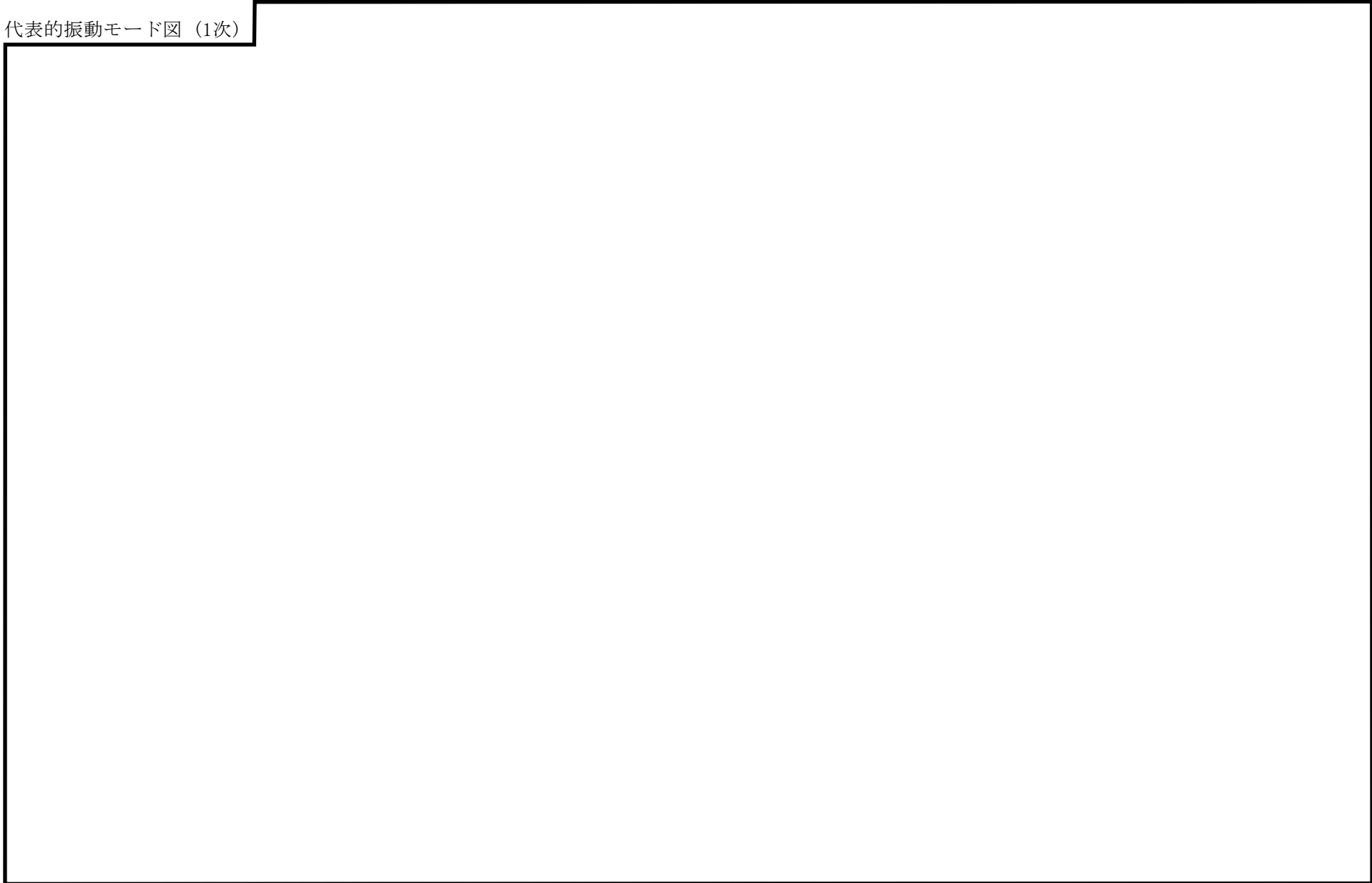
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

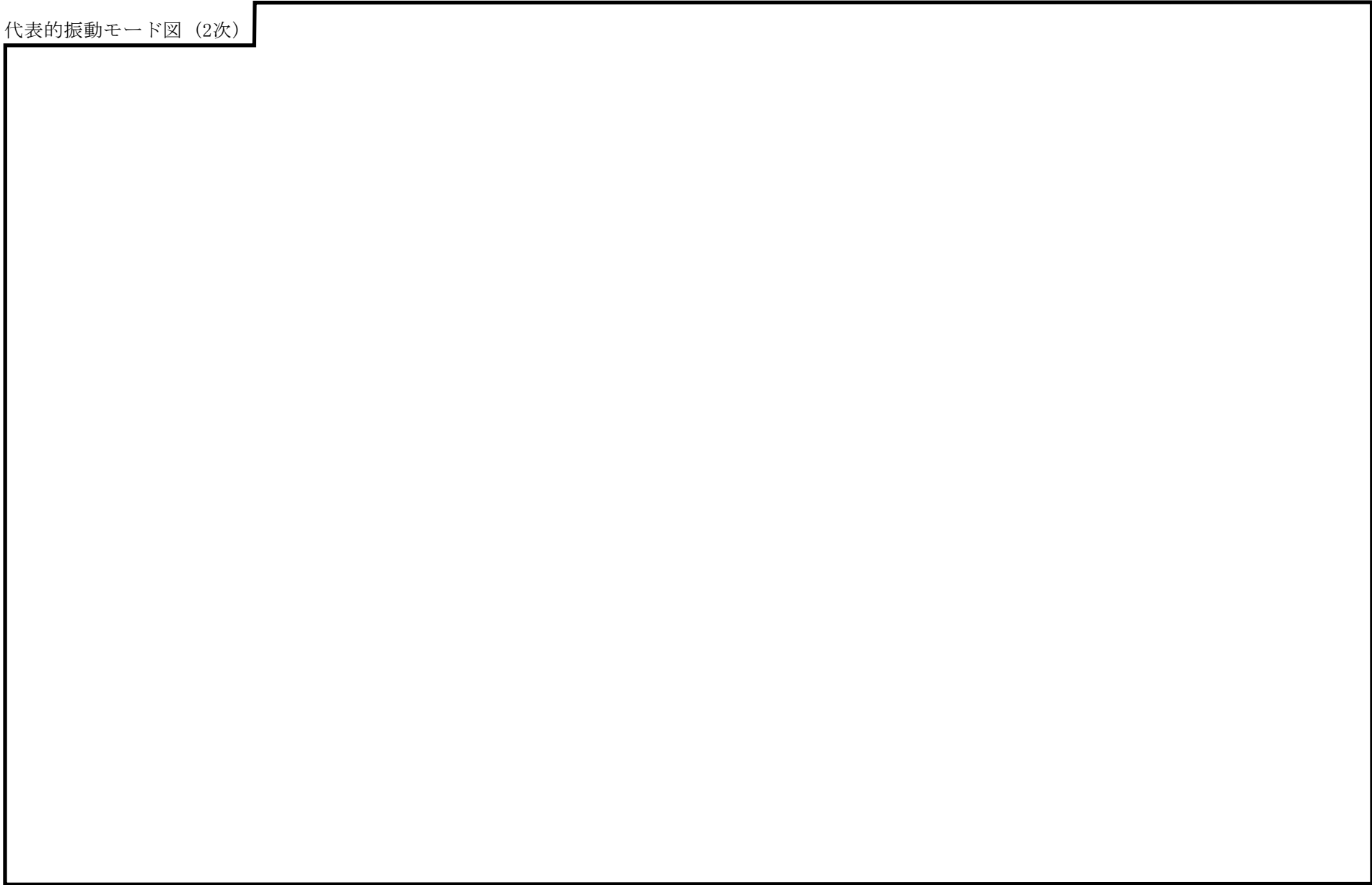
代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

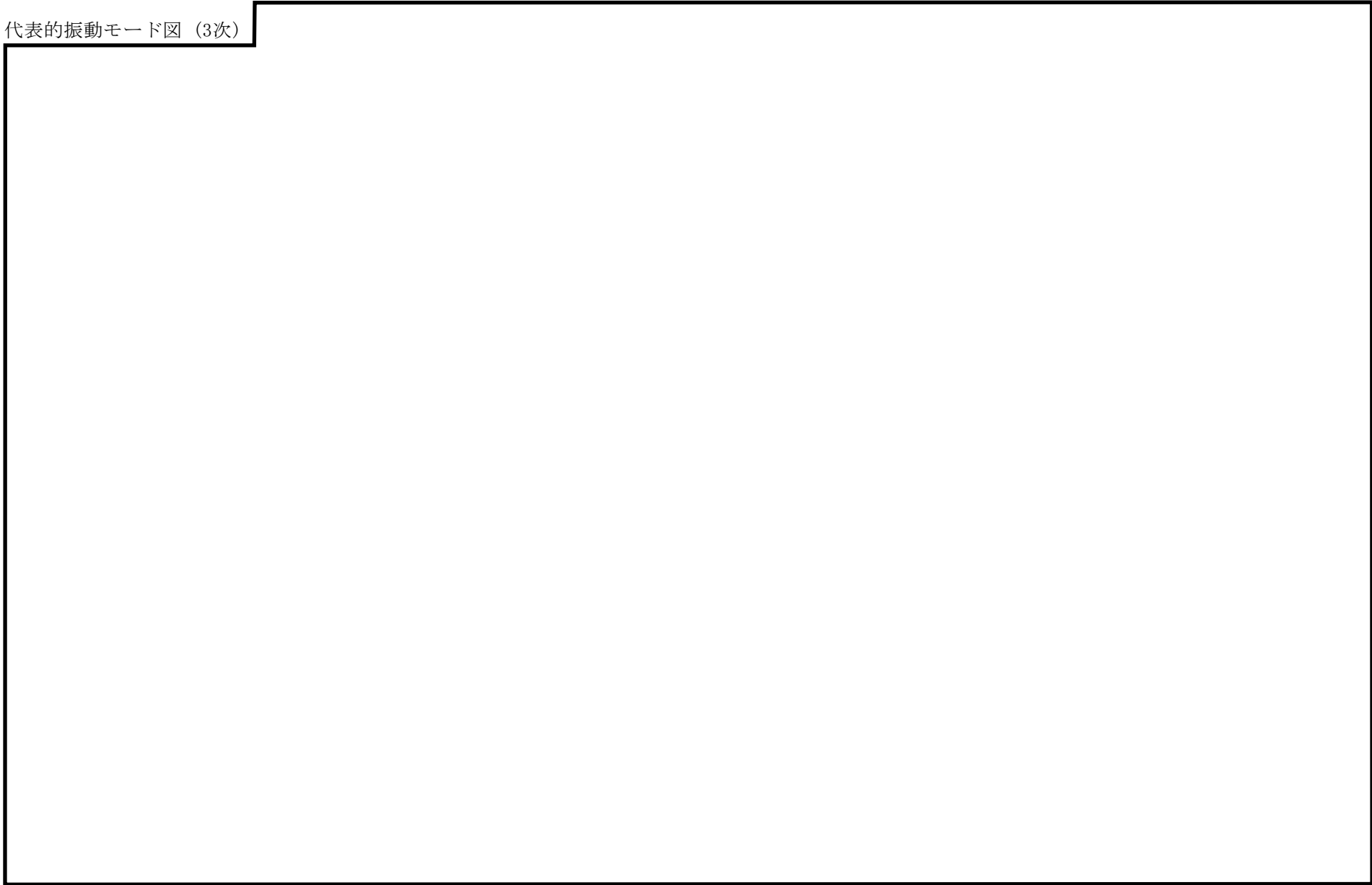
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-T-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

- *2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度
- *3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度
- *4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)
- *5：最大応答加速度を1.2倍した震度
- *6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-T-1

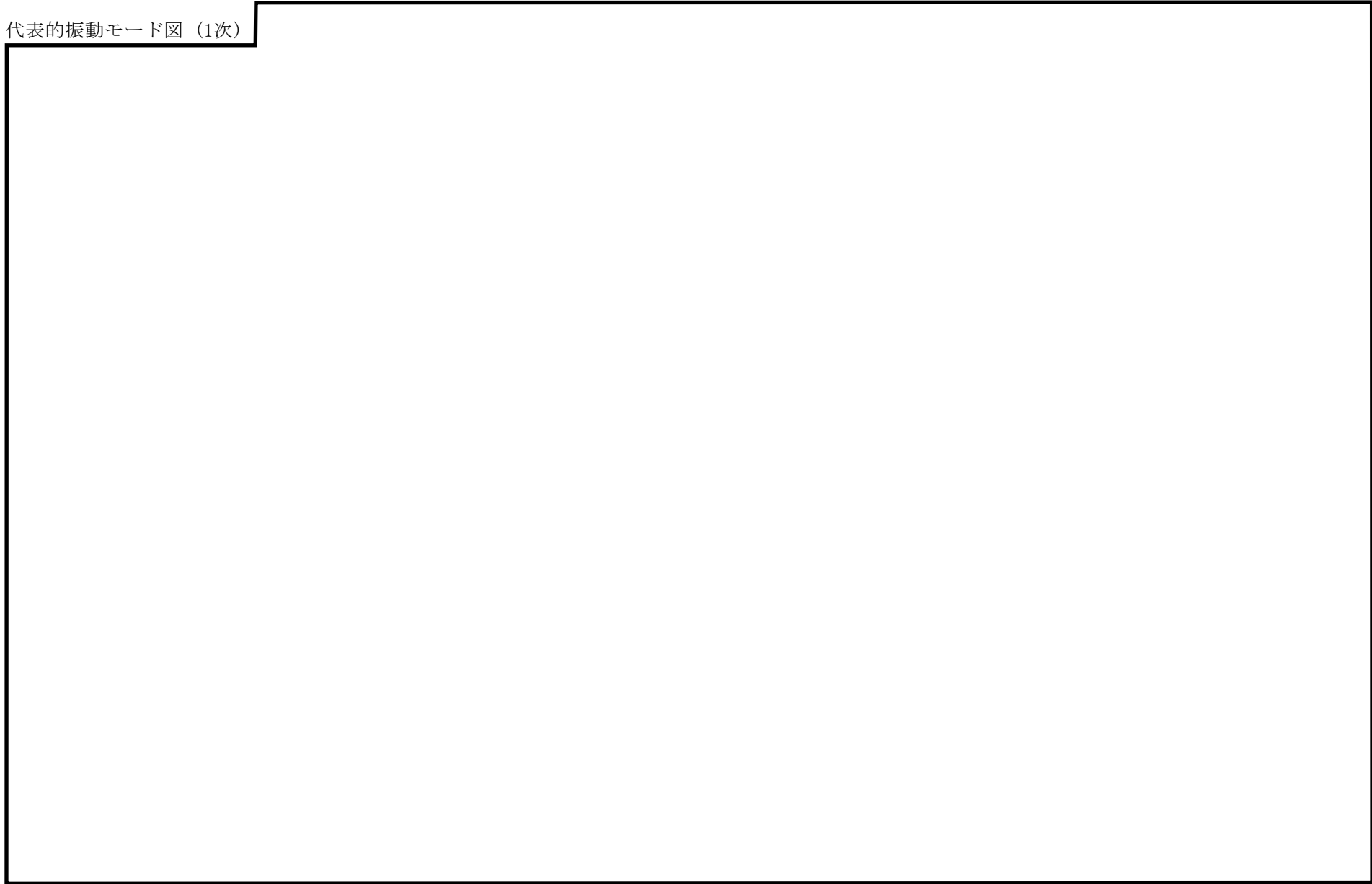
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

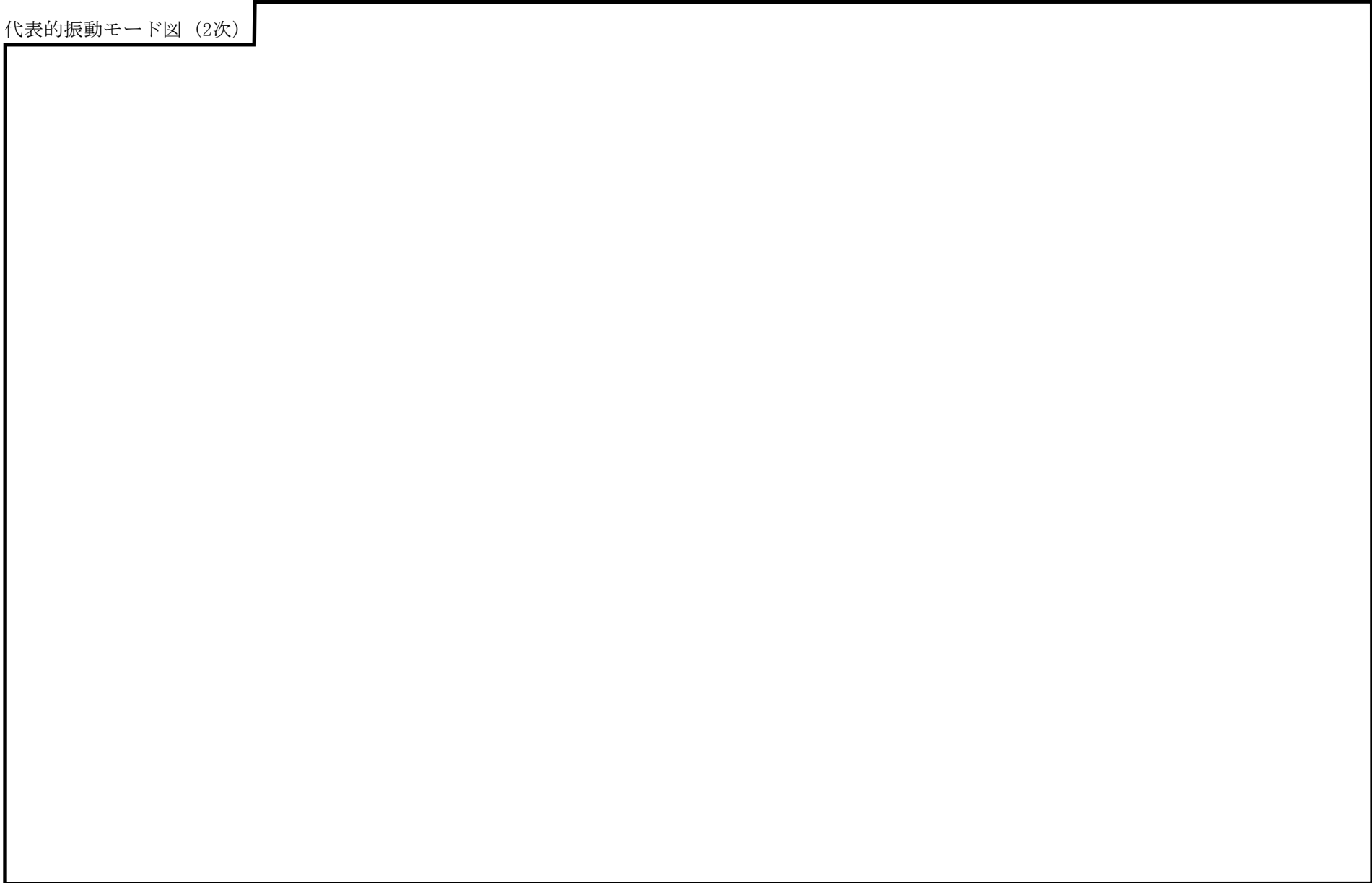
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

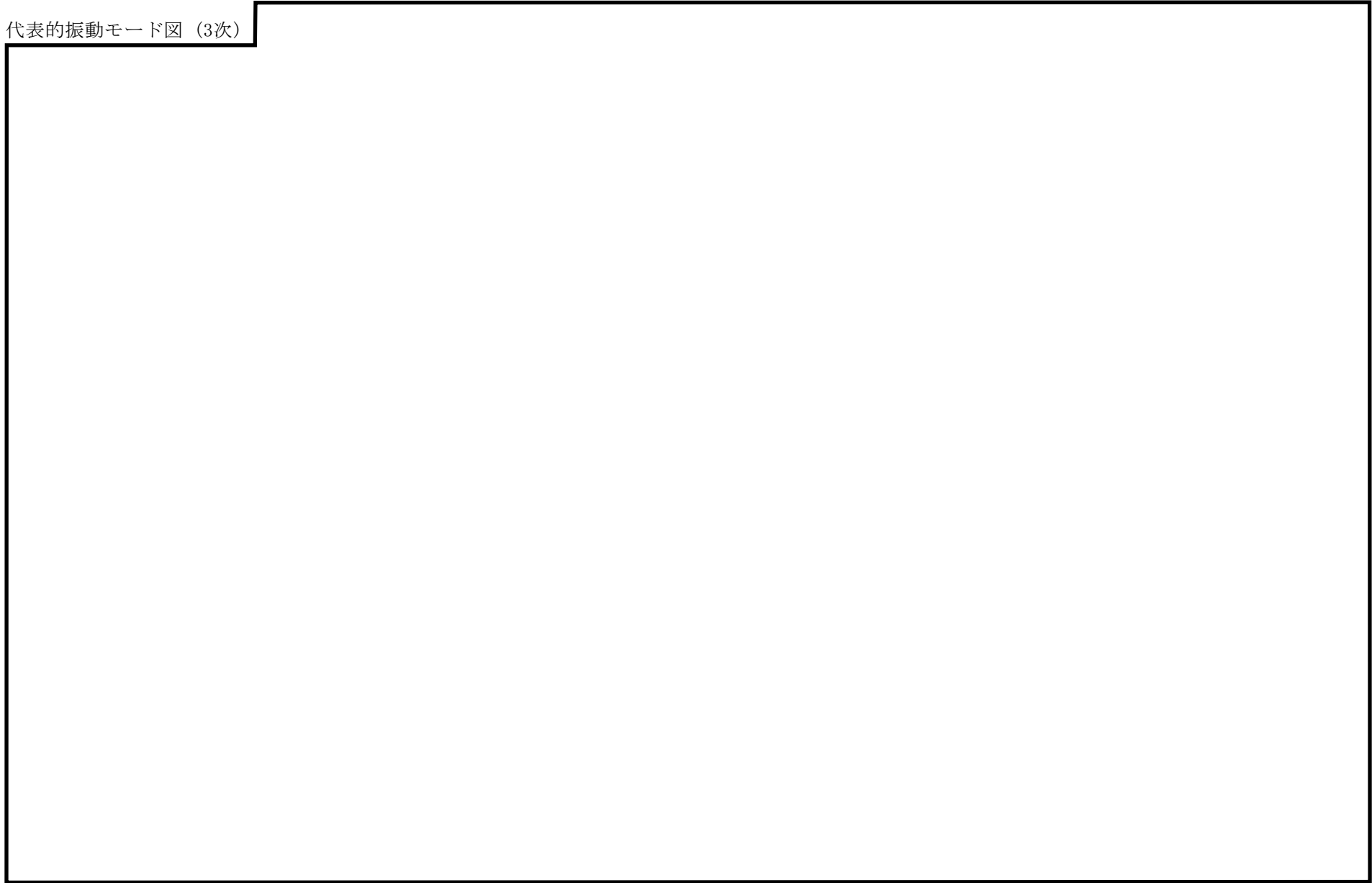
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RSW-T-1	1N	101	245	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	224	490	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RSW-T-1	1N	159	360	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	400	490	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RSW-T-1	1N	159	360	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	400	490	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RSW-T-1	1N	159	360	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RSW-R-2	9	400	490	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	40	—	—	—
SNO-RSW-769	オイルスナッパ	SN-25			344	375	—
RE-RSW-212-2	ロッドレストレイント	RSA-16			203	288	—
SH-RSW-811	スプリングハンガ	VSA1B-14×2*3			33	34	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点、同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RSW-711	レストレイント	ラグ	SGV410	40	751	53	49	—	—	—	組合せ	55	70
AN-RSW-722	アンカ	ラグ	SGV410	40	65	191	66	127	48	469	組合せ	100	155

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-1	69	84	245	2.91	—	9	189	490	2.59	—	—
2	RSW-R-2	59	93	245	2.63	—	9	224	490	2.18	—	○
3	RSW-T-1	1N	101	245	2.42	○	1N	176	490	2.78	—	—
4	RSW-T-2	26	59	245	4.15	—	1N	64	490	7.65	—	—
5	RSW-I-1	15	82	245	2.98	—	15	66	490	7.42	—	—
6	RSW-I-2	15	58	245	4.22	—	15	88	490	5.56	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-1	69	128	360	2.81	—	9	394	490	1.24	—	—
2	RSW-R-2	59	142	360	2.53	—	9	400	490	1.22	—	○
3	RSW-T-1	1N	159	360	2.26	○	1N	352	490	1.39	—	—
4	RSW-T-2	230F	87	360	4.13	—	7	137	490	3.57	—	—
5	RSW-I-1	15	107	360	3.36	—	15	122	490	4.01	—	—
6	RSW-I-2	15	90	360	4.00	—	15	152	490	3.22	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-1	69	128	360	2.81	—	9	394	490	1.24	—	—
2	RSW-R-2	59	142	360	2.53	—	9	400	490	1.22	—	○
3	RSW-T-1	1N	159	360	2.26	○	1N	352	490	1.39	—	—
4	RSW-T-2	230F	87	360	4.13	—	7	137	490	3.57	—	—
5	RSW-I-1	15	107	360	3.36	—	15	122	490	4.01	—	—
6	RSW-I-2	15	90	360	4.00	—	15	152	490	3.22	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RSW-R-1	69	128	360	2.81	—	9	394	490	1.24	—	—
2	RSW-R-2	59	142	360	2.53	—	9	400	490	1.22	—	○
3	RSW-T-1	1N	159	360	2.26	○	1N	352	490	1.39	—	—
4	RSW-T-2	230F	87	360	4.13	—	7	137	490	3.57	—	—
5	RSW-I-1	15	107	360	3.36	—	15	122	490	4.01	—	—
6	RSW-I-2	15	90	360	4.00	—	15	152	490	3.22	—	—

VI-2-5-7-2 高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ
補機海水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-2-1 高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	3
4.1 構造強度評価方法	3
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4.3 計算条件	3
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

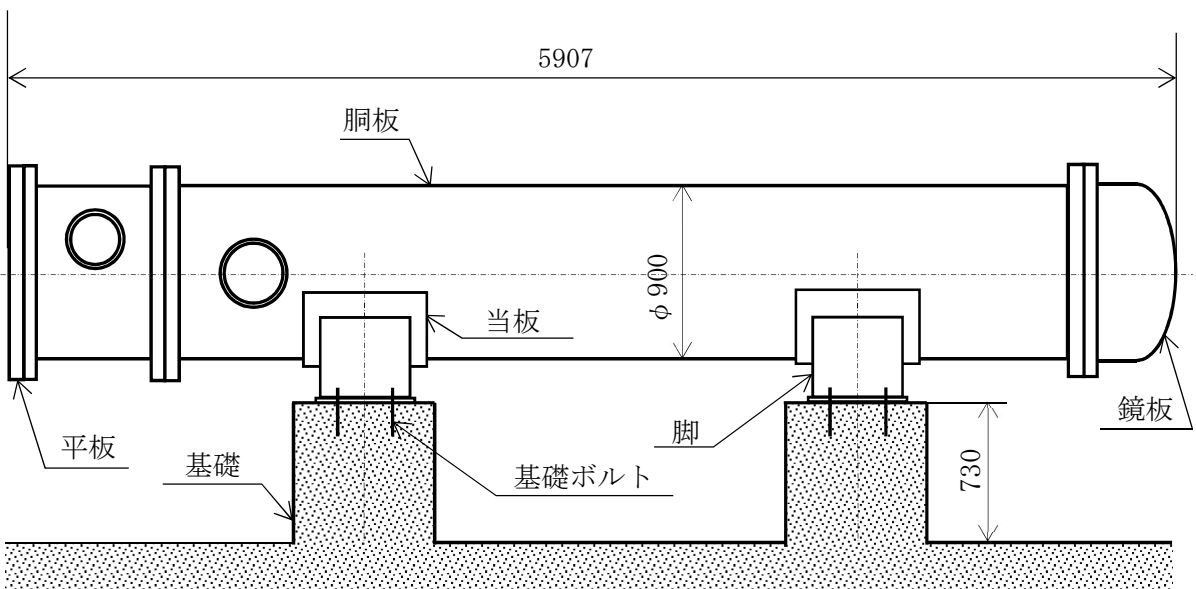
なお、高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴板を当板を介して2個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>措置直管式（前後水室に平板及び鏡板を有する横置一胴円筒形容器）</p>	 <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平（長手方向）	
水平（横方向）	
鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を用いる。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3及び表4-4のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機冷却系 熱交換器	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機冷却系 熱交換器	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界* ¹			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と 1.2・S との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	* ² 弾性設計用地震動 S _d 又は基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
Ⅳ _A S				
V _A S (V _A S としてⅣ _A S の許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	* ² 基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*¹: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*²: 2・S_y を超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。S_m は 2/3・S_y と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界 を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SM41B ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	66	—	234	385	—
脚	SM41A ^{*2} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	最高使用温度	66	—	225	385	—
基礎ボルト	SS41 ^{*3} (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	40	—	235	400	—

注記*1：SM400B 相当

*2：SM400A 相当

*3：SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴	SM41B ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	100	—	221	373	—
脚	SM41A ^{*2} (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	最高使用温度	100	—	212	373	—
基礎ボルト	SS41 ^{*3} (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—

注記*1：SM400B 相当

*2：SM400A 相当

*3：SS400 相当

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ 補機冷却系熱交換器	S	原子炉建物 EL 1.3*1			水平方向 CH=0.78*2	鉛直方向 CV=0.54*2	水平方向 CH=1.56*3	鉛直方向 CV=1.16*3	0.98	66	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

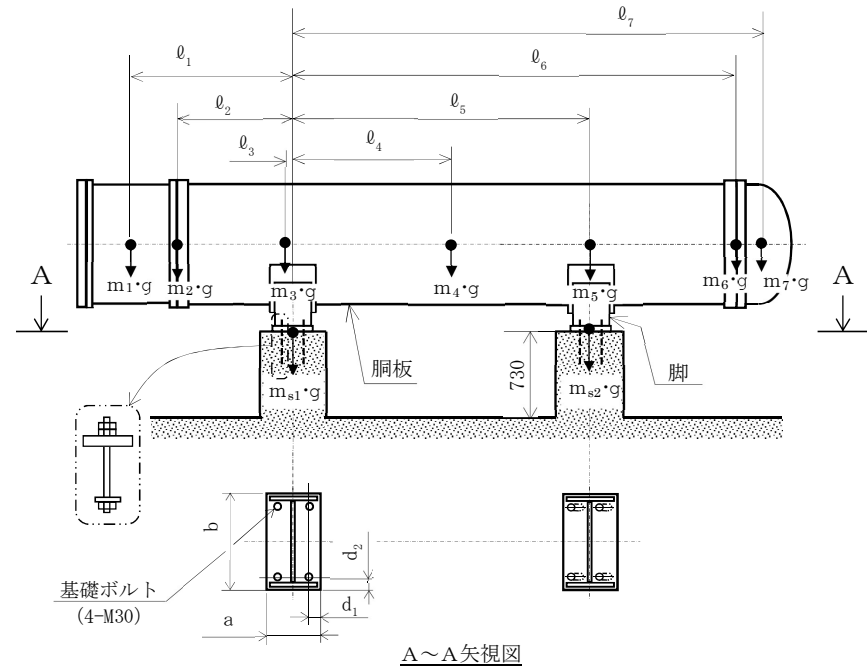
*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l ₅ (mm)	l ₆ (mm)	l ₇ (mm)
-1496	-650	0	1250	2500	3236	3874

M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
4.668×10 ⁷	2.581×10 ⁷	7.518×10 ⁴	4.446×10 ⁴



(単位：mm)

S2 補 VI-2-5-7-2-1 R1

m_o (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
			900	12.0	24.0*1	2500	432	670	0.351	120

