

VI-2-2-32 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書

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 解析方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 解析方法	9
3.1 評価対象断面	9
3.2 解析方法	12
3.2.1 構造部材	12
3.2.2 地盤	15
3.2.3 減衰定数	16
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	17
3.3 荷重及び荷重の組合せ	19
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	19
3.3.2 荷重	19
3.3.3 荷重の組合せ	20
3.4 入力地震動	21
3.4.1 A-A断面及びB-B断面の入力地震動	22
3.4.2 C-C断面の入力地震動	34
3.5 解析モデル及び諸元	46
3.5.1 解析モデル	46
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	49
3.5.3 地盤の物性値	49
3.5.4 地下水位	49
4. 解析結果	50
4.1 A-A断面の解析結果	50
4.2 B-B断面の解析結果	63
4.3 C-C断面の解析結果	76

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出するものである。その際、耐震評価に用いる応答値は、この地震応答解析により構造物に発生する変形、断面力及び基礎地盤に発生する接地圧とする。また、機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の位置図を図 2-1 に示す。

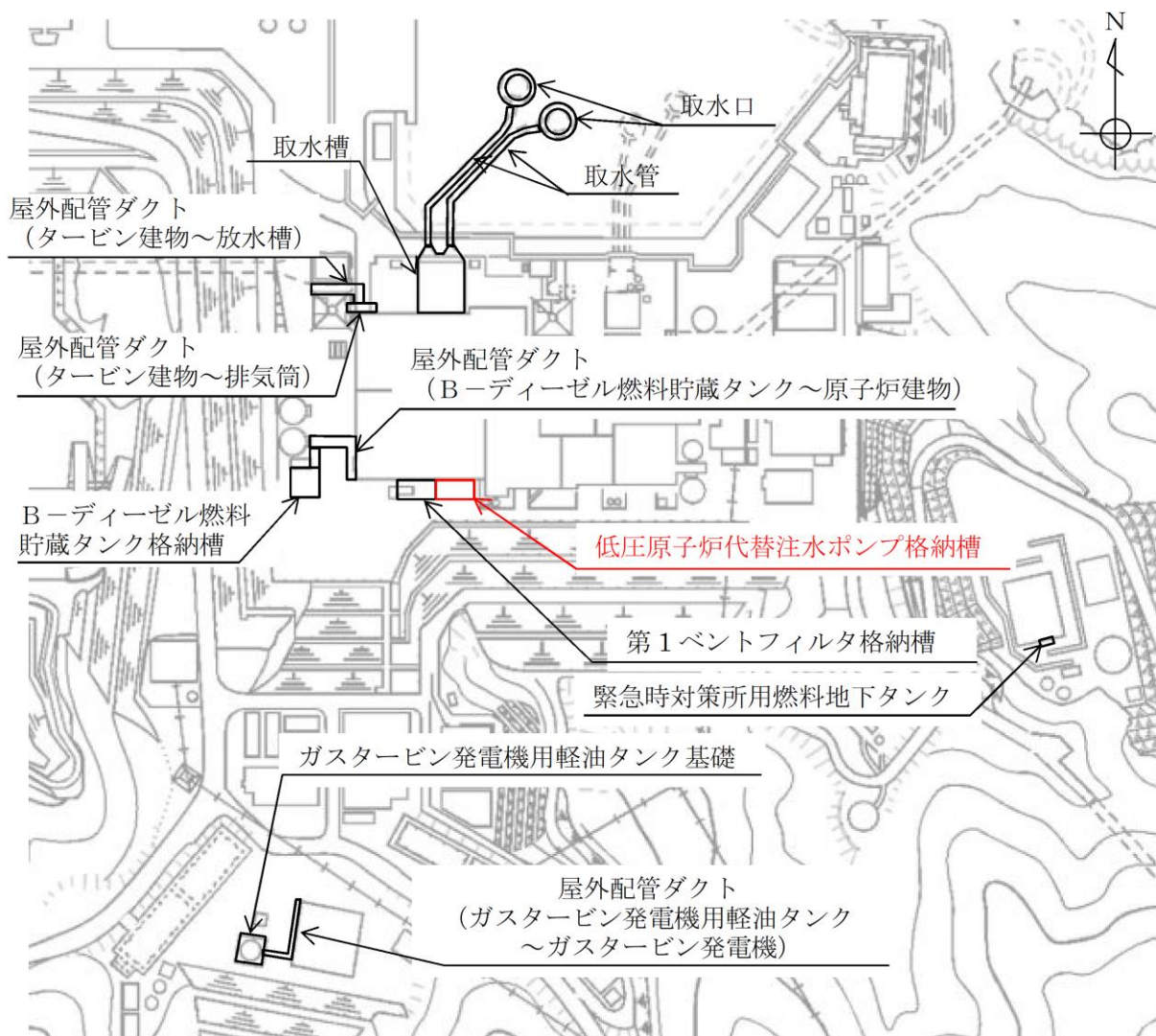


図 2-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 位置図

2.2 構造概要

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の平面図を図 2-2、断面図を図 2-3～図 2-6 に示す。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、低圧原子炉代替注水槽を有し、低圧原子炉代替注水ポンプ等を間接支持する幅 26.6m (EW 方向) × 13.4m (NS 方向)、高さ約 21.2m の鉄筋コンクリート造の地中 (一部地上部を含む) 構造物であり、直接又はマンメイドロック (以下「MMR」という。) を介して十分な支持性能を有する C_M級及び C_H級岩盤に支持される。



図 2-2 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

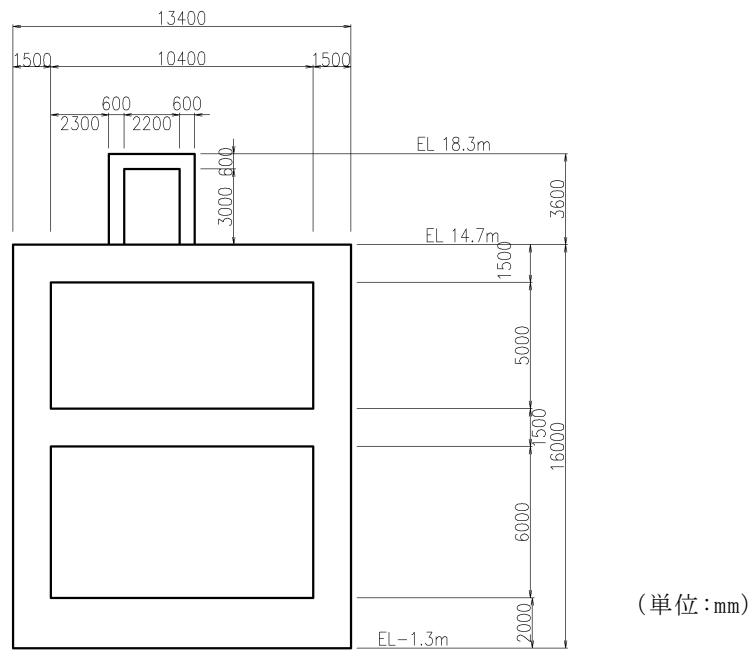


図 2-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A断面)

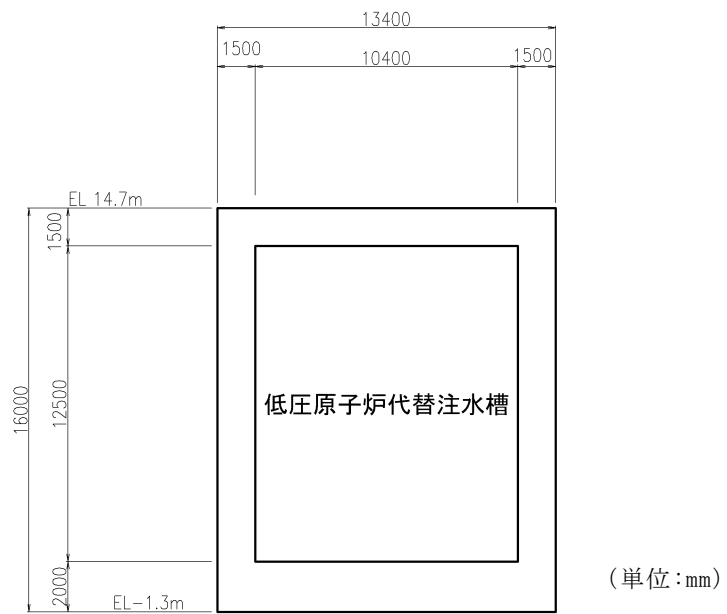


図 2-4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B断面)

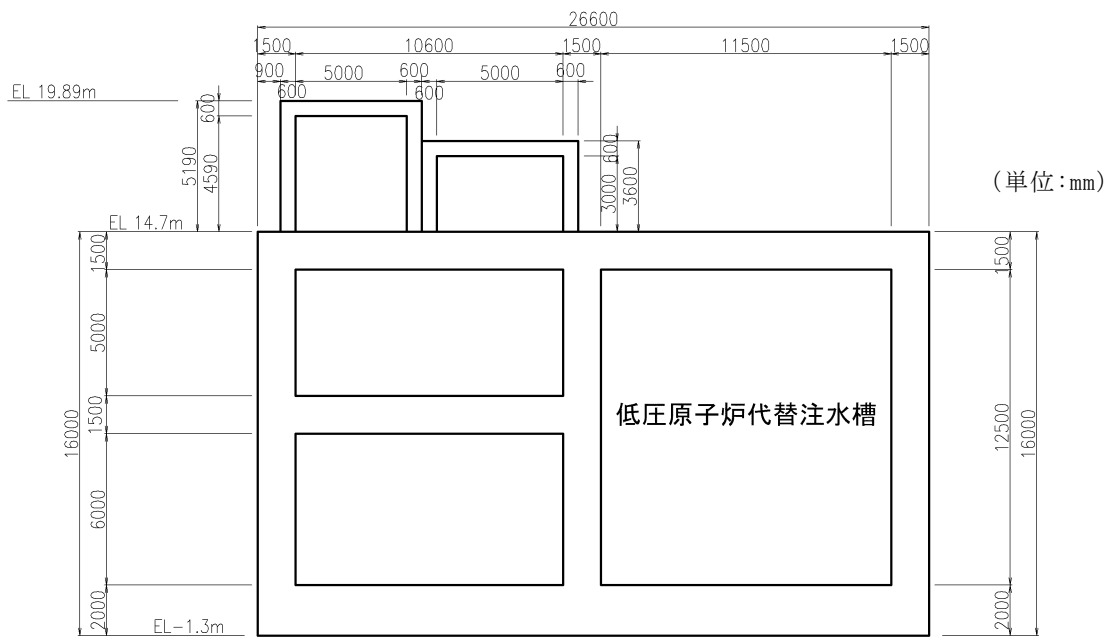


図 2-5 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C断面)

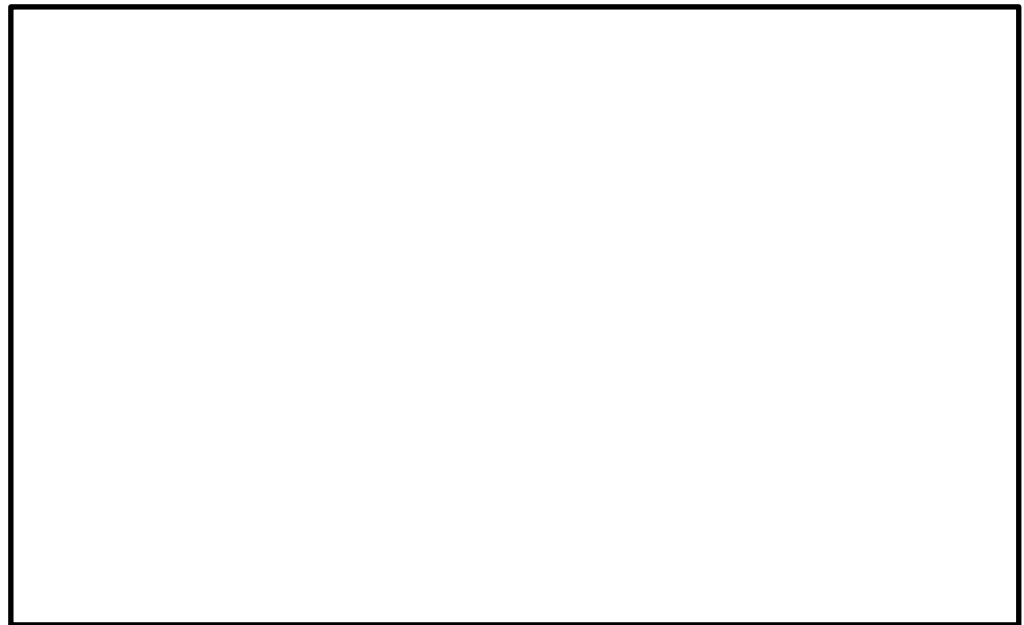


図 2-6 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (D-D断面)

2.3 解析方針

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s に対して地震応答解析を実施する。

図 2-7 に低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「2. 基本方針」に基づき、「3.1 評価対象断面」に示す断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴非線形解析により行うこととし、地盤物性のばらつきを適切に考慮する。

時刻歴応答解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、機器・配管系の設計用床応答スペクトルの作成に用いる。また、変形、断面力及び基礎地盤の接地圧は、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震評価に用いる。

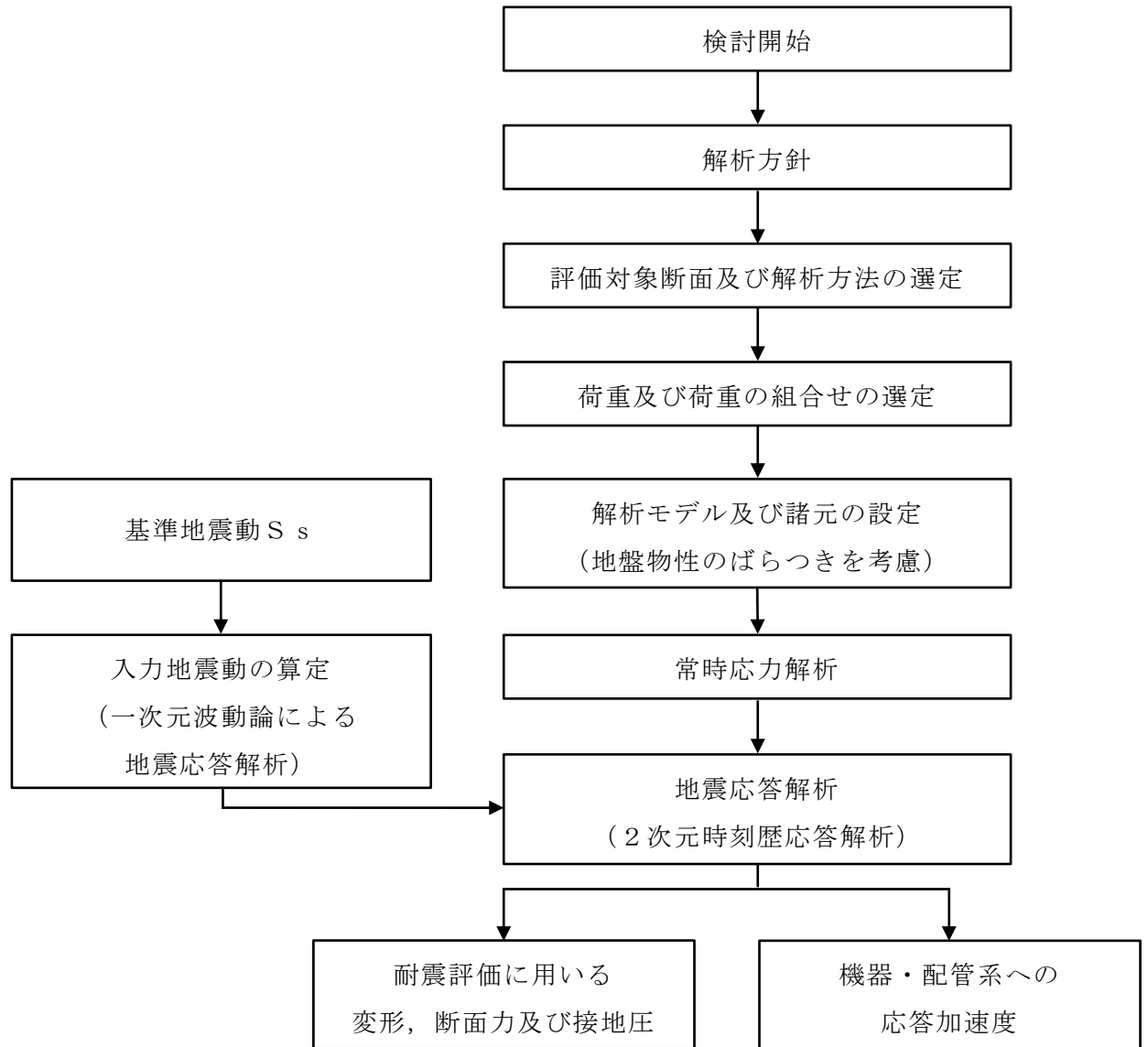


図 2-7 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）
- ・道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（日本道路協会，2002年）

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の評価対象断面位置図を図 3-1 に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面及び機器・配管系に対する床応答算定断面は、図 3-1 の A-A 断面、B-B 断面及び C-C 断面とする。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響確認については、図 3-1 の C-C 断面の妻壁に対して実施することとし、評価結果は VI-2-12 「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」にて示す。

評価対象断面を図 3-2～図 3-4 に示す。

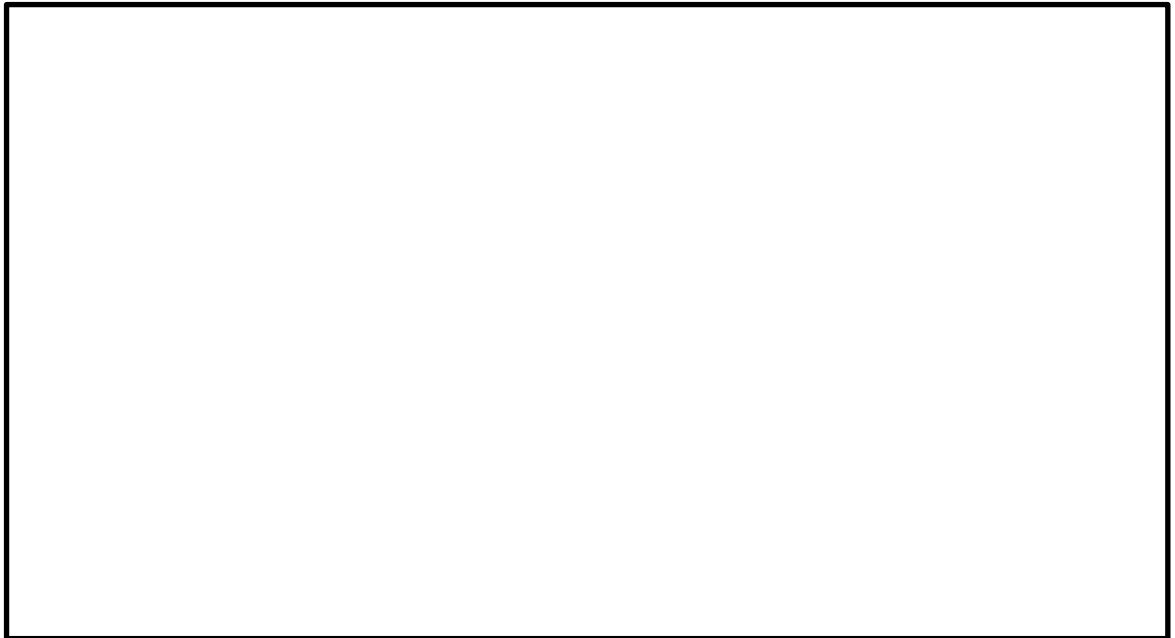


図 3-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面位置図

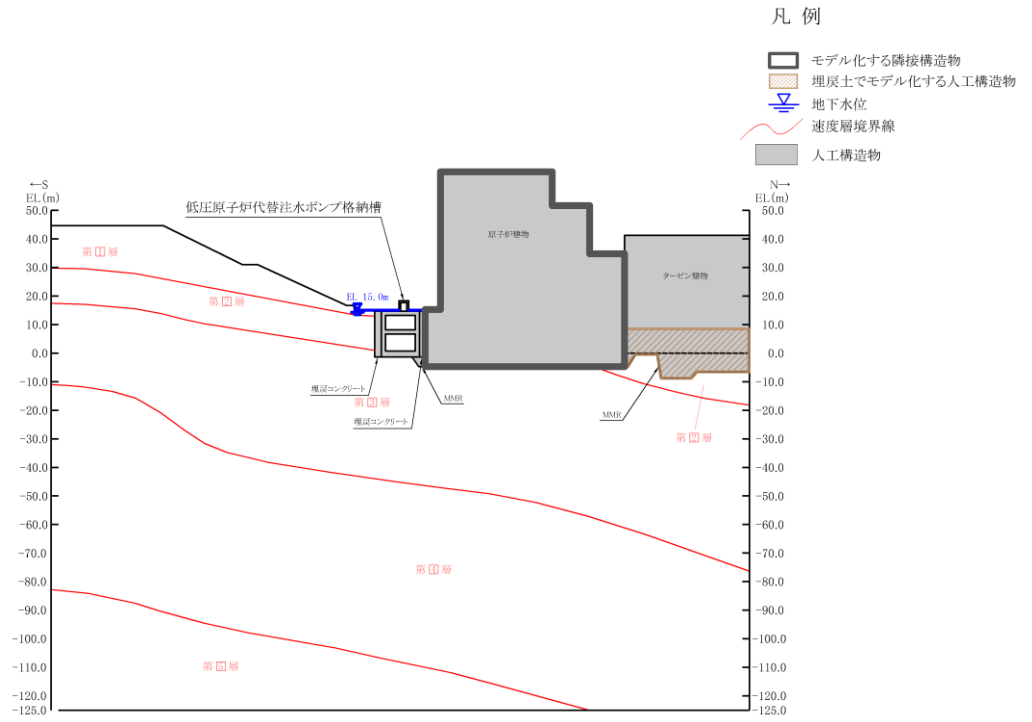


図 3-2 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (A-A断面)