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_o (rad)	θ (rad)
410	230	3.561×10 ⁹	3.087×10 ⁸	8.687×10 ⁶	1.342×10 ⁶	2.096	1.395

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
3.234×10 ⁴	200000*3	76900*3	1.577×10 ⁴	1.528×10 ⁴	1.169×10 ⁴	1.366×10 ⁴

K_{11} *2	K_{12} *2	K_{21} *2	K_{22} *2	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	500	870	30 (M30)	706.9	100	100

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
234*3 (厚さ≤16mm)	385*3 (厚さ≤16mm)	225*3 (16mm<厚さ≤40mm)	385*3 (16mm<厚さ≤40mm)	225	269	235*4 (16mm<径≤40mm)	400*4 (16mm<径≤40mm)	235	280

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=15$	—	$\sigma_{x 6}=15$	—	$\sigma_{x 6}=32$	—	$\sigma_{x 6}=32$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=3$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=6$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell}=61$		$\sigma_{0c}=61$		$\sigma_{0\ell}=79$		$\sigma_{0c}=78$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=15$	—	$\sigma_{x 6}=15$	—	$\sigma_{x 6}=32$	—	$\sigma_{x 6}=32$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=7$	$\sigma_{x 71}=7$	$\sigma_{\phi 71}=7$	$\sigma_{x 71}=7$	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=15$	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=15$	
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 411}=8$	$\sigma_{x 411}=4$	$\sigma_{\phi 51}=8$	$\sigma_{x 51}=19$	$\sigma_{\phi 411}=15$	$\sigma_{x 411}=7$	$\sigma_{\phi 51}=16$	$\sigma_{x 51}=38$
		$\sigma_{\phi 412}=3$	$\sigma_{x 412}=3$			$\sigma_{\phi 412}=6$	$\sigma_{x 412}=6$		
	せん断	$\tau_{\ell}=9$		$\tau_{c}=3$		$\tau_{\ell}=18$		$\tau_{c}=6$	
組合せ応力	$\sigma_{1\ell}=86$		$\sigma_{1c}=88$		$\sigma_{1\ell}=116$		$\sigma_{1c}=120$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6} = 15$	—	$\sigma_{x 6} = 15$	—	$\sigma_{x 6} = 32$	—	$\sigma_{x 6} = 32$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71} = 7$ $\sigma_{\phi 72} = 25$	$\sigma_{x 71} = 7$ $\sigma_{x 72} = 14$	$\sigma_{\phi 71} = 7$ $\sigma_{\phi 72} = 25$	$\sigma_{x 71} = 7$ $\sigma_{x 72} = 14$	$\sigma_{\phi 71} = 15$ $\sigma_{\phi 72} = 53$	$\sigma_{x 71} = 15$ $\sigma_{x 72} = 29$	$\sigma_{\phi 71} = 15$ $\sigma_{\phi 72} = 53$	$\sigma_{x 71} = 15$ $\sigma_{x 72} = 29$
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 41} = 10$	$\sigma_{x 41} = 9$	$\sigma_{\phi 51} = 8$	$\sigma_{x 51} = 19$	$\sigma_{\phi 41} = 20$	$\sigma_{x 41} = 18$	$\sigma_{\phi 51} = 16$	$\sigma_{x 51} = 38$
		$\sigma_{\phi 421} = 9$ $\sigma_{\phi 422} = 11$	$\sigma_{x 421} = 17$ $\sigma_{x 422} = 6$	$\sigma_{\phi 52} = 48$	$\sigma_{x 52} = 26$	$\sigma_{\phi 421} = 17$ $\sigma_{\phi 422} = 21$	$\sigma_{x 421} = 34$ $\sigma_{x 422} = 12$	$\sigma_{\phi 52} = 95$	$\sigma_{x 52} = 52$
		$\sigma_{\phi 42} = 19$	$\sigma_{x 42} = 23$			$\sigma_{\phi 42} = 38$	$\sigma_{x 42} = 45$		
	せん断	$\tau_{\ell} = 9$		$\tau_c = 3$		$\tau_{\ell} = 18$		$\tau_c = 6$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell} = 108$		$\sigma_{2c} = 129$		$\sigma_{2\ell} = 222$		$\sigma_{2c} = 264$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力		圧縮	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力		圧縮	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 3$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2} = 16$	$\sigma_{s3} = 5$	$\sigma_{s2} = 32$	$\sigma_{s3} = 10$
	せん断	$\tau_{s2} = 9$	$\tau_{s3} = 5$	$\tau_{s2} = 17$	$\tau_{s3} = 9$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell} = 24$	$\sigma_{sc} = 11$	$\sigma_{s\ell} = 45$	$\sigma_{sc} = 20$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力		引張	$\sigma_{b1} = 29$	$\sigma_{b2} = 30$	$\sigma_{b1} = 89$ $\sigma_{b2} = 86$
水平方向地震による 応力		せん断	$\tau_{b1} = 34$	$\tau_{b2} = 22$	$\tau_{b1} = 68$ $\tau_{b2} = 43$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期	
長手方向	$T_1 =$	
横方向	$T_2 =$	
鉛直方向	$T_3 =$	

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM41B*1 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	一次一般膜	$\sigma_o = 61$	$S_a = 231$	$\sigma_o = 79$	$S_a = 231$
		一次	$\sigma_1 = 88$	$S_a = 346$	$\sigma_1 = 120$	$S_a = 346$
		一次+二次	$\sigma_2 = 129$	$S_a = 468$	$\sigma_2 = 264$	$S_a = 468$
脚	SM41A*2 ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	組合せ	$\sigma_s = 24$	$f_{tm} = 225$	$\sigma_s = 45$	$f_{tm} = 269$
基礎ボルト	SS41*3 ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	引張	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 176^{*4}$	$\sigma_b = 89$	$f_{ts} = 185^{*4}$
		せん断	$\tau_b = 34$	$f_{sb} = 135$	$\tau_b = 68$	$f_{sb} = 161$

注記*1: SM400B 相当

*2: SM400A 相当

*3: SS400 相当

*4: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレ イ補機冷却系熱交換器	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1			—	—	C _H =1.56*2	C _V =1.16*2	0.98	100	100

注記*1：基準床レベルを示す。

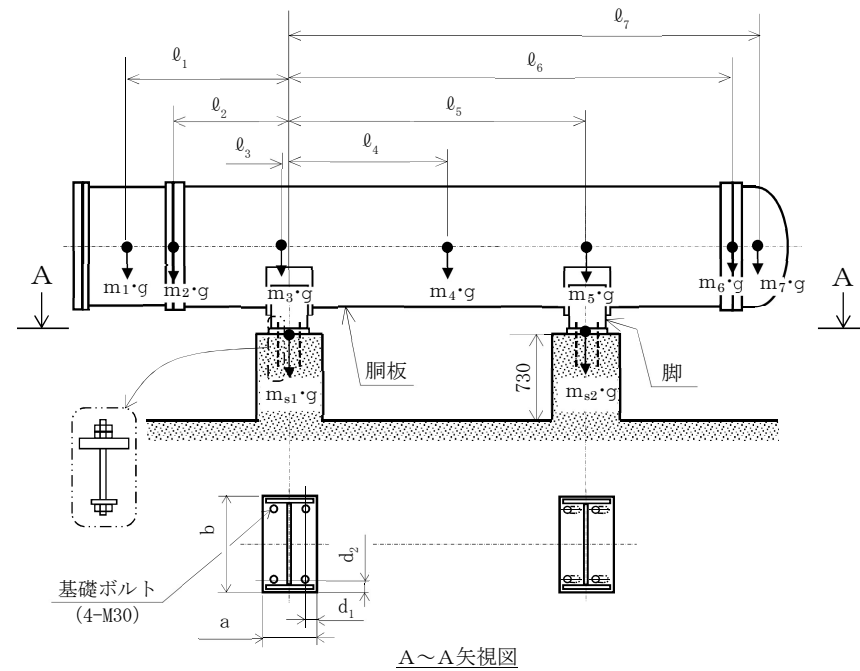
*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
-1496	-650	0	1250	2500	3236	3874

M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
4.668 × 10 ⁷	2.581 × 10 ⁷	7.518 × 10 ⁴	4.446 × 10 ⁴



A~A矢视图

(単位：mm)

S2 補 VI-2-5-7-2-1 R1

m_o (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
			900	12.0	24.0*1	2500	432	670	0.351	120

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_o (rad)	θ (rad)
410	230	3.561×10 ⁹	3.087×10 ⁸	8.687×10 ⁶	1.342×10 ⁶	2.096	1.395

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
3.234×10 ⁴	198000*3	76200*3	1.577×10 ⁴	1.528×10 ⁴	1.169×10 ⁴	1.366×10 ⁴

K_{11} *2	K_{12} *2	K_{21} *2	K_{22} *2	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	500	870	30 (M30)	706.9	100	100

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
221*3 (厚さ≤16mm)	373*3 (厚さ≤16mm)	212*3 (16mm<厚さ≤40mm)	373*3 (16mm<厚さ≤40mm)	254	212*4 (16mm<径≤40mm)	373*4 (16mm<径≤40mm)	254

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=32$	—	$\sigma_{x 6}=32$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=6$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{o\ell}=79$		$\sigma_{oc}=78$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	$\sigma_{\phi 1}=38$	$\sigma_{x 1}=19$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=28$	—	$\sigma_{x 2}=28$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=32$	—	$\sigma_{x 6}=32$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	$\sigma_{\phi 3}=13$	$\sigma_{x 3}=13$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=15$	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=15$	
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=15$ $\sigma_{\phi 412}=6$ $\sigma_{\phi 41}=20$	$\sigma_{x 411}=7$ $\sigma_{x 412}=6$ $\sigma_{x 41}=18$	$\sigma_{\phi 51}=16$	$\sigma_{x 51}=38$
		せん断	—	—	—	$\tau_{\ell}=18$	$\tau_{c}=6$		
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\ell}=116$		$\sigma_{1c}=120$		

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} = 32$	—	$\sigma_{x 6} = 32$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} = 15$ $\sigma_{\phi 72} = 53$	$\sigma_{x 71} = 15$ $\sigma_{x 72} = 29$	$\sigma_{\phi 71} = 15$ $\sigma_{\phi 72} = 53$	$\sigma_{x 71} = 15$ $\sigma_{x 72} = 29$
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} = 20$	$\sigma_{x 41} = 18$	$\sigma_{\phi 51} = 16$	$\sigma_{x 51} = 38$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} = 17$ $\sigma_{\phi 422} = 21$	$\sigma_{x 421} = 34$ $\sigma_{x 422} = 12$	$\sigma_{\phi 52} = 95$	$\sigma_{x 52} = 52$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42} = 38$	$\sigma_{x 42} = 45$		
せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell} = 18$		$\tau_c = 6$		
組合せ応力		—	—	—	—	$\sigma_{2\ell} = 222$		$\sigma_{2c} = 264$	

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 3$	$\sigma_{s4} = 3$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 32$	$\sigma_{s3} = 10$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 17$	$\tau_{s3} = 9$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell} = 45$	$\sigma_{sc} = 20$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 89$	$\sigma_{b2} = 86$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 68$	$\tau_{b2} = 43$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM41B* ¹ (厚さ ≤ 16mm)	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 79$	$S_a = 223$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 120$	$S_a = 334$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 264$	$S_a = 442$
脚	SM41A* ² (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 45$	$f_{tm} = 254$
基礎ボルト	SS41* ³ (16mm < 径 ≤ 40mm)	引張	—	—	$\sigma_b = 89$	$f_{ts} = 157^{*4}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 68$	$f_{sb} = 146$

注記*1: SM400B 相当

*2: SM400A 相当

*3: SS400 相当

*4: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-7-2-2 高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプベースにポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトで固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横形ポンプ)</p>	<p>ポンプベース</p> <p>ポンプ取付ボルト</p> <p>ポンプ</p> <p>原動機取付ボルト</p> <p>原動機</p> <p>基礎</p> <p>基礎ボルト</p> <p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 冷却水ポンプ	S	クラス 3 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 冷却水ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*2: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	764	906	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	730	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—

--

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	764	906	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66	730	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	231	394	—

--

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ 補機冷却水ポンプ	S	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	C _H =1.07*3	C _V =0.49*3	C _H =2.13*4	C _V =0.99*4	C _p =0.11	66	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)	764*2 (径≦60mm)	906*2 (径≦60mm)	634	634	軸直角	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	730*3 (径≦60mm)	868*3 (径≦60mm)	607	607	軸	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	231*2 (16mm<径≦40mm)	394*2 (16mm<径≦40mm)	231	276	軸	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ポンプ取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=3$	$f_{ts1}=475^*$	$\sigma_{b1}=8$	$f_{ts1}=475^*$
		せん断	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=366$	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb1}=366$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=455^*$	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=455^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=350$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=350$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	$\sigma_{b3}=5$	$f_{ts3}=173^*$	$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=207^*$
		せん断	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=133$	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=159$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	4.7
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
高圧炉心スプレイ 補機冷却水ポンプ	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =2.13*3	C _V =0.99*3	C _P =0.11	66	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

11

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	764*2 (径≤60mm)	906*2 (径≤60mm)	—	634	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	730*3 (径≤60mm)	868*3 (径≤60mm)	—	607	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2 (16mm<径≤40mm)	—	276	—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位: N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1} = 8$	$f_{ts1} = 475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 10$	$f_{sb1} = 366$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2} = 9$	$f_{ts2} = 455^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 4$	$f_{sb2} = 350$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3} = 13$	$f_{ts3} = 207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 10$	$f_{sb3} = 159$

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

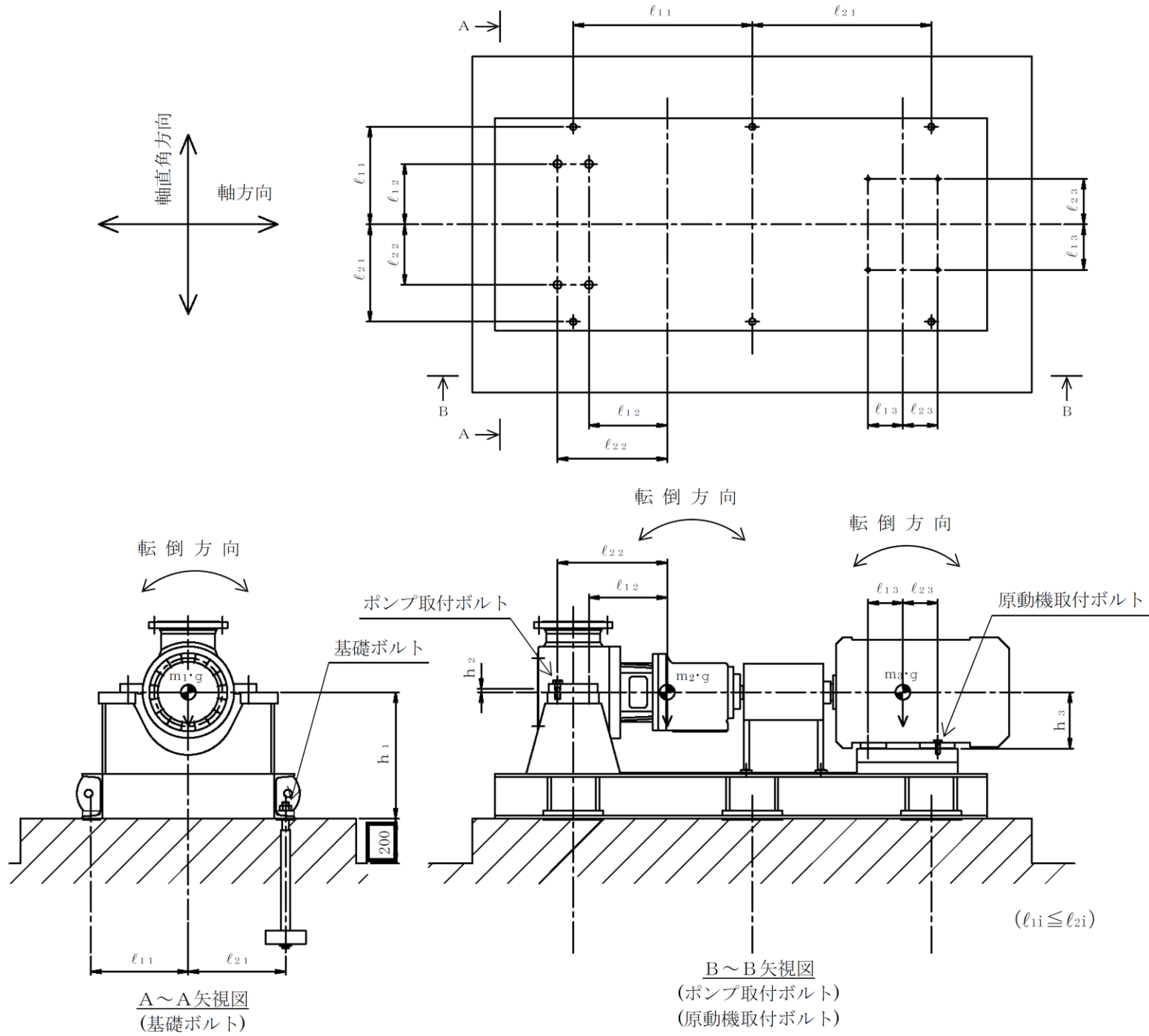
すべて許容応力以下である。

2.4.2 動的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	4.7
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-5-7-2-3 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有値解析及び構造強度評価	3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	11
3.6 サポート部の計算方法	13
3.7 計算条件	15
3.8 応力の評価	15
4. 機能維持評価	16
4.1 動的機能維持評価方法	16
5. 評価結果	17
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	17

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。コラムパイプはサポートに支持され、サポートはサポート取付ボルトでサポートベースに固定され、サポートベースはサポート基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>The diagram illustrates the structural assembly of a pump. At the top, the motor (原動機) is connected to the pump (ポンプ) via motor mounting bolts (原動機取付ボルト). The pump is mounted on a pump base (ポンプベース) using pump mounting bolts (ポンプ取付ボルト). The pump base is secured to a foundation (基礎) with foundation bolts (基礎ボルト). A vertical column pipe (コラムパイプ) is supported by a support (サポート) structure. The support is attached to a support base (サポートベース) using support mounting bolts (サポート取付ボルト). The support base is anchored into the foundation with support foundation bolts (サポート基礎ボルト (ケミカルアンカ)). The support also houses a rotor (ロータ) and bearings (軸受). Section lines A-A and B-B are indicated for cross-sectional views. A scale bar at the bottom right indicates (単位: mm).</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。コラムパイプはサポートに支持されるため、サポート取付ボルト及びサポート基礎ボルト（以下「サポート部ボルト」という。）について評価を実施する。サポート部ボルトの耐震計算方法は上記方針によらないため、「3.6 サポート部の計算方法」に基づき実施する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ポンプ	S	クラス外*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 3 ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また、クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ポンプ	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V _A S (V _A S として Ⅳ _A S の許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-3 許容応力 (クラス 2, 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 ポンプ)

許容応力状態	許容限界* ¹			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と 0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ス テンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と 1.2・S との大きい方とする。	左欄の 1.5 倍の値	* ² S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係 数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)			* ² S _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは 2/3・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3-4 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		コラムパイプ	最高使用温度	40	—	245	400
基礎ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205	
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	205	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205	
サポート基礎ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	205	
サポート取付ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	205	

注記* :

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		コラムパイプ	最高使用温度	40	—	—	400
基礎ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205	
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	—	
原動機取付ボルト	周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205	
サポート基礎ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	—	
サポート取付ボルト	最高使用温度	40	—	205	520	—	

注記* :

3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表3-7、振動モード図を図3-1及び図3-2に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は2次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表3-7 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS方向	EW方向	
1次	水平	0.167	-1.745	-1.745	—
2次	水平	0.052	0.103	0.103	—

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

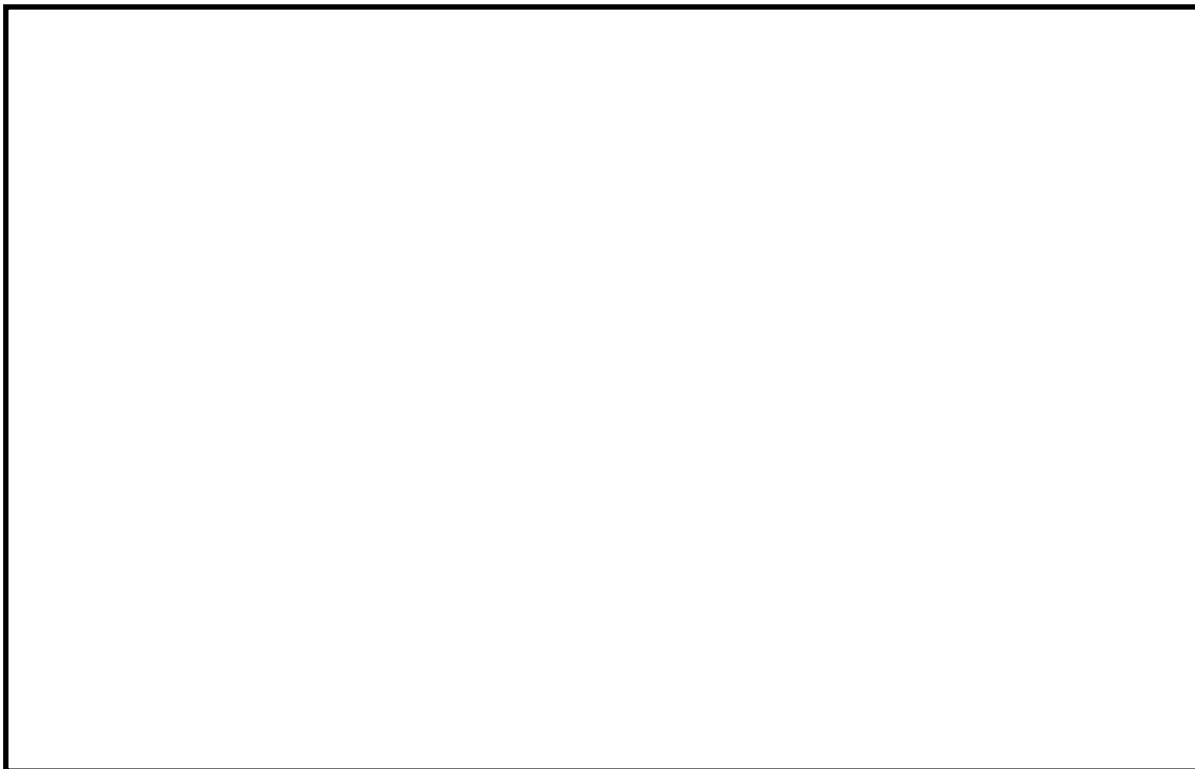


図 3-1 振動モード図 (1 次モード 水平方向 0.167s)



図 3-2 振動モード図 (2 次モード 水平方向 0.052s)

3.5 設計用地震力

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-8 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-9 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期 (s)		水平 : 0.167 ^{*2} 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : —					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.167	4.34	7.14	—	4.34	7.14	—
2 次	0.052	2.48	2.12	—	2.48	2.12	—
動的震度 ^{*6, *7}		1.41	1.67	1.28	1.41	1.67	1.28
静的震度 ^{*8}		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1 次固有周期について記載

*3 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4 : 設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5 : 設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8 : $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.167 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.167	—	—	—	4.34	7.14	—
2 次	0.052	—	—	—	2.48	2.12	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	—	—	1.41	1.67	1.28
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

3.6 サポート部の計算方法

3.6.1 記号の説明

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプのサポート部の応力評価に使用する記号を表3-10に示す。

表3-10 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{s b j}$	サポート部ボルトの軸断面積*	mm^2
C_p	ポンプ振動による震度 (鉛直方向)	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
$D_{s j}$	サポート部ボルトのピッチ円直径*	mm
$d_{s j}$	サポート部ボルトの呼び径*	mm
F_j	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値*	MPa
F_j^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値*	MPa
$F_{s b j}$	サポート部ボルトに作用する引張力 (1本当たり) *	N
$f_{s s b j}$	せん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力*	MPa
$f_{s t o j}$	引張力のみを受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
$f_{s t s j}$	引張力とせん断力を同時に受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
$M_{s j}$	サポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{s C p j}$	水平方向のポンプ振動による震度によりサポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$m_{s j}$	サポート部ボルトに作用するサポート質量*	kg
$n_{s j}$	サポート部ボルトの本数*	—
$n_{s f j}$	評価上引張力を受けるとして期待するサポート部ボルトの本数*	—
$Q_{s b j}$	サポート部ボルトに作用するせん断力*	N
$S_u, S_{u j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*	MPa
$S_y, S_{y j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*	MPa
$S_{y j} (R T)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値*	MPa
$\sigma_{s b j}$	サポート部ボルトに生じる引張応力*	MPa
$\tau_{s b j}$	サポート部ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字jの意味は、以下のとおりとする。

j = 1：サポート基礎ボルト

j = 2：サポート取付ボルト

3.6.2 応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，サポート部ボルトに生じる応力を次式で求める。なお，図 3-3 にサポート部の応力計算モデルを示す。

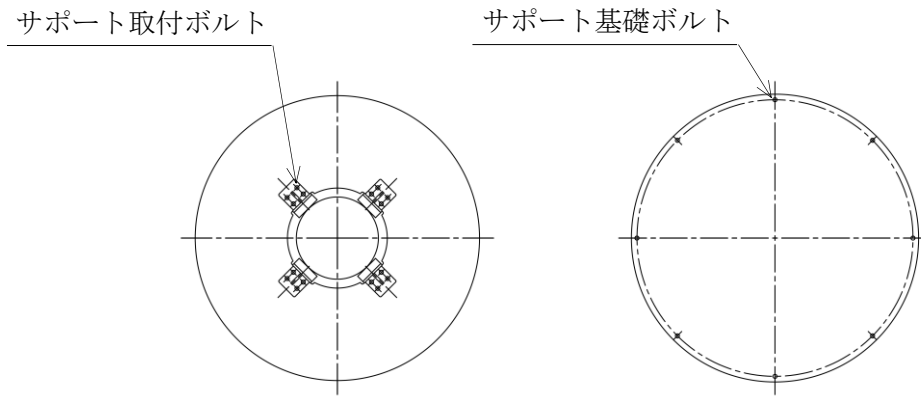


図 3-3 サポート部の応力計算モデル

(1) 引張応力

サポート基礎ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし，最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

なお，サポート取付ボルトについては，荷重の発生方向がせん断方向のみのため引張応力は発生しない。

引張力

$$F_{s b j} =$$

$$\frac{\sqrt{M_{s j}^2 + \left(C_v \cdot m_{s j} \cdot g \cdot \frac{D_{s j}}{2}\right)^2 + M_{s c p j} + (C_p - 1) \cdot m_{s j} \cdot g \cdot \frac{D_{s j}}{2}}}{\frac{3}{8} \cdot n_{s f j} \cdot D_{s j}} \quad \dots \dots \dots (3.6.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{s b j} = \frac{F_{s b j}}{A_{s b j}} \quad \dots \dots \dots (3.6.2.2)$$

ここで，サポート部ボルトの軸断面積 $A_{s b j}$ は次式により求める。

$$A_{s b j} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{s j}^2 \quad \dots \dots \dots (3.6.2.3)$$

(2) せん断応力

サポート部ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau_{s b j} = \frac{Q_{s b j}}{n_{s j} \cdot A_{s b j}} \dots\dots\dots (3.6.2.4)$$

3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.8 応力の評価

3.8.1 サポート部ボルトの応力評価

3.6.2 項で求めたサポート部ボルトの引張応力 $\sigma_{s b j}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{s t s j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s t o j}$ は下表による。

$$f_{s t s j} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{s t o j} - 1.6 \cdot \tau_{s b j}, f_{s t o j}] \dots\dots\dots (3.8.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{s b j}$ はせん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力 $f_{s s b j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s s b j}$ は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{s t o j}$	$\frac{F_j}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s s b j}$	$\frac{F_j}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	立形斜流 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり 軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.167	0.05 以下	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _H =1.67*4 又は*5	C _V =1.28*4	C _D =0.06	40		0.98

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用床応答スペクトルⅠ（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	5.968×10 ⁵	205*2	520*2	205	205	205
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	5.968×10 ⁵	198*1	504*1	205	205	205

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	245* (厚さ≤ 16mm)	400* (厚さ≤ 16mm)		

注記*：最高使用温度で算出

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R1

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	$S_{yj}(RT)$ (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	205	205	205
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	205	205	205

注記*：最高使用温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{C_pi} (N・mm)	F _{b_i} (N)		Q _{b_i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)							
ポンプ取付ボルト (i=2)							
原動機取付ボルト (i=4)							

(2) コラムパイプに作用する力

(単位 : N・mm)

部材	M		M _{C_p}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ			

(3) サポート部ボルトに作用する力

部材	M _{s_j} (N・mm)		M _{s_{C_pj}} (N・mm)	F _{s_{b_j}} (N)		Q _{s_{b_j}} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎ボルト (j=1)							
サポート取付ボルト (j=2)							

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1}=0.167$
鉛直方向	$T_{V1}=0.05$ 以下

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=153^*$	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=118$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=46$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=46$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=118$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	$\sigma_{b4}=12$	$f_{ts4}=153^*$	$\sigma_{b4}=12$	$f_{ts4}=153^*$
		せん断	$\tau_{b4}=8$	$f_{sb4}=118$	$\tau_{b4}=8$	$f_{sb4}=118$

1.4.3 コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	$\sigma=186$ S _a =240
		基準地震動 S _s	$\sigma=186$ S _a =240

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

21

1.4.4 サポート部ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	$\sigma_{sb1}=15$	$f_{sts1}=123^*$	$\sigma_{sb1}=15$	$f_{sts1}=123^*$
		せん断	$\tau_{sb1}=22$	$f_{ssb1}=94$	$\tau_{sb1}=22$	$f_{ssb1}=94$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$
		せん断	$\tau_{sb2}=20$	$f_{ssb2}=118$	$\tau_{sb2}=20$	$f_{ssb2}=118$

注記*: $f_{stsj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj} - 1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.5 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.32	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.32	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度
又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
69			
70			
71			

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		2.011×10 ⁶
2	2-3	1		2.011×10 ⁶
3	3-4	1		4.436×10 ⁶
4	4-5	1		4.436×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	7-8	1		4.436×10 ⁶
8	8-9	1		4.436×10 ⁶
9	9-10	1		4.436×10 ⁶
10	10-11	1		4.436×10 ⁶
11	11-12	1		4.909×10 ⁶
12	12-13	1		4.436×10 ⁶
13	13-14	1		4.436×10 ⁶
14	14-15	1		4.436×10 ⁶
15	15-16	1		4.436×10 ⁶
16	16-17	1		4.909×10 ⁶
17	70-18	1		4.436×10 ⁶
18	18-19	1		4.436×10 ⁶
19	19-20	1		4.436×10 ⁶
20	20-21	1		4.909×10 ⁶
21	21-22	1		4.909×10 ⁶
22	22-23	1		1.771×10 ⁶
23	23-24	1		1.771×10 ⁶
24	24-25	1		2.011×10 ⁶
25	25-26	1		2.011×10 ⁶
26	26-27	2		2.485×10 ⁷
27	27-28	3		2.562×10 ⁶
28	28-29	3		8.888×10 ⁶
29	29-30	3		8.888×10 ⁶
30	30-31	3		1.553×10 ⁶
31	32-33	1		5.098×10 ⁷
32	33-34	1		1.173×10 ⁹
33	34-35	1		1.173×10 ⁹
34	35-36	6		1.584×10 ⁸
35	36-37	6		1.584×10 ⁸
36	37-38	6		1.584×10 ⁸
37	38-39	6		1.584×10 ⁸
38	39-40	6		1.584×10 ⁸
39	40-41	6		1.584×10 ⁸
40	41-42	6		1.584×10 ⁸