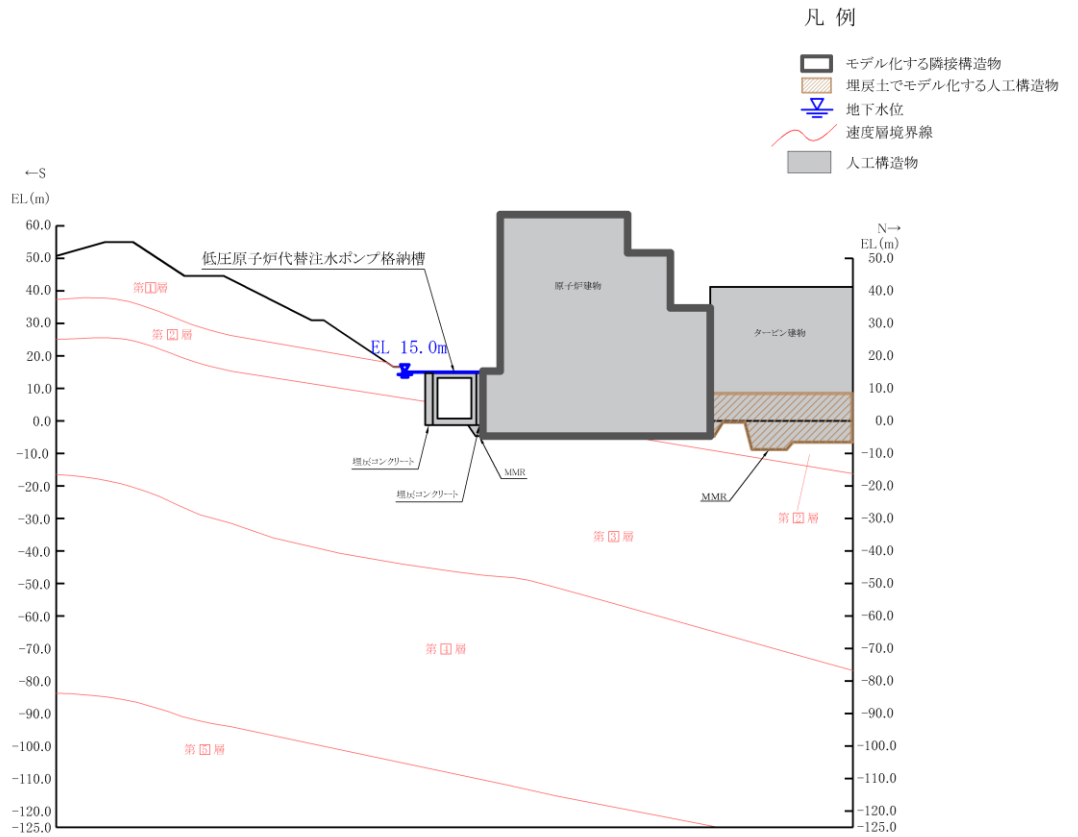


図 3-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (B-B断面)

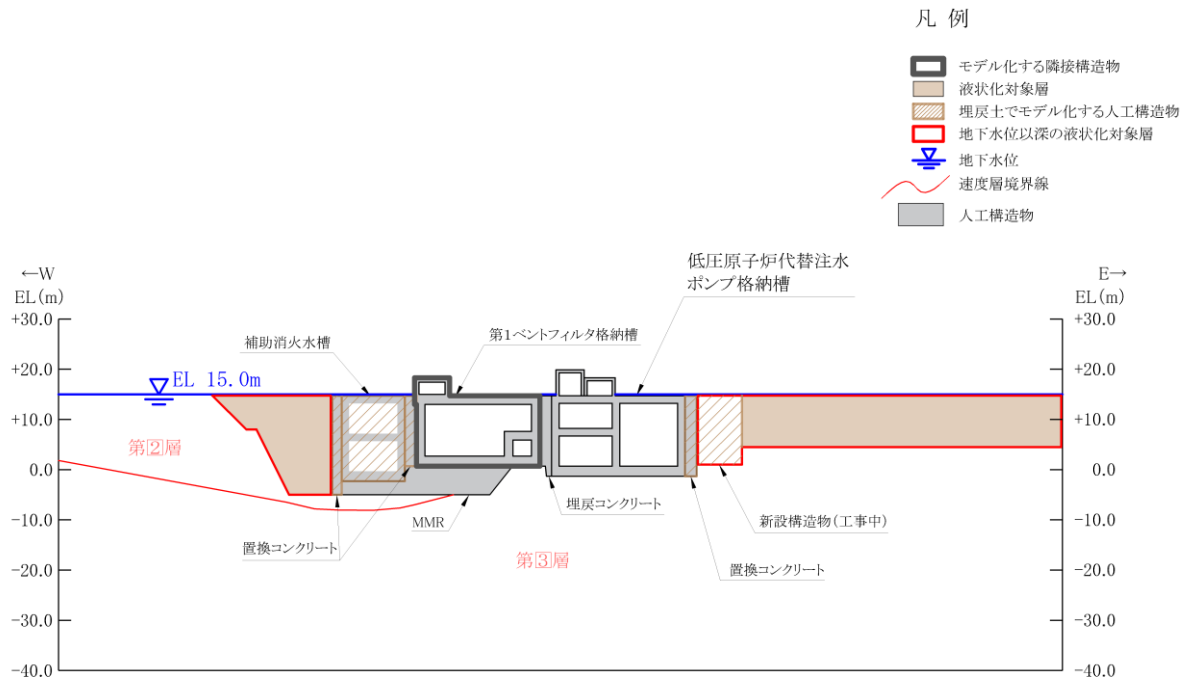


図 3-4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面図 (C-C 断面)

3.2 解析方法

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行う。A-A断面は及びB-B断面は、施設周辺の設計地下水位が底版より高いが施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため解析手法の選定フローに基づき「全応力解析」を選定する。

C-C断面は、西側は埋戻コンクリートを介して常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設である第1ベントフィルタ格納槽と接しているが、東側は置換コンクリートを介して地下水位以深の液状化対象層が施設と接するため、解析手法のフローに基づき「有効応力解析」を選定する。

構造部材については、全応力解析においてはファイバーモデルで考慮し、有効応力解析においては鉄筋コンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析の解析コードについては、全応力解析では「TDAPⅢ」、有効応力解析では「FLIP」を使用する。なお、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。

3.2.1 構造部材

全応力解析における鉄筋コンクリート部材は、ファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形特性を考慮する材料非線形モデルであり（図3-5参照）、図3-6に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。

有効応力解析における鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素でモデル化することとし、図3-7に示す $M-\phi$ 関係のトリリニアモデルとする。履歴特性は、図3-8に示すとおり修正武田モデルを適用し、図3-9に示すコンクリートの応力-ひずみ関係を考慮する。

また、図3-10に鉄筋の応力-ひずみ関係を示す。

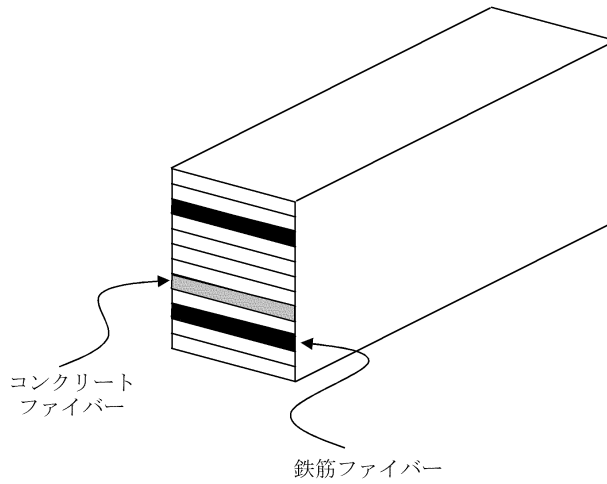
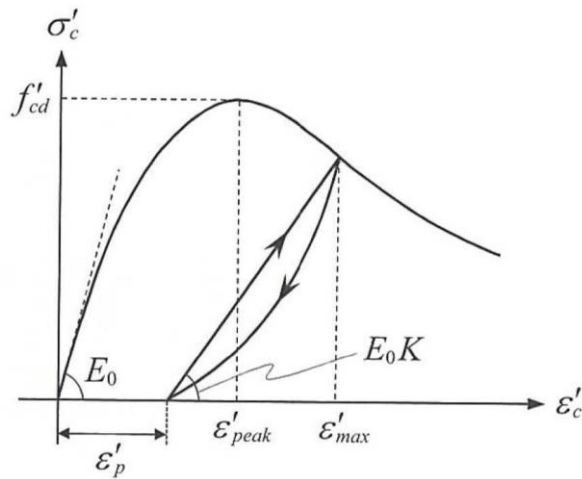
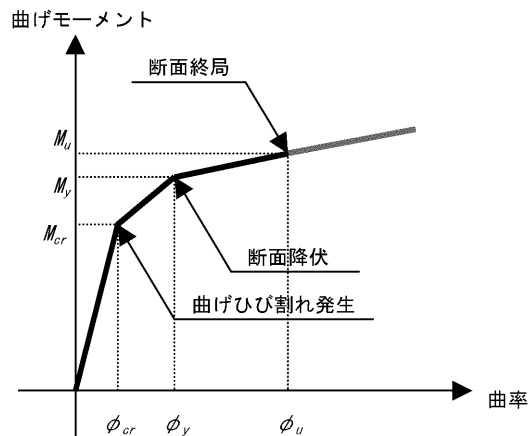


図 3-5 ファイバーモデルの概念図



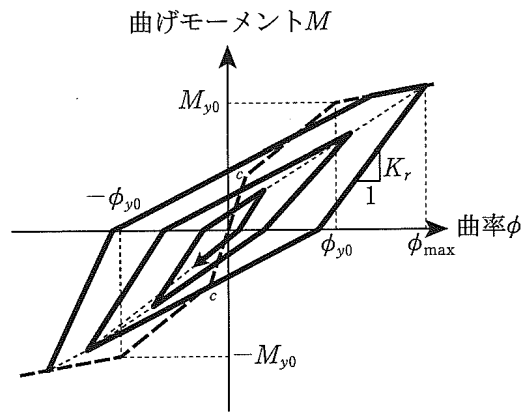
(コンクリート標準示方書[設計編] (土木学会, 2017年制定) より引用)

図 3-6 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



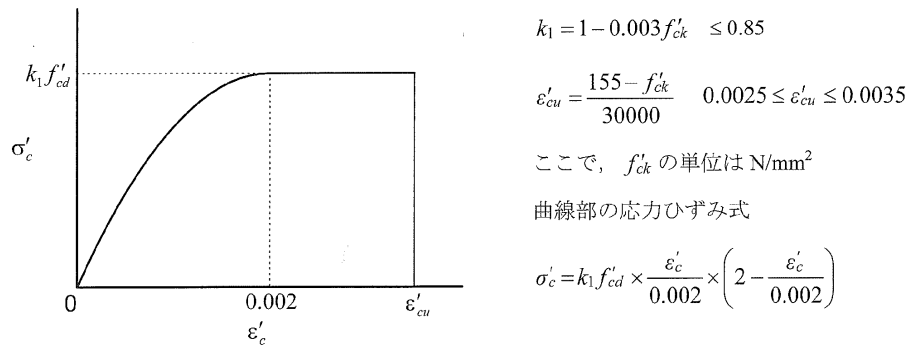
(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005年) より引用)

図 3-7 鉄筋コンクリート部材のM- ϕ 関係



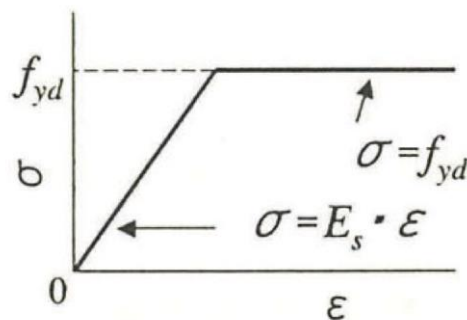
(道路橋示方書・同解説 V耐震設計編 (日本道路協会, 2002年) より引用)

図 3-8 鉄筋コンクリート部材の履歴特性 (修正武田モデル)



(コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定) より引用)

図 3-9 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定) より引用)

図 3-10 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

3.2.2 地盤

埋戻土及び岩盤の平均物性を用いて，表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	対象断面	解析手法	地盤物性	
			埋戻土 (G_o : 初期せん断 弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断 弾性係数)
ケース① (基本ケース)	A-A 断面	全応力解析	平均値	平均値
	B-B 断面	有効応力解析		
	C-C 断面	有効応力解析		

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

全応力解析では、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下のRayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

有効応力解析では、剛性比例型減衰 ($\alpha = 0$, $\beta = 0.002$) とする。なお、係数 β の設定については、「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」による。

固有値解析結果に基づき設定した α , β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

評価対象断面	α	β
A-A 断面	6.503×10^{-1}	1.106×10^{-3}
B-B 断面	6.448×10^{-1}	1.109×10^{-3}
C-C 断面	0.000	2.000×10^{-3}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、基本ケース（ケース①）を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-3に示す。

表3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ - *	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○
		-+*	○

注記*：地震動の位相について、++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

(2) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度抽出においても、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、基本ケース（ケース①）を実施する。機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケースを表3-4に示す。

表3-4 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ - *	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○
		-+*	○

注記*：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 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」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。風の影響は地震力と比較して小さいため考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重及び機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧、水圧及び積雪荷重 (P_s) を考慮する。

(3) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図3-11に入力地震動算定の概念図を示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「microSHAKE/3D」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

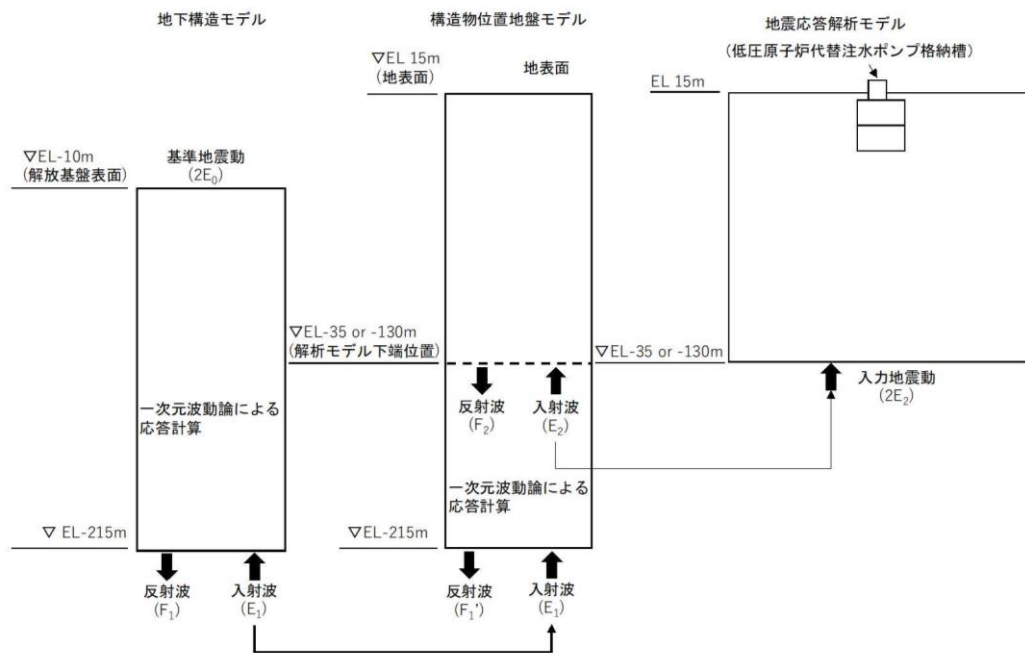
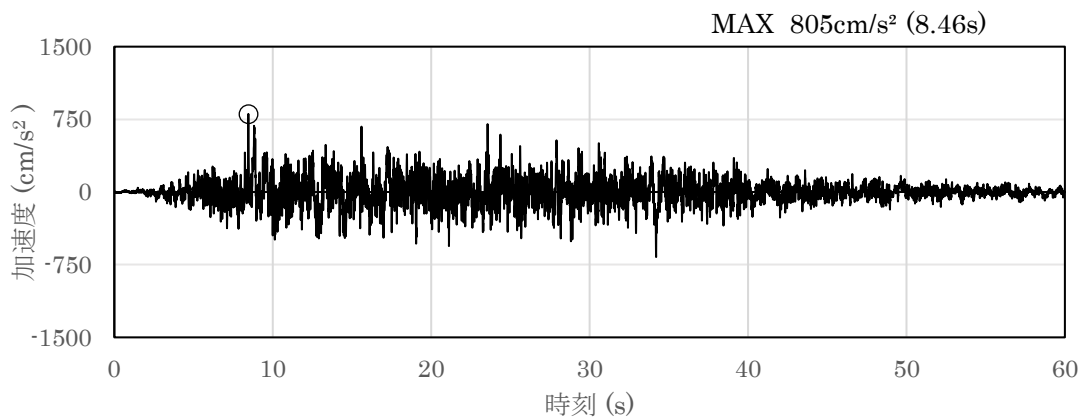


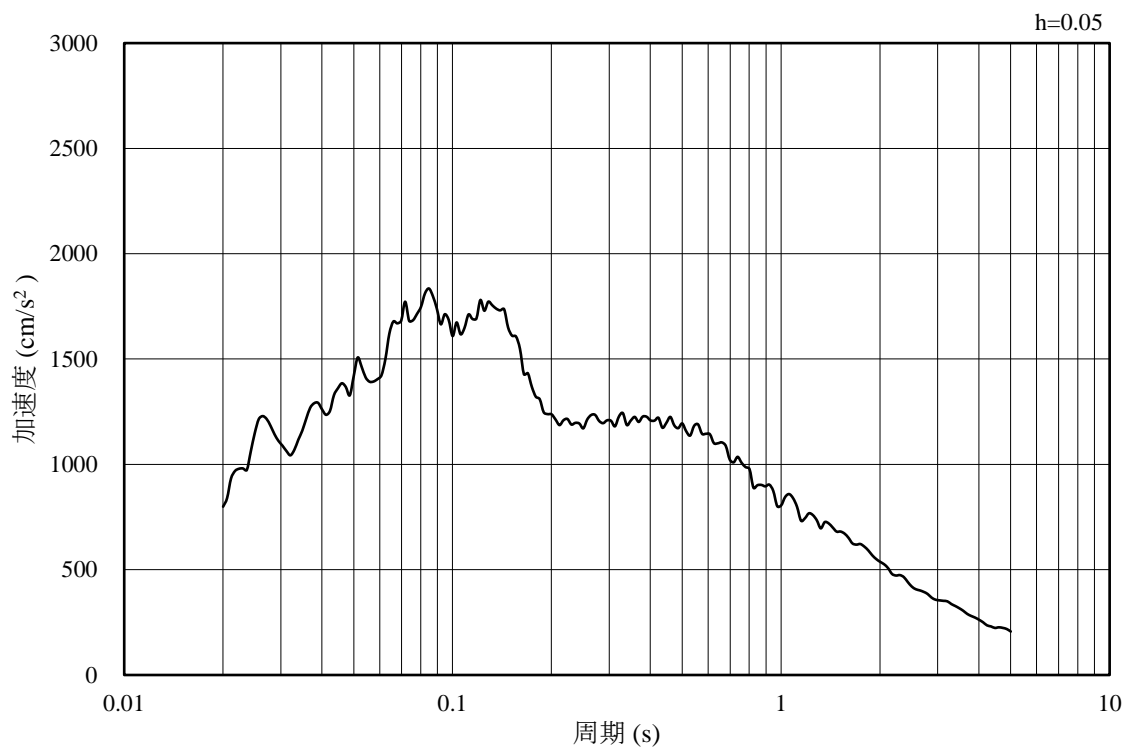
図3-11 入力地震動算定の概念図

3.4.1 A-A断面及びB-B断面の入力地震動

図3-12～図3-23にA-A断面及びB-B断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。

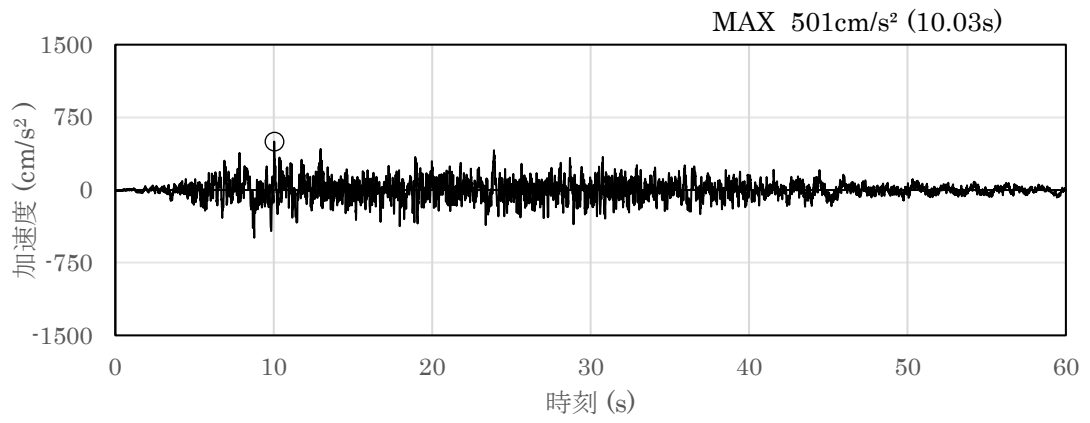


(a) 加速度時刻歴波形

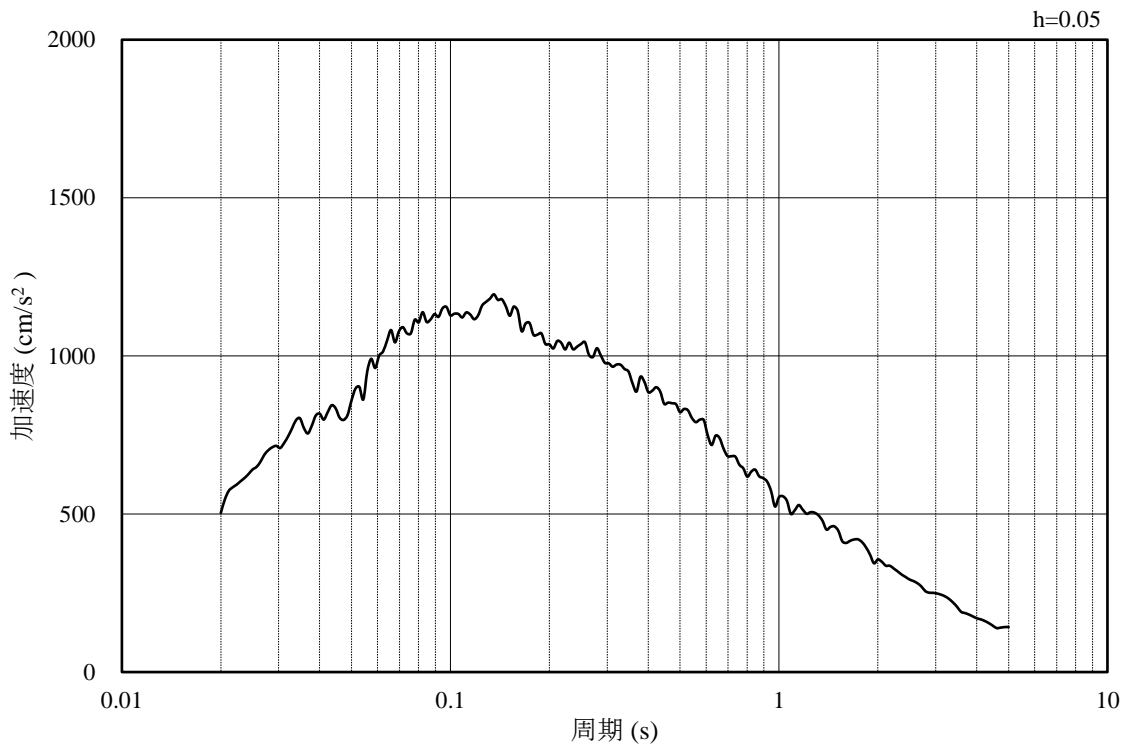


(b) 加速度応答スペクトル

図3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D, EL-130m)

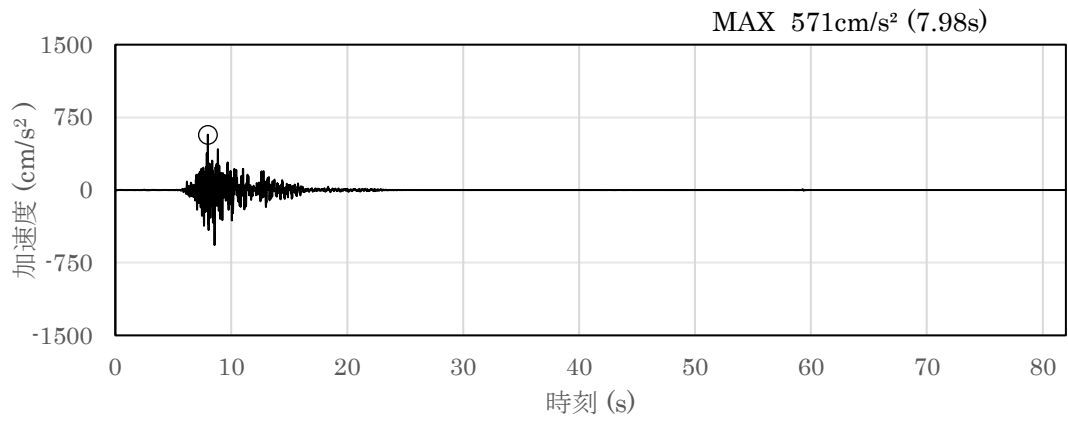


(a) 加速度時刻歴波形

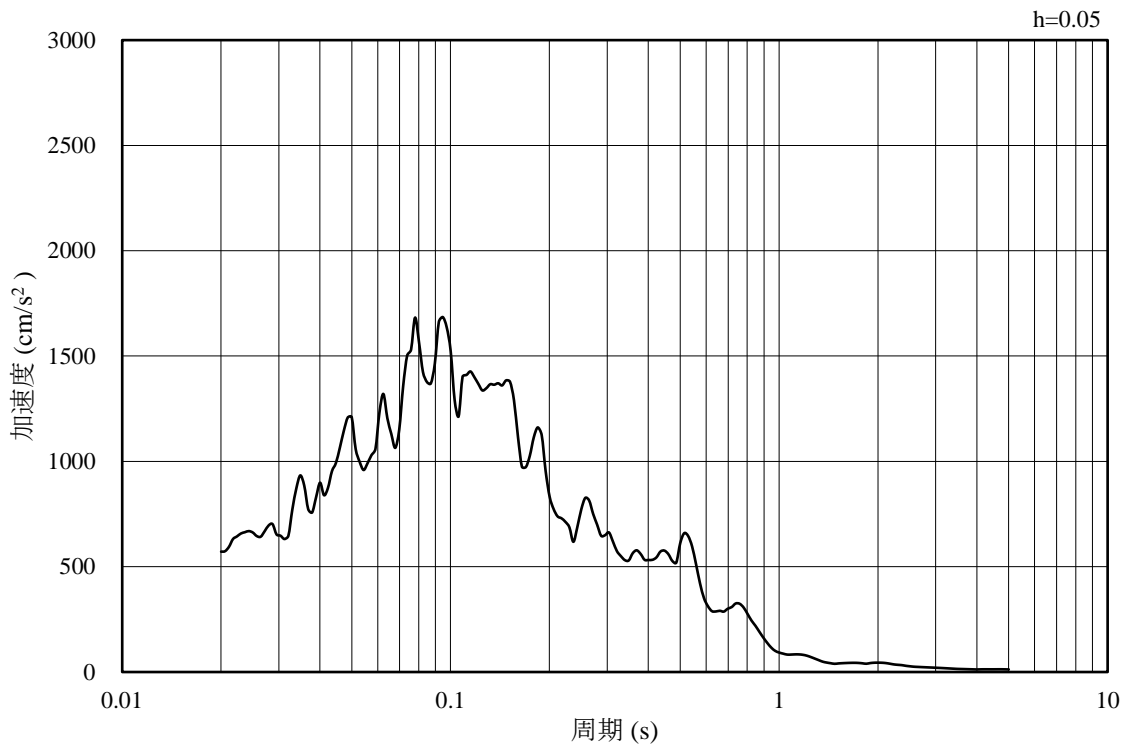


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D, EL-130m)

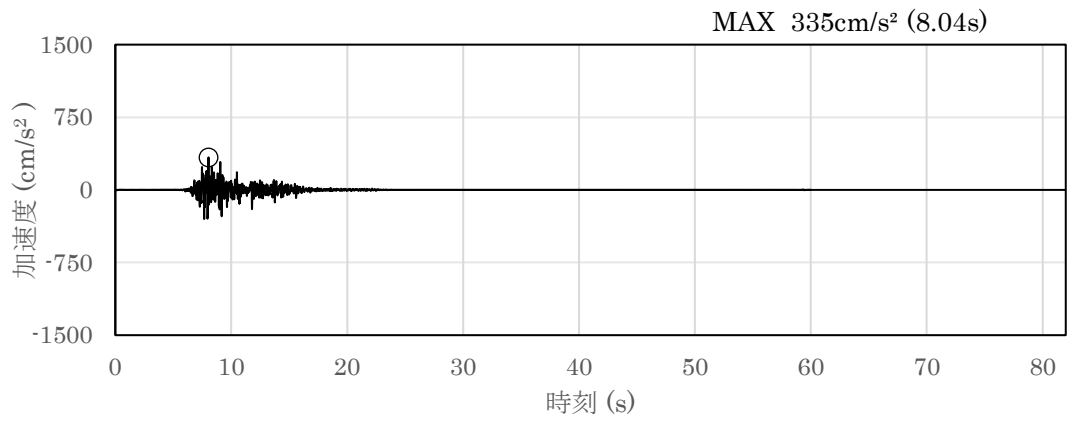


(a) 加速度時刻歴波形

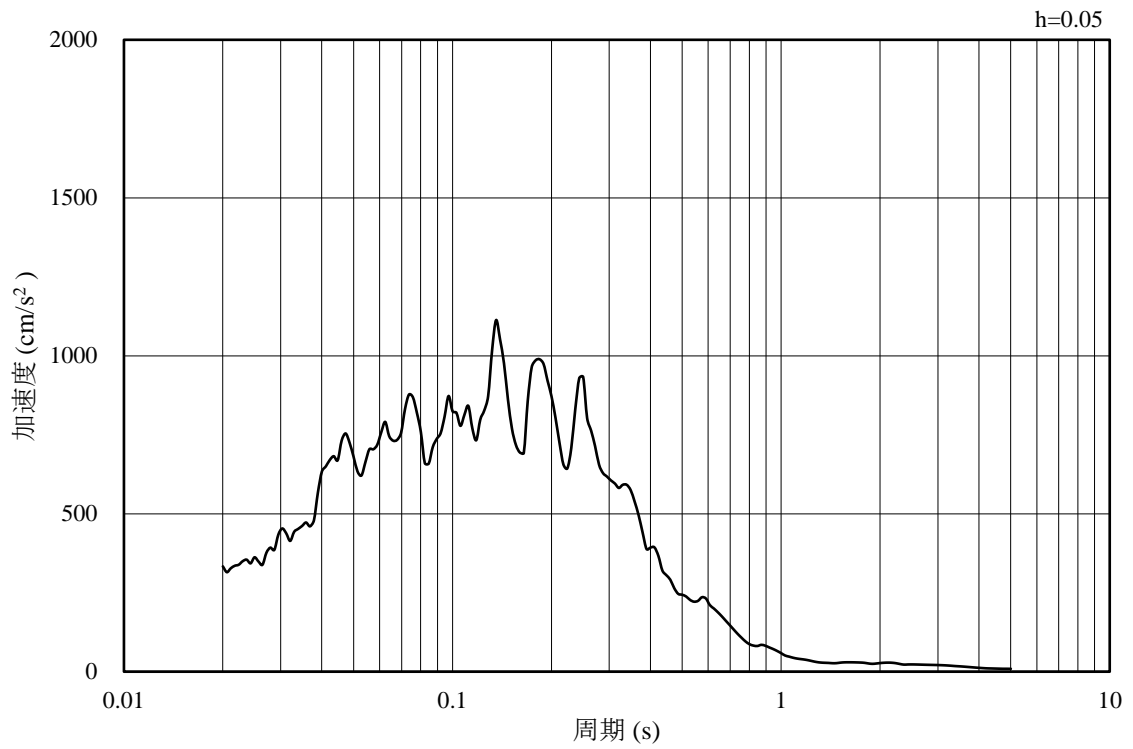


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1, EL-130m)

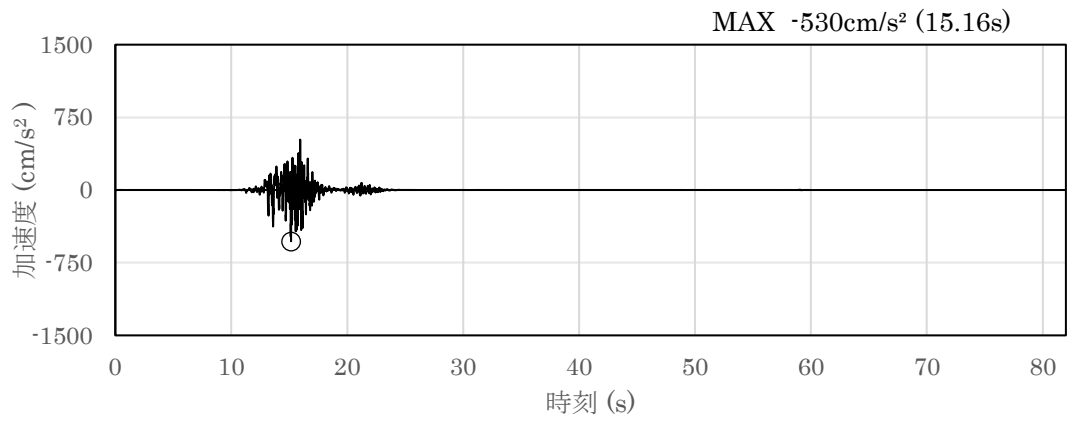


(a) 加速度時刻歴波形

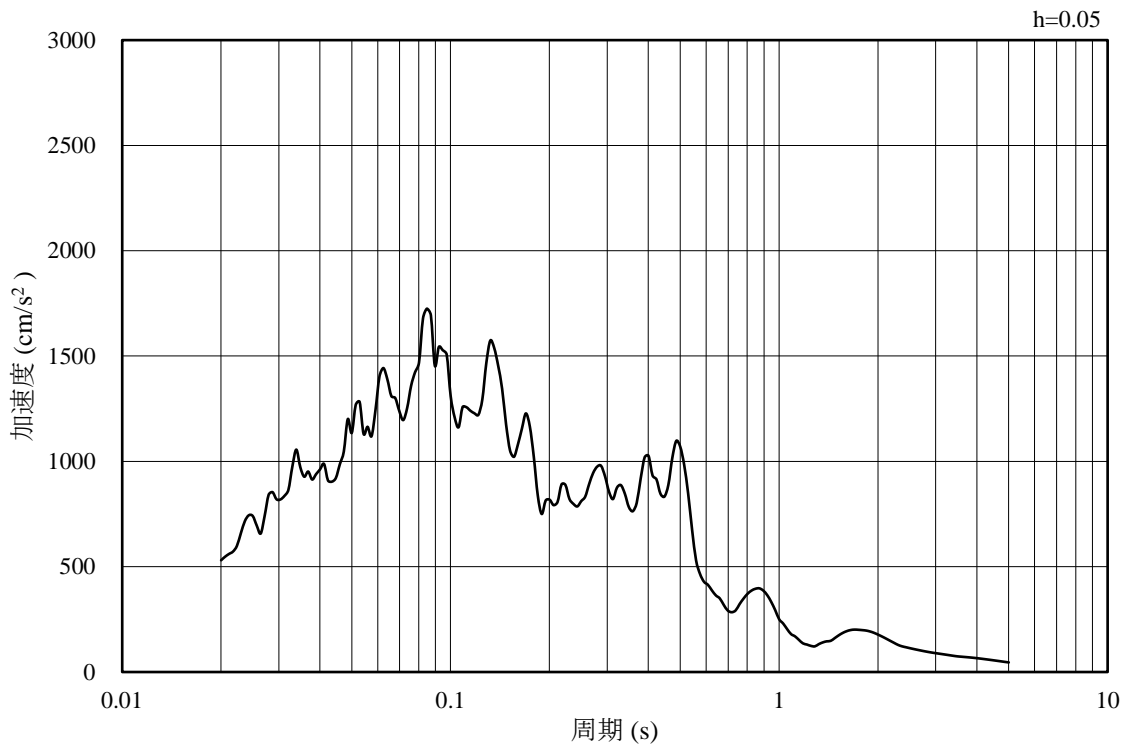


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1, EL-130m)