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	6		1.584×10^8
42	43-44	6		1.584×10^8
43	44-45	6		1.584×10^8
44	45-46	6		1.584×10^8
45	46-47	6		1.584×10^8
46	47-48	6		1.584×10^8
47	48-49	6		1.584×10^8
48	71-50	6		1.584×10^8
49	50-51	6		1.584×10^8
50	51-52	6		1.584×10^8
51	52-53	6		1.584×10^8
52	53-54	6		1.584×10^8
53	54-55	6		1.555×10^8
54	55-56	6		1.555×10^8
55	56-57	6		1.555×10^8
56	58-59	6		2.429×10^9
57	59-60	6		2.429×10^9
58	60-61	6		2.429×10^9
59	61-62	5		5.480×10^8
60	62-63	5		5.480×10^8
61	63-64	5		5.480×10^8
62	64-65	4		3.235×10^8
63	66-58	2		1.964×10^{11}
64	17-70	1		4.436×10^6
65	49-71	6		1.584×10^8

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	34		
5	37		
11	43		
16	48		
21	53		
28	62		
30	64		
33	69		
28	62		
55	58		
55	58		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
70	
71	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1	40	1.94×10^5		0.3	
2	<input type="text"/>	2.01×10^5		0.3	
3	-	2.06×10^5		0.3	
4	-	9.80×10^4		0.3	
5	-	2.06×10^5		0.3	
6	40	2.02×10^5		0.3	

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度(鉛直方向)	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	常設/防止(D B拡張)	取水槽 EL 1.1*1	0.167	0.05 以下	—	—	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _D =0.06	40	□	0.98

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	—	246
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	5.968×10 ⁵	205*2	520*2	—	—	246
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	5.968×10 ⁵	198*1	504*1	205	—	246

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	—	400* (厚さ ≤ 16mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	$S_{yj}(RT)$ (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	—	—	246
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	—	—	246

注記* : 最高使用温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{C_Pi} (N・mm)	F _{b_i} (N)		Q _{b_i} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—			—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—			—		—	
原動機取付ボルト (i=4)	—			—		—	

(2) コラムパイプに作用する力

(単位 : N・mm)

部材	M		M _{C_P}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
コラムパイプ	—		

(3) サポート部ボルトに作用する力

部材	M _{s_j} (N・mm)		M _{s_{C_Pj}} (N・mm)	F _{s_{b_j}} (N)		Q _{s_{b_j}} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎ボルト (j=1)	—			—		—	
サポート取付ボルト (j=2)	—			—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1}=0.167$
鉛直方向	$T_{V1}=0.05$ 以下

2.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=15$	$f_{sb1}=142$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=46$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=142$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4}=12$	$f_{ts4}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=8$	$f_{sb4}=142$

2.4.3 コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma=186$	$S_a=240$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 サポート部ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	—	—	$\sigma_{sb1}=15$	$f_{sts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{sb1}=22$	$f_{ssb1}=113$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	—	—	$\sigma_{sb2}=—$	$f_{sts2}=—$
		せん断	—	—	$\tau_{sb2}=20$	$f_{ssb2}=142$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.5 動的機能維持の評価結果

 $(\times 9.8\text{m/s}^2)$

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.32	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.32	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度
又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R1

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
69			
70			
71			

S2 補 VI-2-5-7-2-3 R1

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		2.011×10 ⁶
2	2-3	1		2.011×10 ⁶
3	3-4	1		4.436×10 ⁶
4	4-5	1		4.436×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	7-8	1		4.436×10 ⁶
8	8-9	1		4.436×10 ⁶
9	9-10	1		4.436×10 ⁶
10	10-11	1		4.436×10 ⁶
11	11-12	1		4.909×10 ⁶
12	12-13	1		4.436×10 ⁶
13	13-14	1		4.436×10 ⁶
14	14-15	1		4.436×10 ⁶
15	15-16	1		4.436×10 ⁶
16	16-17	1		4.909×10 ⁶
17	70-18	1		4.436×10 ⁶
18	18-19	1		4.436×10 ⁶
19	19-20	1		4.436×10 ⁶
20	20-21	1		4.909×10 ⁶
21	21-22	1		4.909×10 ⁶
22	22-23	1		1.771×10 ⁶
23	23-24	1		1.771×10 ⁶
24	24-25	1		2.011×10 ⁶
25	25-26	1		2.011×10 ⁶
26	26-27	2		2.485×10 ⁷
27	27-28	3		2.562×10 ⁶
28	28-29	3		8.888×10 ⁶
29	29-30	3		8.888×10 ⁶
30	30-31	3		1.553×10 ⁶
31	32-33	1		5.098×10 ⁷
32	33-34	1		1.173×10 ⁹
33	34-35	1		1.173×10 ⁹
34	35-36	6		1.584×10 ⁸
35	36-37	6		1.584×10 ⁸
36	37-38	6		1.584×10 ⁸
37	38-39	6		1.584×10 ⁸
38	39-40	6		1.584×10 ⁸
39	40-41	6		1.584×10 ⁸
40	41-42	6		1.584×10 ⁸

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-43	6		1.584×10 ⁸
42	43-44	6		1.584×10 ⁸
43	44-45	6		1.584×10 ⁸
44	45-46	6		1.584×10 ⁸
45	46-47	6		1.584×10 ⁸
46	47-48	6		1.584×10 ⁸
47	48-49	6		1.584×10 ⁸
48	71-50	6		1.584×10 ⁸
49	50-51	6		1.584×10 ⁸
50	51-52	6		1.584×10 ⁸
51	52-53	6		1.584×10 ⁸
52	53-54	6		1.584×10 ⁸
53	54-55	6		1.555×10 ⁸
54	55-56	6		1.555×10 ⁸
55	56-57	6		1.555×10 ⁸
56	58-59	6		2.429×10 ⁹
57	59-60	6		2.429×10 ⁹
58	60-61	6		2.429×10 ⁹
59	61-62	5		5.480×10 ⁸
60	62-63	5		5.480×10 ⁸
61	63-64	5		5.480×10 ⁸
62	64-65	4		3.235×10 ⁸
63	66-58	2		1.964×10 ¹¹
64	17-70	1		4.436×10 ⁶
65	49-71	6		1.584×10 ⁸

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	34		
5	37		
11	43		
16	48		
21	53		
28	62		
30	64		
33	69		
28	62		
55	58		
55	58		

(4) 節点の質量

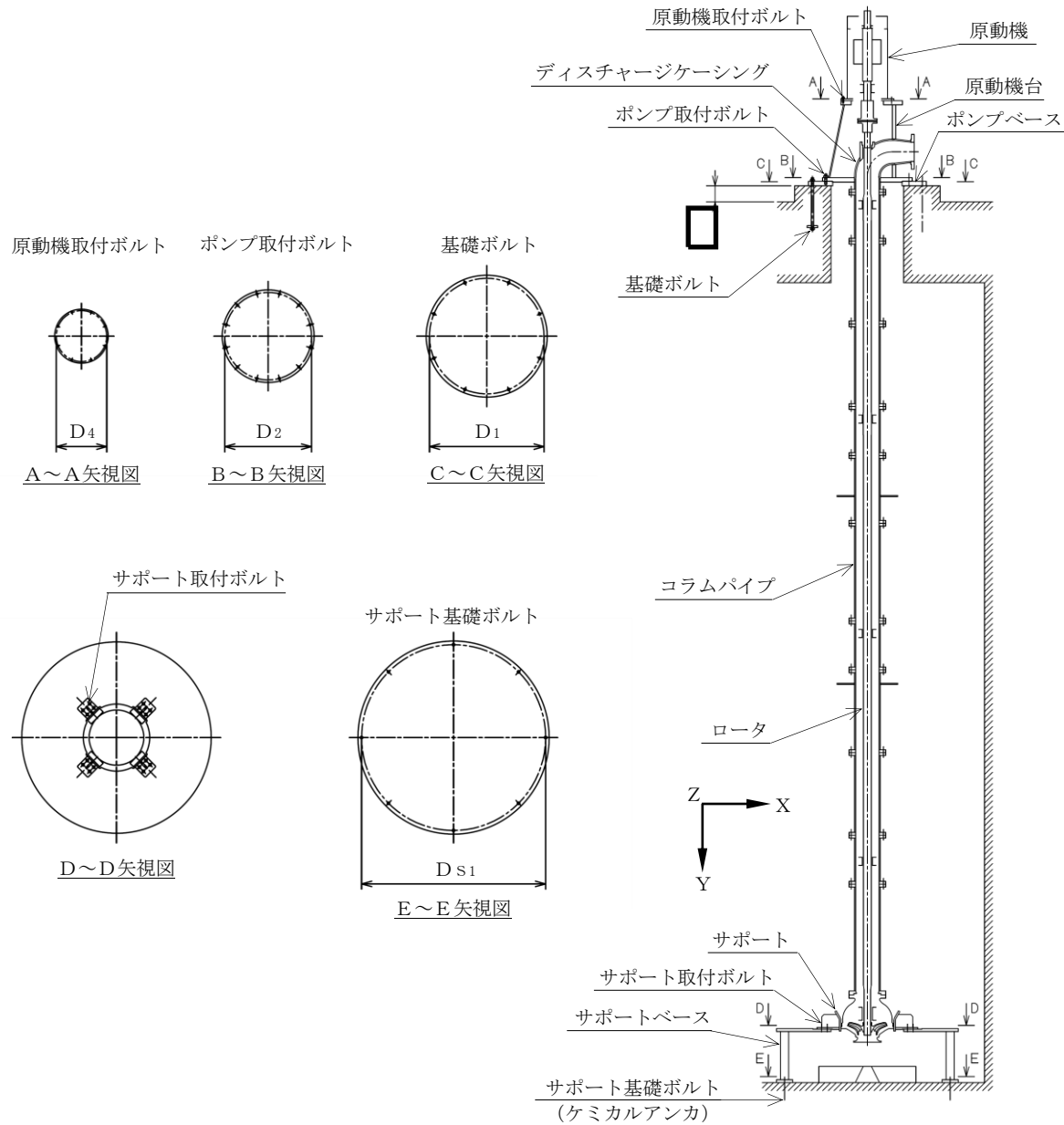
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
70	
71	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (-)	材質
1	40	1.94×10^5		0.3	
2		2.01×10^5		0.3	
3	-	2.06×10^5		0.3	
4	-	9.80×10^4		0.3	
5	-	2.06×10^5		0.3	
6	40	2.02×10^5		0.3	



VI-2-5-7-2-4 高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面に平板、下面に 鏡板を有するスカート 支持たて置円筒形容 器)</p>	<p>単位: mm</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位 : s)

水平			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機冷却系 サージタンク	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	ⅢA S
					$D + P_D + M_D + S_s$	ⅣA S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類 ^{*1}	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系 統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機冷却系 サージタンク	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器 ^{*2}	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	ⅣA S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V A S (V A Sとして ⅣA Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
ⅢAS	S _y と0.6・S _u の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	*2 弾性設計用地震動S _d 又は基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS				
VAS (VASとしてⅣASの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	*2 基準地震動S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

注記*1: 当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2: 2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等以外)		許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	
	引張	座屈 ^{*3}	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_b,$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界 を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：薄肉円筒形状のもの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	66	—	234	385	—
スカート	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記*1 : SM400A 相当

*2 : SS400 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	66	—	234	385	—
スカート	SM41A ^{*1} (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	66	—	234	385	—
基礎ボルト	SS41 ^{*2} (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	66	—	225	385	—

注記*1：SM400A 相当

*2：SS400 相当

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-7-2-4 R1

【高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
高圧炉心スプレイ補機 冷却系サージタンク	S	原子炉建物 EL 8.8*1			$C_H=0.78^{*2}$	$C_V=0.54^{*2}$	$C_H=1.56^{*3}$	$C_V=1.16^{*3}$	静水頭	66	50	1.00

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

1.2 機器要目

m_o (kg)	m_e (kg)	D_i (mm)	t (mm)	D_s (mm)	t_s (mm)	E (MPa)	E_s (MPa)	G (MPa)	G_s (MPa)
		1500	9.0	1500	9.0	200000*1	201000*2	76900*1	77300*2

ϕ (mm)	ϕ_s (mm)	D_1 (mm)	D_2 (mm)	D_3 (mm)	H (mm)	s	n	D_c (mm)	D_{b_o} (mm)
459	1561	700	240	160	1339	15	12	1620	1720

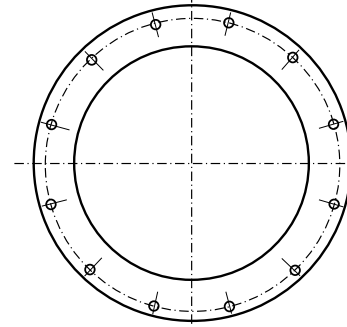
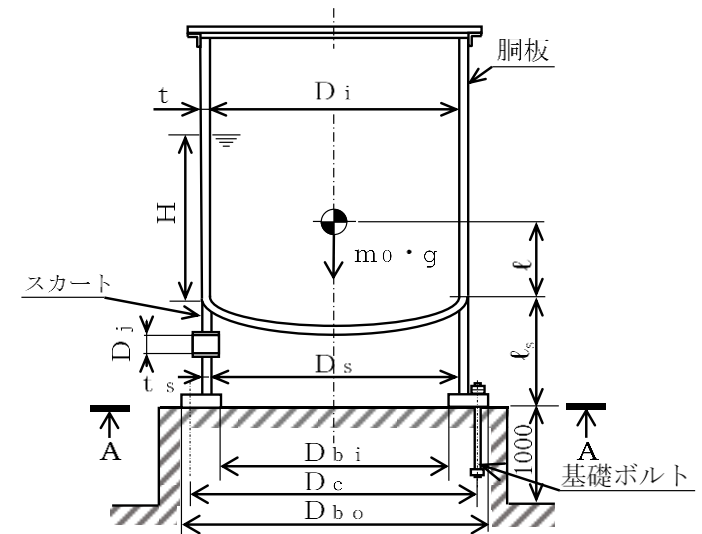
D_{b_i} (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	Y (mm)	M_s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
1400	20 (M20)	314.2	1129	6.644×10^7	1.329×10^8

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S_y (スカート) (MPa)	S_u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F^* (スカート) (MPa)
234*1 (厚さ ≤ 16mm)	385*1 (厚さ ≤ 16mm)	—	241*2 (厚さ ≤ 16mm)	394*2 (厚さ ≤ 16mm)	241	275

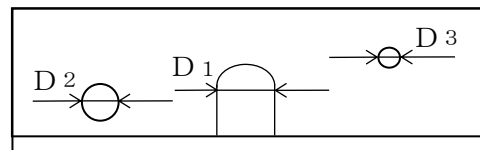
S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	231	275

注記*1：最高使用温度で算出

*2：周囲環境温度で算出



A～A矢視図



スカート開口部の形状を示す。

(単位：mm)

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=1$	$\sigma_{x 1}=0$	—	$\sigma_{\phi 1}=1$	$\sigma_{x 1}=0$	—
運転時質量による引張応力	—	$\sigma_{x 2}=1$	—	—	$\sigma_{x 2}=1$	—
鉛直方向地震による引張応力	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 5}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	$\sigma_{x 5}=1$	—
空質量による圧縮応力	—	$\sigma_{x 3}=1$	—	—	$\sigma_{x 3}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	$\sigma_{x 6}=0$	—	—	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4}=1$	$\tau=2$	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau=3$
応力の和	引張側	$\sigma_{\phi}=2$	$\sigma_{x t}=2$	—	$\sigma_{\phi}=3$	$\sigma_{x t}=3$
	圧縮側	$\sigma_{\phi}=-2$	$\sigma_{x c}=2$	—	$\sigma_{\phi}=-3$	$\sigma_{x c}=2$
組合せ応力	引張				$\sigma_{0 t}=6$	
	圧縮				$\sigma_{0 c}=6$	

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	$\sigma_{x 5}=1$	—	—	$\sigma_{x 5}=1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{x 6}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	$\sigma_{x 6}=1$	—
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4}=1$	$\tau=2$	—	$\sigma_{x 4}=2$	$\tau=3$
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi}=1$	$\sigma_{2xt}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=2$	$\sigma_{2xt}=2$
	圧縮側	$\sigma_{2\phi}=-1$	$\sigma_{2xc}=1$	—	$\sigma_{2\phi}=-2$	$\sigma_{2xc}=2$
組合せ応力 (変動値)	引張				$\sigma_{2t}=10$	
	圧縮				$\sigma_{2c}=8$	

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力	
運転時質量による応力	$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s=10$	$\sigma_{s 1}=2$	$\sigma_s=19$	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s 3}=1$		$\sigma_{s 3}=2$		
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s 2}=8$		$\sigma_{s 2}=16$
	せん断		$\tau_s=2$		$\tau_s=4$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	$\sigma_b=17$	$\sigma_b=48$
せん断応力	$\tau_b=9$	$\tau_b=18$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_V =$ <input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM41A	一次一般膜	$\sigma_o = 4$	$S_a = 231$	$\sigma_o = 6$	$S_a = 231$
		一次+二次	$\sigma_2 = 5$	$S_a = 468$	$\sigma_2 = 10$	$S_a = 468$
スカート	SM41A	組合せ	$\sigma_s = 10$	$f_{tm} = 241$	$\sigma_s = 19$	$f_{tm} = 275$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
			0.046 (無次元)		0.086 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張	$\sigma_b = 17$	$f_{ts} = 173^*$	$\sigma_b = 48$	$f_{ts} = 206^*$
		せん断	$\tau_b = 9$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 158$

注記* : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建物 EL 8.8*1			—	—	C _H =1.56*2	C _V =1.16*2	静水頭	66	66	1.00

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s)

2.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
		1500	9.0	1500	9.0	200000*1	200000*2	76900*1	76900*2

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	H (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)
459	1561	700	240	160	1339	15	12	1620	1720

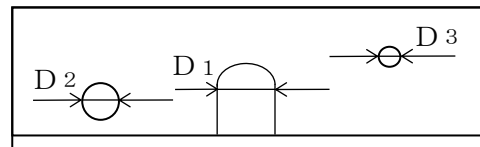
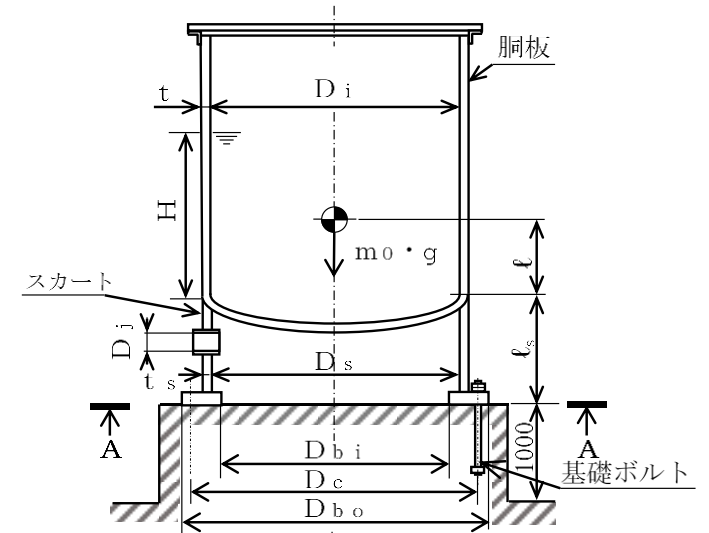
D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
1400	20 (M20)	314.2	1129	—	1.329×10 ⁸

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
234*1 (厚さ ≤ 16mm)	385*1 (厚さ ≤ 16mm)	—	234*2 (厚さ ≤ 16mm)	385*2 (厚さ ≤ 16mm)	234	269

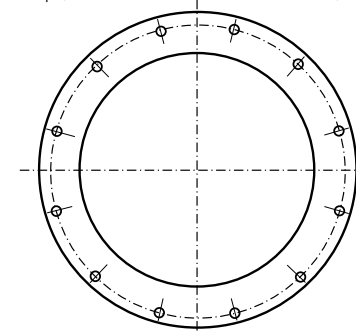
S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
225*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	385*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	—	269

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A~A 矢視図

(単位: mm)

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 1$	$\sigma_{x1} = 0$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x2} = 1$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	$\sigma_{x5} = 1$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4} = 2$	$\tau = 3$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} = 3$	$\sigma_{xt} = 3$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} = -3$	$\sigma_{xc} = 2$	—
組合せ応力	引張	—	—	$\sigma_{ot} = 6$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{oc} = 6$		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{x5} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 2$	$\sigma_{x6} = 1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x4} = 2$	$\tau = 3$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 2$	$\sigma_{2xt} = 2$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = -2$	$\sigma_{2xc} = 2$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	—	—	$\sigma_{2t} = 10$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c} = 8$		

2.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_s = 19$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3} = 2$	
水平方向地震による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = 16$	
	せん断		$\tau_s = 4$	

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b = 48$
せん断応力	—	$\tau_b = 18$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM41A	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 6$	$S_a = 231$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 10$	$S_a = 468$
スカート	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 19$	$f_{tm} = 269$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—		$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
			—		0.088 (無次元)	
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 48$	$f_{ts} = 201^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 18$	$f_{sb} = 155$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$
 すべて許容応力以下である。

VI-2-5-7-2-5 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震性についての
計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	8
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.5 計算条件	18
5.6 応力の評価	18
6. 評価結果	19
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	19
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	19

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>バスケット形ダブルストレーナ</p>	<p>(N1-N2 直角方向)</p> <p>(N1-N2 方向)</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

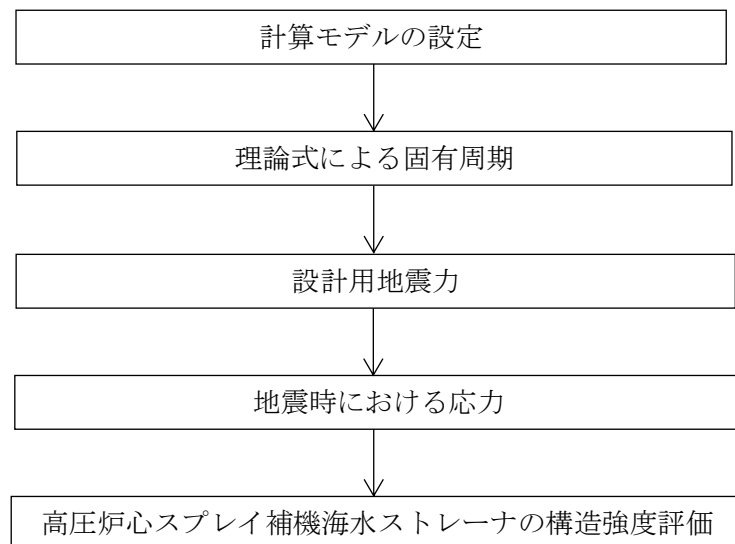


図 2-1 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の最小有効せん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
I	脚の断面二次モーメント	mm^4
l_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの質量は重心に集中するものとする。
- b. 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. 高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナは，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

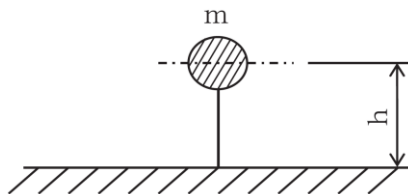


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left(\frac{h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h}{A_s \cdot G} \right)} \dots (4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	0.007
鉛直	—*

注記*：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における N1-N2 直角方向及び N1-N2 方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ストレーナ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	高圧炉心スプレイ補機 海水ストレーナ	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	50	764	906	—

5.3 設計用地震力

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-6に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-7に示す。

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1 ^{*1}	0.007	— ^{*2}	C _H =1.97 ^{*3}	C _V =0.95 ^{*3}	C _H =3.45 ^{*4}	C _V =2.13 ^{*4}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度

表5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度		基準地震動S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
取水槽 EL 1.1 ^{*1}	0.007	— ^{*2}	—	—	C _H =3.45 ^{*3}	C _V =2.13 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度によって生じる引張力とせん断力について計算する。

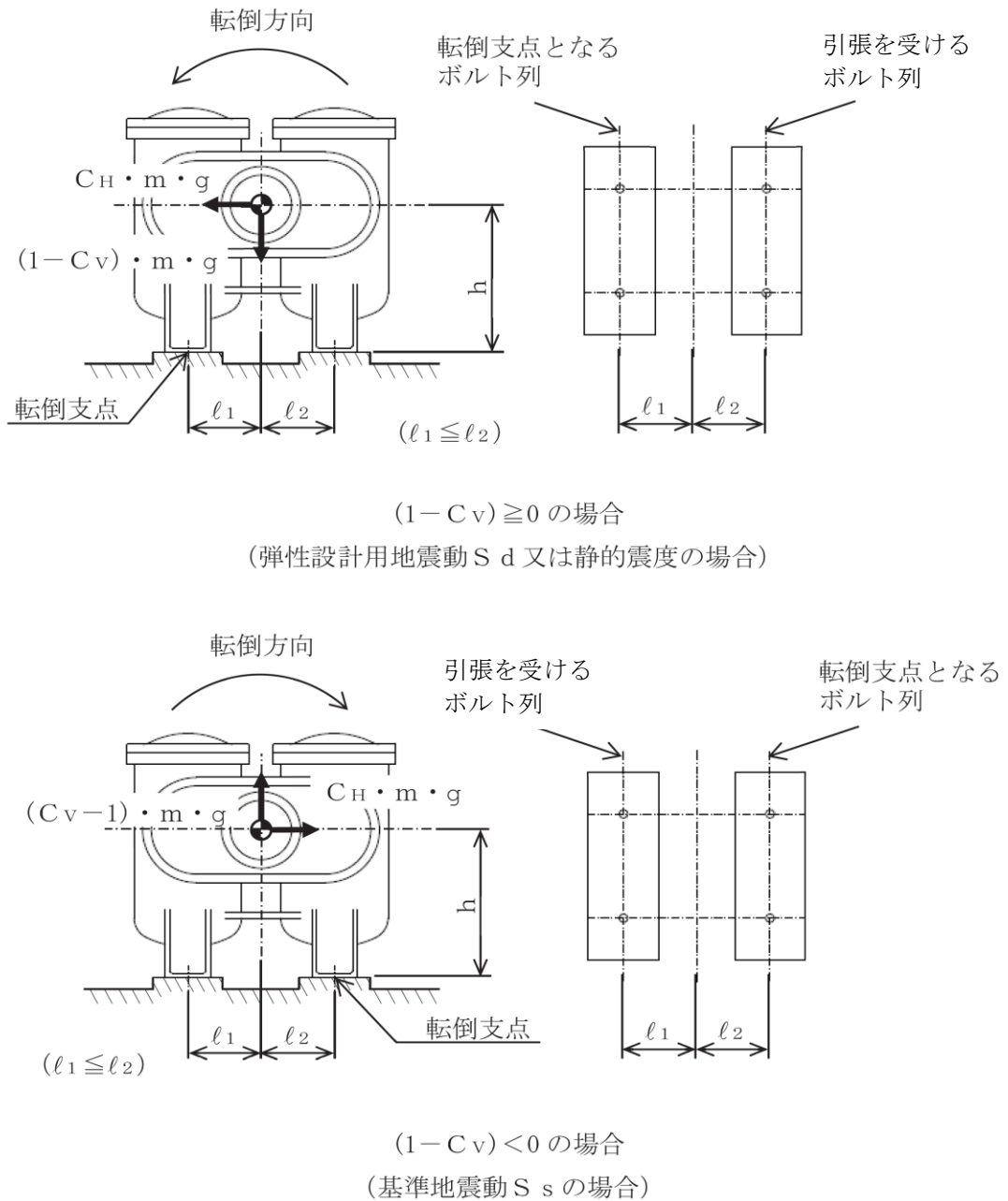
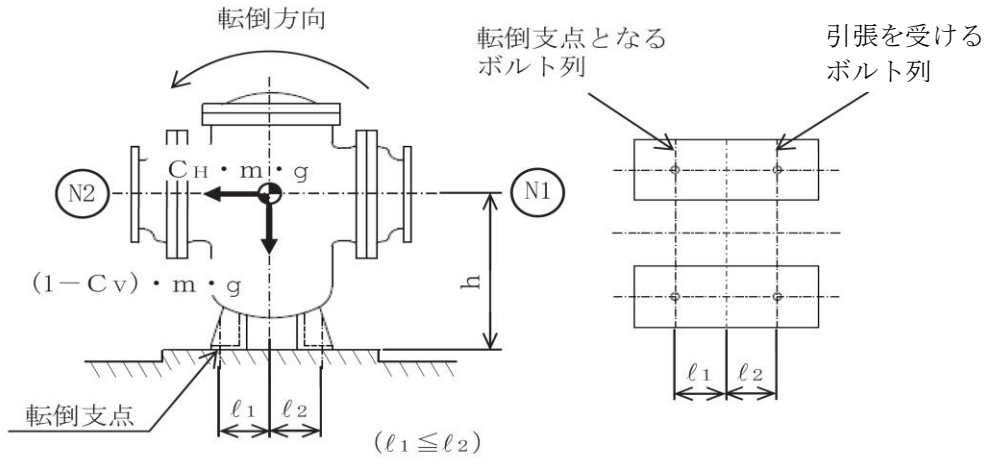
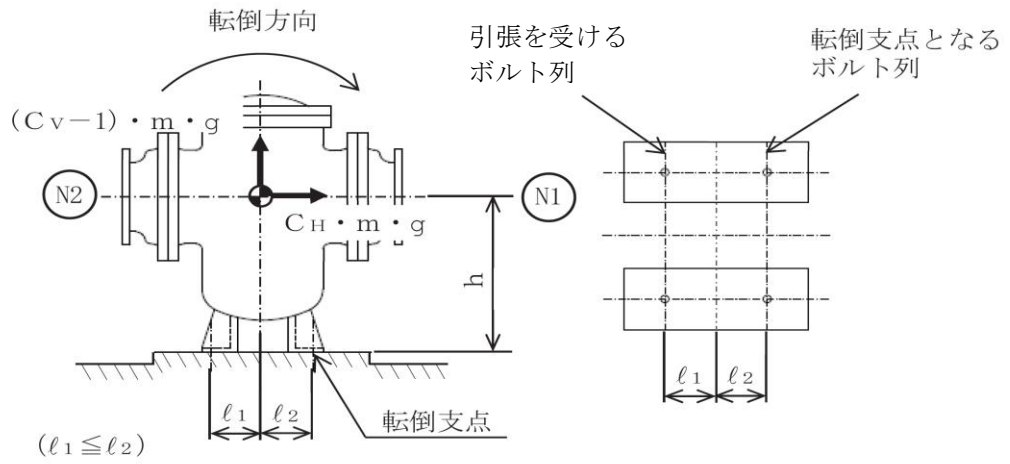


図 5-1 計算モデル (N1-N2 直角方向転倒)



($1 - C_v \geq 0$ の場合
(弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)



($1 - C_v < 0$ の場合
(基準地震動 S_s の場合)

図 5-2 計算モデル (N1-N2 方向転倒)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

【 $(1 - C_v) \geq 0$ の場合 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張力

【 $(1 - C_v) < 0$ の場合 (基準地震動 S_s の場合)】

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_v) \cdot m \cdot g \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

ただし、 F_b が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.1.6)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.007	—*2	C _H =1.97*3	C _V =0.95*3	C _H =3.45*4	C _V =2.13*4	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ *1 (mm)	ℓ ₂ *1 (mm)	n	n _f *1
基礎ボルト	3100	660	20 (M20)	325	325	4	2
				225	225		2

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	314.2	764*2 (径≦60mm)	906*2 (径≦60mm)	634	634	N1-N2	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
201000*2	77300*2	1.510×10 ⁹	1.834×10 ⁵