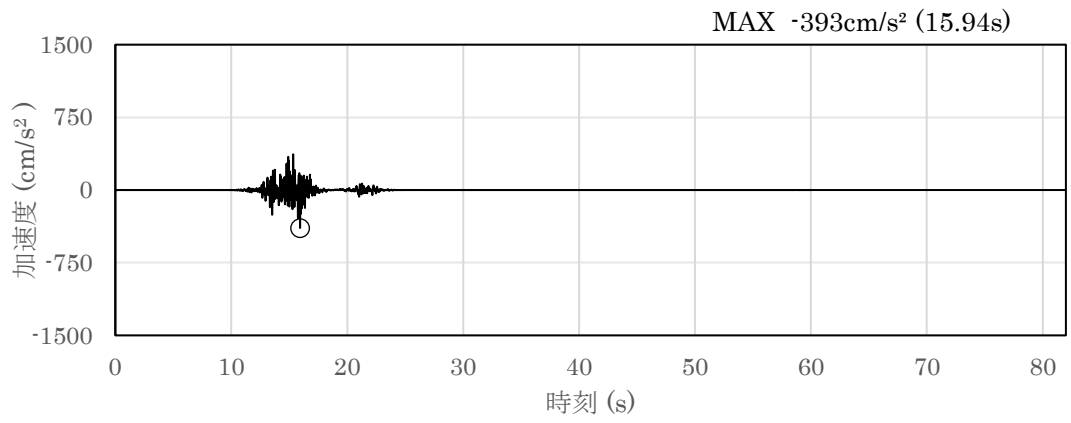


(a) 加速度時刻歴波形

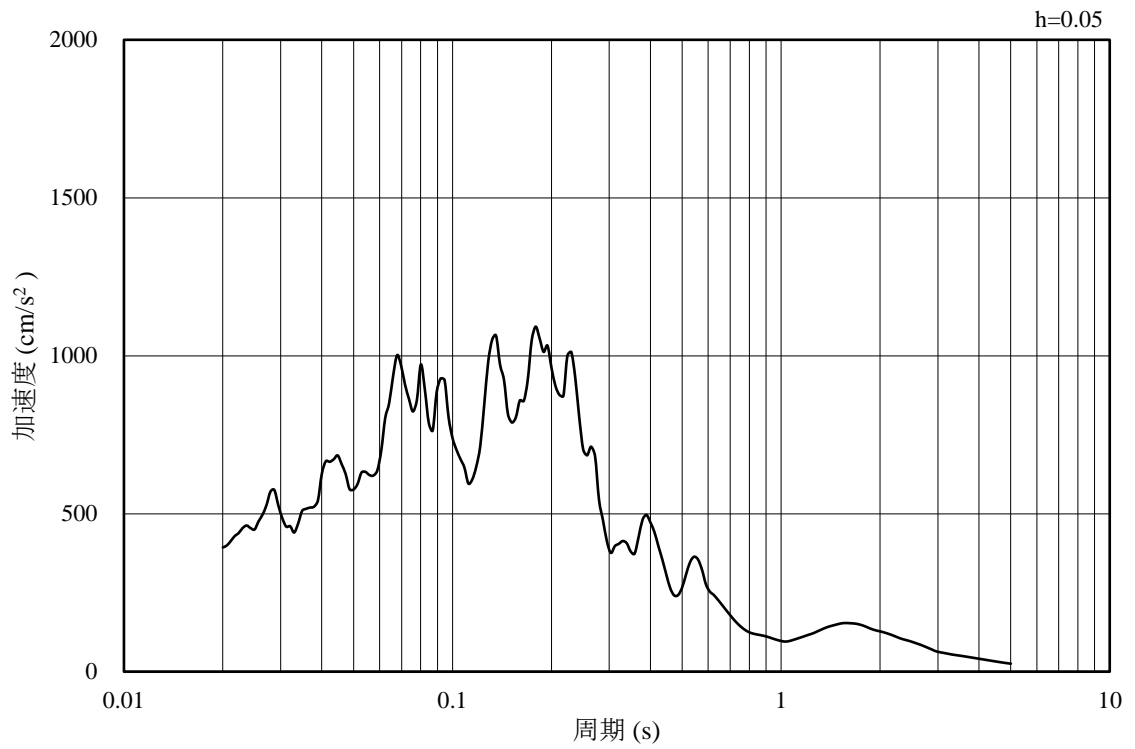


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2, EL-130m)

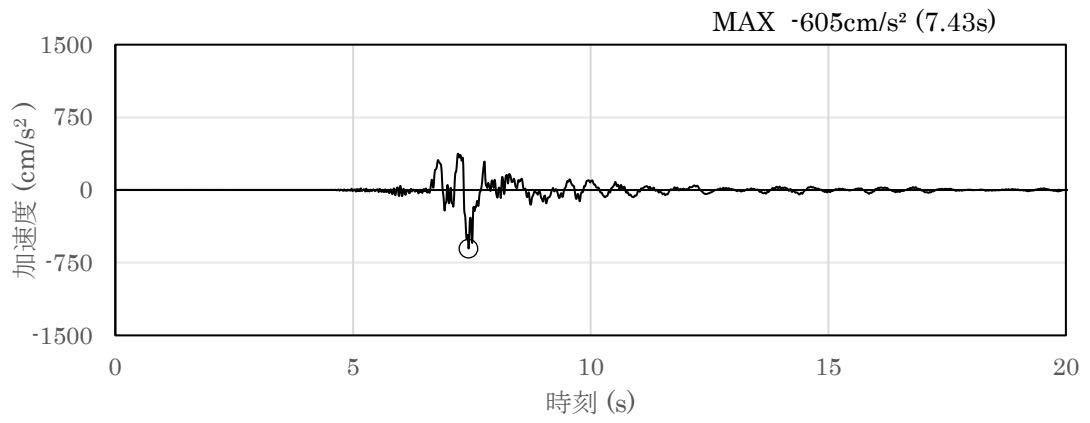


(a) 加速度時刻歴波形

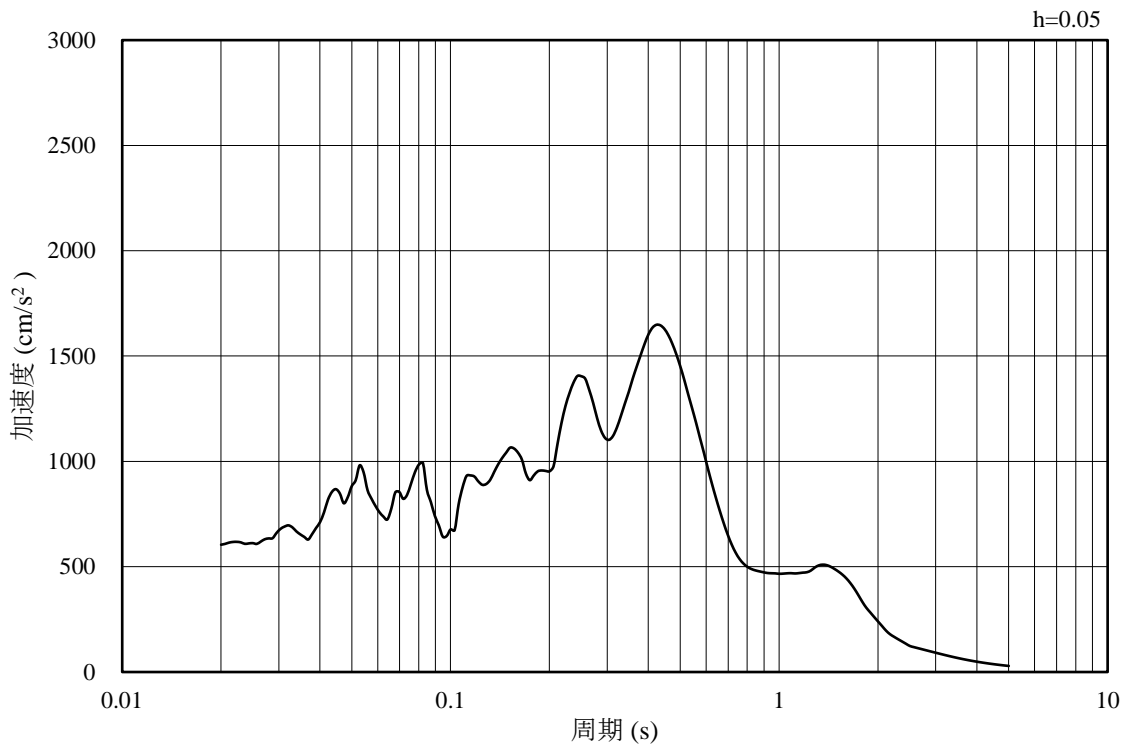


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2, EL-130m)

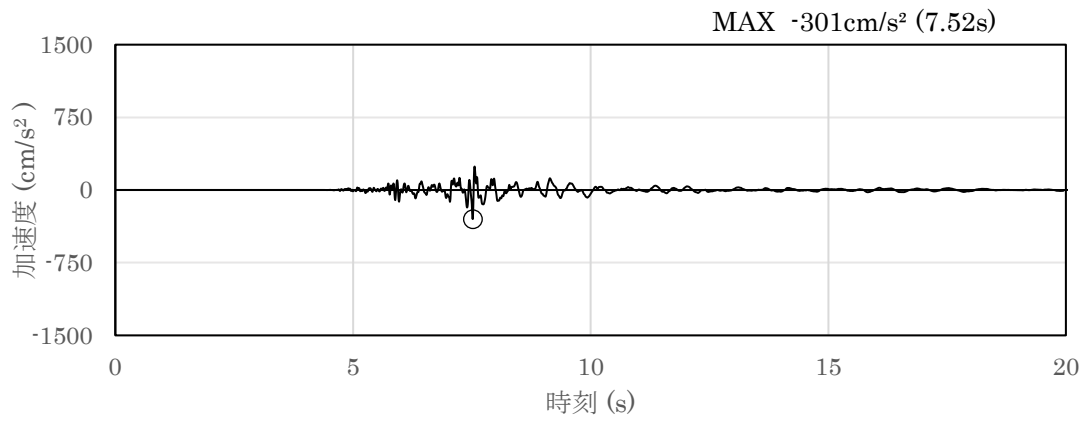


(a) 加速度時刻歴波形

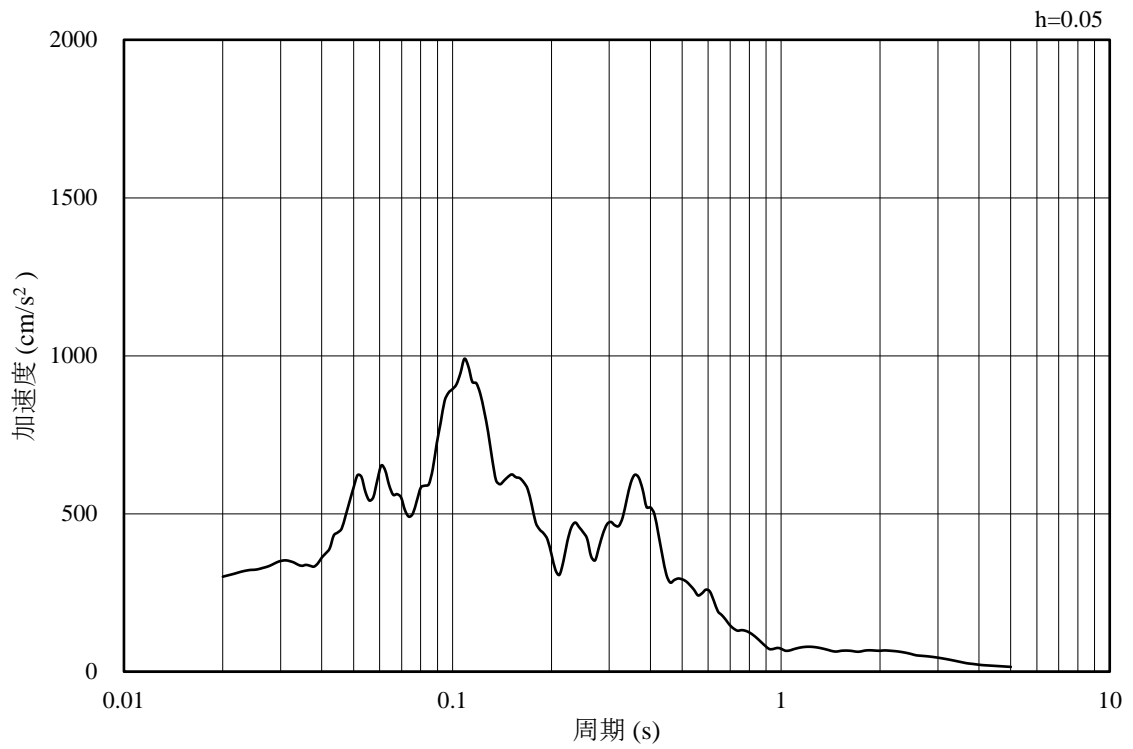


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1, EL-130m)

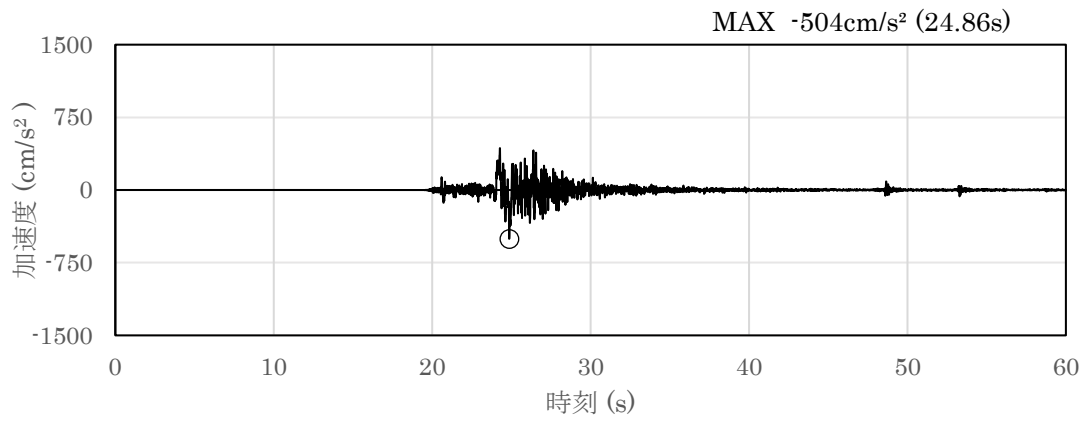


(a) 加速度時刻歴波形

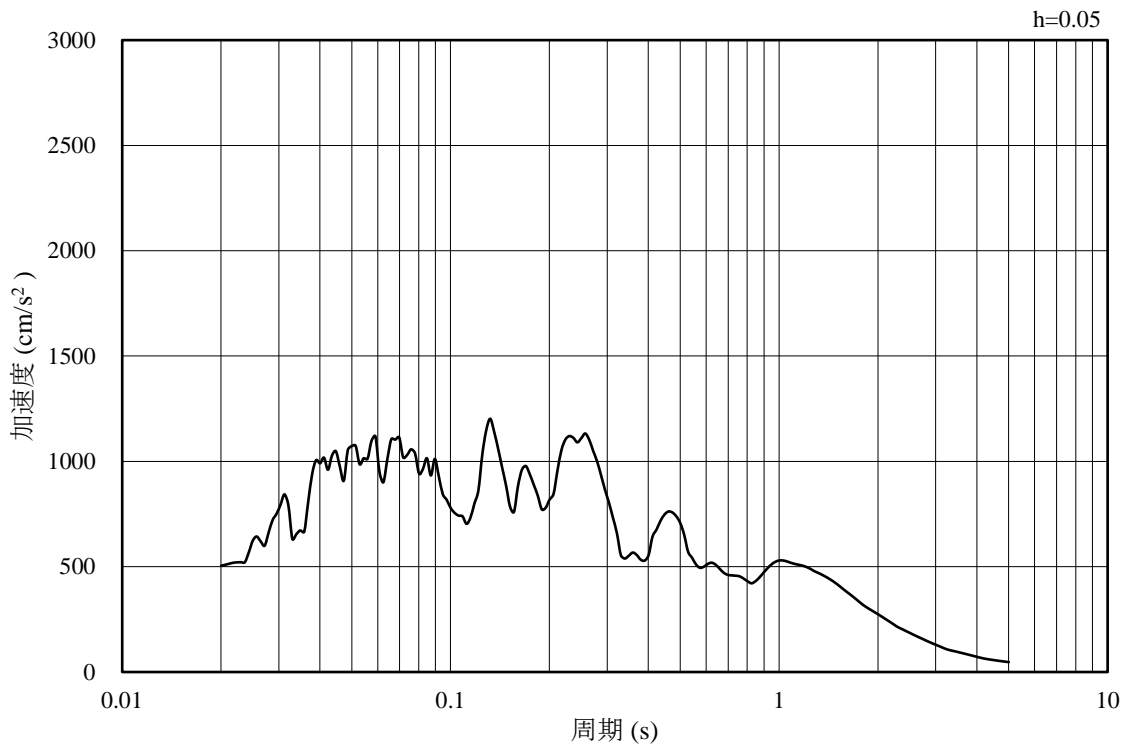


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1, EL-130m)

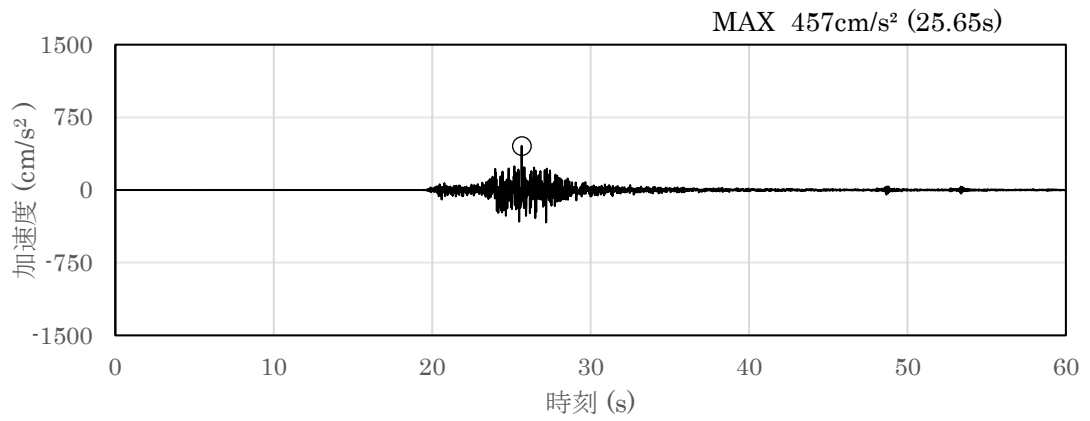


(a) 加速度時刻歴波形

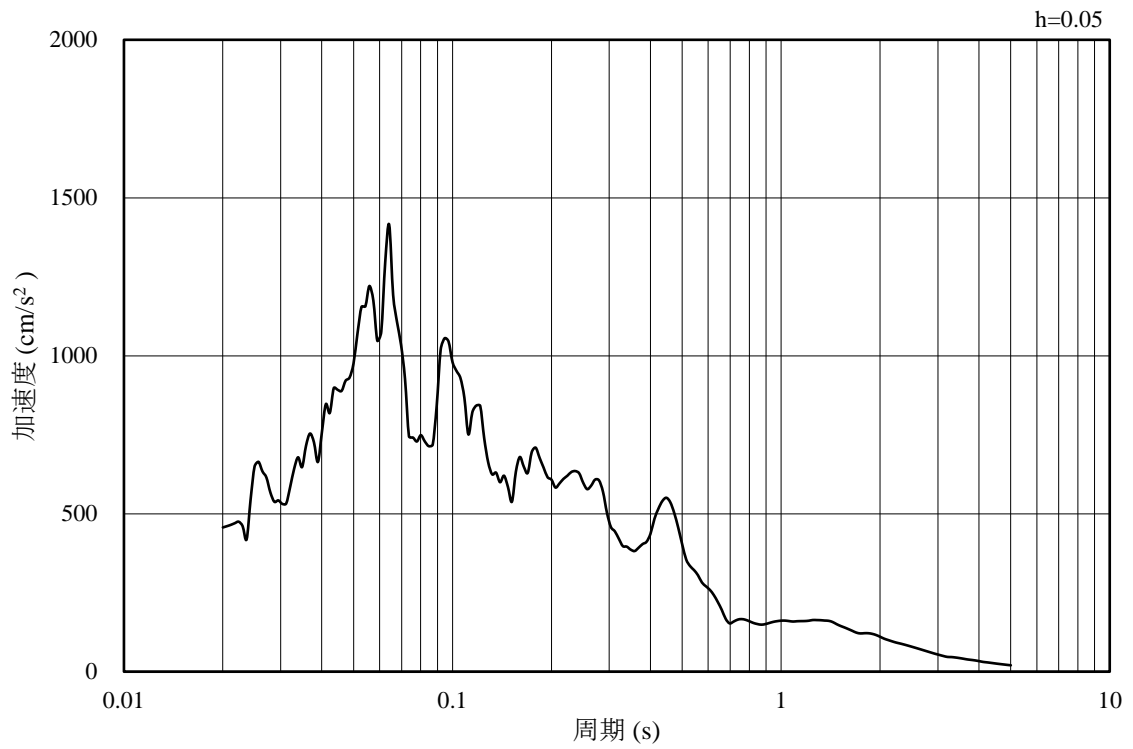


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, N S 方向, EL-130m)

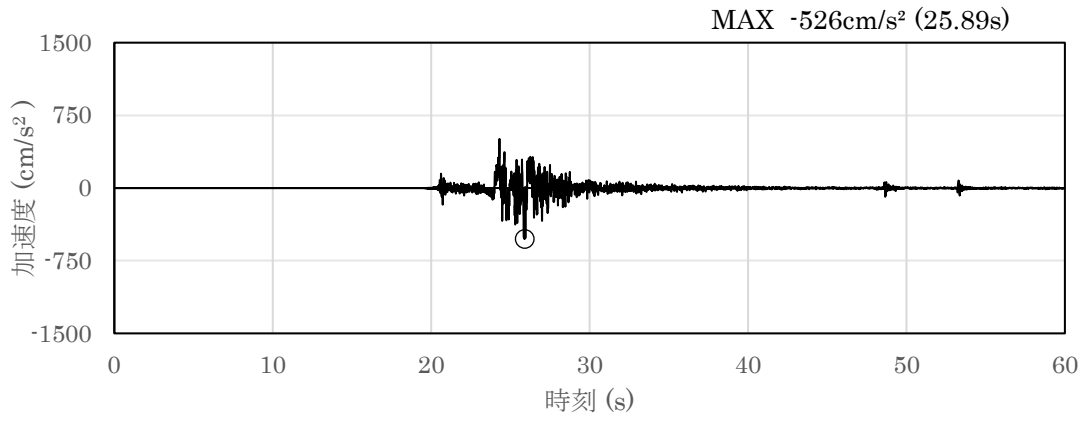


(a) 加速度時刻歴波形

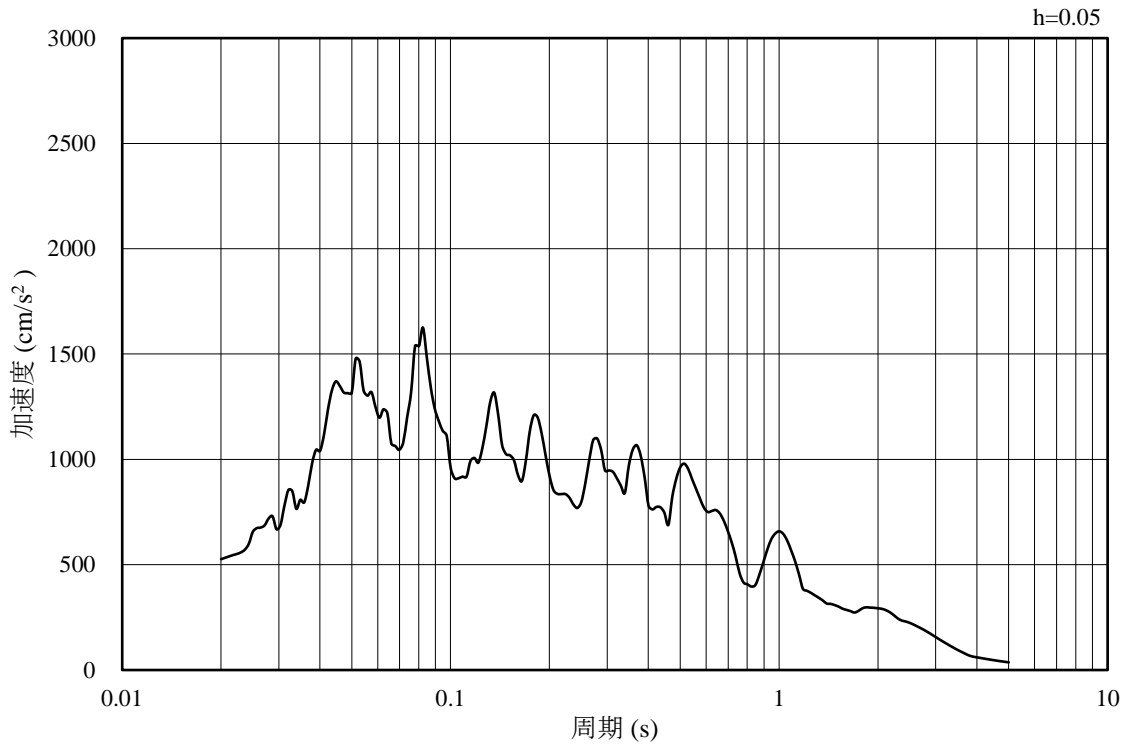


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, N S 方向, EL-130m)

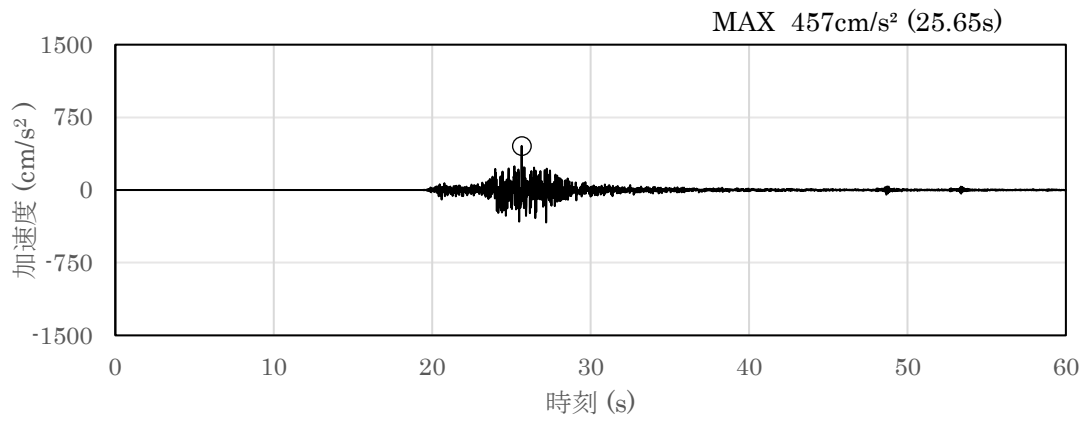


(a) 加速度時刻歴波形

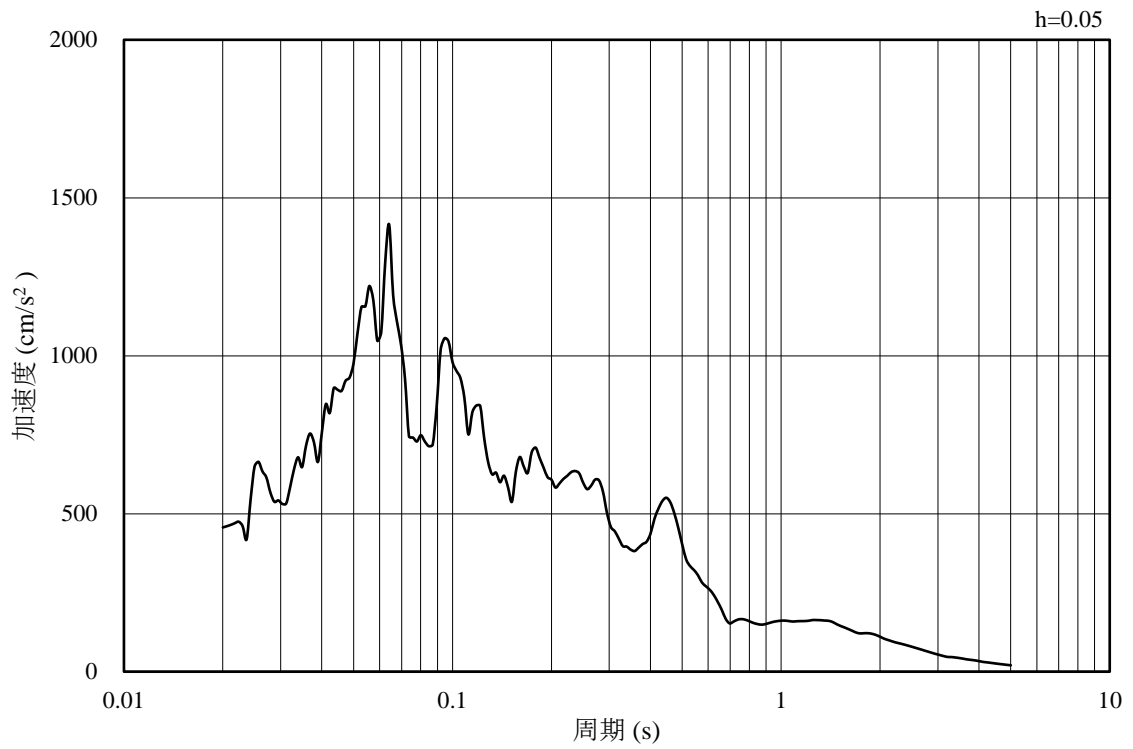


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 , E W方向, EL-130m)



(a) 加速度時刻歴波形

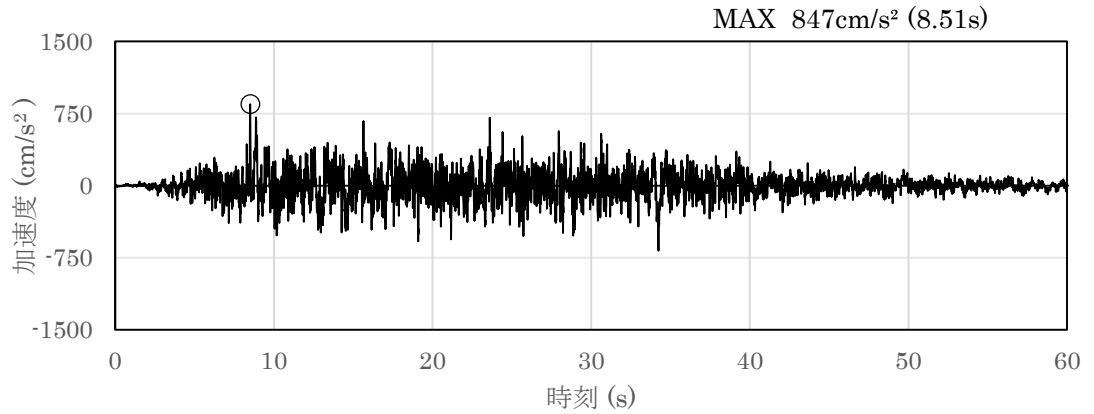


(b) 加速度応答スペクトル

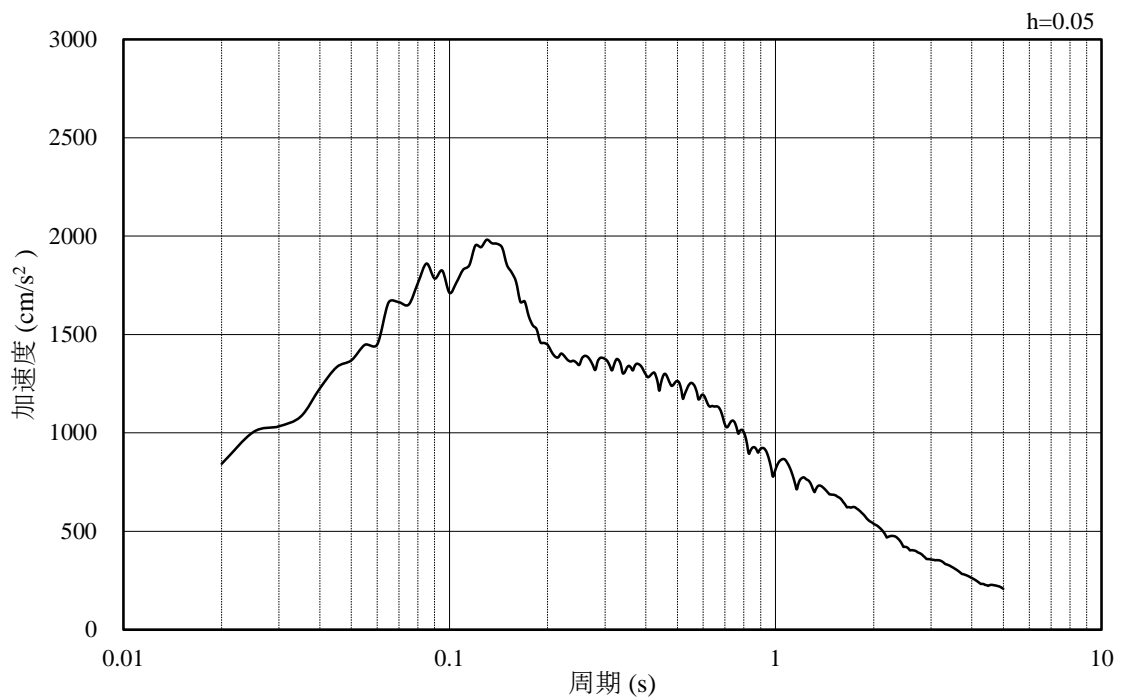
図 3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 , E W方向, EL-130m)

3.4.2 C-C断面の入力地震動

図3-24～図3-35にC-C断面の入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。

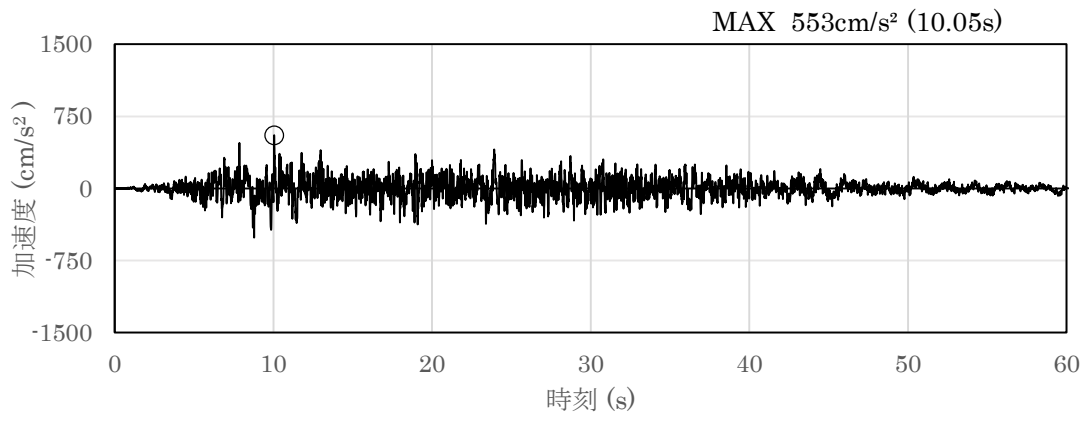


(a) 加速度時刻歴波形

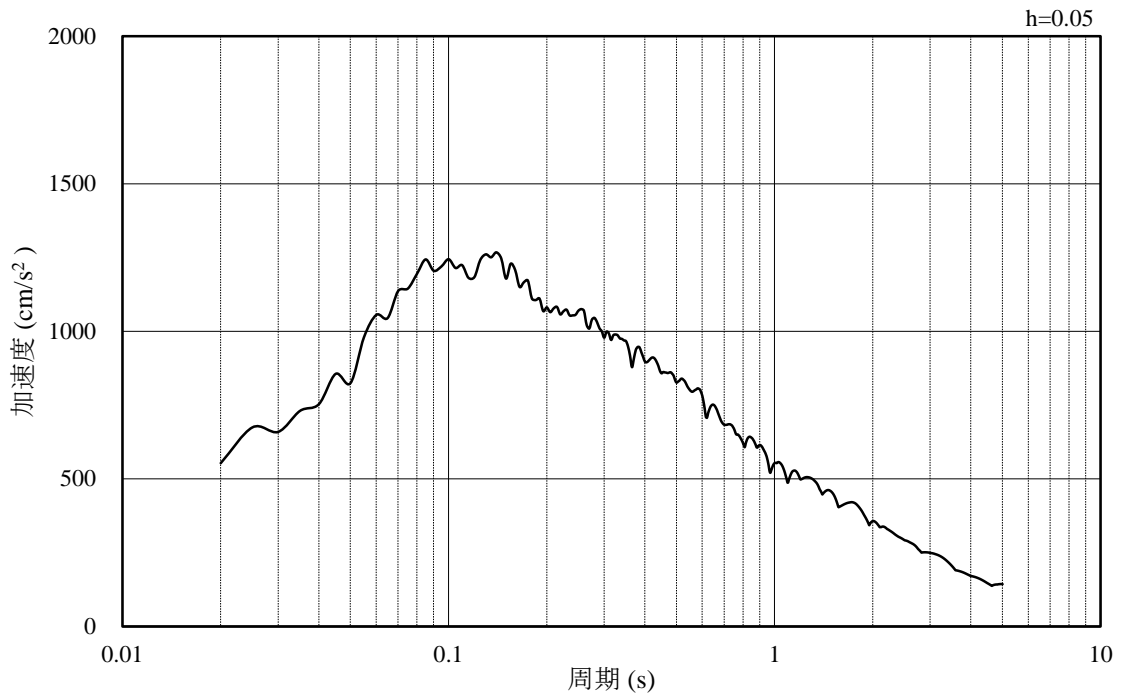


(b) 加速度応答スペクトル

図3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D, EL-35m)

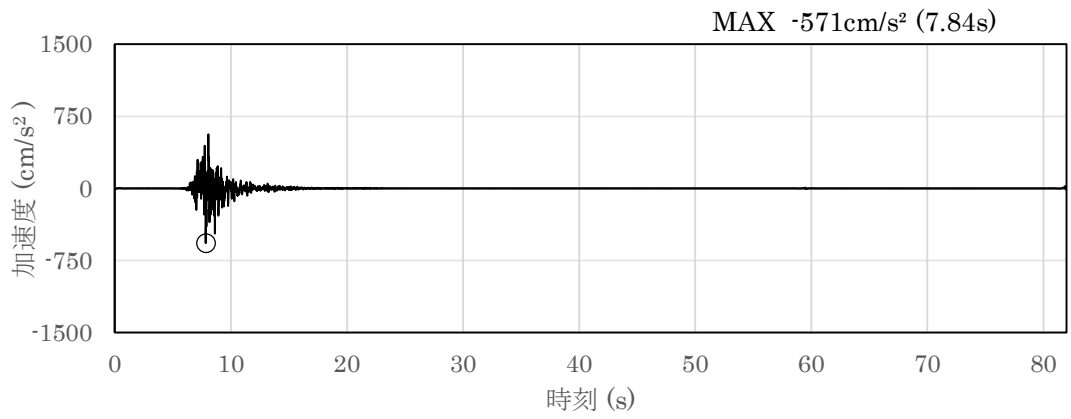


(a) 加速度時刻歴波形

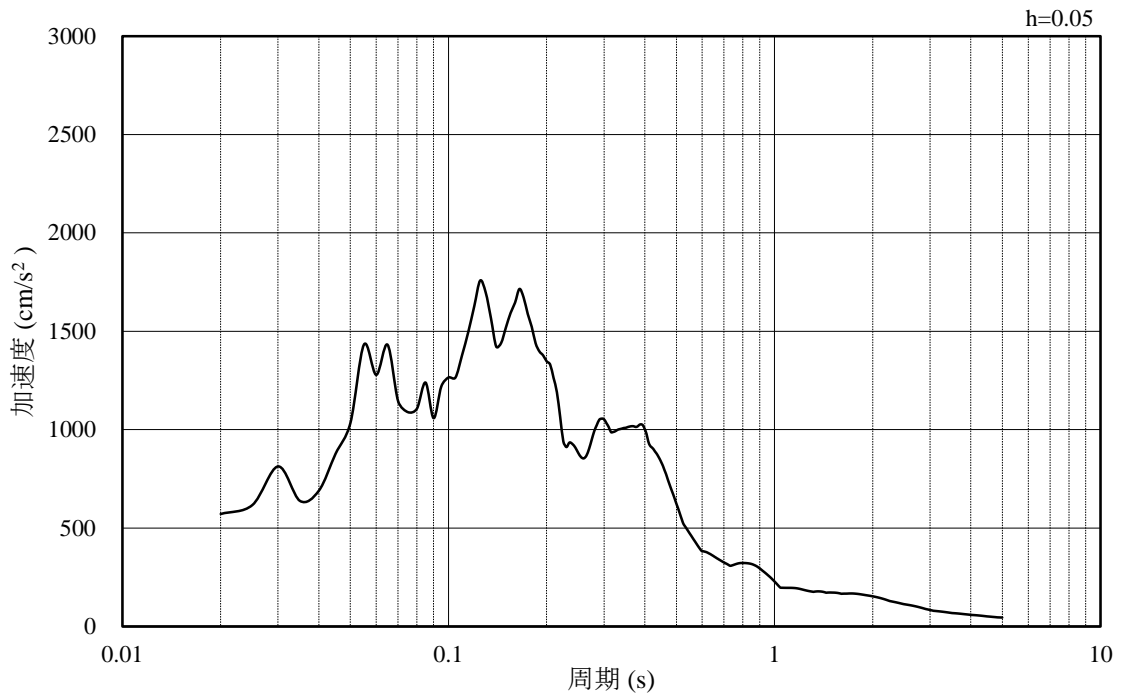


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D, EL-35m)