注記*1：基礎ボルトにおける上段は N1-N2 直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は N1-N2 方向転倒に対する評価時の要目を示す。

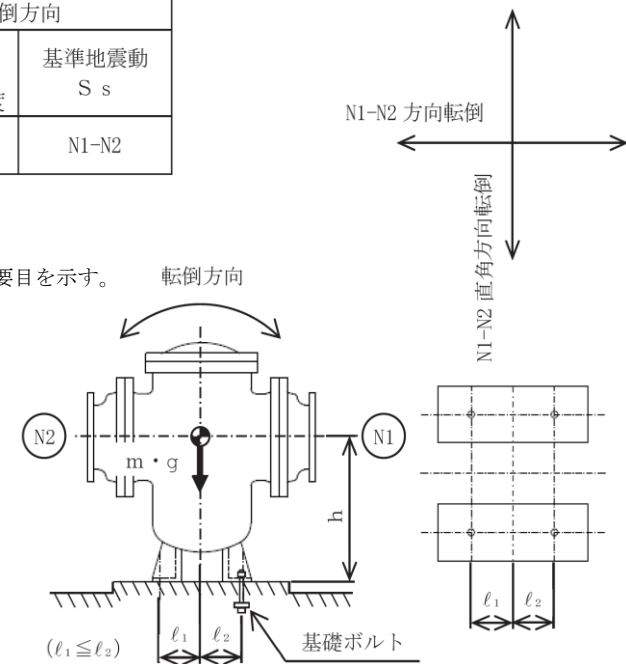
*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	4.354×10 ⁴	8.550×10 ⁴	5.989×10 ⁴	1.049×10 ⁵



1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H=0.007$
鉛直方向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく, 計算は省略する。

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_b=139$	$f_{ts}=475^*$	$\sigma_b=273$	$f_{ts}=475^*$
		せん断	$\tau_b=48$	$f_{sb}=366$	$\tau_b=84$	$f_{sb}=366$

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	常設/防止 (DB拡張)	取水槽 EL 1.1 ^{*1}	0.007	— ^{*2}	—	—	C _H =3.45 ^{*3}	C _V =2.13 ^{*3}	—	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ ₁ ^{*1} (mm)	ℓ ₂ ^{*1} (mm)	n	n _f ^{*1}
基礎ボルト	3100	660	20 (M20)	325	325	4	2
				225	225		2

部材	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	314.2	764 ^{*2} (径≦60mm)	906 ^{*2} (径≦60mm)	—	634	—	N1-N2

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _s (mm ²)
201000 ^{*2}	77300 ^{*2}	1.510×10 ⁹	1.834×10 ⁵

注記*1：基礎ボルトにおける上段はN1-N2直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段はN1-N2方向転倒に対する評価時の要目を示す。

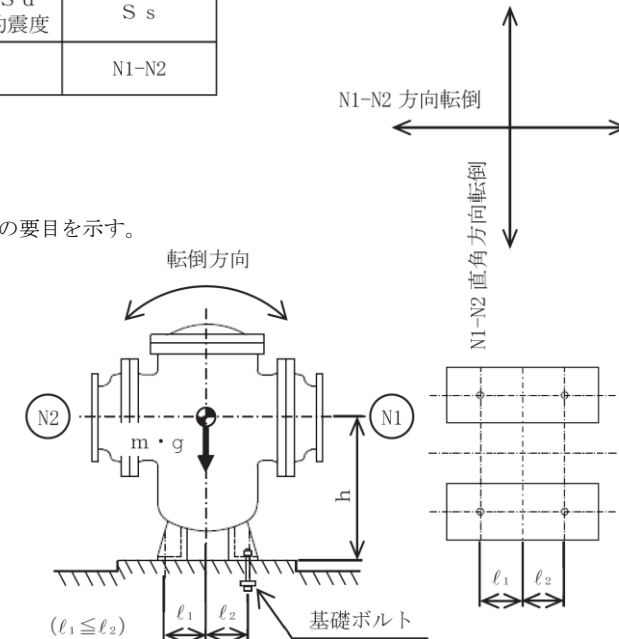
*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—	8.550×10 ⁴	—	1.049×10 ⁵



2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H=0.007$
鉛直方向	—*

注記*: 固有周期は十分に小さく, 計算は省略する。

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張	—	—	$\sigma_b=273$	$f_{ts}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=84$	$f_{sb}=366$

注記*: $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-5-7-2-6 管の耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系)

(1) 高圧炉心スプレイ補機冷却系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	14
3.1 計算方法	14
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
3.3 設計条件	16
3.4 材料及び許容応力	30
3.5 設計用地震力	31
4. 解析結果及び評価	32
4.1 固有周期及び設計震度	32
4.2 評価結果	42
4.2.1 管の応力評価結果	42
4.2.2 支持構造物評価結果	44
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	45
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	46

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ補機冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全6モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

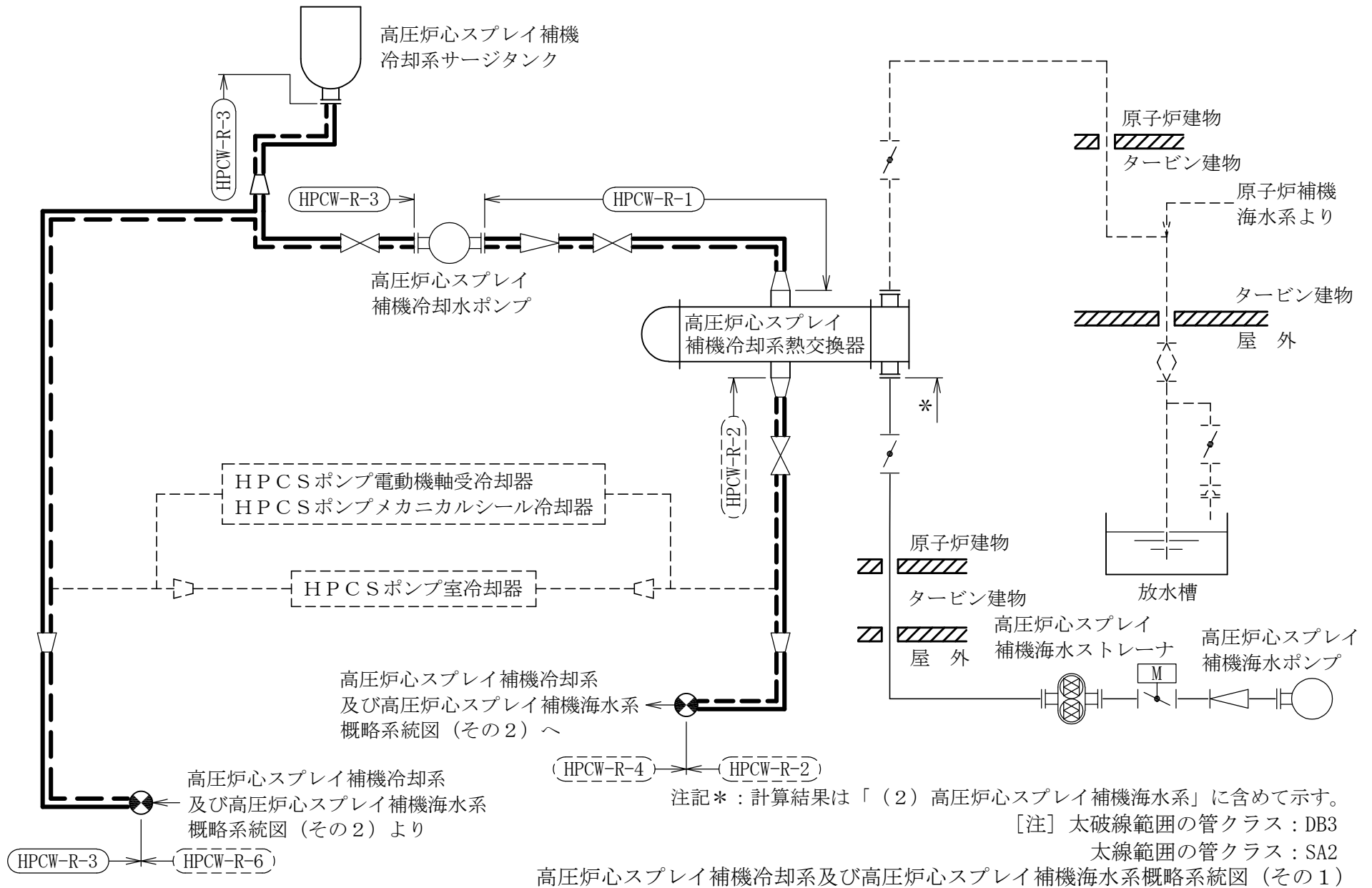
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

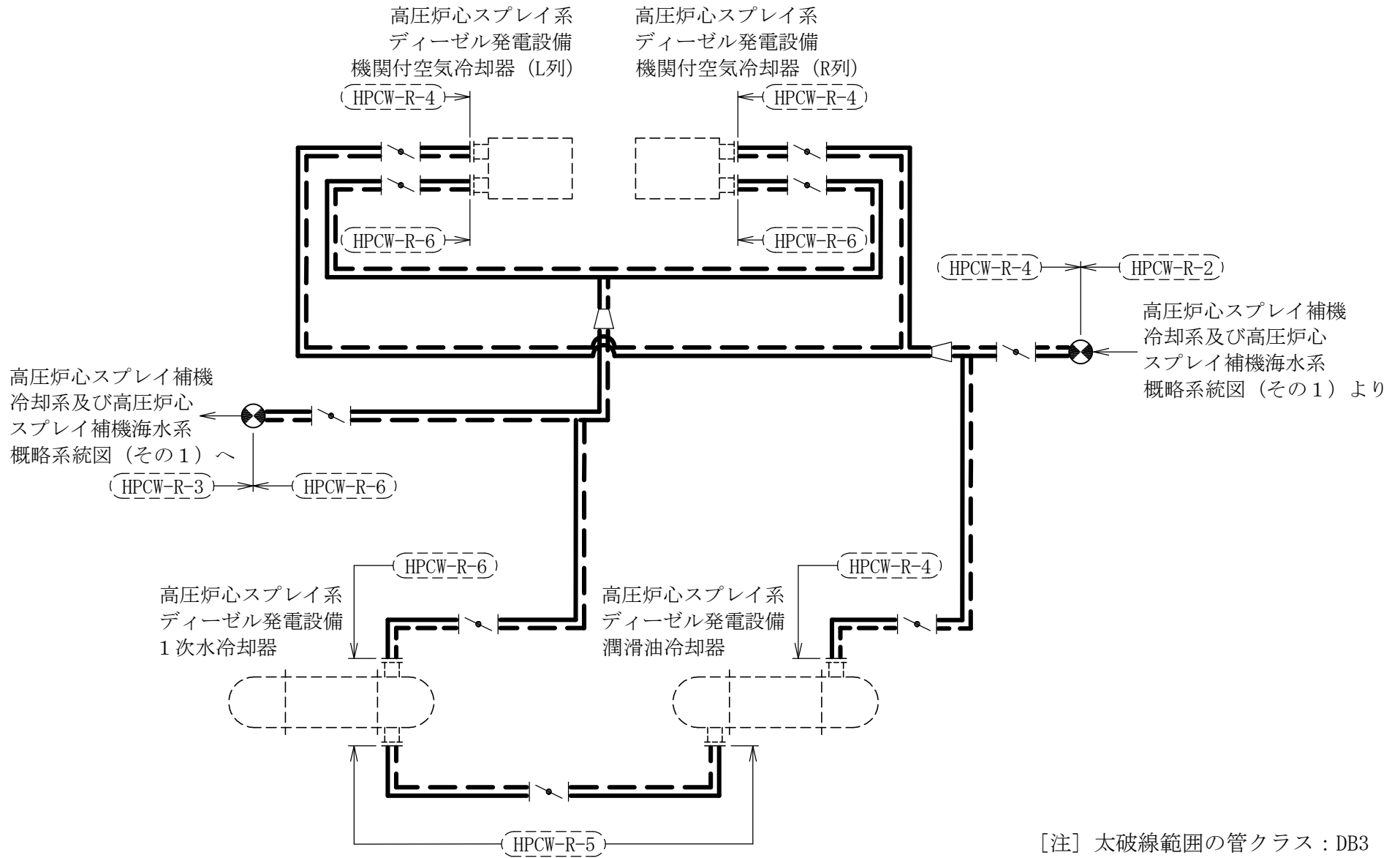
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



4


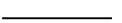
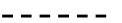


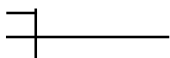
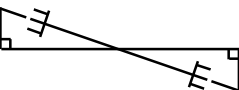
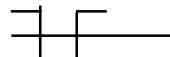
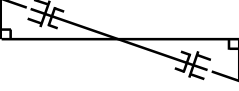

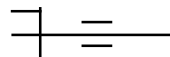
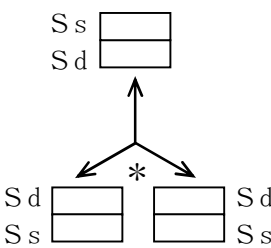


[注] 太破線範囲の管クラス : DB3
太線範囲の管クラス : SA2

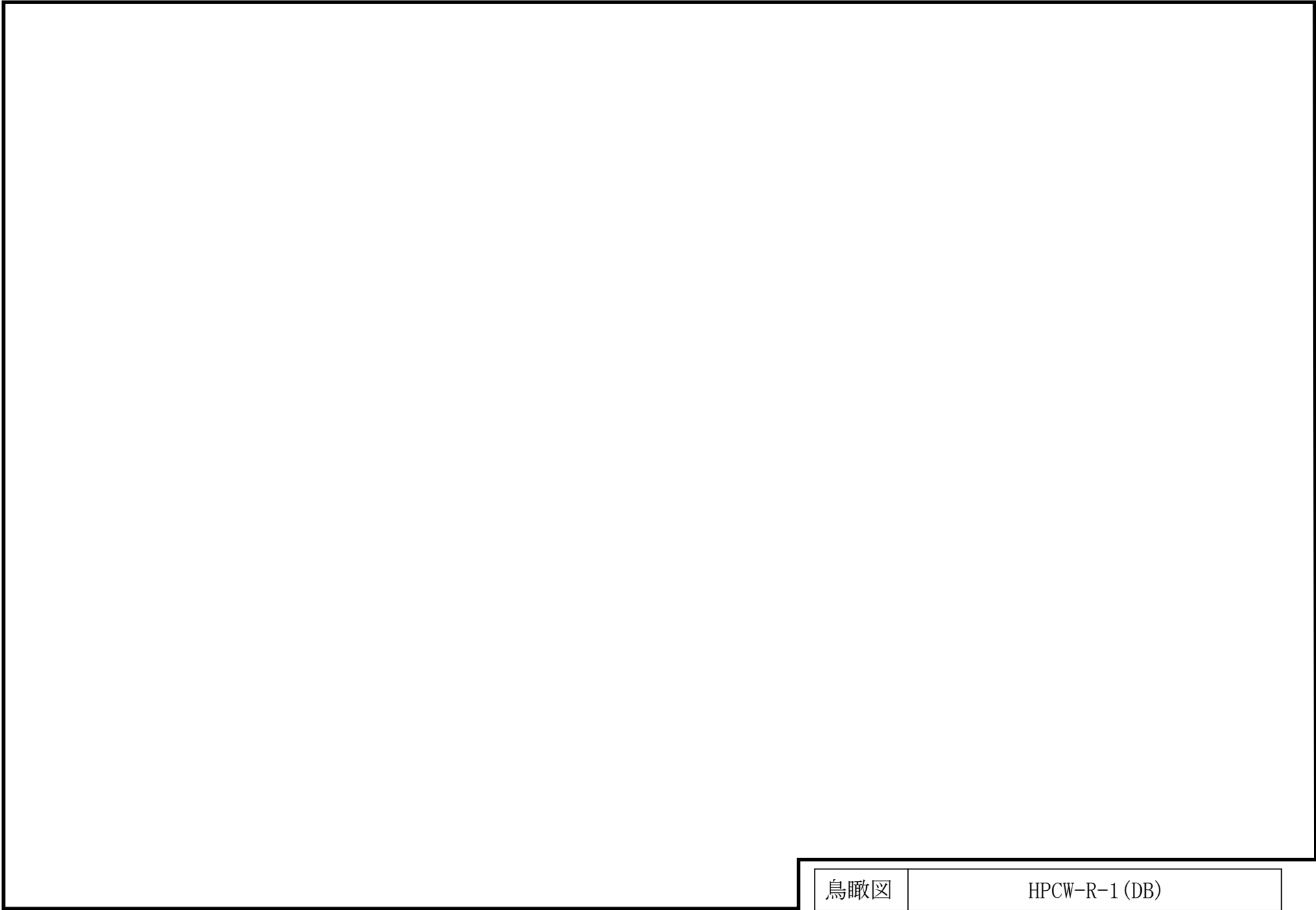
高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

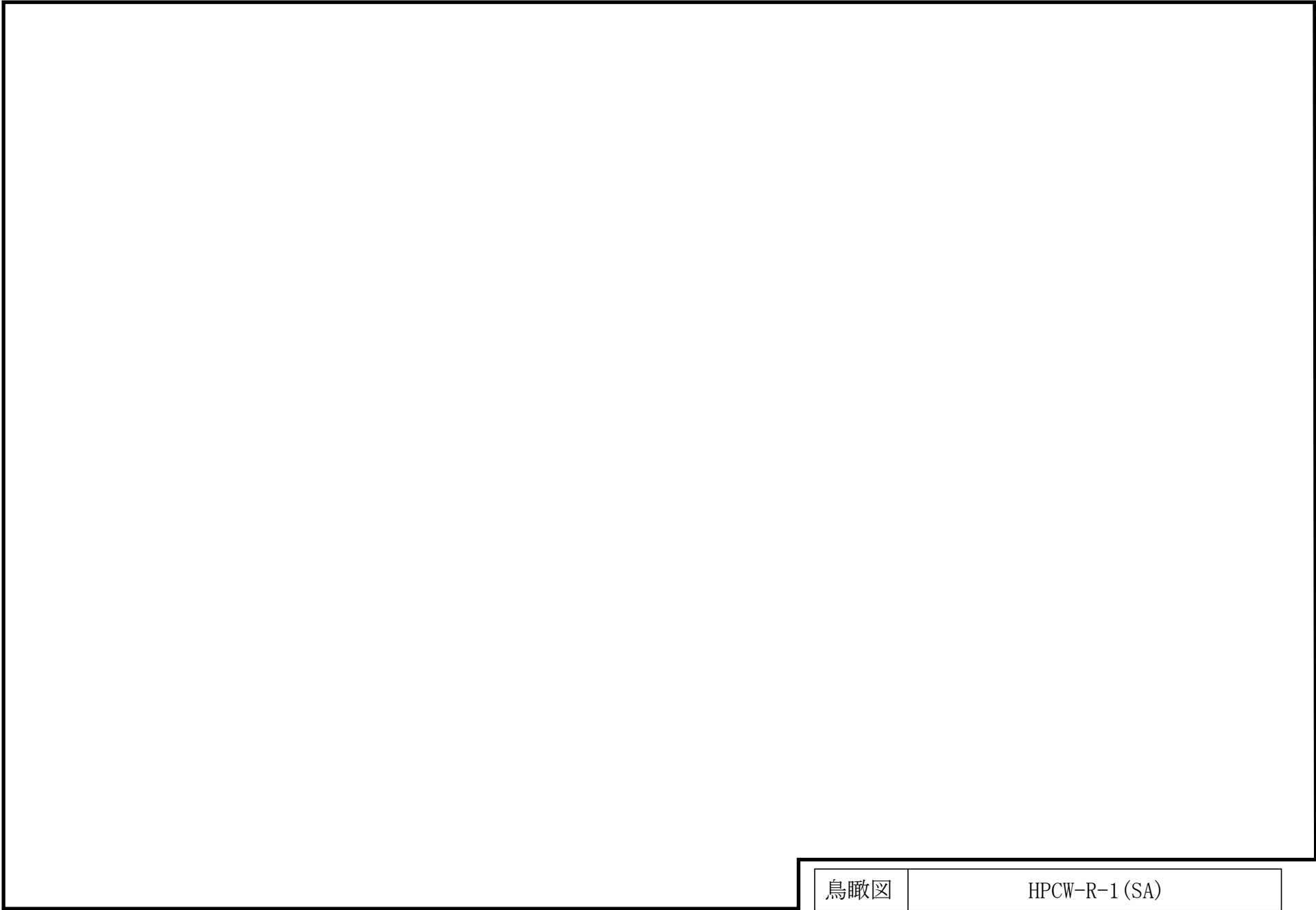
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
 <p> S_s S_d </p> <p> S_d S_s </p>	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S_s 機能維持の範囲は S_s 地震動による変位量のみを記載する。)

S2 補 VI-2-5-7-2-6(1) R1



鳥瞰図	HPCW-R-1 (DB)
-----	---------------



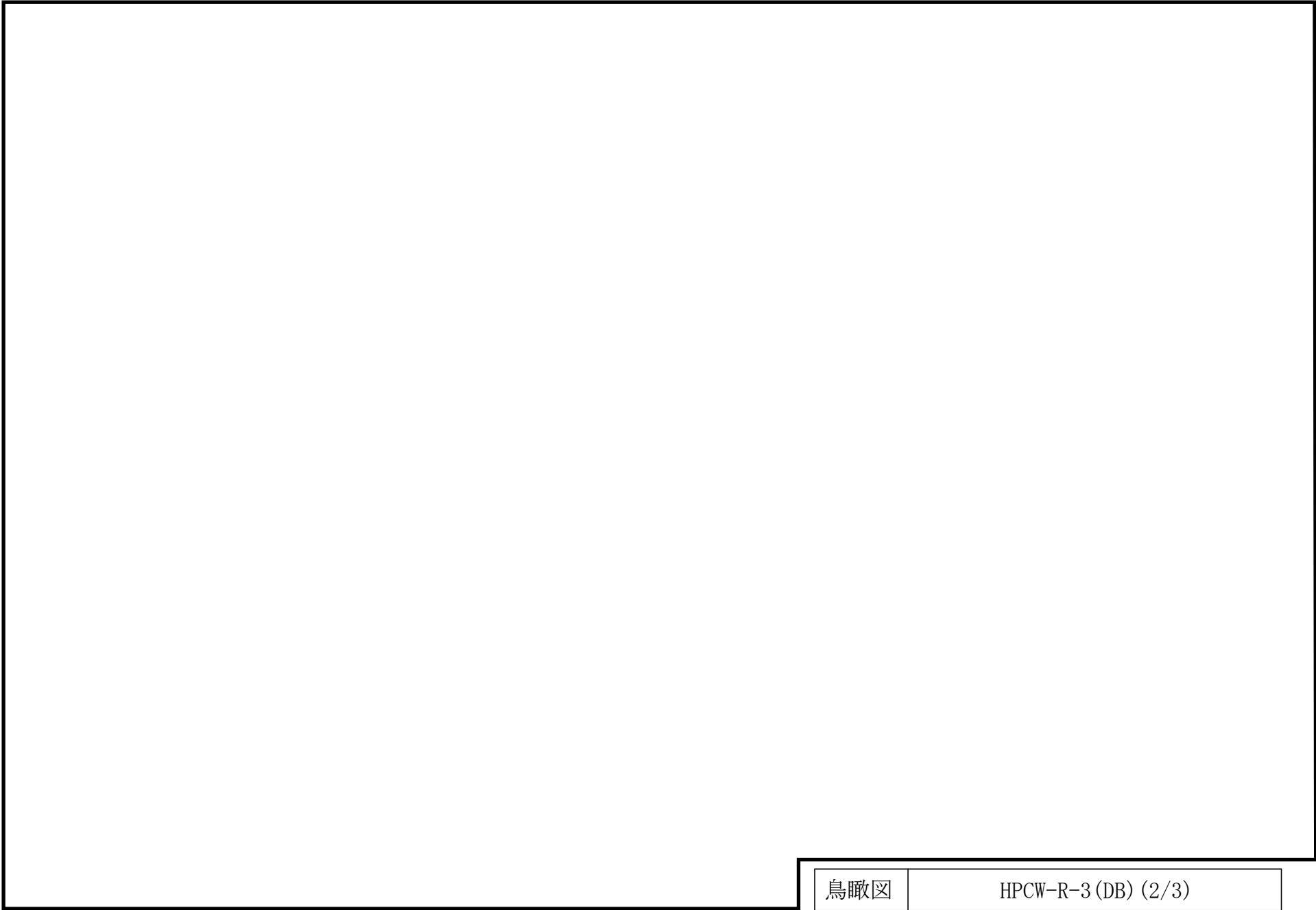
鳥瞰図

HPCW-R-1 (SA)

∞

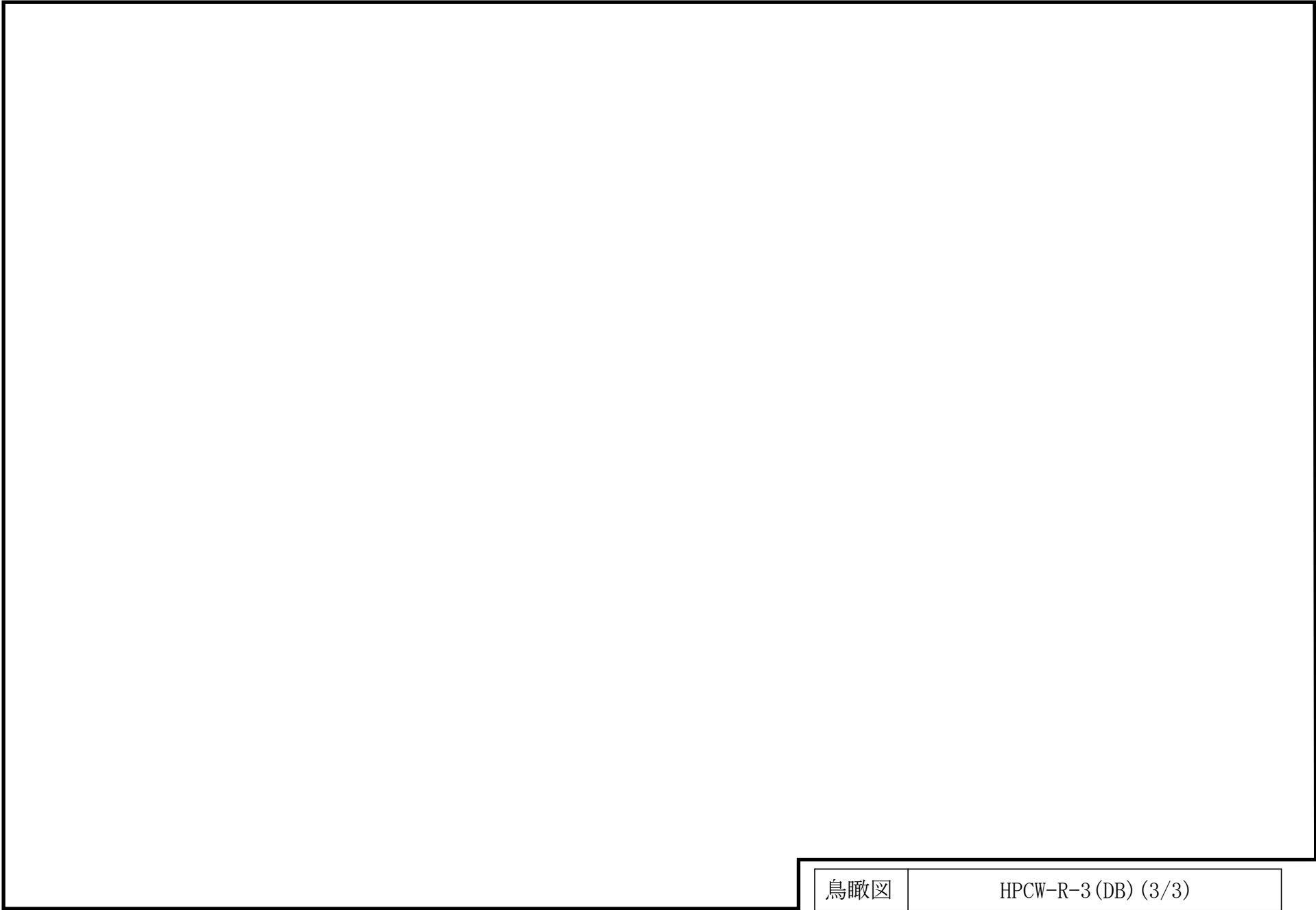
鳥瞰図

HPCW-R-3 (DB) (1/3)



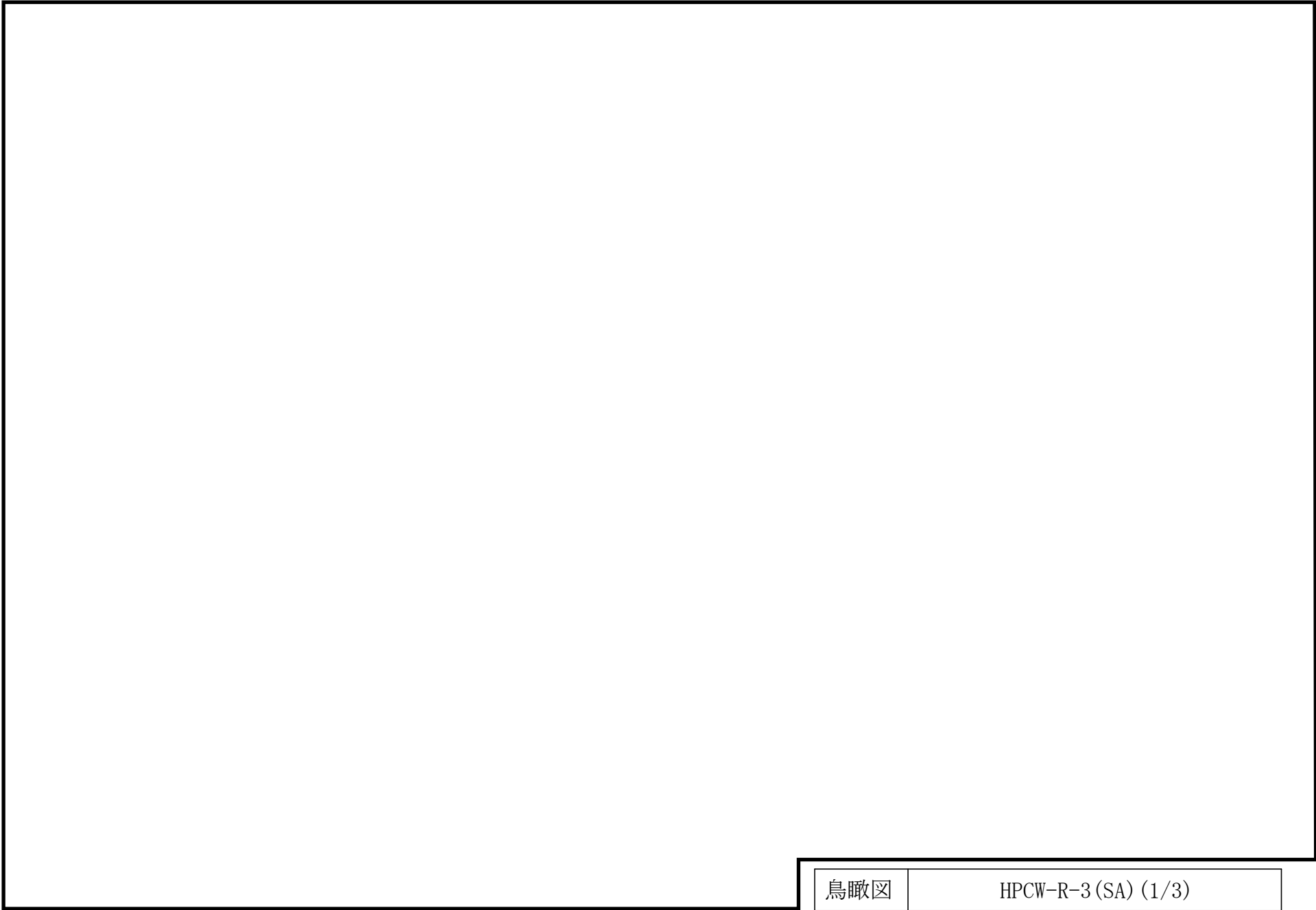
鳥瞰図

HPCW-R-3 (DB) (2/3)