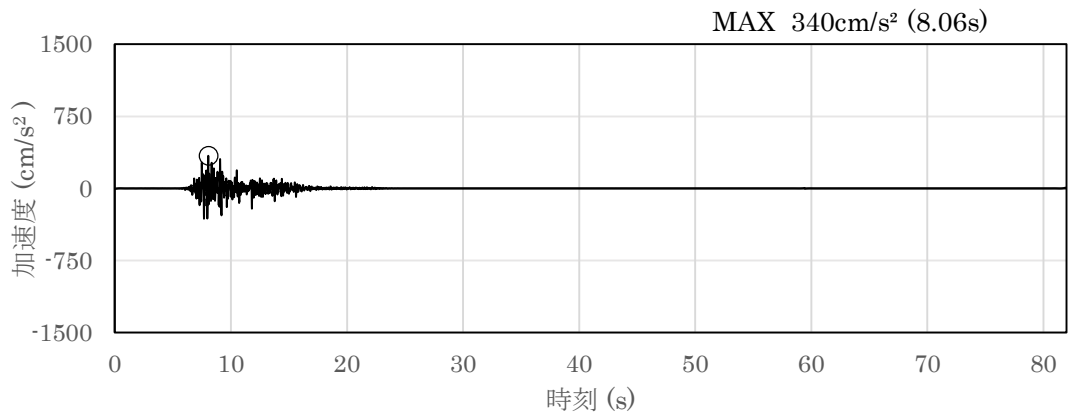


(a) 加速度時刻歴波形

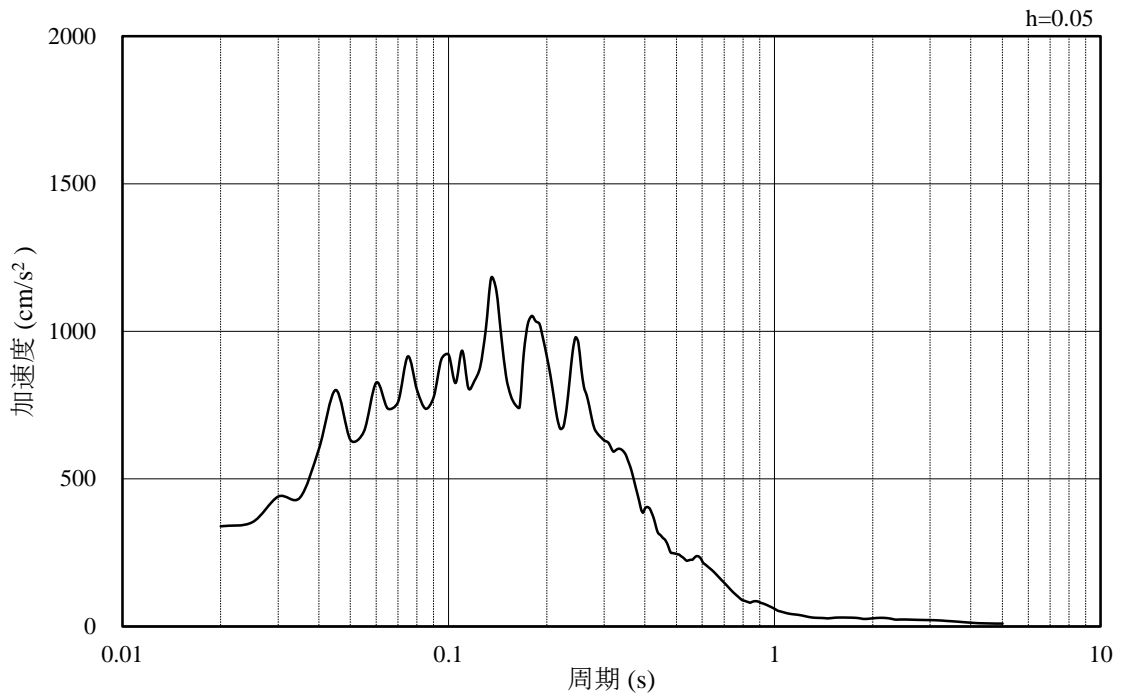


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1 , EL-35m)

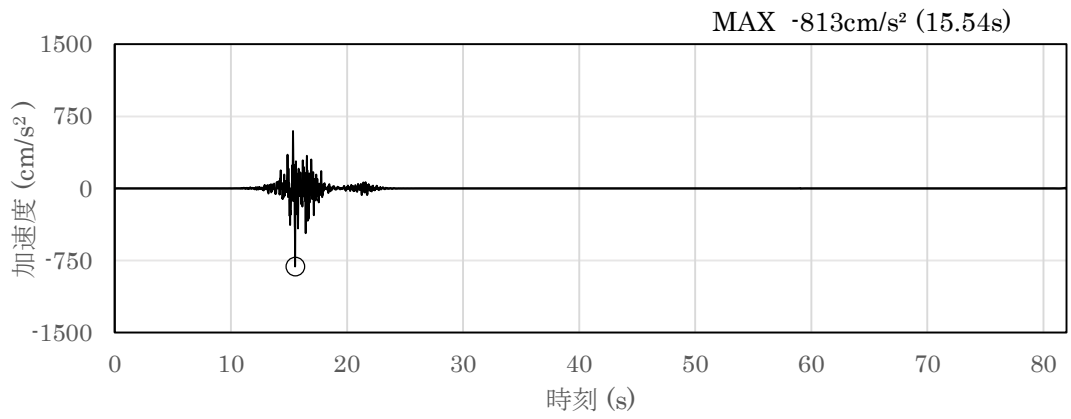


(a) 加速度時刻歴波形

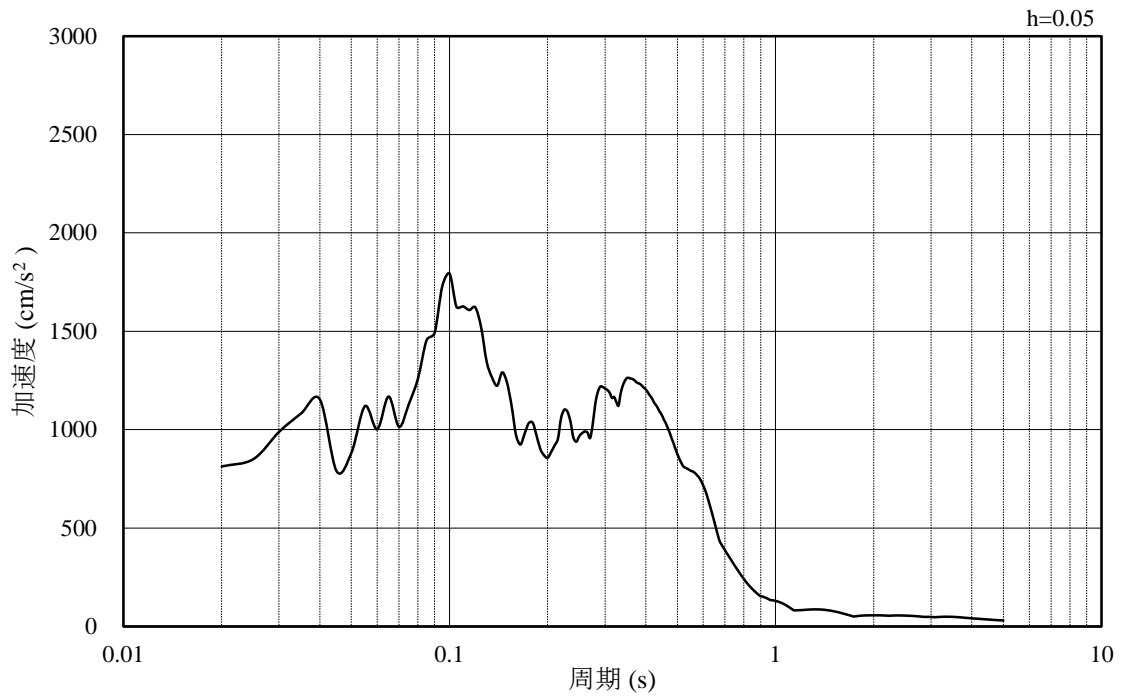


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1, EL-35m)

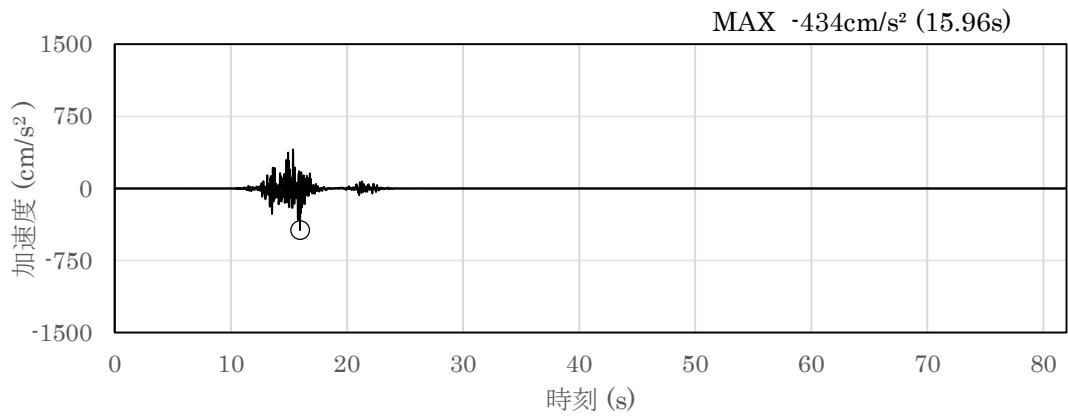


(a) 加速度時刻歴波形

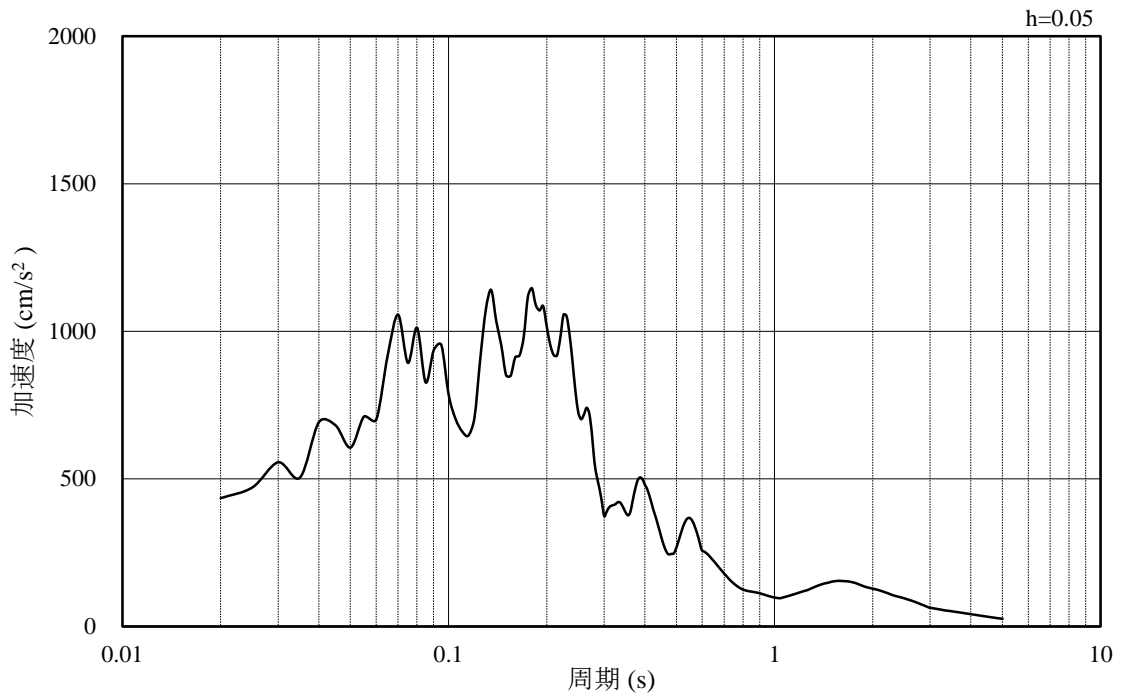


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2 , EL-35m)

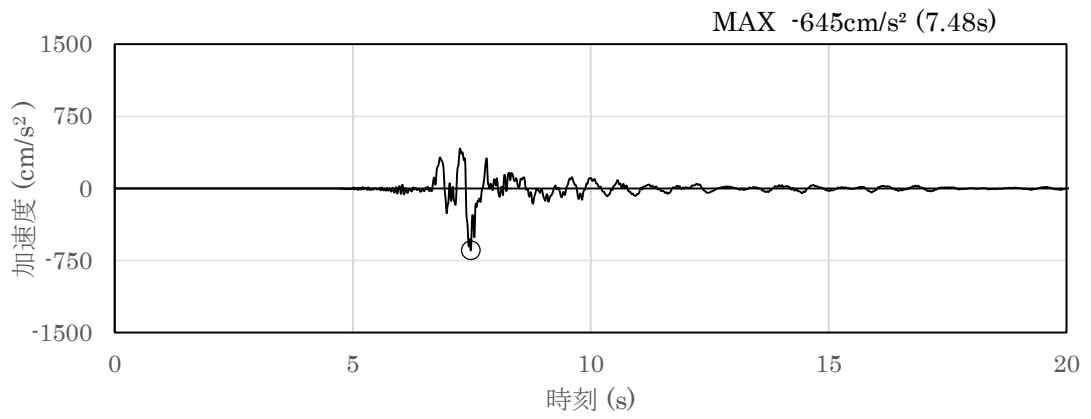


(a) 加速度時刻歴波形

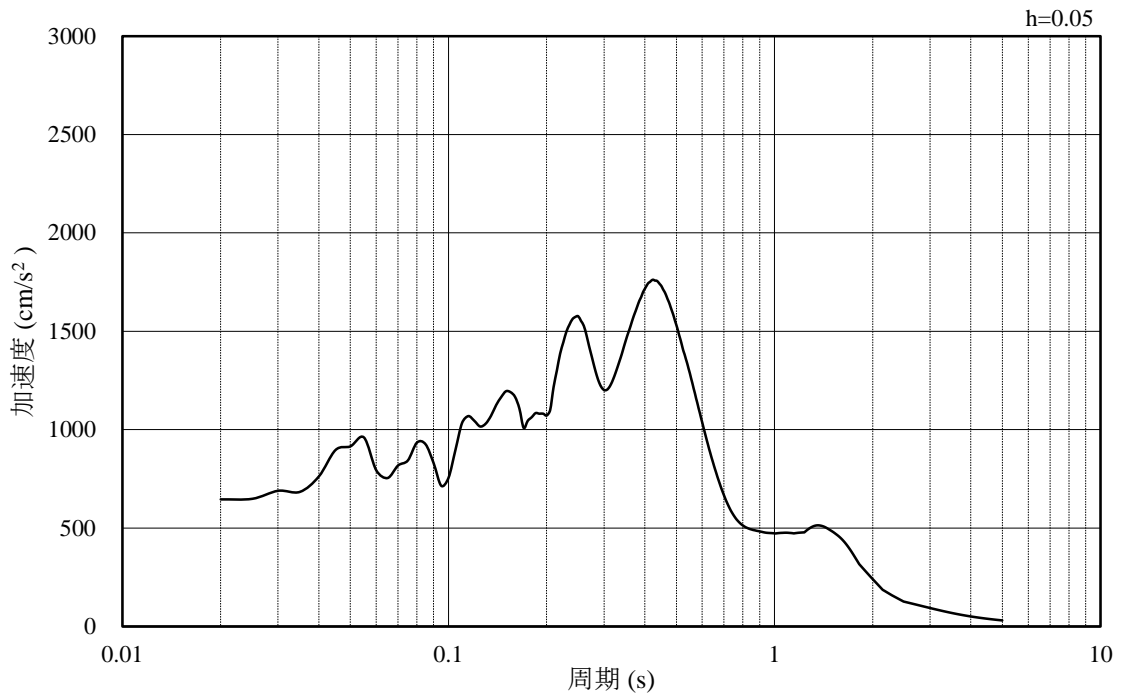


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2, EL-35m)

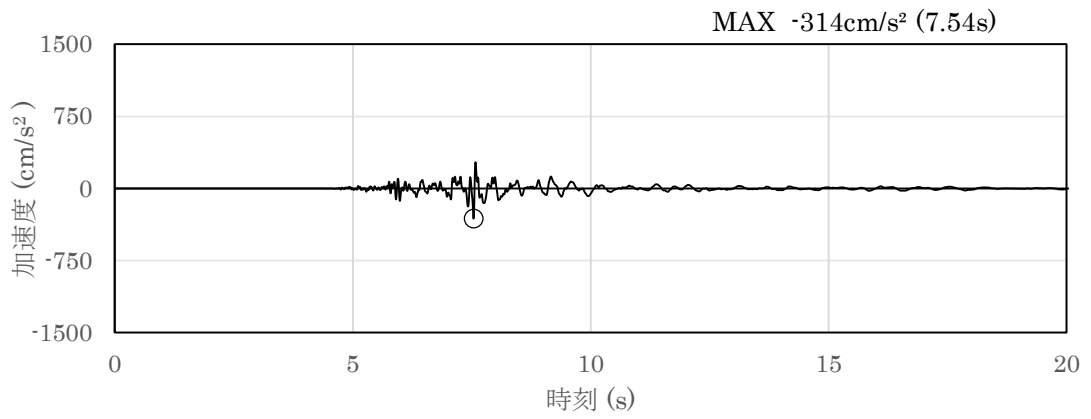


(a) 加速度時刻歴波形

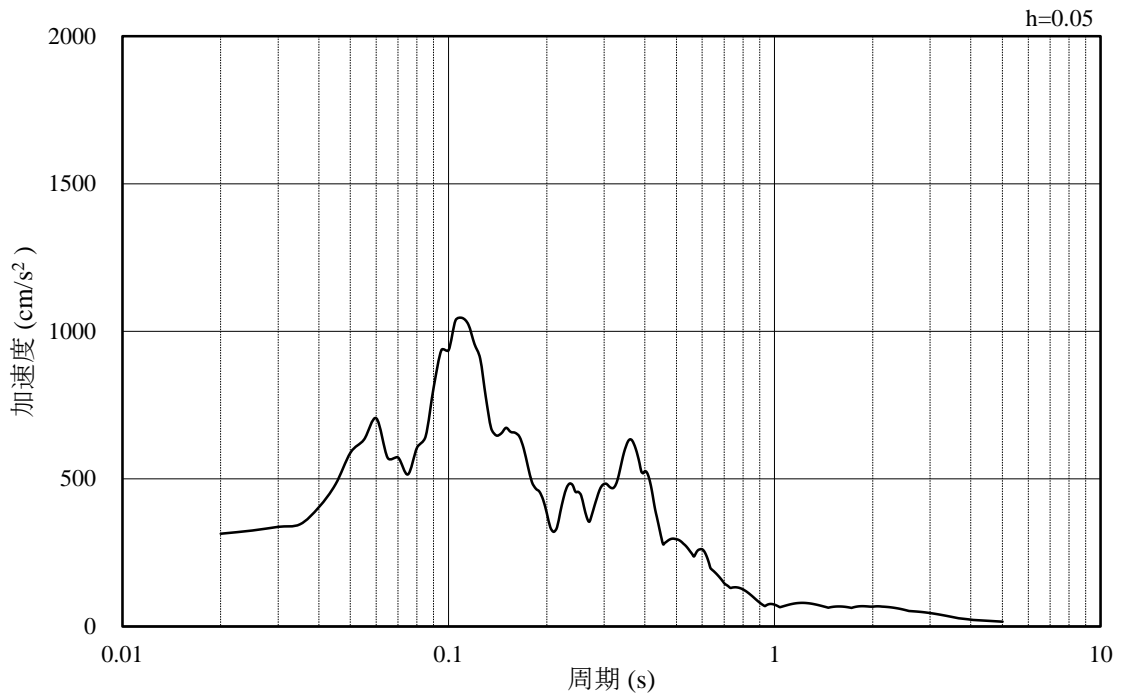


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1, EL-35m)

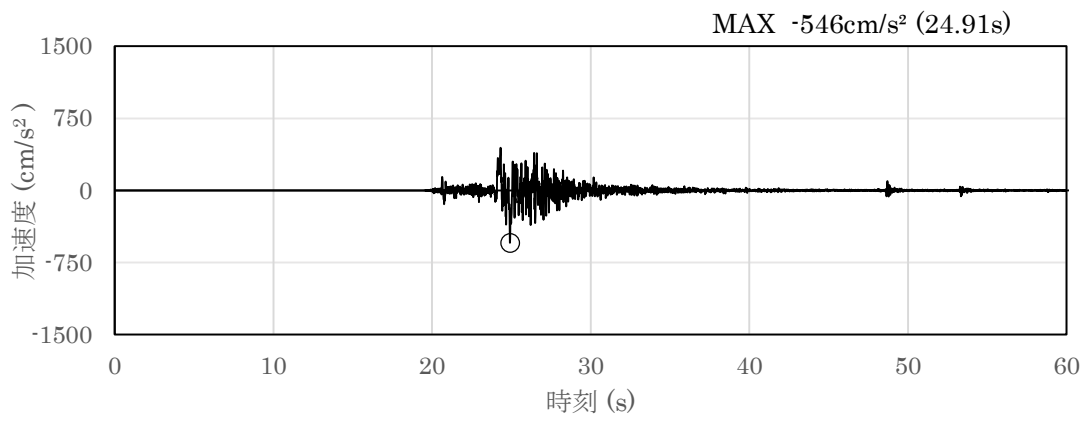


(a) 加速度時刻歴波形

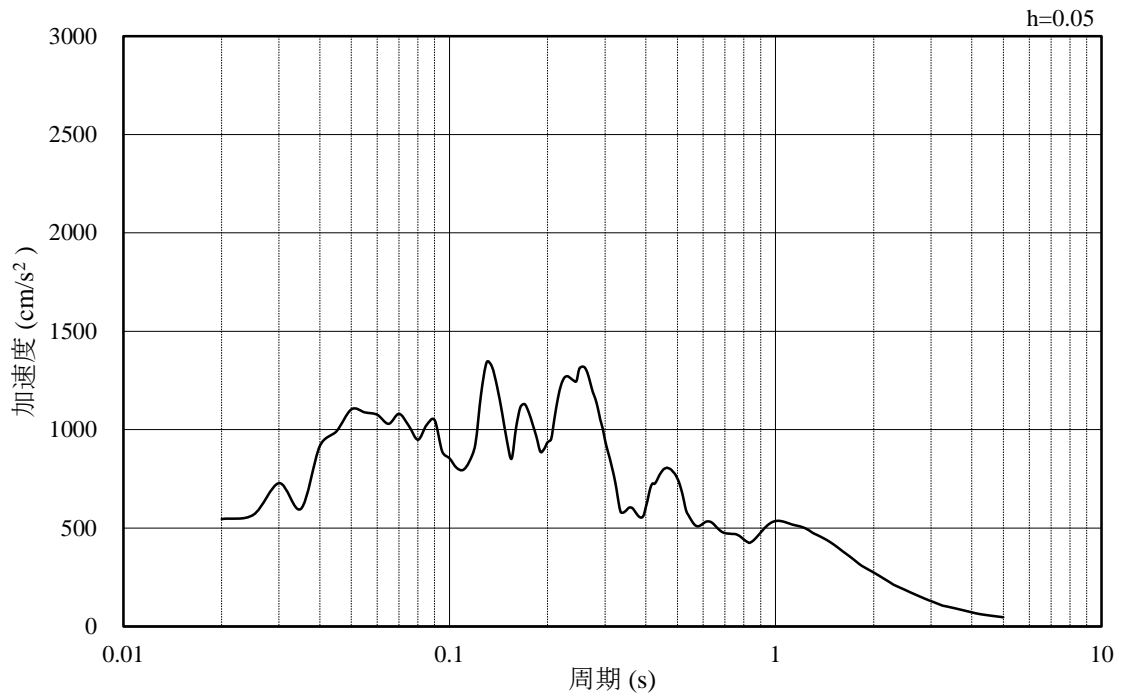


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1, EL-35m)

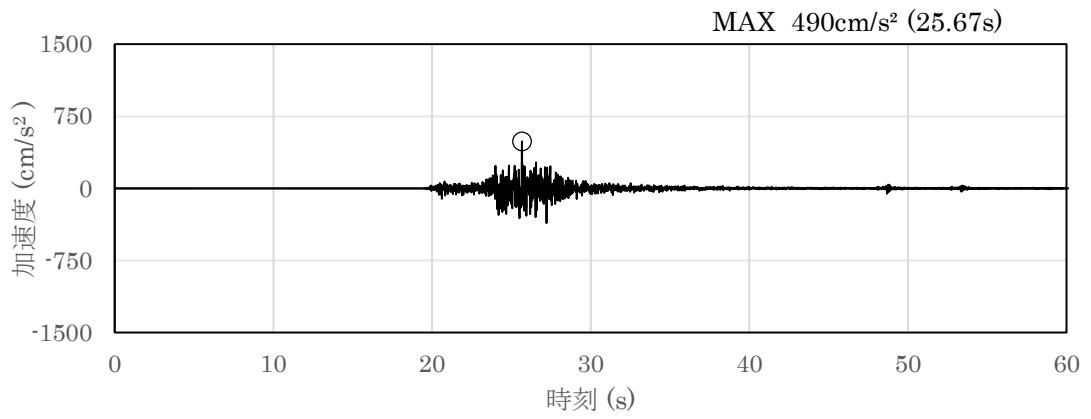


(a) 加速度時刻歴波形

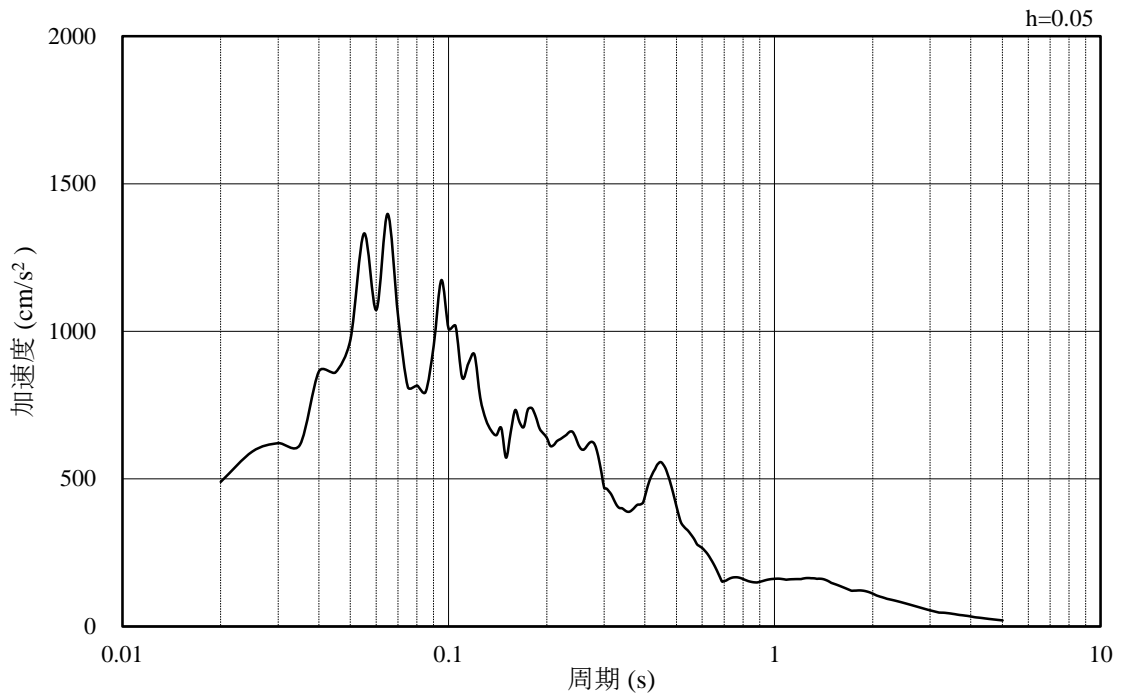


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, N S 方向, EL-35m)

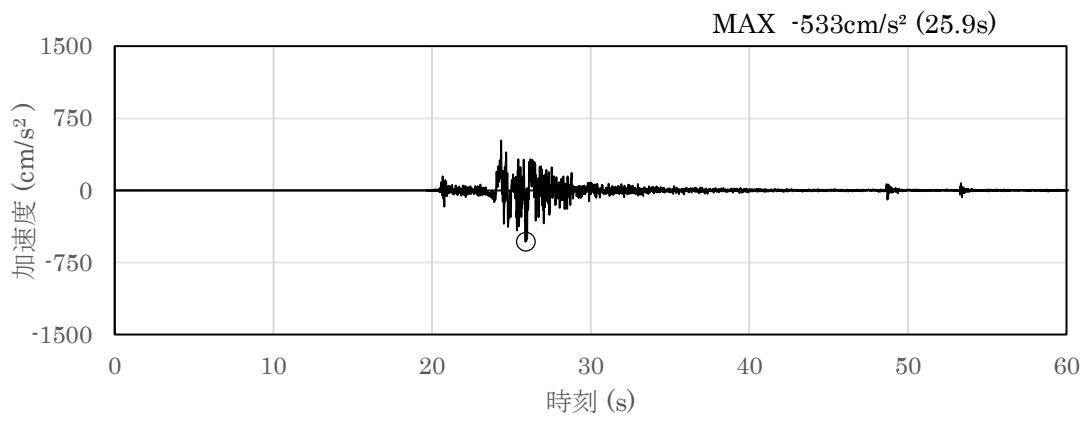


(a) 加速度時刻歴波形

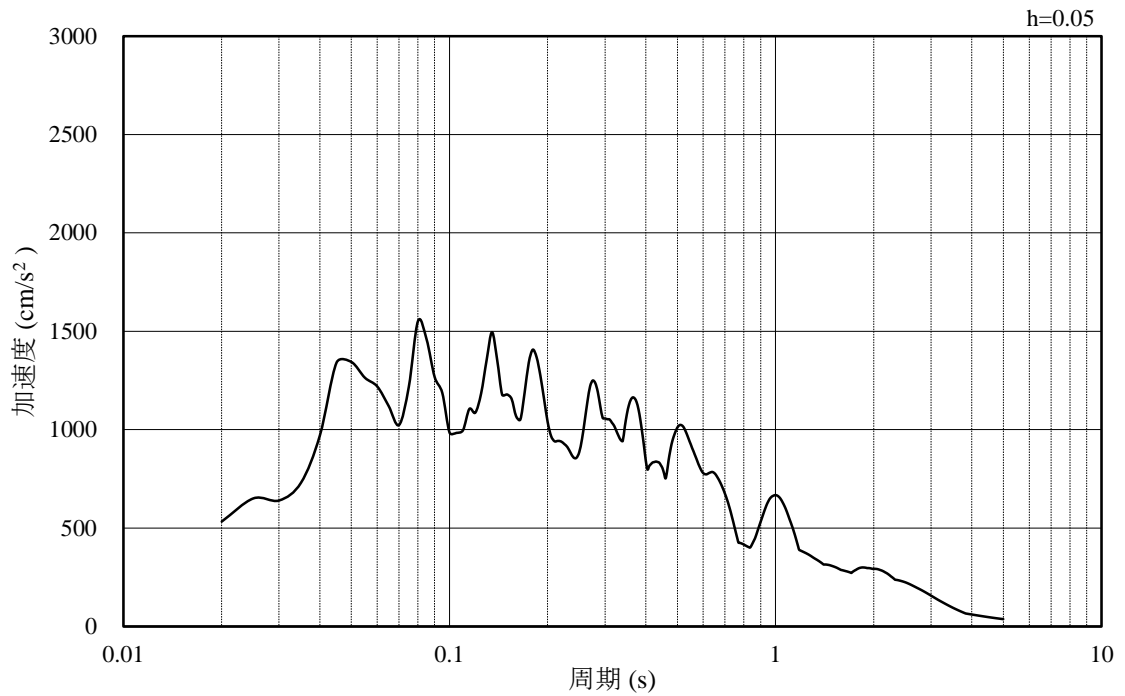


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, N S 方向, EL-35m)

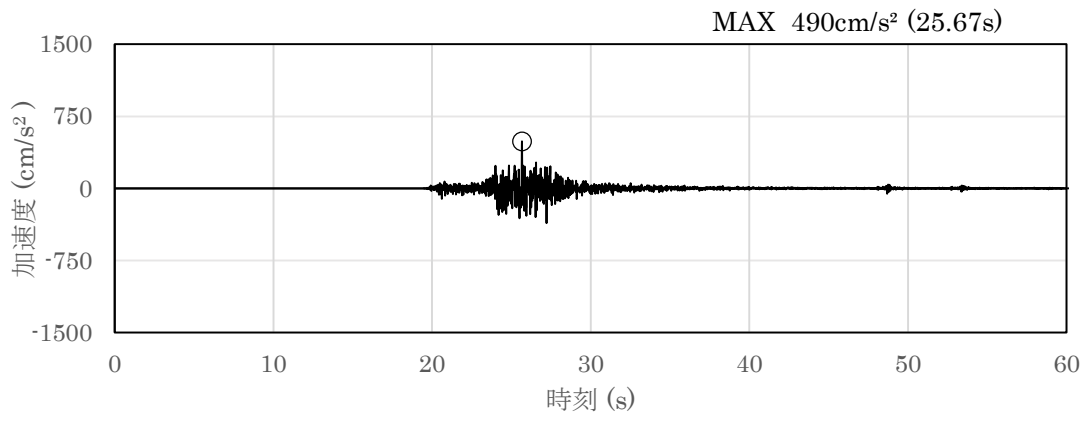


(a) 加速度時刻歴波形

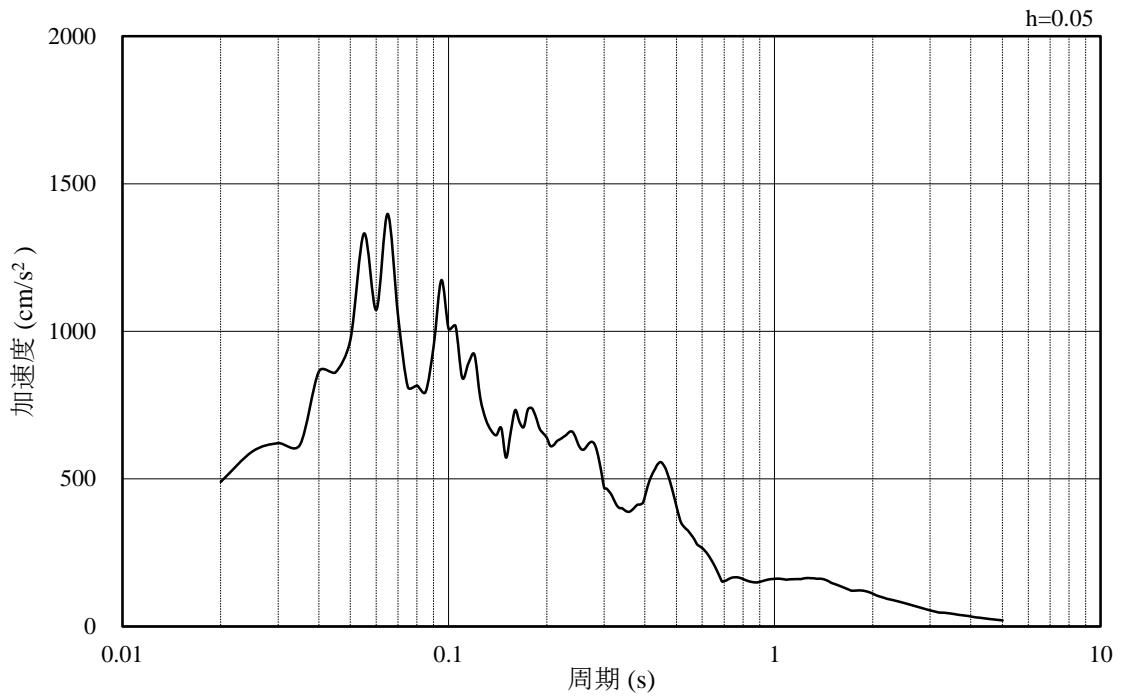


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 , E W方向, EL-35m)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-35 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, E W方向, EL-35m)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答解析モデルを図 3-36～図 3-38 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素でモデル化する。

機器・配管荷重は解析モデルに付加質量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 隣接構造物のモデル化

A-A断面及びB-B断面の解析モデル範囲において隣接構造物となる原子炉建物は、等価剛性として線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

C-C断面の解析モデル範囲において隣接構造物となる第1ベントフィルタ格納槽については、耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出する必要があることから、非線形はり要素及び平面応力要素でモデル化する。また、補助消火水槽は、保守的に埋戻土でモデル化する。埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(6) MMR及び埋戻コンクリートのモデル化

MMR及び埋戻コンクリートは無筋コンクリートとして線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」、「構造物と埋戻コンクリート」、「MMRと埋戻コンクリート」及び「地盤とMMR」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

(8) 水位条件

低圧原子炉代替注水槽の内水位は、EL11.2mとする。

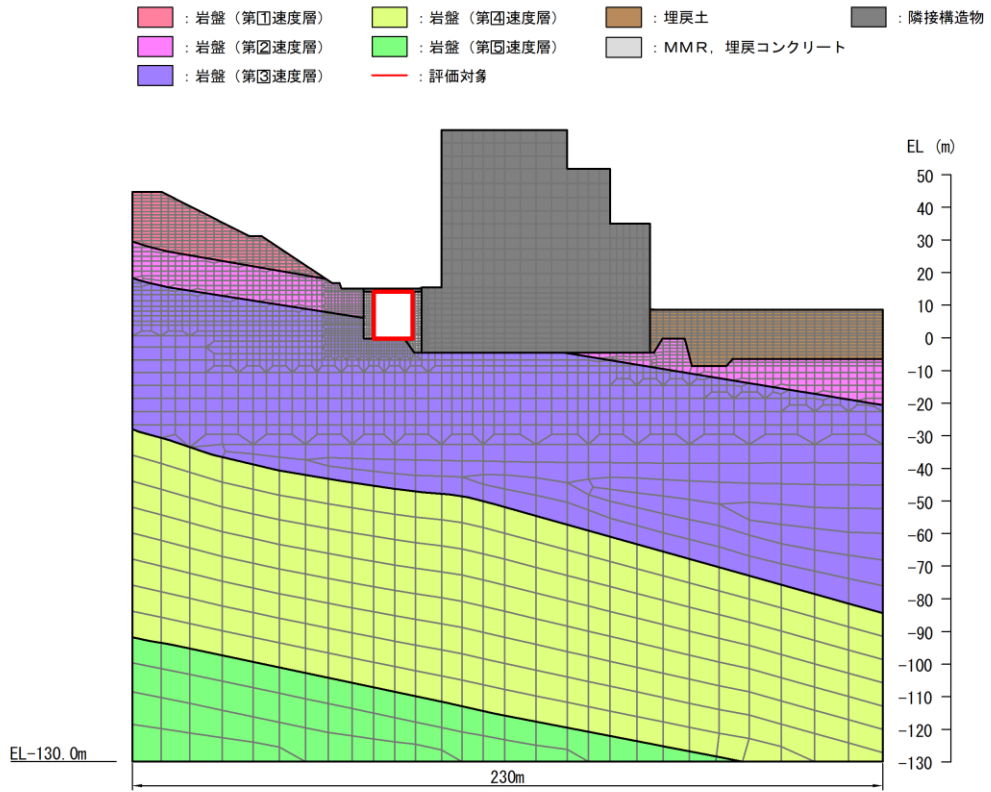


図 3-36 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地震応答解析モデル図 (A-A 断面)