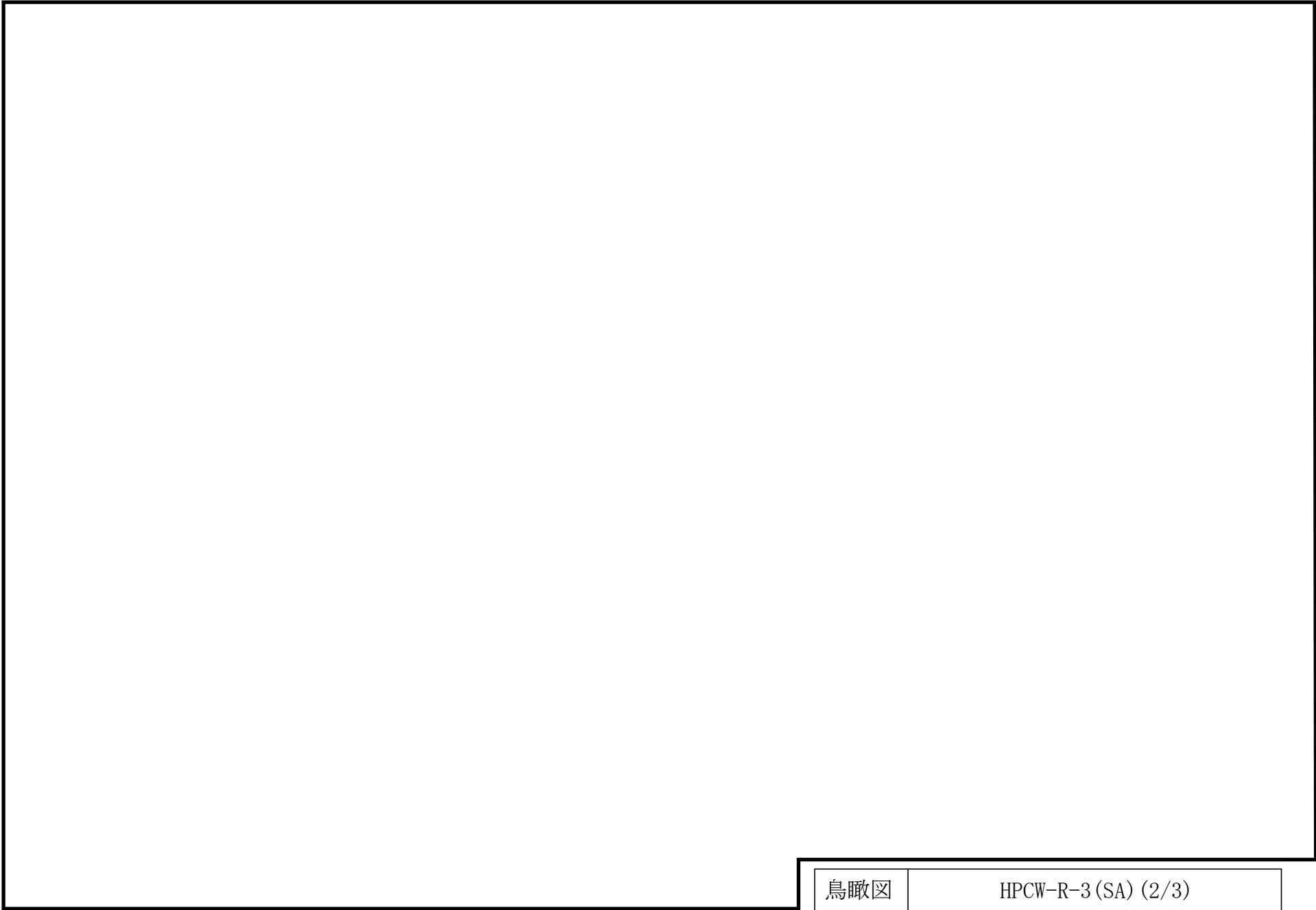
鳥瞰図

HPCW-R-3 (DB) (3/3)



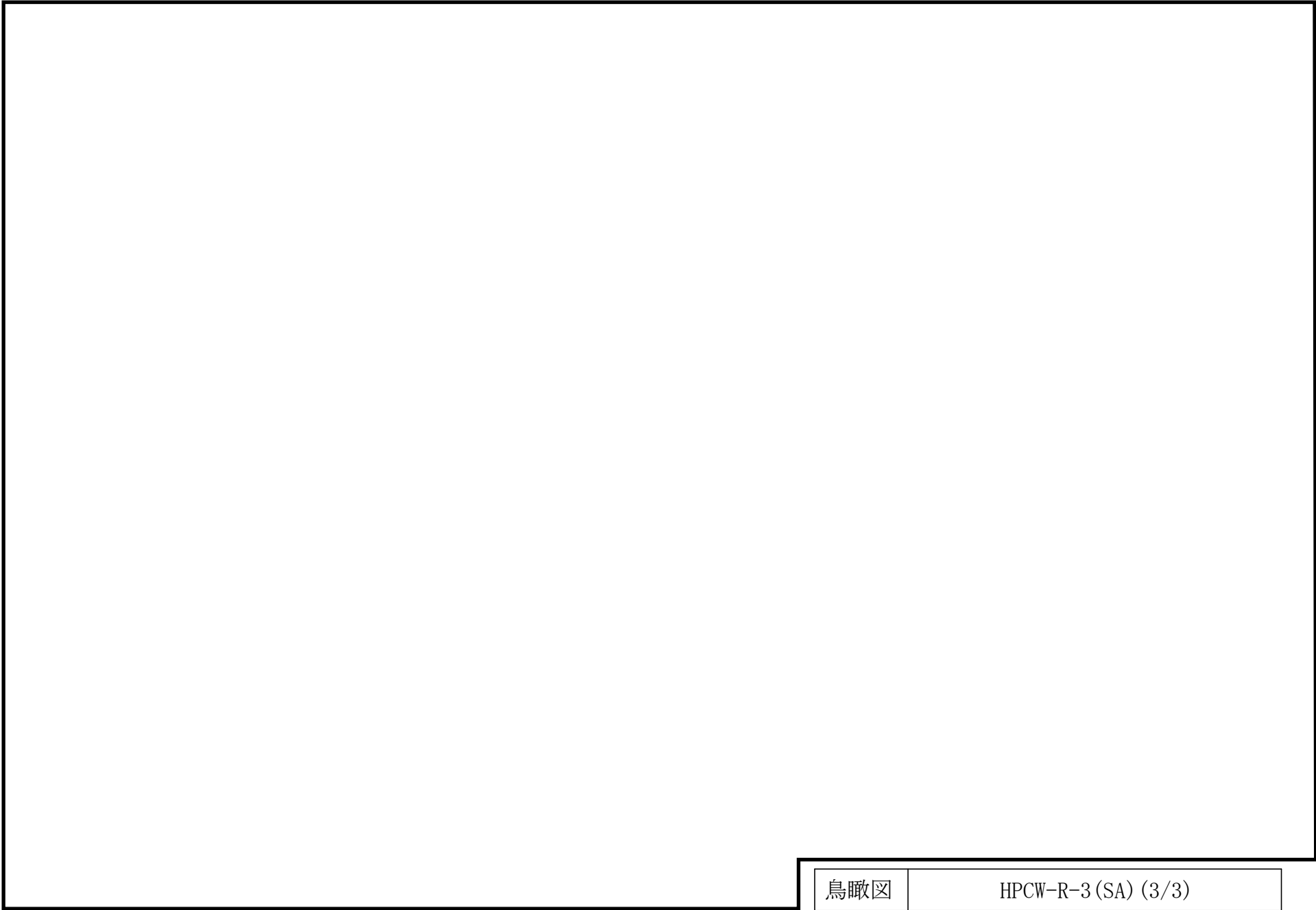
鳥瞰図

HPCW-R-3(SA) (1/3)



鳥瞰図

HPCW-R-3 (SA) (2/3)



鳥瞰図

HPCW-R-3 (SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	高圧炉心スプレイ補機冷却系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
			II _L +S _s					
			SA	常設/防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設/防止(DB拡張)」は常設重大事故防止設備(設計基準拡張)を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~4, 5~12 13~18	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		V _A S	0.98	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~4, 5~12 13~18	216.3	8.2	STPT42	S	201400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N~4, 5~12, 13~18

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	4~5	<input type="text"/>	12~13

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4~5				12~13			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
6						
14						
19N						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66
2	3~9S	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66
3	9S~48, 49~53N 42~57	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66
4	58~84N	Ⅲ _A S	0.98	66
		Ⅳ _A S	0.98	66
		Ⅴ _A S	0.98	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～2	165.2	7.1	STPT42	S	201333
2	3～9S	216.3	8.2	STPT42	S	201333
3	9S～48, 49～53N 42～57	216.3	8.2	STPT42	S	201667
4	58～84N	114.3	6.0	STPT42	S	201667


配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～2, 3～48, 49～53N, 42～57
<input type="checkbox"/>	58～84N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
	51, 52
	53N
	84N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	48～49

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
48~49			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
8001						
11						
17						
22						
28						
35						
50						
53N						
61						
68						
73						
77						
84N						

S2 補 VI-2-5-7-2-6(1) R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT42	66	—	231	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
HPCW-R-1	原子炉建物	EL			
HPCW-R-3	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード* ¹	固有 周期 (s)	応答水平震度* ²		応答鉛直 震度* ²	応答水平震度* ³		応答鉛直 震度* ³
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度* ⁴ , * ⁵							
静的震度* ⁶							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPCW-R-1

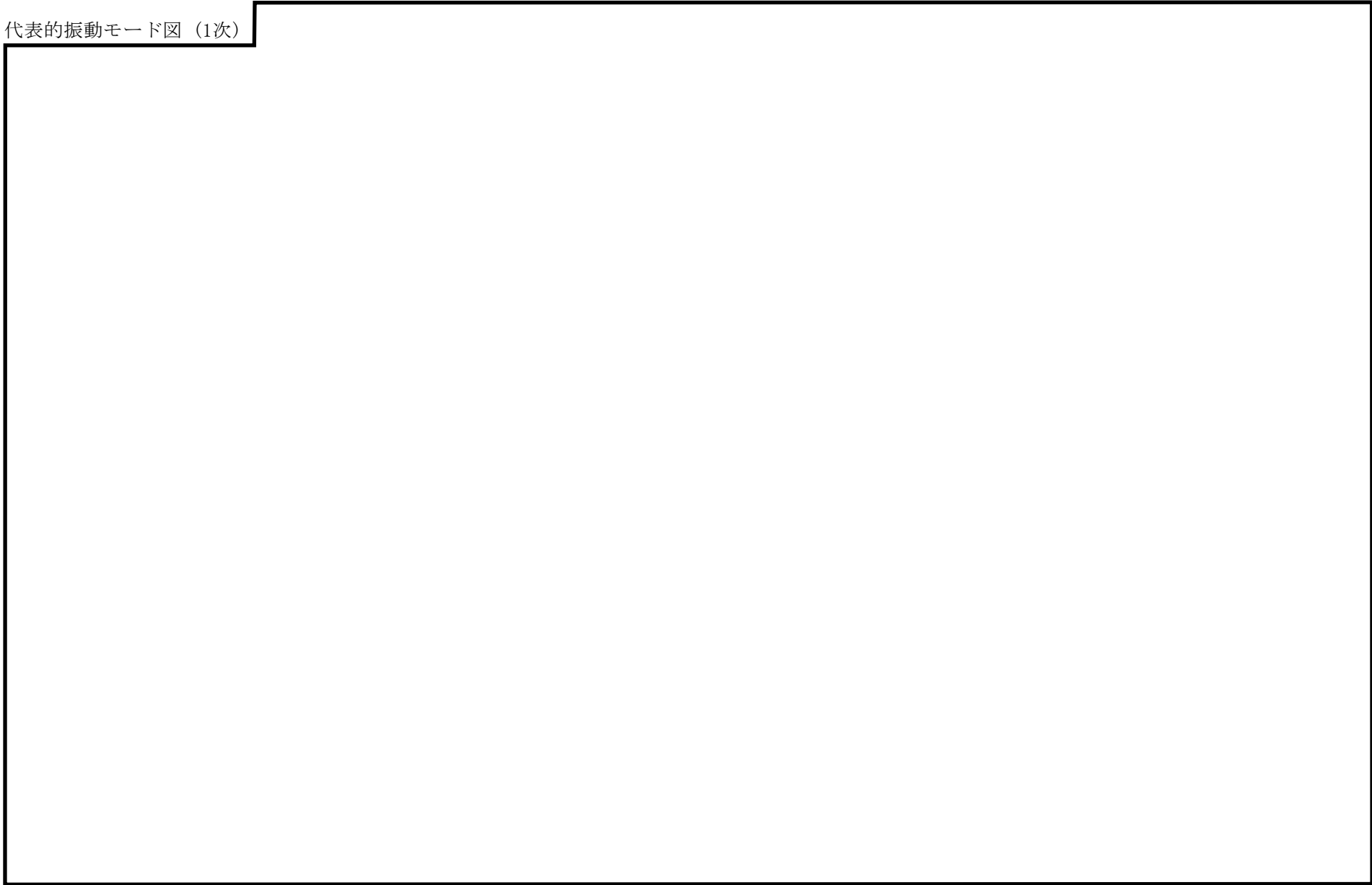
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
13次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S_d）により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPCW-R-3

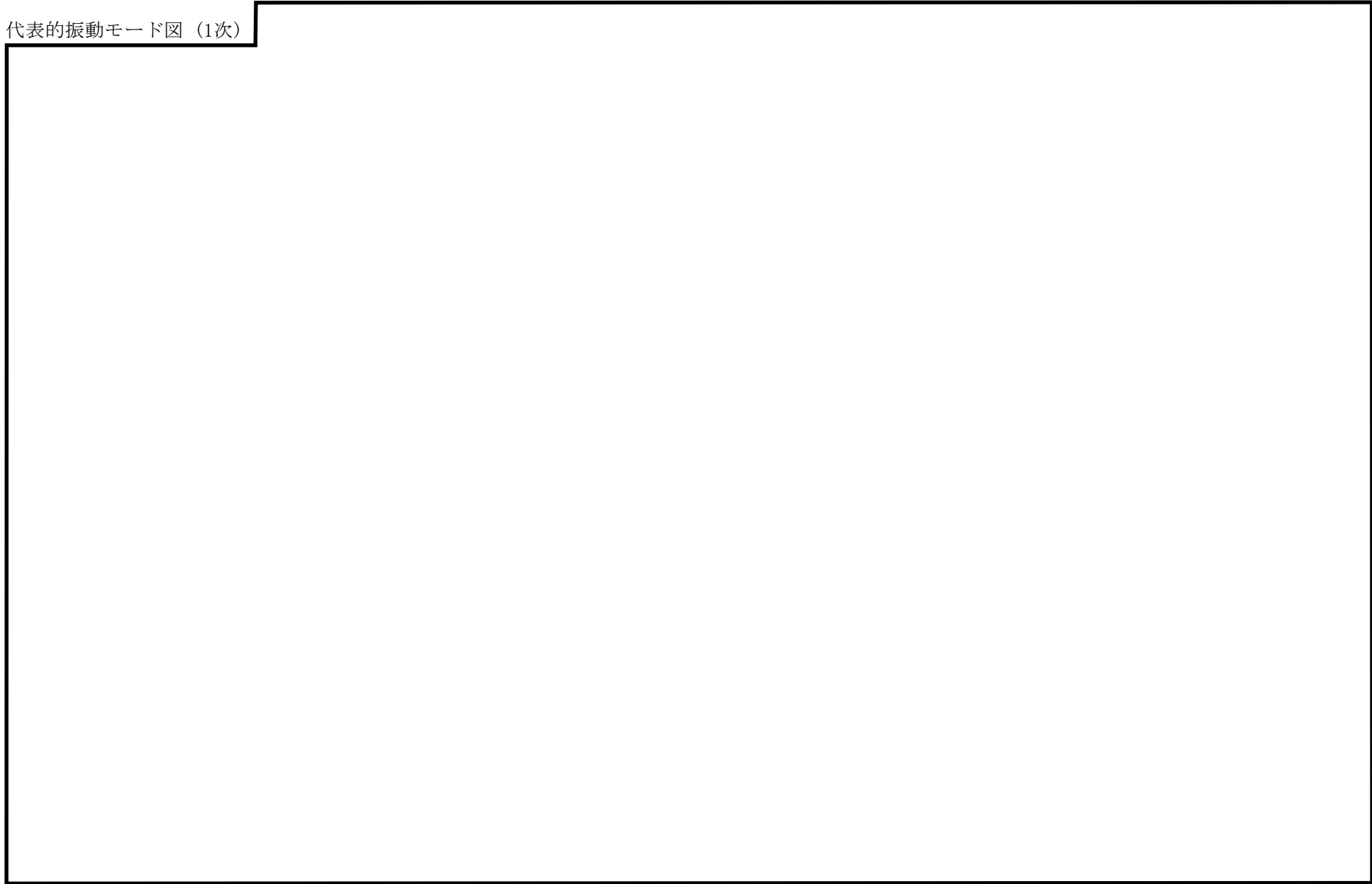
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

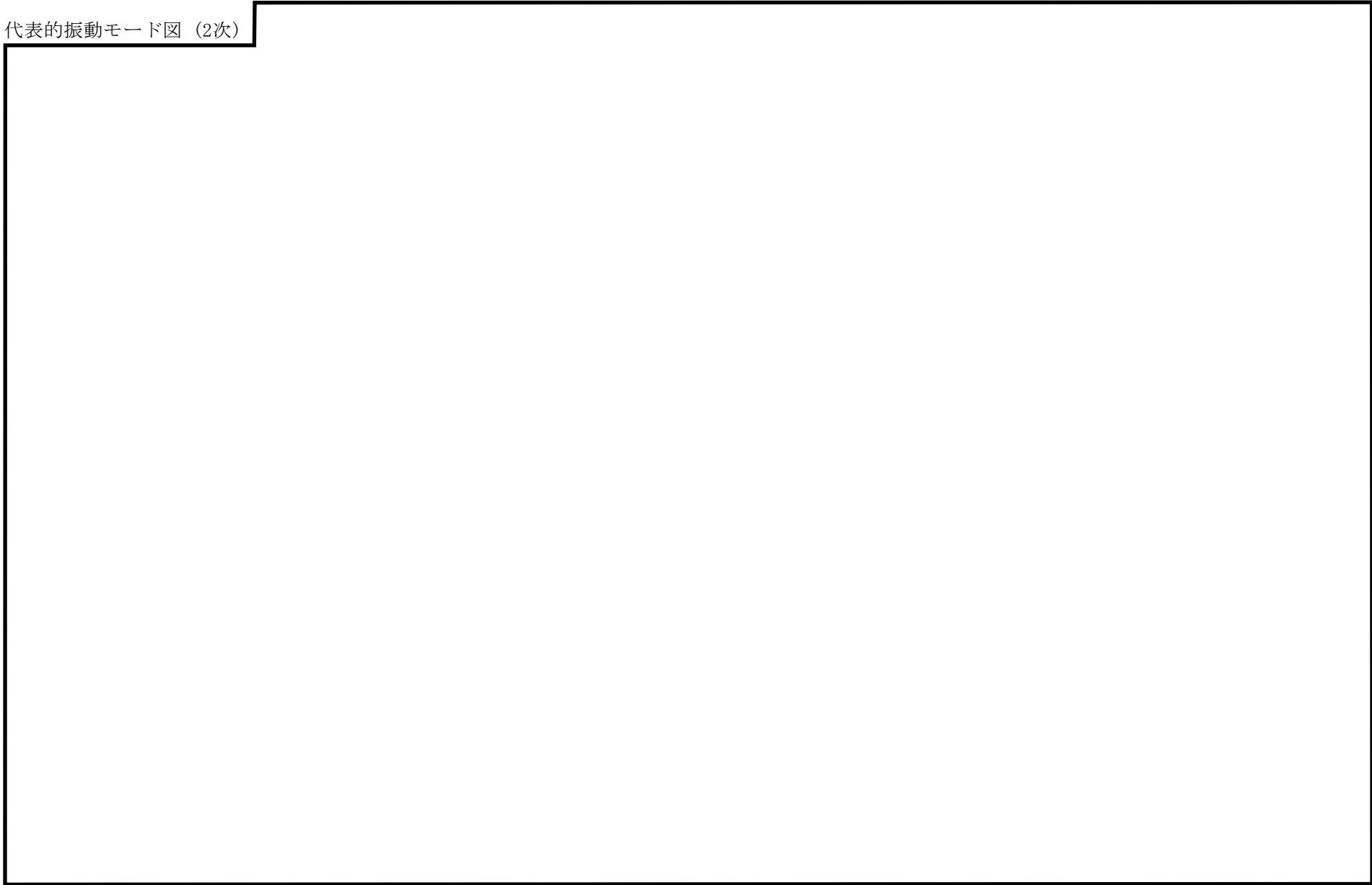
代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

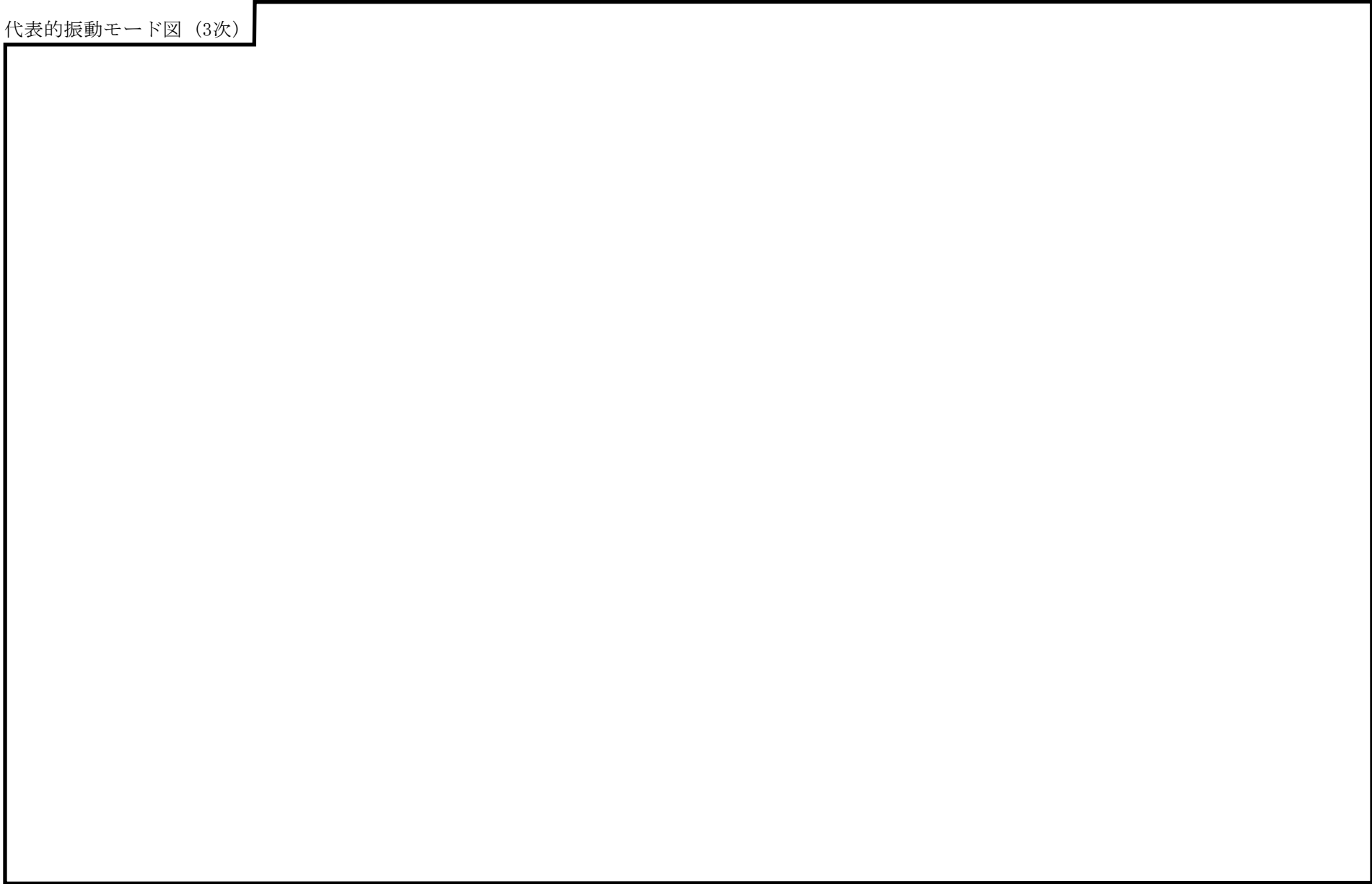


代表的振動モード図 (2次)



40

代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	HPCW-R-3	58	66	231	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-3	58	93	462	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCW-R-3	58	108	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-1	1N	179	462	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCW-R-3	58	108	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-1	1N	179	462	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCW-R-3	58	108	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCW-R-1	1N	179	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	—	—	—	
—	オイルスナッパ	—		—	—	—	
RE-HPCW-206	ロッドレストレイント	RSA-06		12.3	10.8	16.2	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-HPCW-219	レストレイント	Uボルト	SS400	66	0	37	21	—	—	—	引張	142	185
AN-HPCW-210	アンカ	ラグ	SGV410	66	22	6	14	2	16	5	組合せ	45	65

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCW-R-1	14	63	231	3.66	—	1N	85	462	5.43	—	—
2	HPCW-R-2	56A	55	231	4.20	—	56A	88	462	5.25	—	—
3	HPCW-R-3	58	66	231	3.50	○	58	93	462	4.96	—	○
4	HPCW-R-4	16	47	231	4.91	—	16	70	462	6.60	—	—
5	HPCW-R-5	361	34	231	6.79	—	26	36	462	12.83	—	—
6	HPCW-R-6	101	48	231	4.81	—	101	72	462	6.41	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCW-R-1	1N	97	366	3.77	—	1N	179	462	2.58	—	○
2	HPCW-R-2	56A	97	366	3.77	—	56A	171	462	2.70	—	—
3	HPCW-R-3	58	108	366	3.38	○	58	177	462	2.61	—	—
4	HPCW-R-4	16	101	366	3.62	—	16	177	462	2.61	—	—
5	HPCW-R-5	361	47	366	7.78	—	26	68	462	6.79	—	—
6	HPCW-R-6	57	81	366	4.51	—	57	146	462	3.16	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCW-R-1	1N	97	366	3.77	—	1N	179	462	2.58	—	○
2	HPCW-R-2	56A	97	366	3.77	—	56A	171	462	2.70	—	—
3	HPCW-R-3	58	108	366	3.38	○	58	177	462	2.61	—	—
4	HPCW-R-4	16	101	366	3.62	—	16	177	462	2.61	—	—
5	HPCW-R-5	361	47	366	7.78	—	26	68	462	6.79	—	—
6	HPCW-R-6	57	81	366	4.51	—	57	146	462	3.16	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	HPCW-R-1	1N	97	366	3.77	—	1N	179	462	2.58	—	○
2	HPCW-R-2	56A	97	366	3.77	—	56A	171	462	2.70	—	—
3	HPCW-R-3	58	108	366	3.38	○	58	177	462	2.61	—	—
4	HPCW-R-4	16	101	366	3.62	—	16	177	462	2.61	—	—
5	HPCW-R-5	361	47	366	7.78	—	26	68	462	6.79	—	—
6	HPCW-R-6	57	81	366	4.51	—	57	146	462	3.16	—	—

(2) 高圧炉心スプレイ補機海水系

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力	19
3.5 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	21
4.1 固有周期及び設計震度	21
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	29
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	30
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	31

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ補機海水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






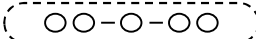

(3) 弁

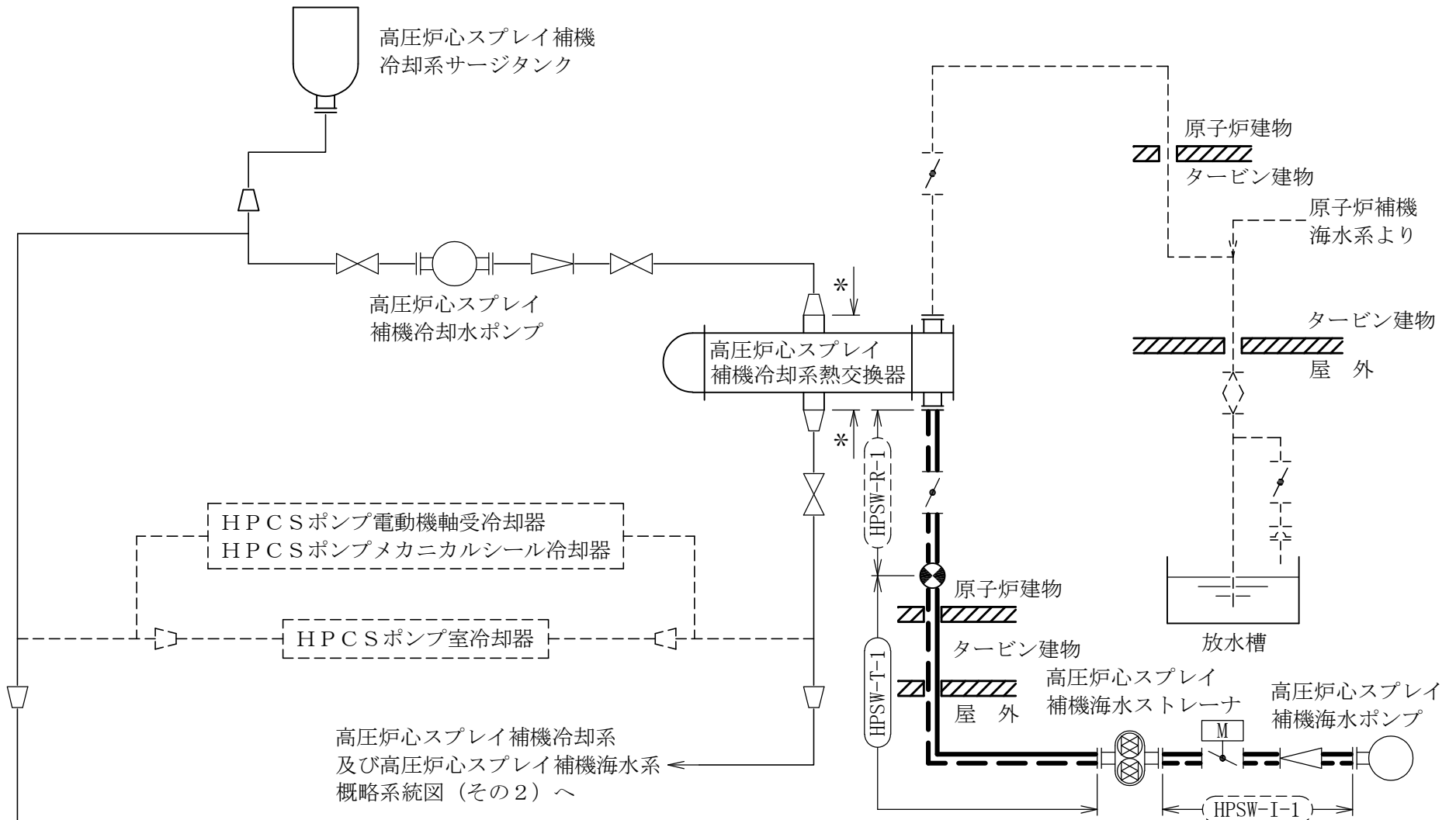
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

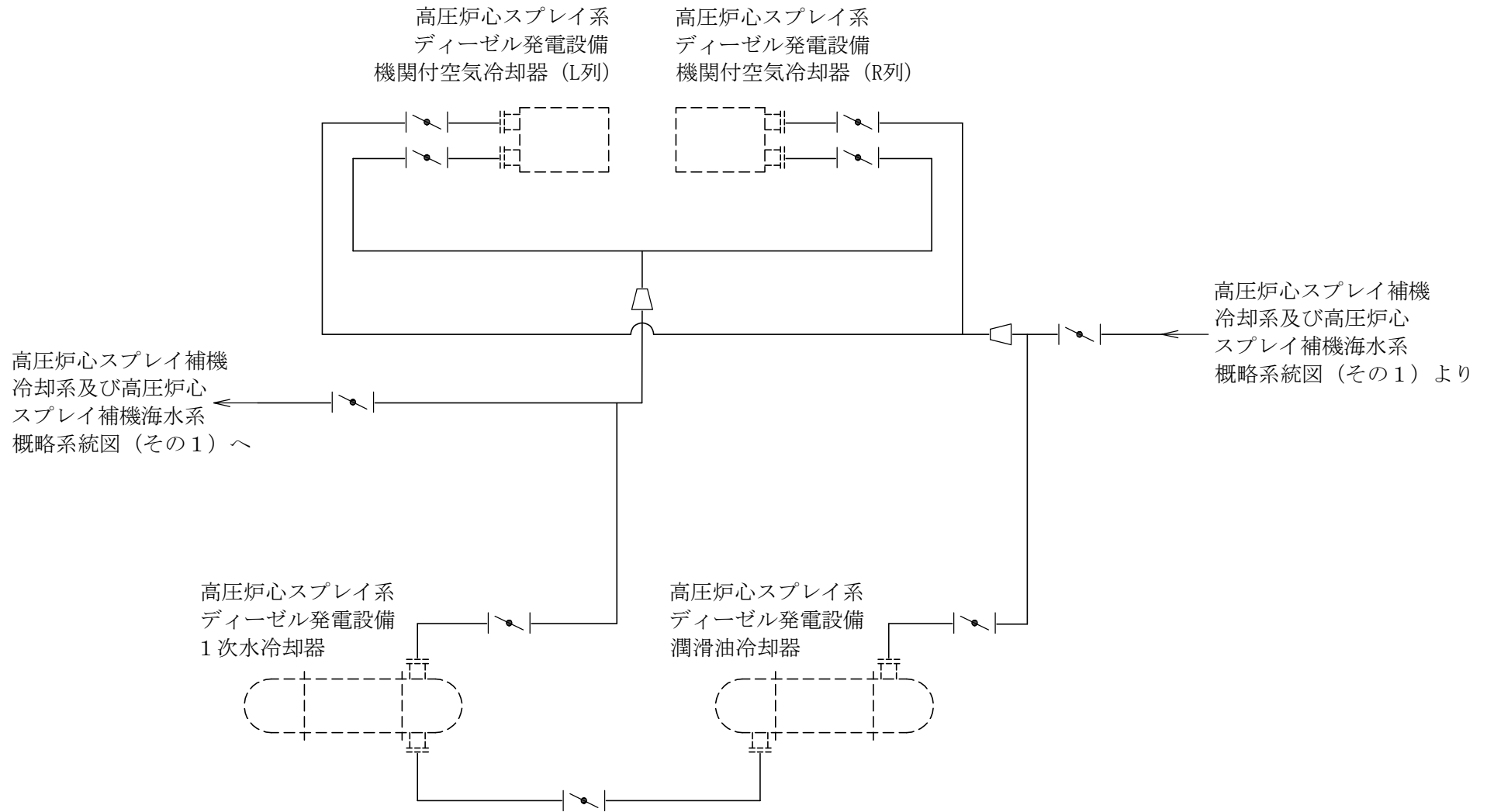


注記* : 計算結果は「(1) 高圧炉心スプレイ補機冷却系」に含めて示す。

[注] 太破線範囲の管クラス : DB3

太線範囲の管クラス : SA2



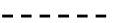


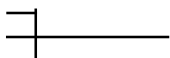
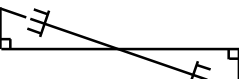
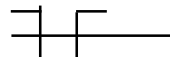
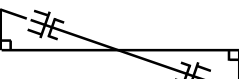

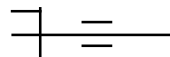
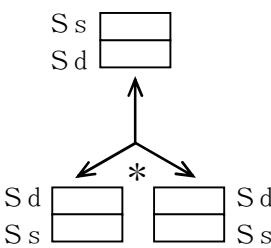
高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図 (その1)

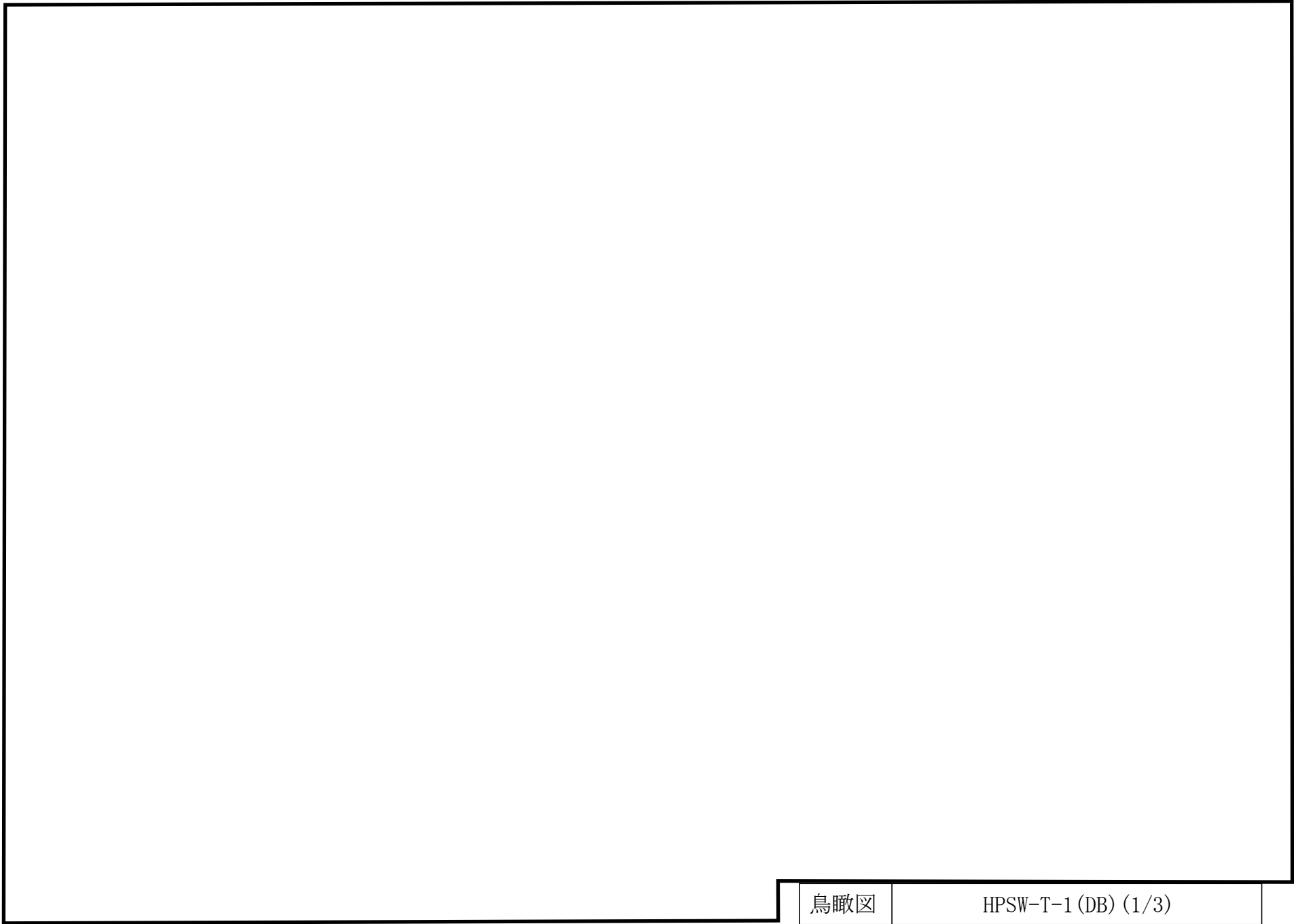


高圧炉心スプレイ補機冷却系及び高圧炉心スプレイ補機海水系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

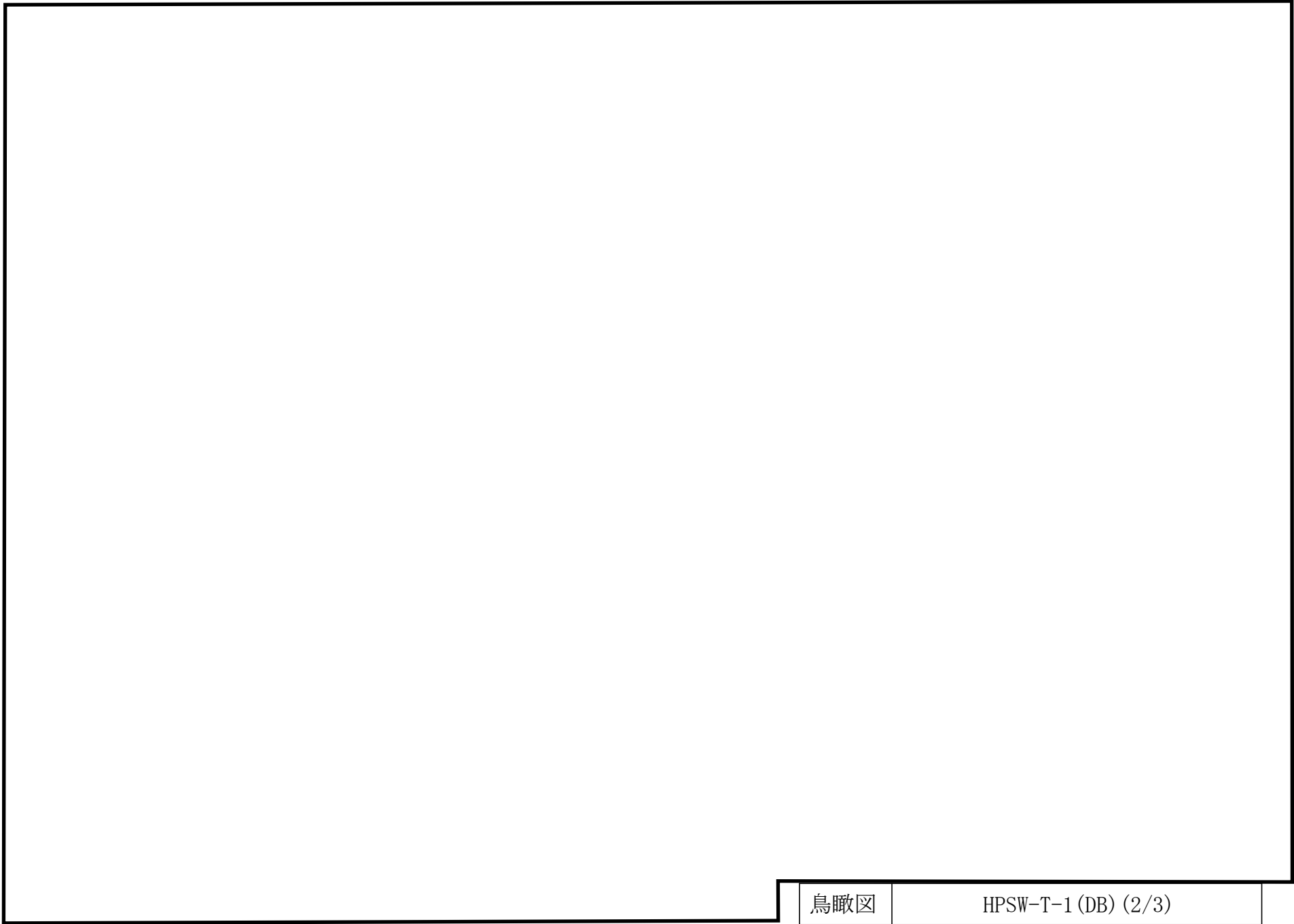
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。	



鳥瞰図

HPSW-T-1 (DB) (1/3)



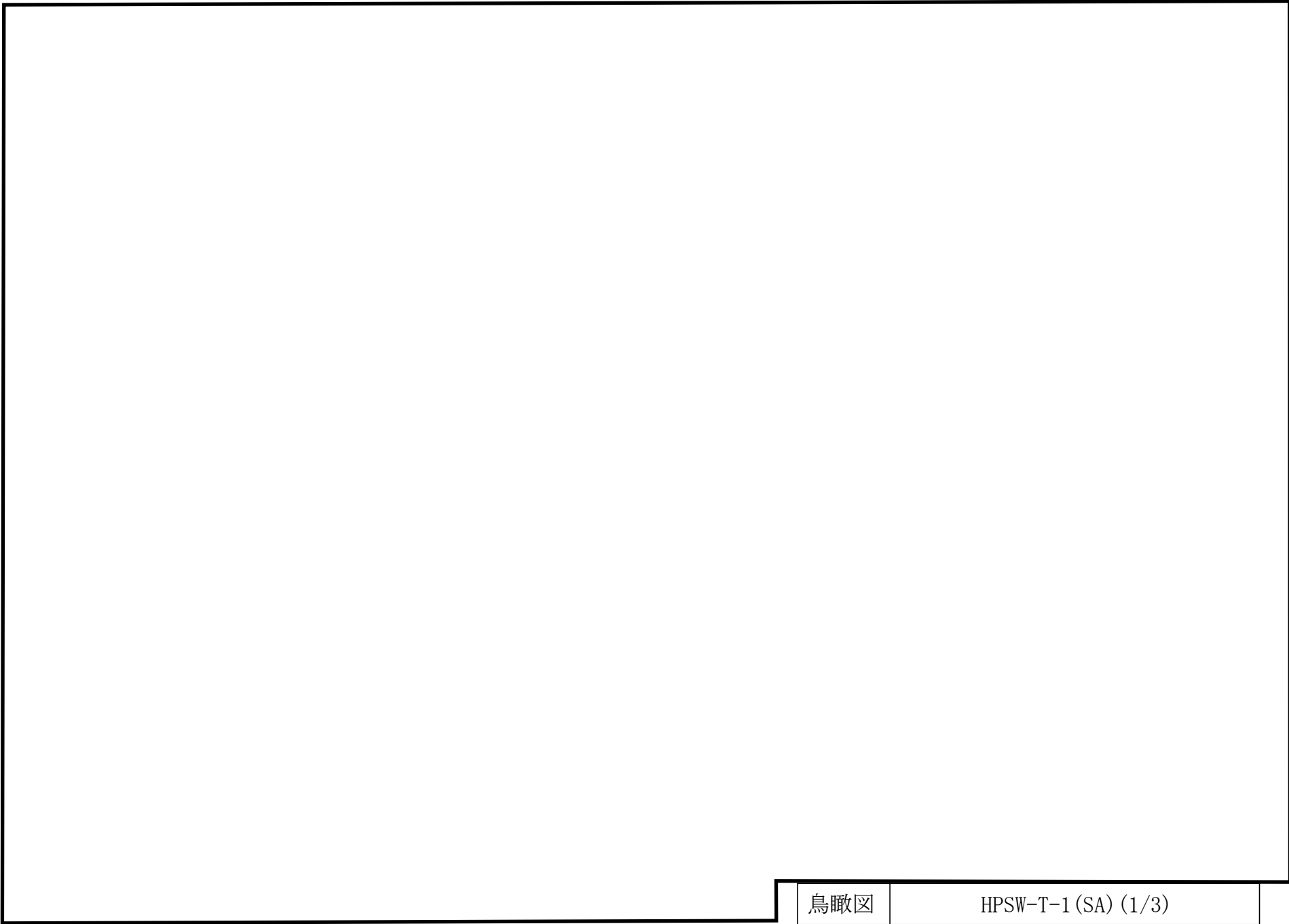
鳥瞰図

HPSW-T-1 (DB) (2/3)

∞

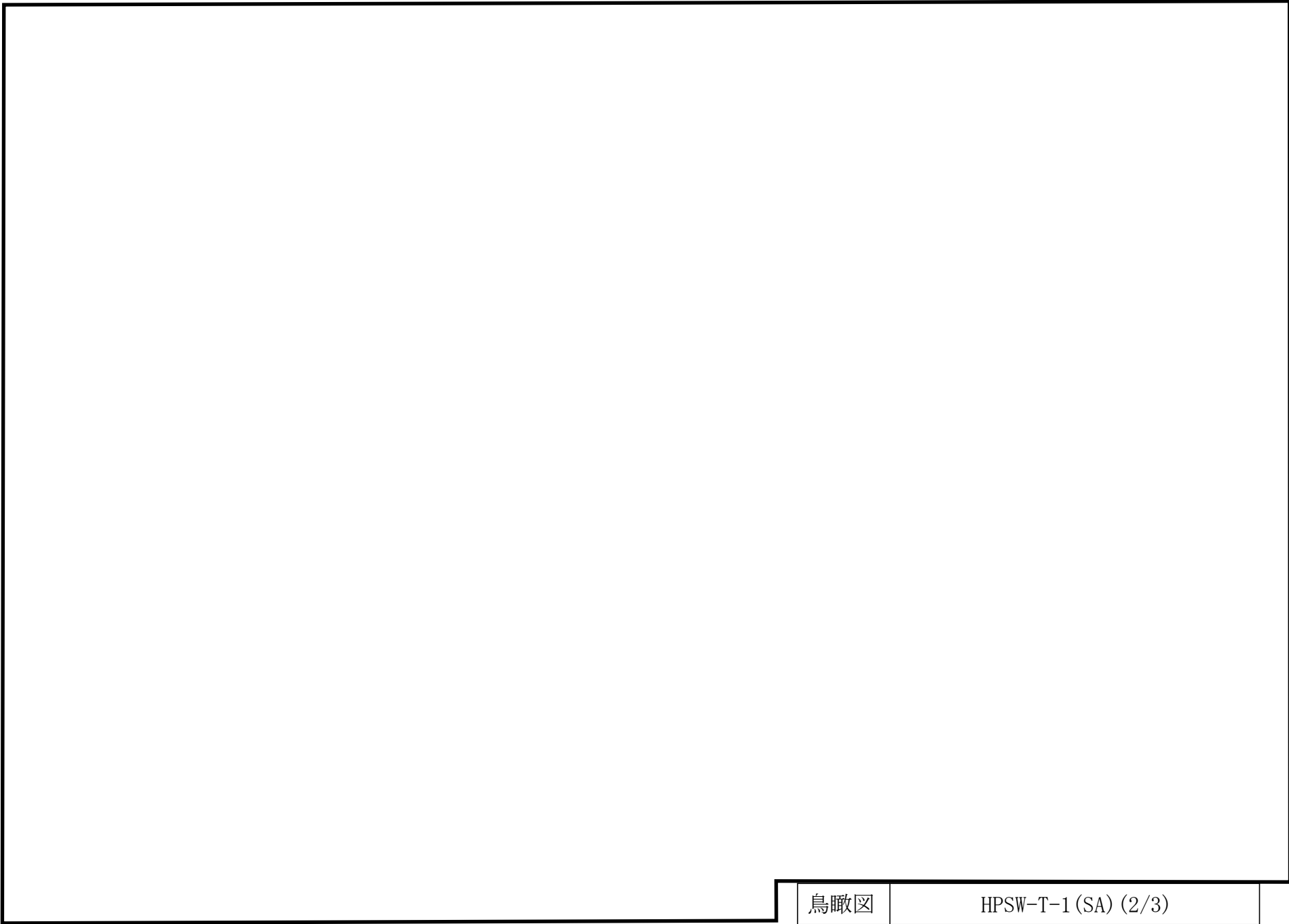
鳥瞰図

HPSW-T-1 (DB) (3/3)



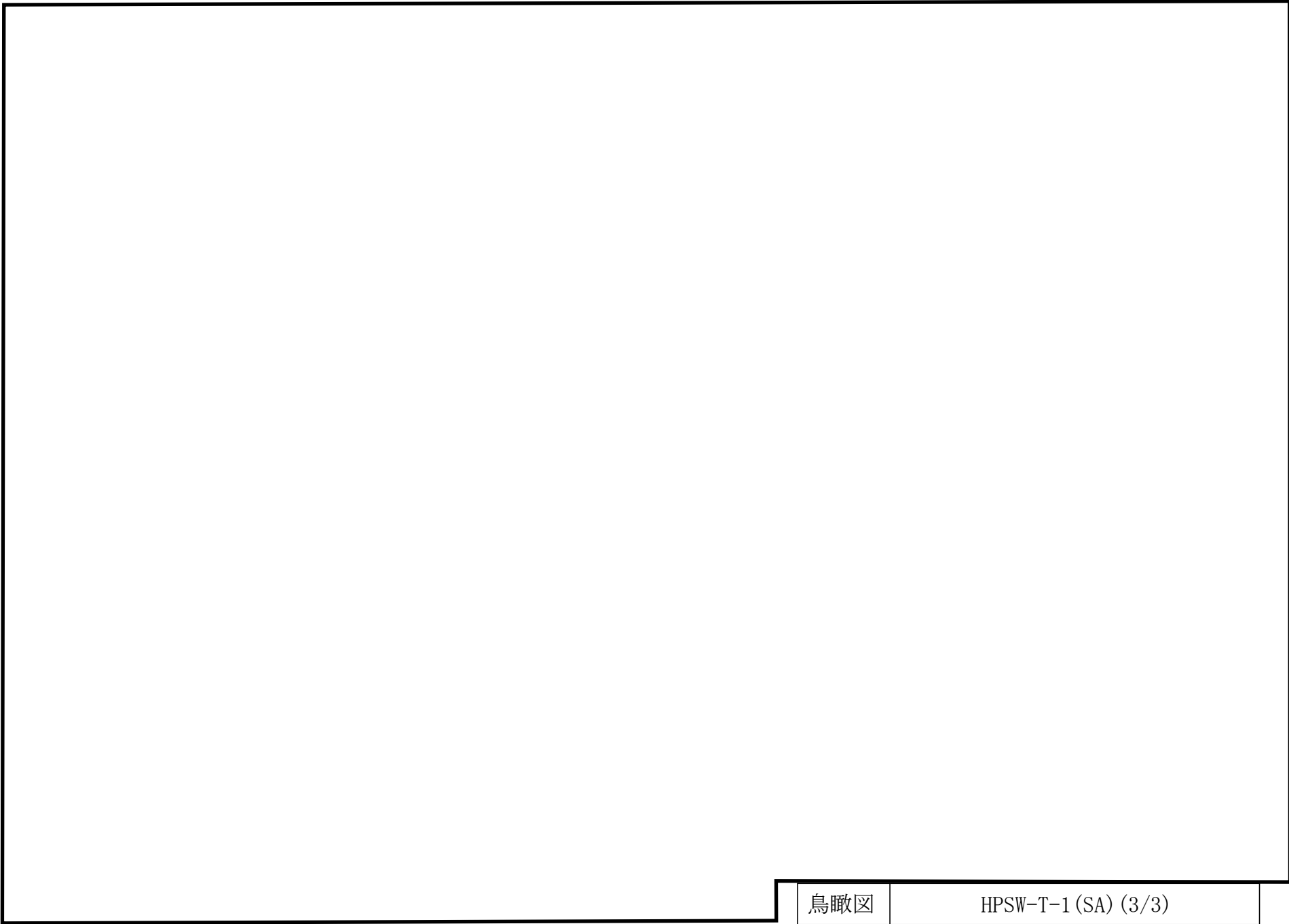
鳥瞰図

HPSW-T-1 (SA) (1/3)



鳥瞰図

HPSW-T-1 (SA) (2/3)



鳥瞰図

HPSW-T-1 (SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	高圧炉心スプレイ補機海水系	DB	—	クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
			II _L +S _s					
			SA	常設／防止(D B 拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	
V _L +S _s ^{*6}	V _A S							

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／防止(D B 拡張)」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~9S	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40
2	9S~106A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	0.98	40

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~9S	267.4	9.3	STPT42	S	201867
2	9S~106A	267.4	9.3	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	9S~106A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

質量	対応する評価点
	1N
	301, 401, 601, 1111, 1201, 1301, 1701, 2101, 2601, 2801, 3101, 3601 3901, 4101, 4301, 4401, 4601, 4801, 4901, 5101, 5501, 5801, 6001, 6201 6301, 6501, 68, 7201, 7601, 8001, 8301, 8501, 8601, 8801, 8901, 9101 9401, 9601, 1011, 1021, 1041
	1001

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
1102						
1202						
14						
16						
18						
20						
22						
26						
29						
34						
38						
44						
52						
56						
63						
69						
73						
77						
81						
89						
94						
1042						
106A						

S2 補 VI-2-5-7-2-6(2) R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT42	40	—	245	410	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
HPSW-T-1	原子炉建物	EL			
	取水槽				
	タービン建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
21次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPSW-T-1

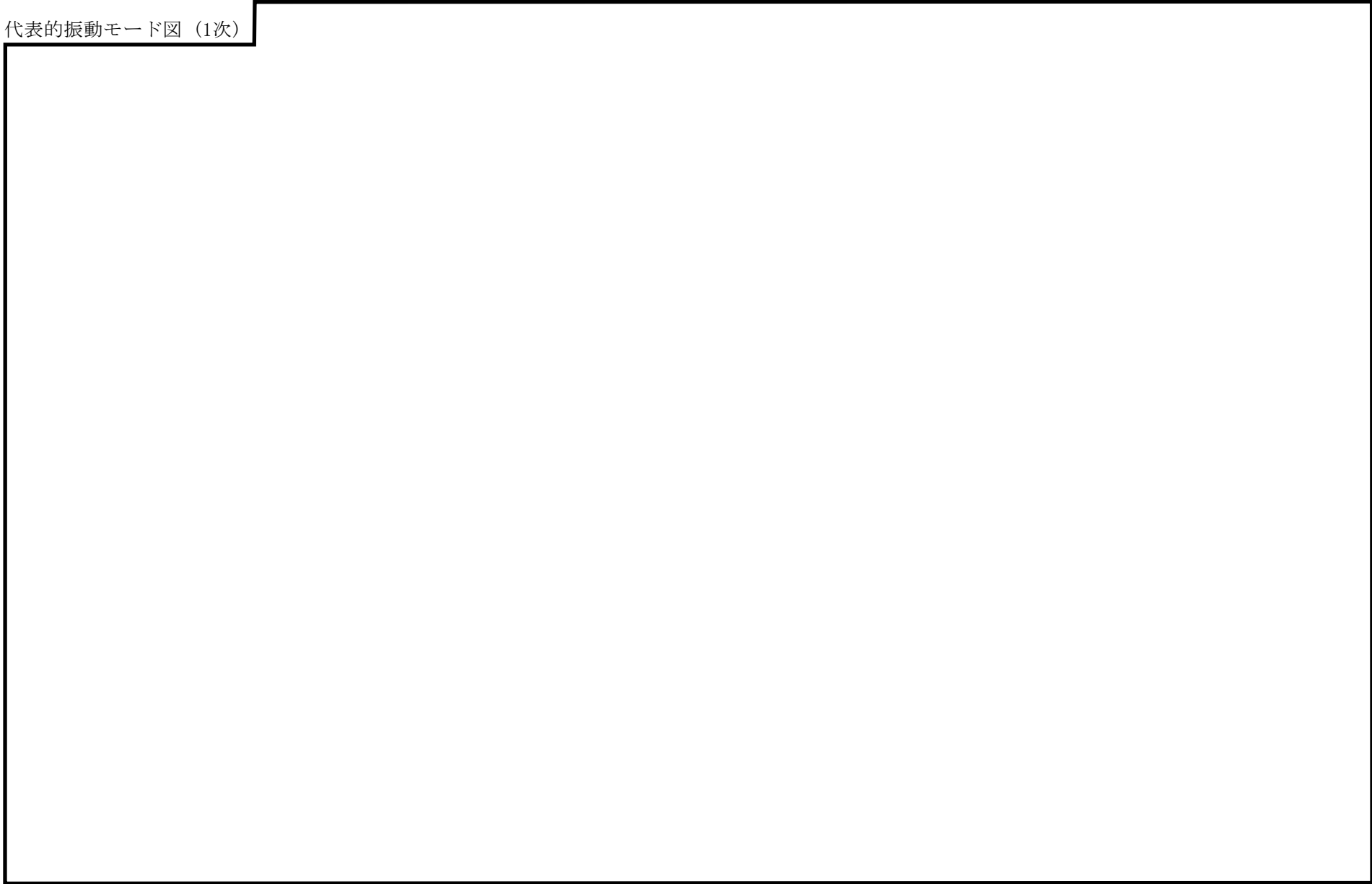
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
21次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

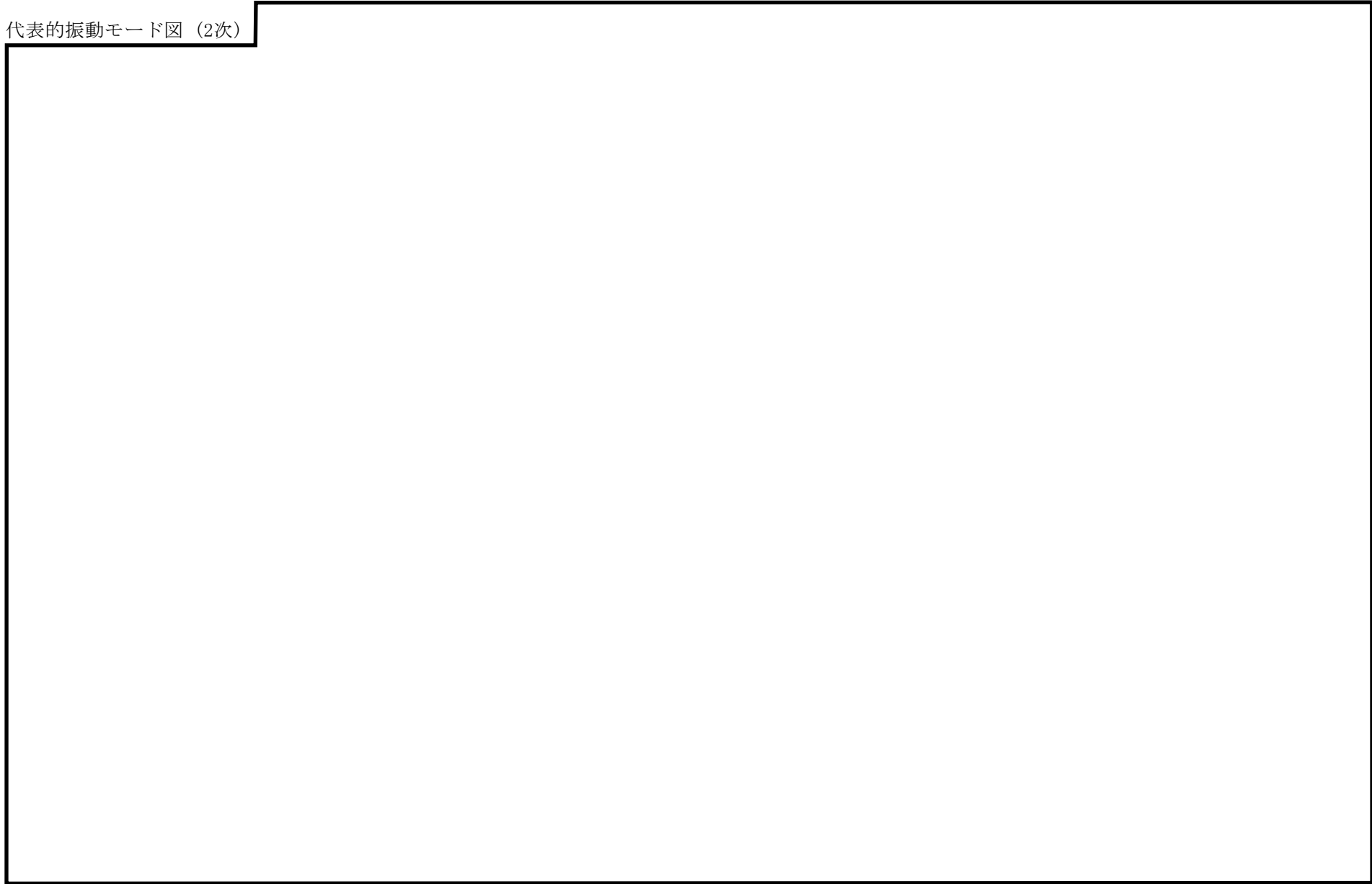
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

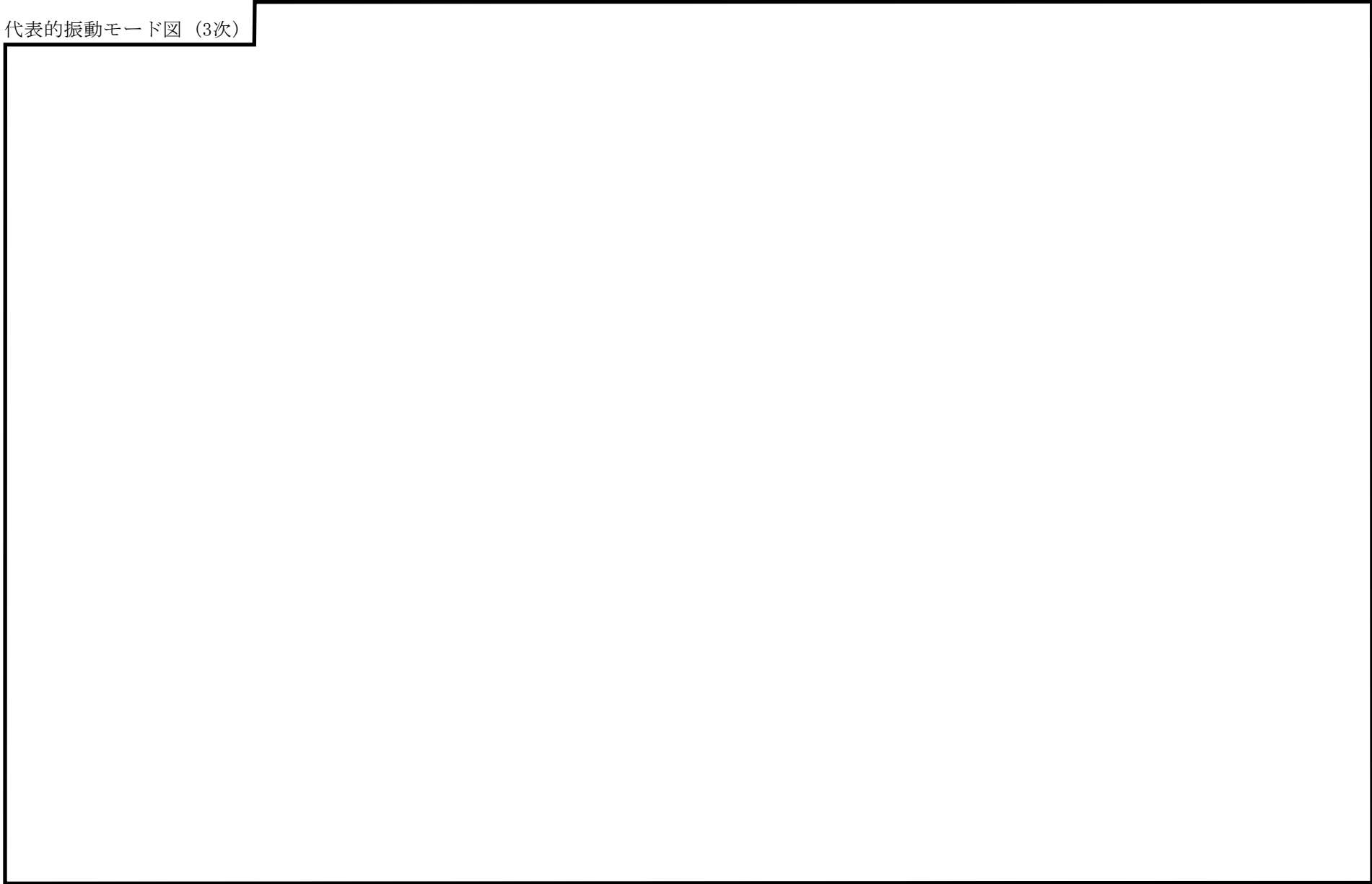
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	HPSW-T-1	2	100	245	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	2	199	490	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPSW-T-1	104	154	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	104	323	490	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPSW-T-1	104	154	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	104	323	490	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPSW-T-1	104	154	369	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPSW-T-1	104	323	490	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	40	—	—	—
—	オイルスナッパ	—			—	—	—
RE-HPSW-203-1	ロッドレストレイント	RSA-06×2*3			30.6	21.6	32.4
—	スプリングハンガ	—			—	—	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点，同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-HPSW-2002	レストレイント	パイプバンド	SM400B	40	167	20	0	—	—	—	圧縮	67	148
AN-HPSW-201	アンカ	ラグ	SGV410	40	13	20	40	15	10	20	組合せ	76	155

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPSW-R-1	17	52	245	4.71	—	17	71	490	6.90	—	—
2	HPSW-T-1	2	100	245	2.45	○	2	199	490	2.46	—	○
3	HPSW-I-1	1701	83	245	2.95	—	1001	131	490	3.74	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPSW-R-1	17	80	369	4.61	—	17	126	490	3.88	—	—
2	HPSW-T-1	104	154	369	2.39	○	104	323	490	1.51	—	○
3	HPSW-I-1	1001	142	369	2.59	—	1001	258	490	1.89	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPSW-R-1	17	80	369	4.61	—	17	126	490	3.88	—	—
2	HPSW-T-1	104	154	369	2.39	○	104	323	490	1.51	—	○
3	HPSW-I-1	1001	142	369	2.59	—	1001	258	490	1.89	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPSW-R-1	17	80	369	4.61	—	17	126	490	3.88	—	—
2	HPSW-T-1	104	154	369	2.39	○	104	323	490	1.51	—	○
3	HPSW-I-1	1001	142	369	2.59	—	1001	258	490	1.89	—	—

VI-2-5-7-3 原子炉補機代替冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-5-7-3-1 管の耐震性についての計算書
(原子炉補機代替冷却系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	7
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力	20
3.5 設計用地震力	21
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	27
4.2.1 管の応力評価結果	27
4.2.2 支持構造物評価結果	28
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	29
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	30

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機代替冷却系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全6モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

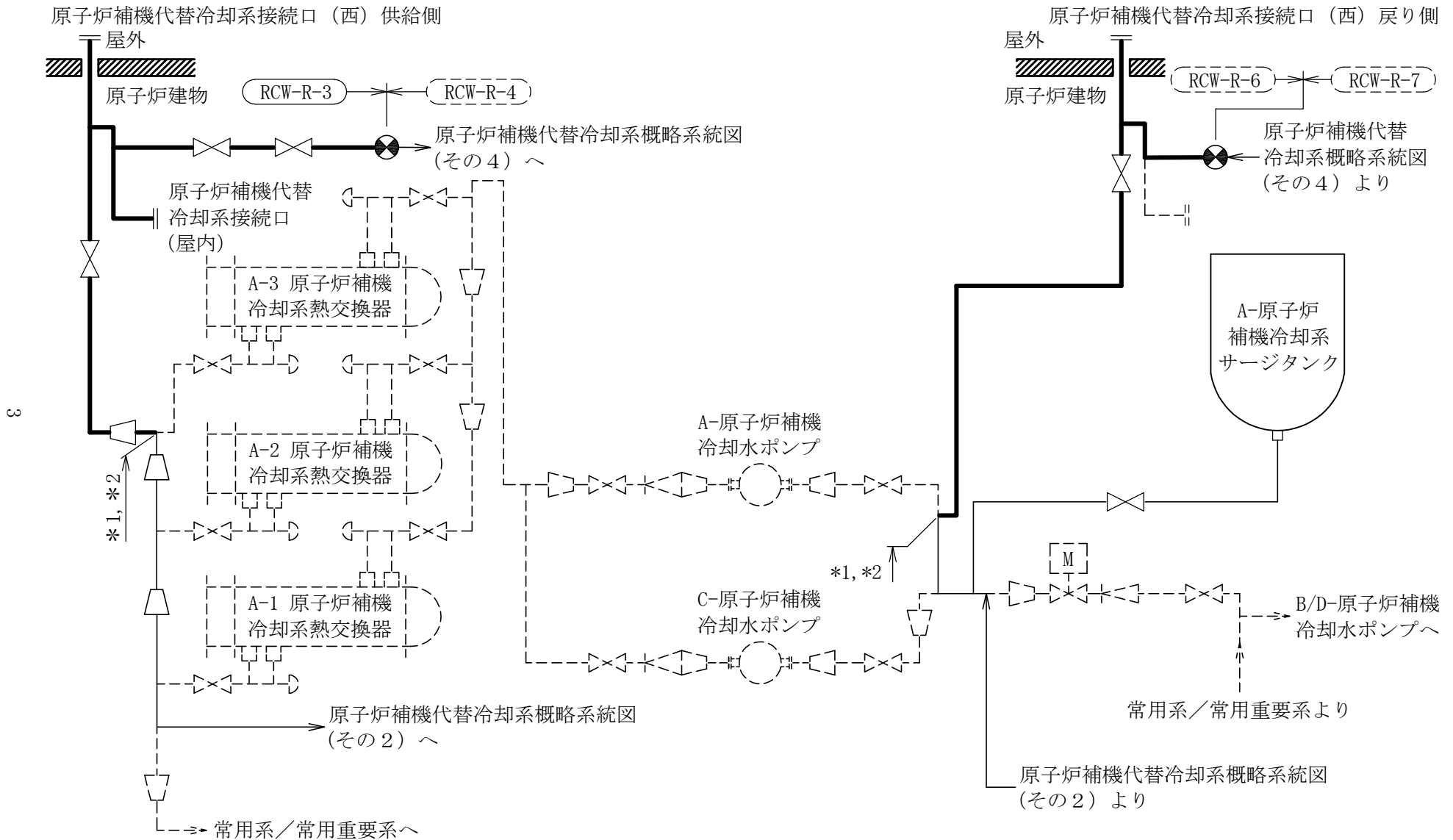
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

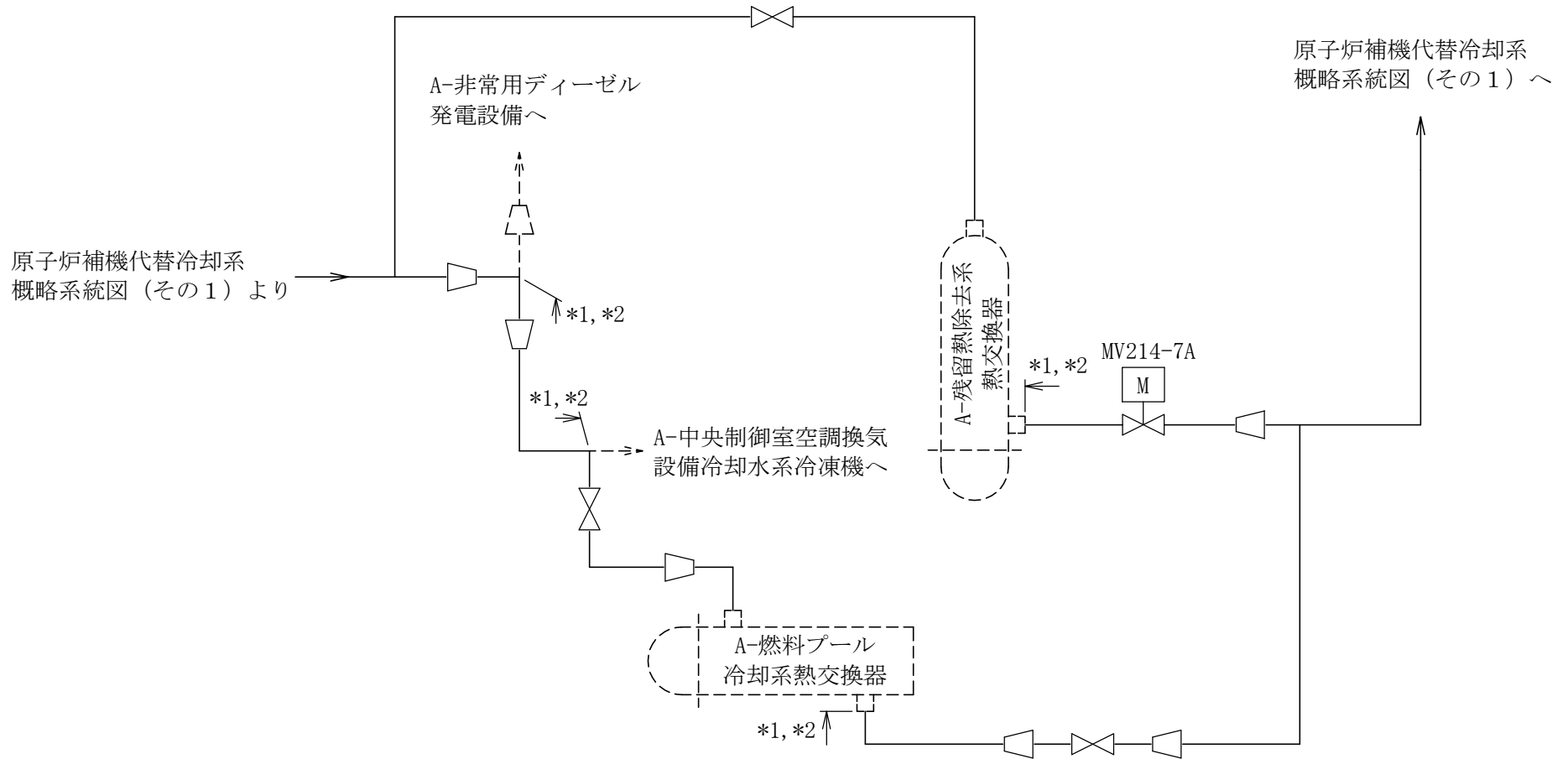
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



注記*1：原子炉補機冷却系との兼用範囲である。
 *2：計算結果は原子炉補機冷却系に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス：SA2
 原子炉補機代替冷却系概略系統図（その1）

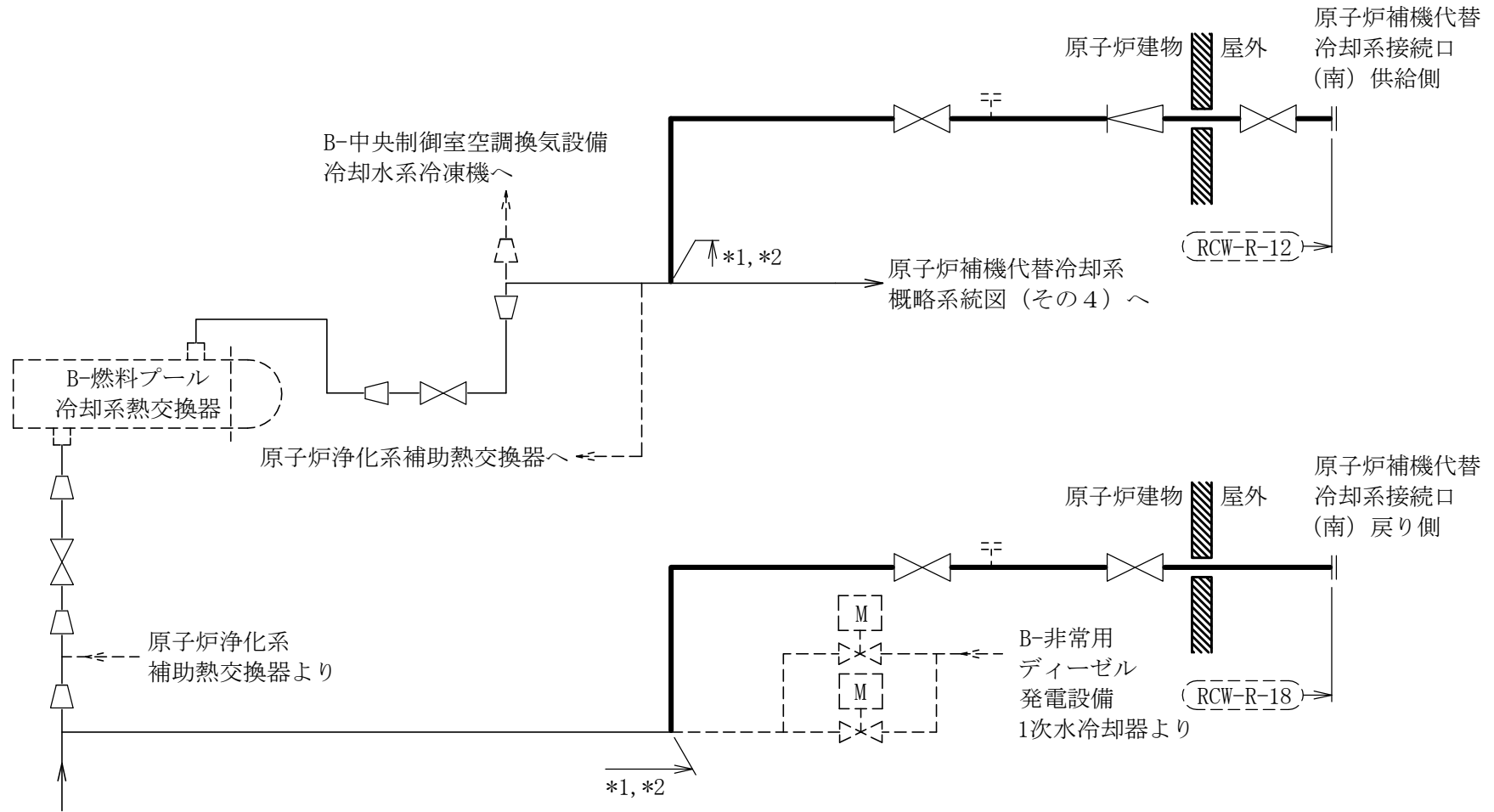


原子炉補機代替冷却系
概略系統図 (その1) へ

4

注記*1: 原子炉補機冷却系との兼用範囲である。
*2: 計算結果は原子炉補機冷却系に含めて示す。

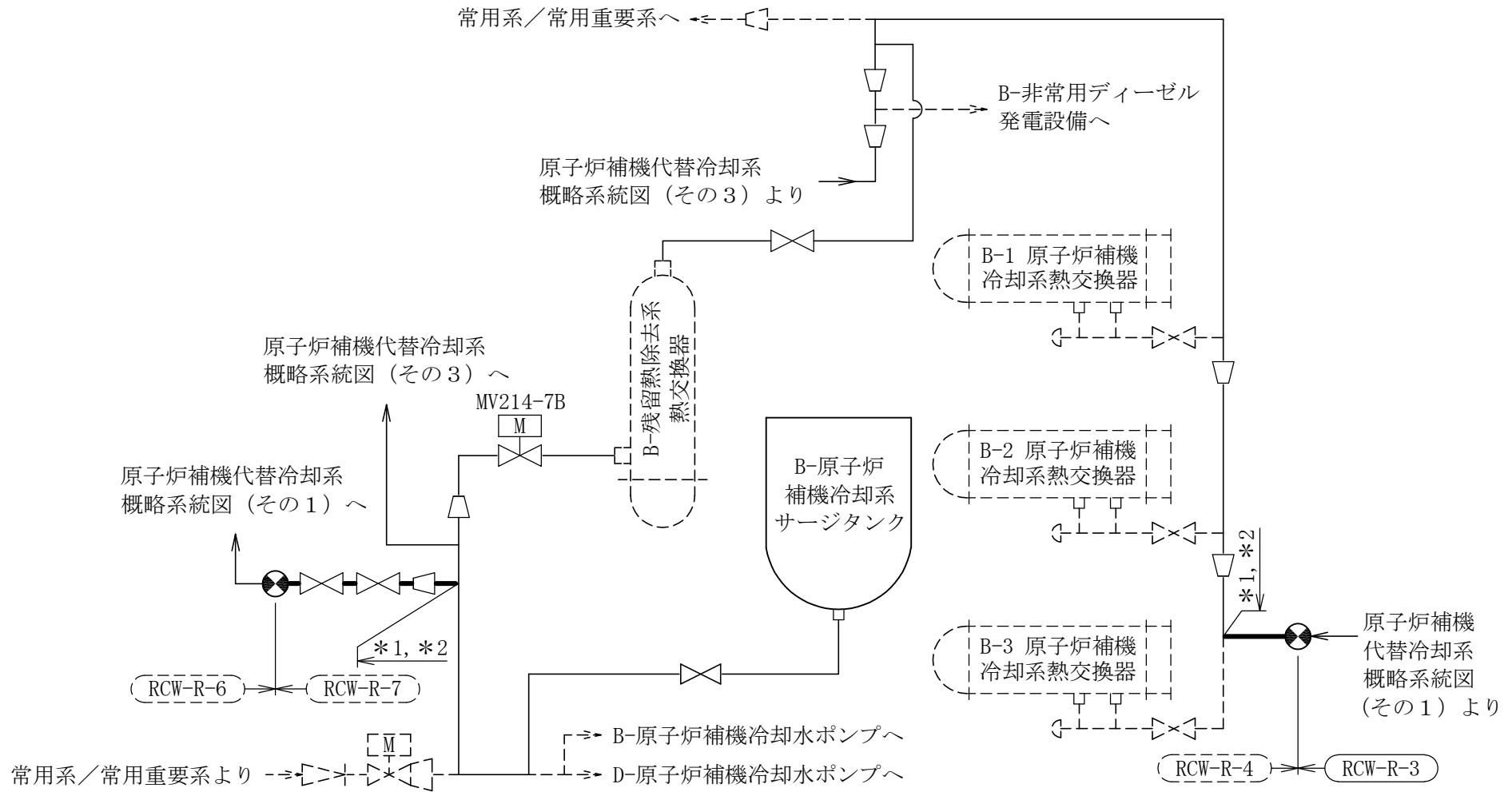
原子炉補機代替冷却系概略系統図 (その2)



原子炉補機代替冷却系
概略系統図 (その4) より

注記*1: 原子炉補機冷却系との兼用範囲である。
*2: 計算結果は原子炉補機冷却系に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス: SA2
原子炉補機代替冷却系概略系統図 (その3)



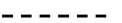


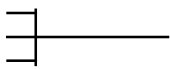
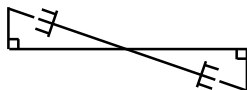
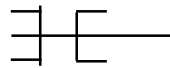
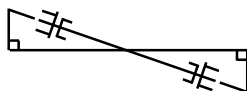

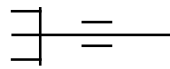
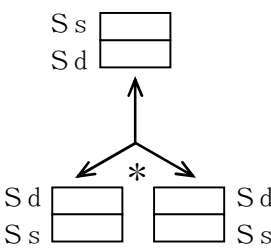


注記*1：原子炉補機冷却系との兼用範囲である。
 *2：計算結果は原子炉補機冷却系に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス：SA2
 原子炉補機代替冷却系概略系統図（その4）

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

∞

鳥瞰図

RCW-R-3 (SA) (1/3)



鳥瞰図

RCW-R-3 (SA) (2/3)

10

鳥瞰図

RCW-R-3 (SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機代替冷却系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S

注記*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し、許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから、重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	17～401	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
2	402～406, 407～427S 416～515F, 5012～607 608～610, 611～619A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85
3	427S～434F	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	85
		Ⅴ _A S	1.37	85

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RCW-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	17～401	406.4	12.7	STPT410	—	201667
2	402～406, 407～427S 416～515F, 5012～607 608～610, 611～619A	267.4	9.3	STPT410	—	201667
3	427S～434F	267.4	9.3	STPT410	—	201867

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RCW-R-3

質量	対応する評価点
□	17～401
□	402～406, 611～619A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-3

質量	対応する評価点
□	434F, 515F
□	506F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RCW-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	406~407, 607~608	<input type="text"/>	610~611

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RCW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
406~407				607~608			
610~611							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RCW-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
408						
411						
418						
431						
504						
513						
609						
619A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	85	—	224	406	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RCW-R-3	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCW-R-3

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次	□	□		
2次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RCW-R-3

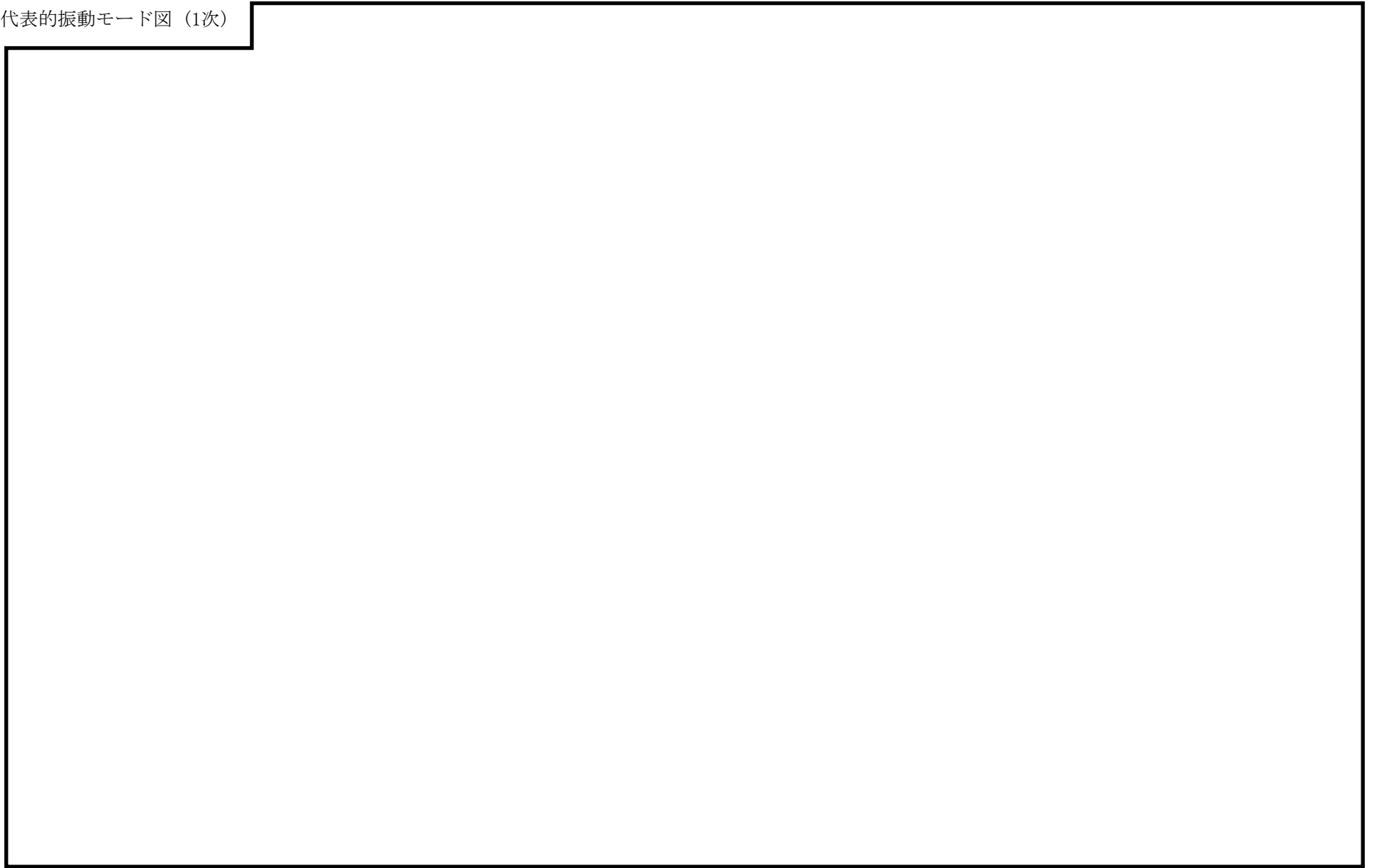
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

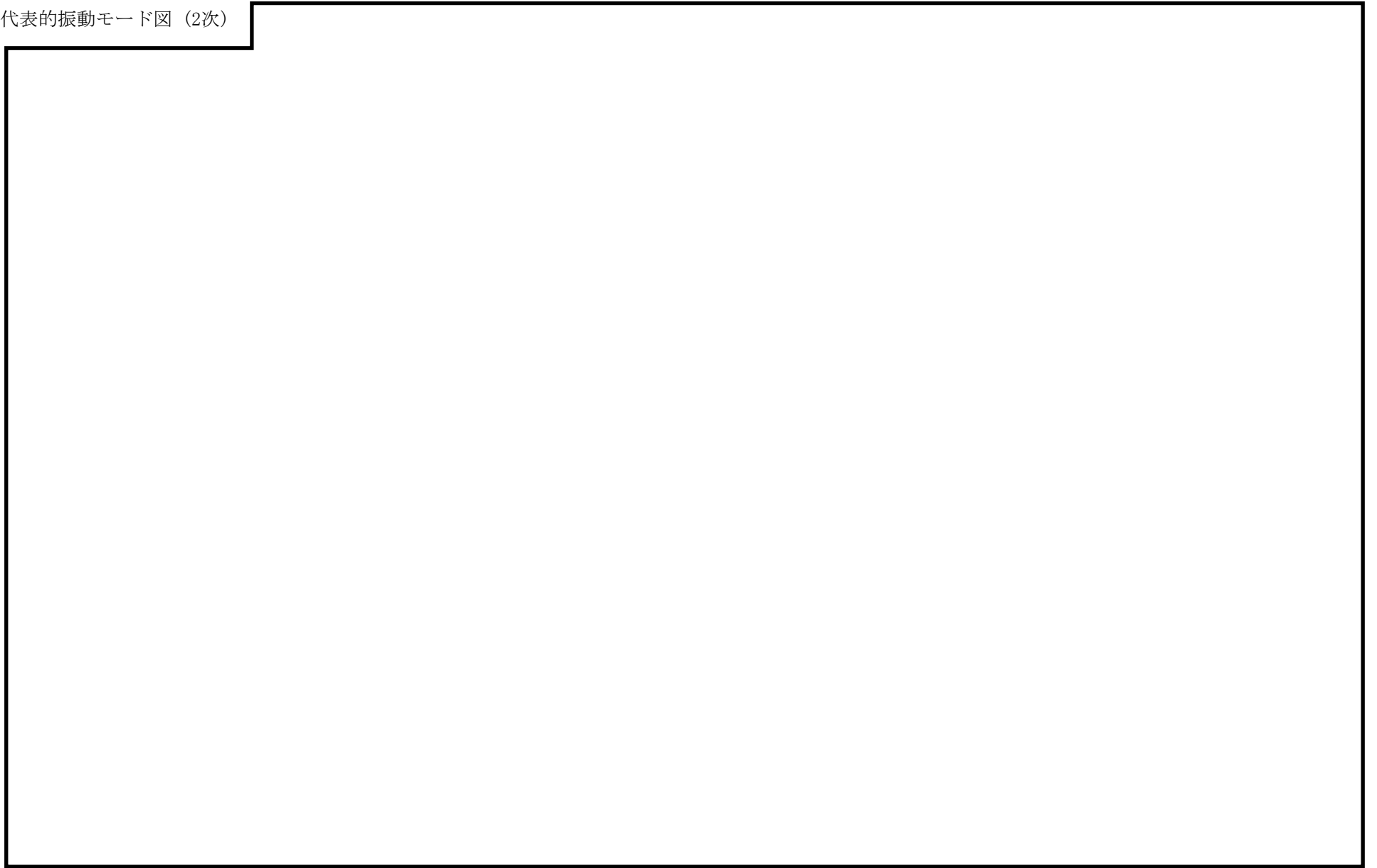
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-3	419	133	365	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-3	419	218	448	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	RCW-R-3	419	133	365	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RCW-R-3	419	218	448	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	—	—	—	
—	オイルスナッパ	—		—	—	—	
RE-AHEF-7	ロッドレストレイント	RSA-6		35	108	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-AHEF-2	レストレイント	ラグ	SM400B	85	27	44	49	—	—	—	組合せ	41	239
AN-RCW-2521	アンカ	ラグ	SGV410	85	31	18	25	11	26	23	組合せ	58	142

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RCW-R-3	419	133	365	2.74	○	419	218	448	2.05	—	○
2	RCW-R-4	211	83	365	4.39	—	211	134	448	3.34	—	—
3	RCW-R-6	424	68	365	5.36	—	427	102	448	4.39	—	—
4	RCW-R-7	197	75	365	4.86	—	189	114	448	3.92	—	—
5	RCW-R-12	131	83	365	4.39	—	135	138	448	3.24	—	—
6	RCW-R-18	142	77	365	4.74	—	142	125	448	3.58	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RCW-R-3	419	133	365	2.74	○	419	218	448	2.05	—	○
2	RCW-R-4	211	83	365	4.39	—	211	134	448	3.34	—	—
3	RCW-R-6	424	68	365	5.36	—	427	102	448	4.39	—	—
4	RCW-R-7	197	75	365	4.86	—	189	114	448	3.92	—	—
5	RCW-R-12	131	83	365	4.39	—	135	138	448	3.24	—	—
6	RCW-R-18	142	77	365	4.74	—	142	125	448	3.58	—	—

VI-2-5-8 原子炉冷却材浄化設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-8-1 原子炉浄化系の耐震性についての計算書

VI-2-5-8-1-1 管の耐震性についての計算書
(原子炉浄化系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力	21
3.5 設計用地震力	22
4. 解析結果及び評価	23
4.1 固有周期及び設計震度	23
4.2 評価結果	29
4.2.1 管の応力評価結果	29
4.2.2 支持構造物評価結果	30
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	31
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	32

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉浄化系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






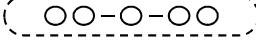

(3) 弁

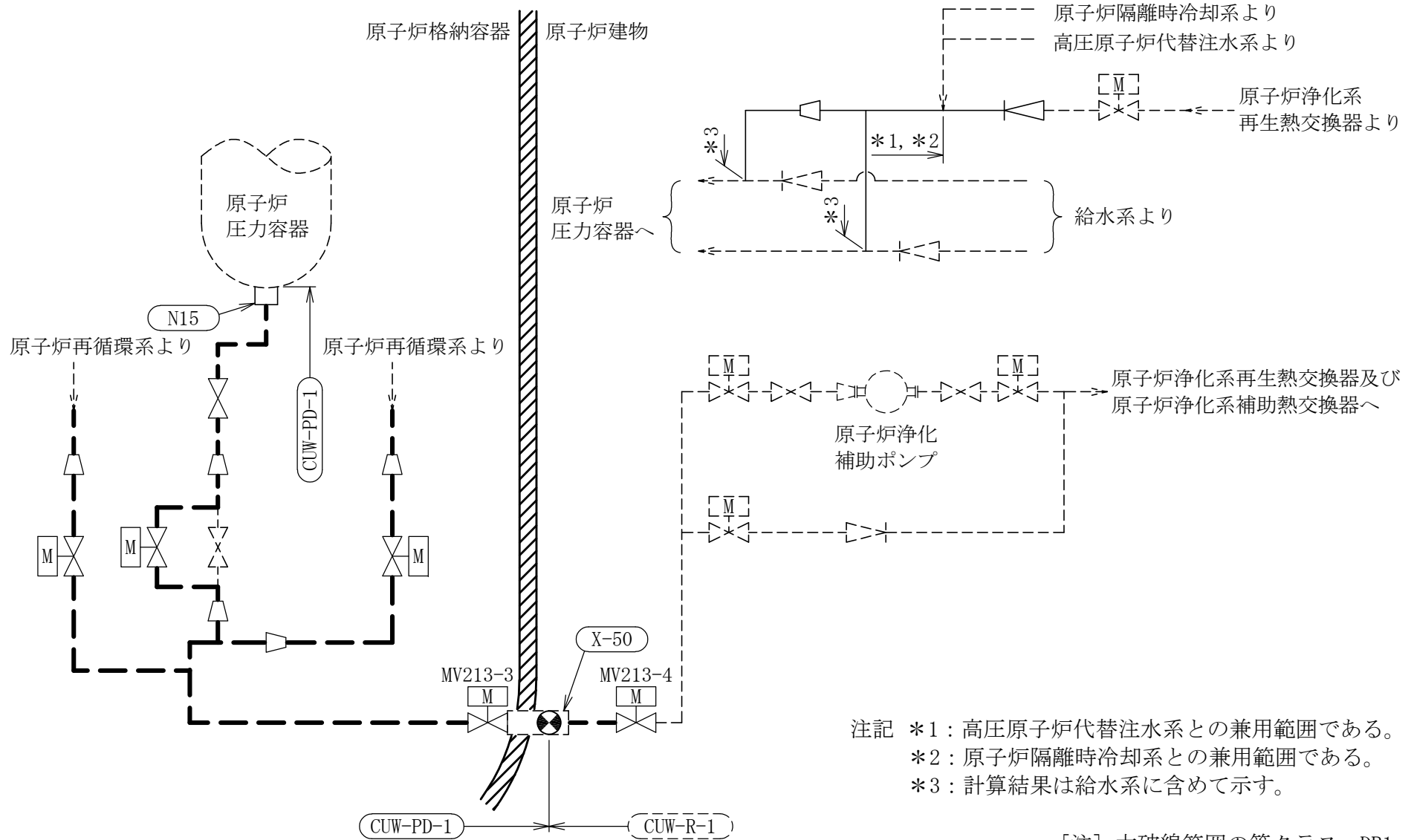
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例



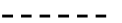


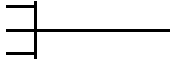
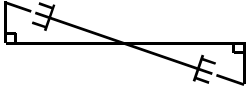
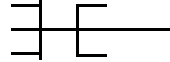
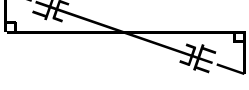

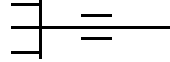
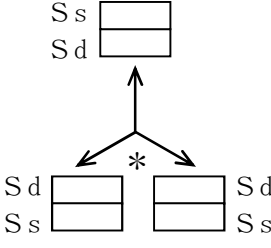
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



原子炉浄化系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

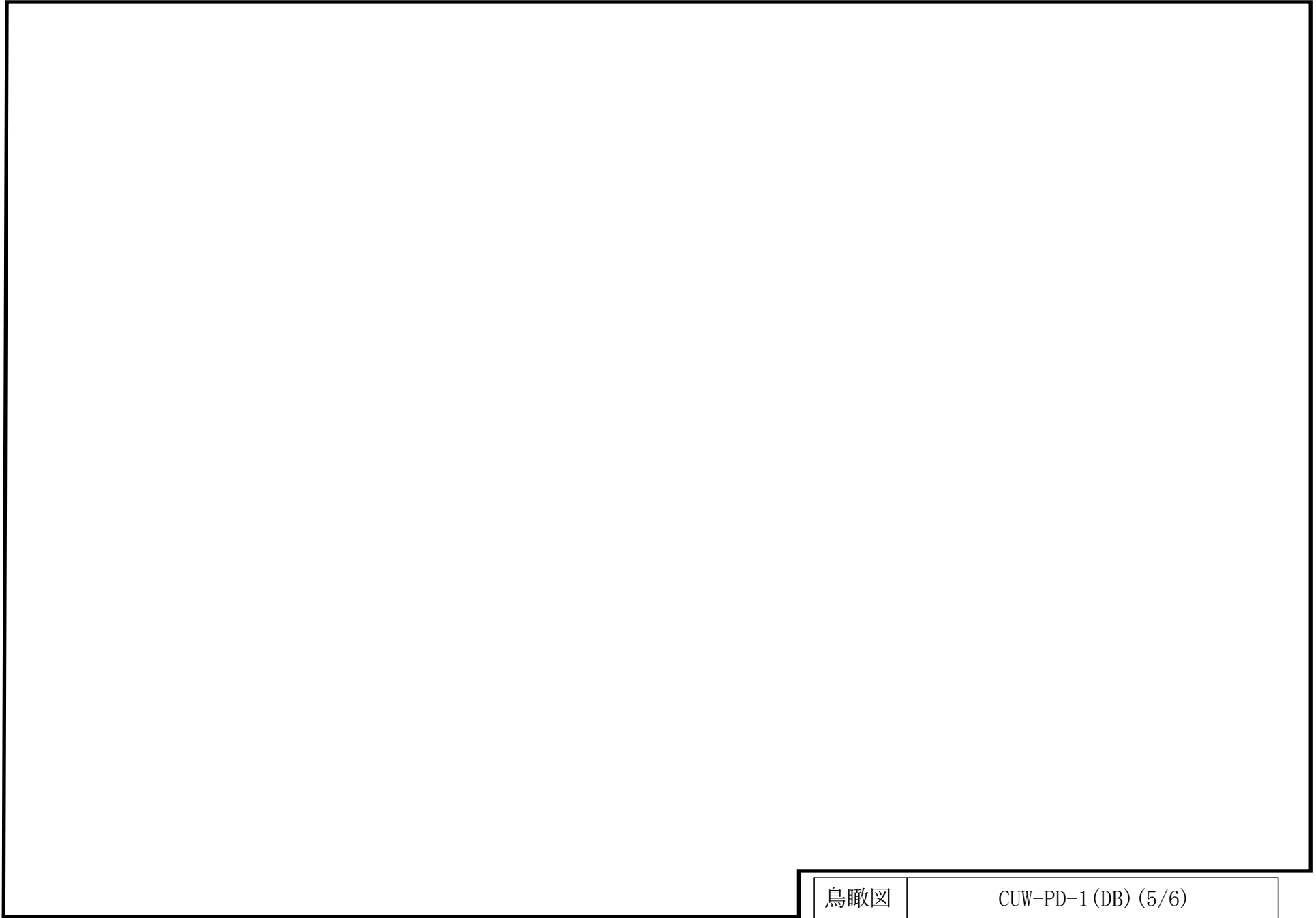
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R1

∞

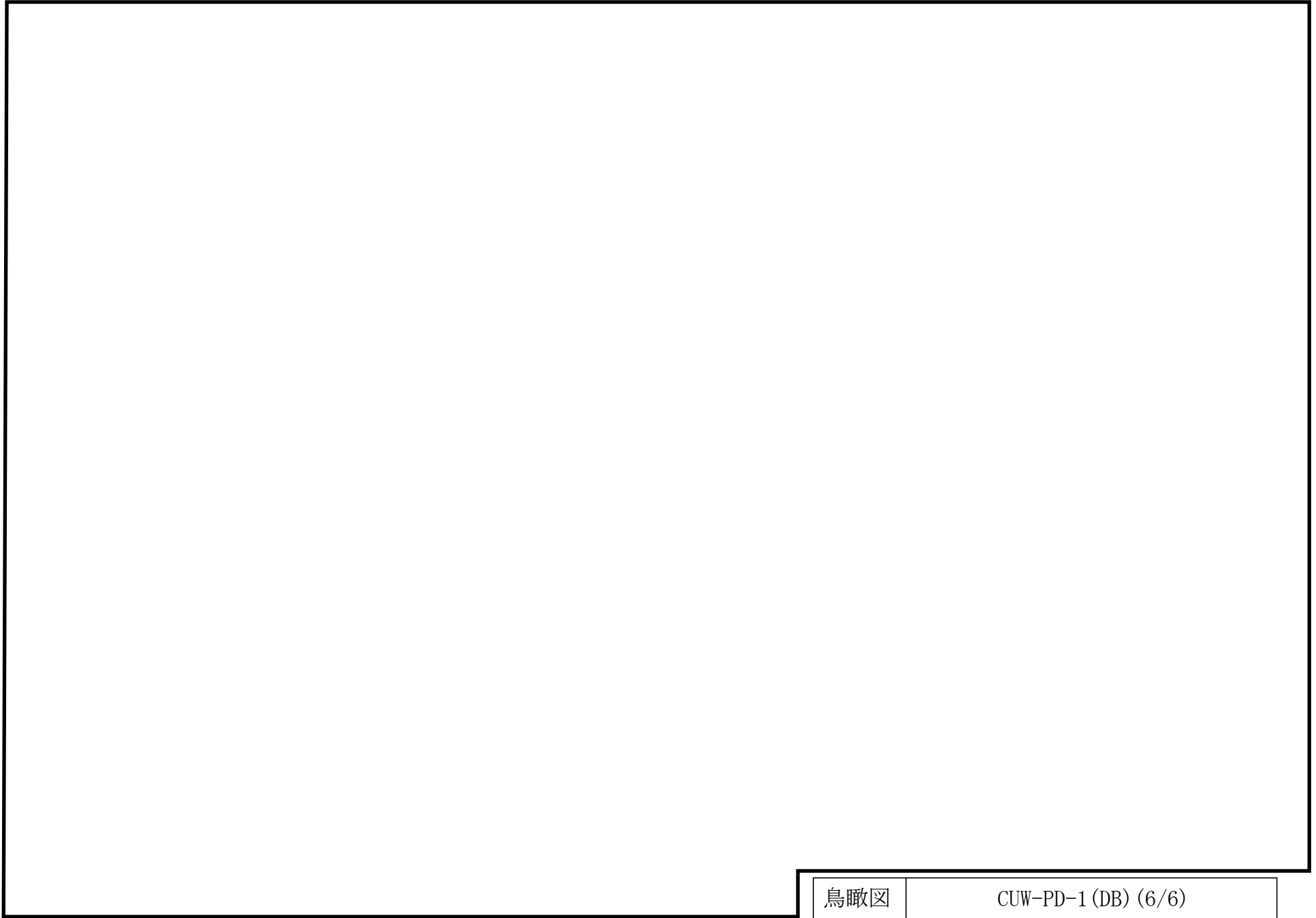
鳥瞰図

CUW-PD-1 (DB) (4/6)



鳥瞰図

CUW-PD-1 (DB) (5/6)



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2, *3}	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉浄化系	DB	—	クラス1管	S	I _L + S _d	III _A S
							II _L + S _d	
							I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d	

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1~3, 234~236	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
2	3~8, 229~234	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
3	9~29, 30~34 66~205, 206~228	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
4	35~100	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
5	48~306	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
6	307~313, 324~330 313~407, 408~324	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
7	331~333, 334~374N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～3, 234～236	165.2	11.0	SUSF316	S	176960
2	3～8, 229～234	165.2	11.0	SUS316TP	S	176960
3	9～29, 30～34 66～205, 206～228	216.3	12.7	SUS316TP	S	176960
4	35～100	267.4	15.1	SUS316TP	S	176960
5	48～306	114.3	8.6	SUS316TP	S	176960
6	307～313, 324～330 313～407, 408～324	89.1	7.6	SUS316TP	S	176960
7	331～333, 334～374N	60.5	8.7	STS42	S	186920

配管の付加質量

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

質量	対応する評価点
	1～8, 229～236
	9～1601, 1801～23, 27～29, 30～31, 3301～34 66～202, 204～205, 206～2072, 2120～2140, 2150～2170 226～228
	1601～1801, 23～27, 31～3301, 202～204, 2072～2120 2140～2150, 2170～226
	35～37, 40～42, 4501～5001, 54～57, 6401～69 7201～7801, 81～8202, 86～8801, 97～100
	37～40, 42～4501, 5001～54, 57～6401, 69～7201 7801～81, 8202～86, 8801～97, 48～302, 305～306
	302～305
	307～3070, 3110～313, 324～328, 329～330, 313～4020 4060～407, 408～324
	3070～3110, 328～329, 4020～4060
	331～3310, 3320～333, 334～339, 347～351, 357～360 362～368, 3710～374N
	3310～3320, 339～347, 351～357, 360～362, 368～3710

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R1

弁部の質量

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	29～2901, 2901～30		205～2051, 2051～206
	29, 30, 205, 206		2901, 2051
	2902, 2052		2904, 2054
	100～1001, 1001～101		100, 101
	1001		1002
	1005		333～334
	407～4071, 4071～408		407, 408
	4071		4072
	4074		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
29~2901				2901~2902			
2902~2903				2903~2904			
2901~30				100~1001			
1001~1002				1002~1003			
1003~1004				1004~1005			
1001~101				205~2051			
2051~2052				2052~2053			
2053~2054				2051~206			
333~334				407~4071			
4071~4072				4072~4073			
4073~4074				4071~408			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1						
11						
** 14 **						
** 24 **						
28						
28						
** 2903 **						
** 2903 **						
32						
41						
** 45 **						
** 6001 **						
61						
64						
68						
** 74 **						
** 74 **						
77						
** 82 **						
** 83 **						
95						

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 99 **						
** 99 **						
** 1003 **						
108A						
2053						
** 2053 **						
2071						
208						
** 209 **						
** 210 **						
** 215 **						
** 223 **						
225						
** 225 **						
236						
** 326 **						
332						
** 332 **						
** 336 **						

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 341 **						
343						
** 346 **						
** 346 **						
350						
** 350 **						
356						
** 356 **						
** 362 **						
N1						
402						
** 403 **						
** 406 **						
** 4073 **						

S2 補 VI-2-5-8-1-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUSF316	302	118	—	—	—
SUS316TP	302	118	—	—	—
STS42	302	122	—	—	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
CUW-PD-1	原子炉圧力容器 ペDESTAL	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
15次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CUW-PD-1

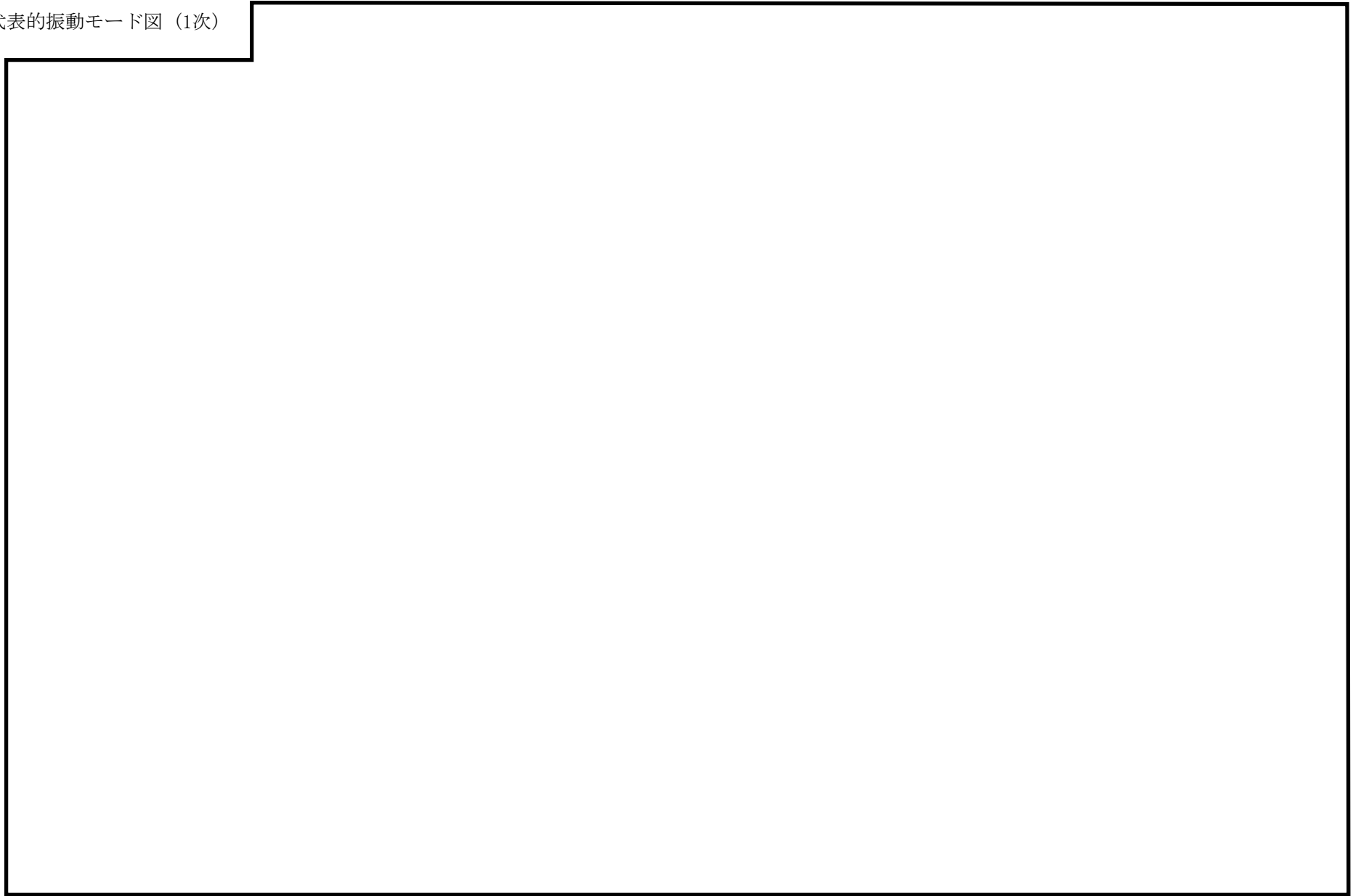
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
15次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

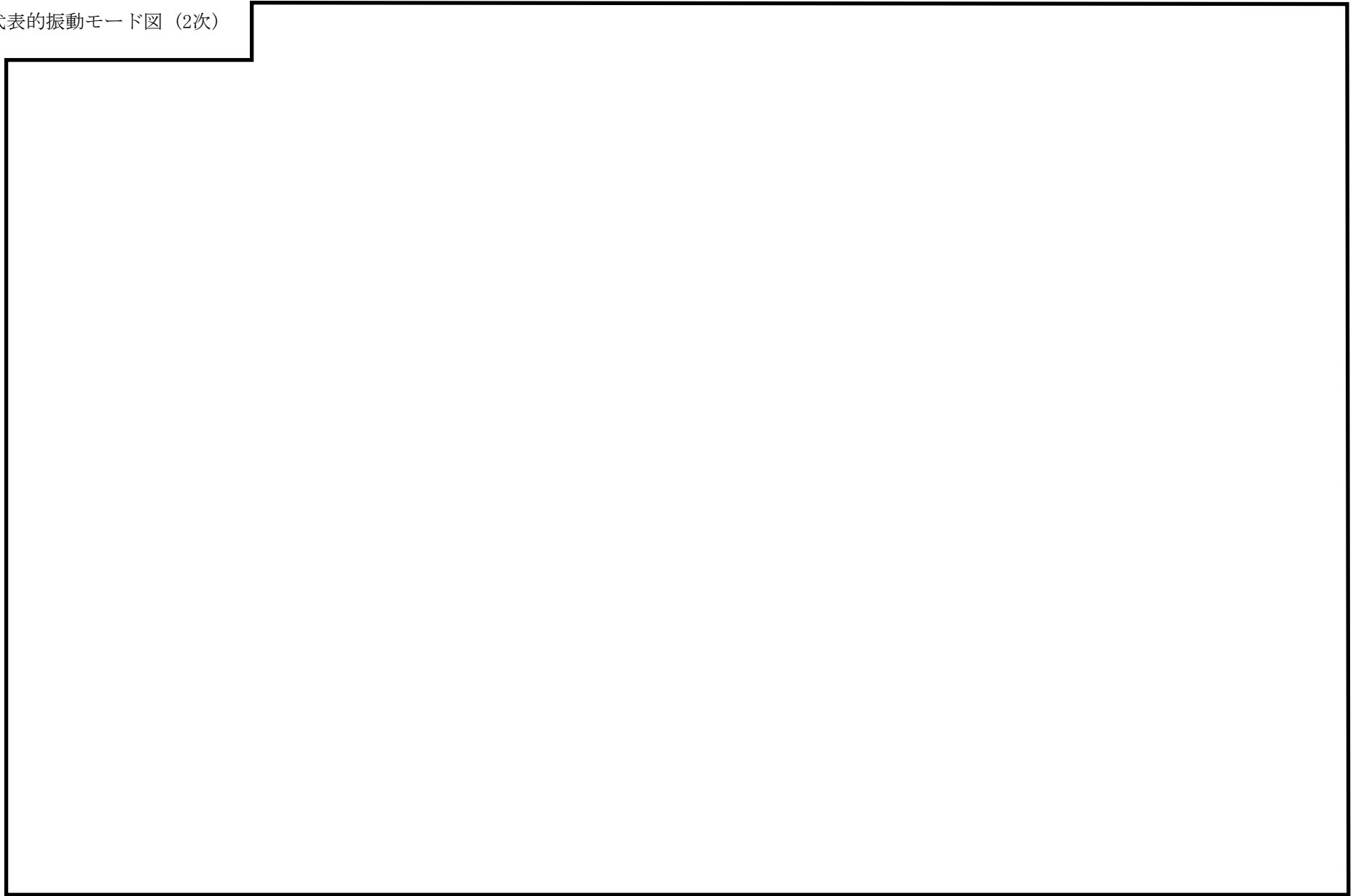
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

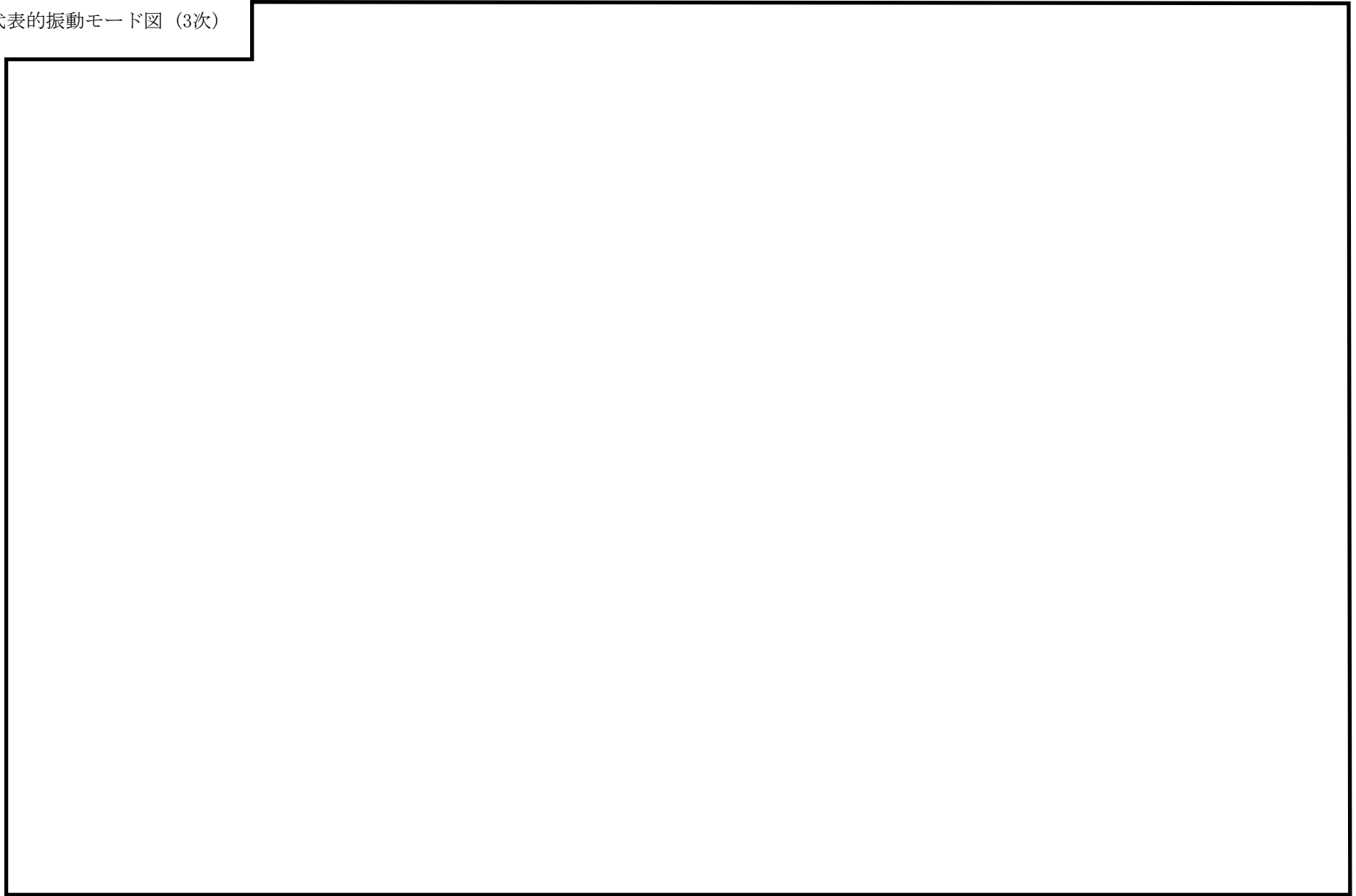
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S p r m (2.25 \cdot S m)$	CUW-PD-1	324	TEE	110	265	—
		ねじり $S t (0.55 \cdot S m)$	CUW-PD-1	4	ELBOW	45	64	—
		ねじり+曲げ $S t + S b (1.8 \cdot S m)$	CUW-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S n (3 \cdot S m)$		CUW-PD-1	4	ELBOW	274	354	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		CUW-PD-1	331	REDUCER	—	—	0.7792
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S p r m (3 \cdot S m)$	CUW-PD-1	324	TEE	161	354	—
		ねじり $S t (0.73 \cdot S m)$	CUW-PD-1	405	ELBOW	86	86	—
		ねじり+曲げ $S t + S b (2.4 \cdot S m)$	CUW-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S n (3 \cdot S m)$		CUW-PD-1	4	ELBOW	460	354	0.0159
	疲労累積係数 $U + U S s$		CUW-PD-1	331	REDUCER	—	—	0.7792

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SNO-CUW-44	オイルスナッパ	SN-6			48	90	—
RE-CUW-18-2	ロッドレストレイント	RSA-6			57	108	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-CUW-13	レストレイント	パイプバンド	STKR400	302	0	58	0	—	—	—	圧縮	24	99
AN-CUW-201	アンカ	ラグ	SGV480	302	166	78	128	49	77	62	組合せ	59	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
MV213-3	電動ゲート弁	α (S s)	3.7	1.0	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV213-4	電動ゲート弁	α (S s)	3.1	1.2	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	CUW-PD-1	324	110	265	2.40	○	4	274	354	1.29	○	331	0.7792	○
2	CUW-R-1	2	74	265	3.58	—	2	35	354	10.11	—	2	0.0025	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	CUW-PD-1	324	161	354	2.19	○	4	460	354	0.76	○	331	0.7792	○
2	CUW-R-1	2	83	354	4.26	—	2	62	354	5.70	—	2	0.0025	—