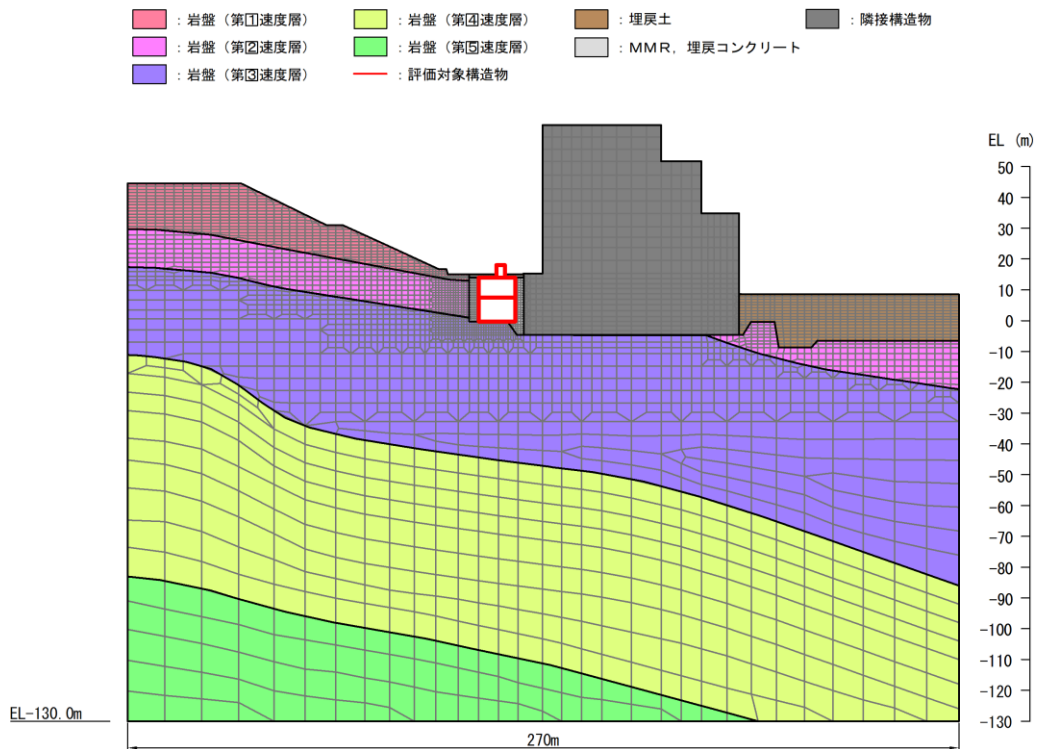


図 3-37 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地震応答解析モデル図 (B-B 断面)

- : 岩盤 (第②速度層)
- : 埋戻土
- : 岩盤 (第③速度層)
- : MMR, 埋戻コンクリート
- : 評価対象構造物

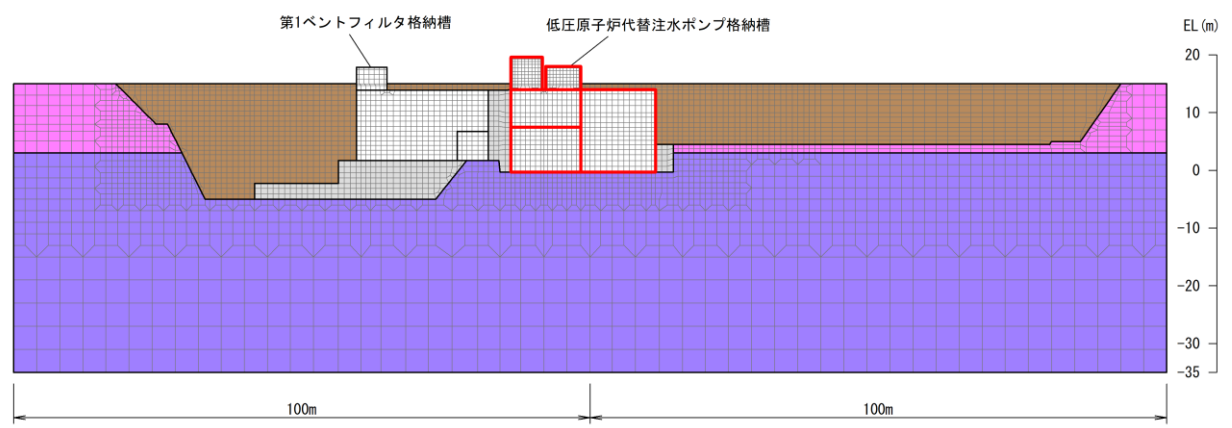


図 3-38 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 地震応答解析モデル図 (C-C断面)

S2 補 VI-2-2-32 R0

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
埋戻コンクリート		設計基準強度 18.0N/mm ²
MMR		

表 3-7 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物	2.50×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
埋戻コンクリート	2.20×10 ⁴	22.6* ²	
MMR			

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表 3-8 に示す。

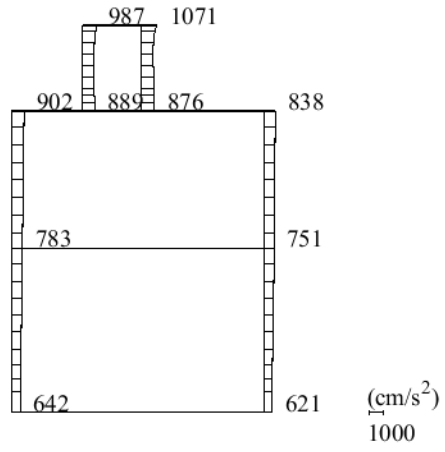
表 3-8 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (ELm)
低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽	A-A断面	15.0
	B-B断面	
	C-C断面	

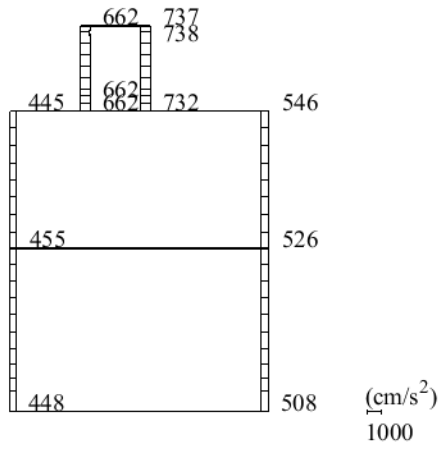
4. 解析結果

4.1 A-A断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-1～図 4-12 に示す。

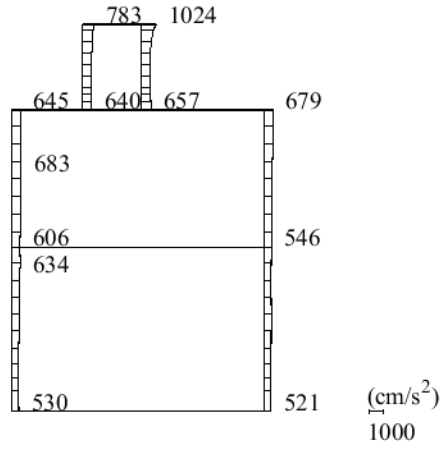


(a) S s - D (++) 水平

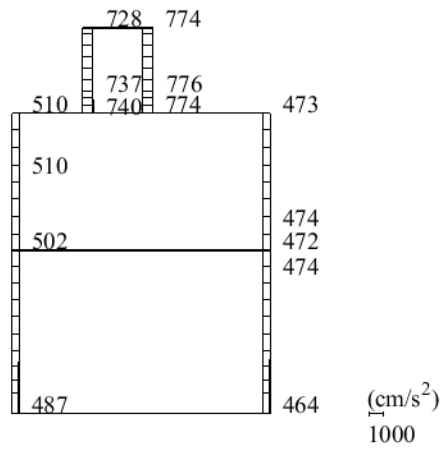


(b) S s - D (++) 鉛直

図 4-1 最大応答加速度分布図 (1/12) (解析ケース①)

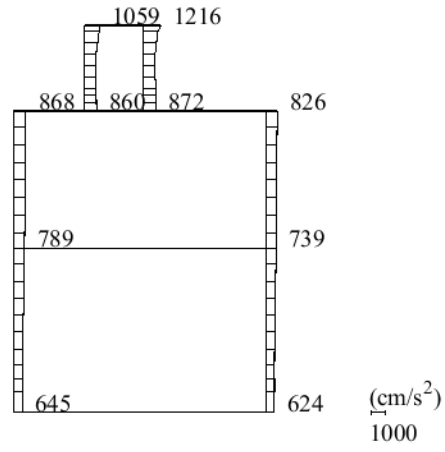


(a) S s - D (-+) 水平

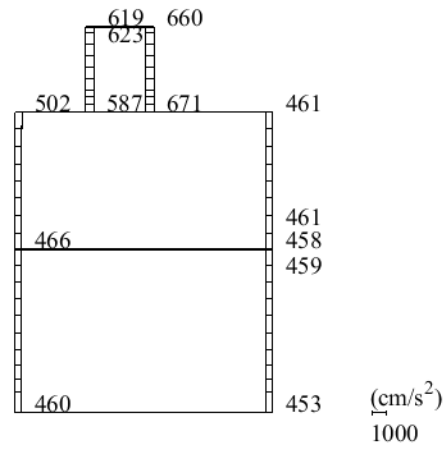


(b) S s - D (-+) 鉛直

図 4-2 最大応答加速度分布図 (2/12) (解析ケース①)

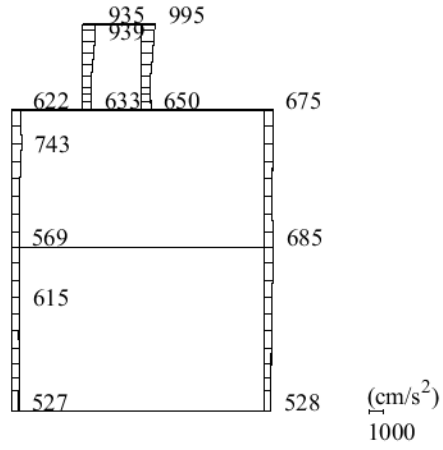


(a) S s - D (+ -) 水平

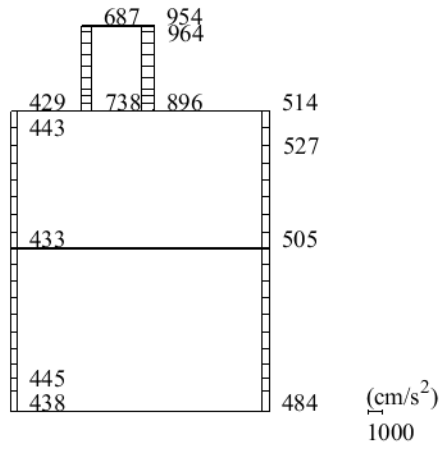


(b) S s - D (+ -) 鉛直

図 4-3 最大応答加速度分布図 (3/12) (解析ケース①)

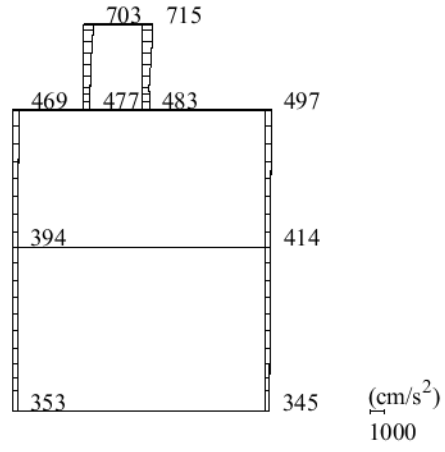


(a) S s - D (--) 水平

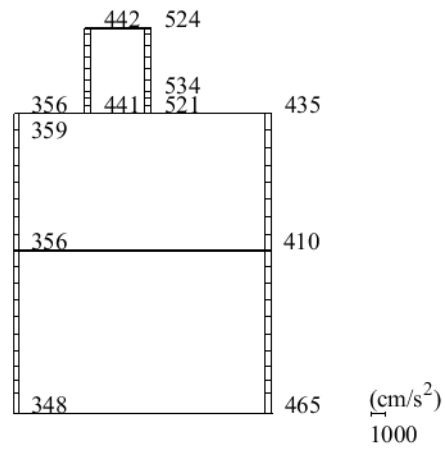


(b) S s - D (--) 鉛直

図 4-4 最大応答加速度分布図 (4/12) (解析ケース①)

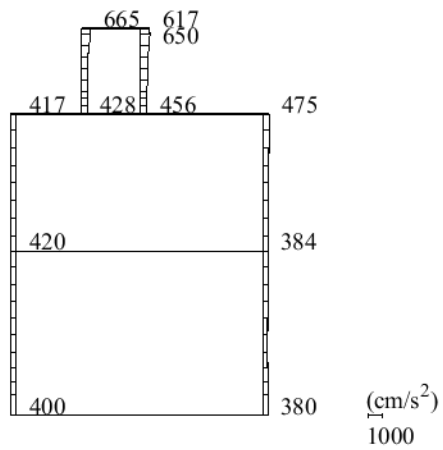


(a) $S_s - F 1$ (++) 水平

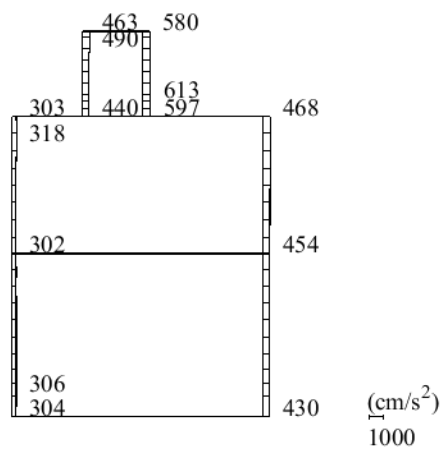


(b) $S_s - F 1$ (++) 鉛直

図 4-5 最大応答加速度分布図 (5/12) (解析ケース①)

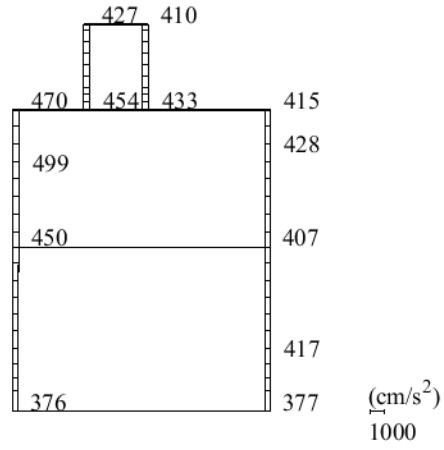


(a) $S_s - F_2$ (++) 水平

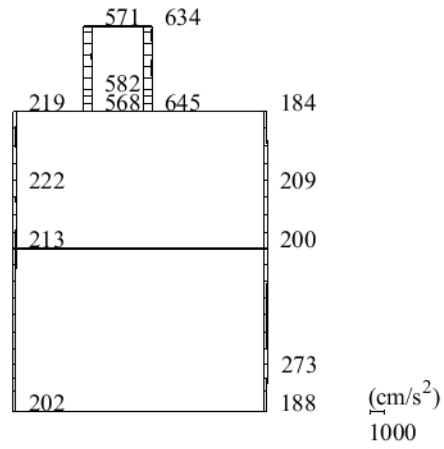


(b) $S_s - F_2$ (++) 鉛直

図 4-6 最大応答加速度分布図 (6/12) (解析ケース①)

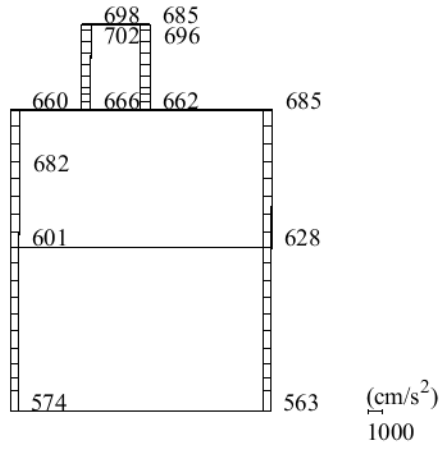


(a) S s - N 1 (++) 水平

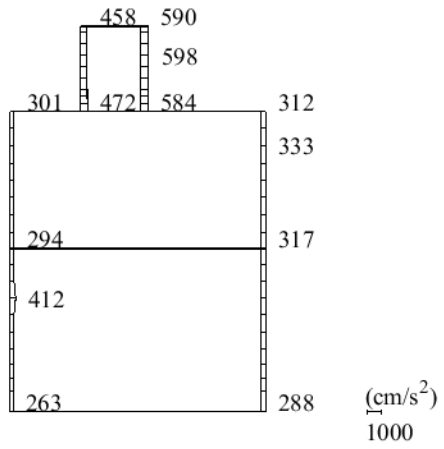


(b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-7 最大応答加速度分布図 (7/12) (解析ケース①)

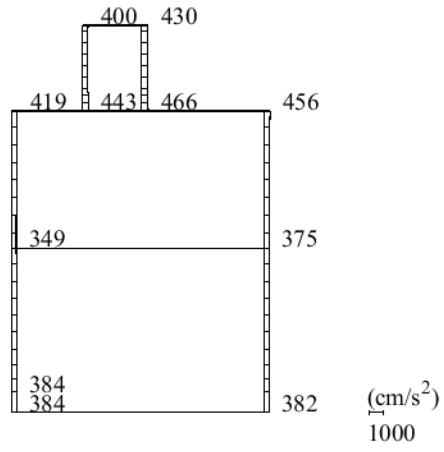


(a) S_s - N 1 (- +) 水平

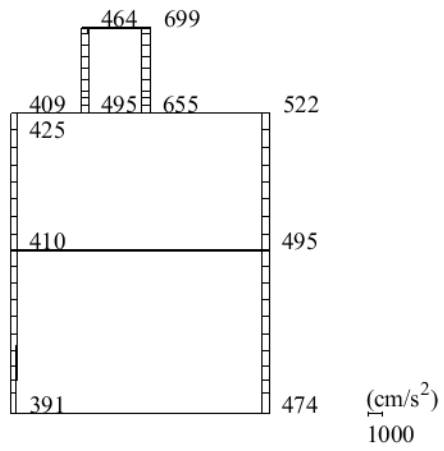


(b) S_s - N 1 (- +) 鉛直

図 4-8 最大応答加速度分布図 (8/12) (解析ケース①)

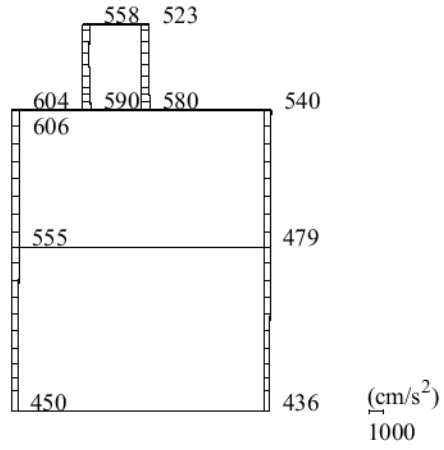


(a) $S_s - N_2 (NS)$ (++) 水平

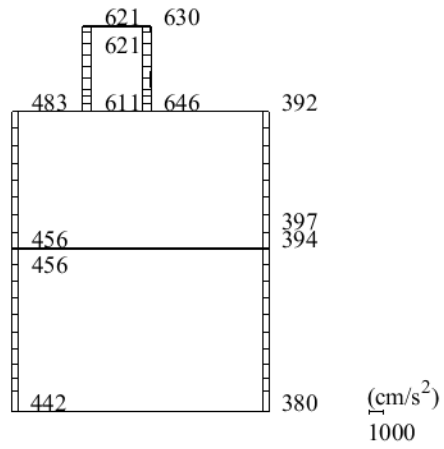


(b) $S_s - N_2 (NS)$ (++) 鉛直

図 4-9 最大応答加速度分布図 (9/12) (解析ケース①)

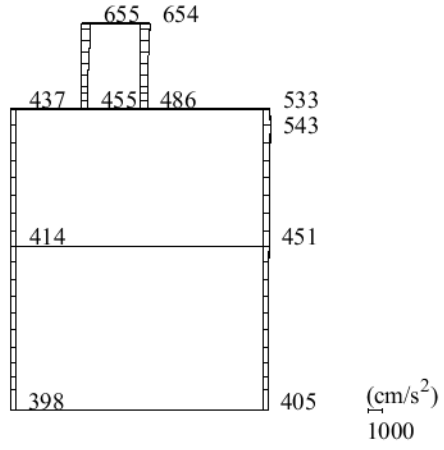


(a) S_s - N 2 (N S) (-+) 水平

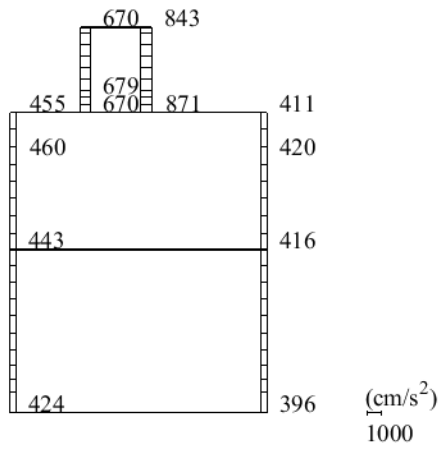


(b) S_s - N 2 (N S) (-+) 鉛直

図 4-10 最大応答加速度分布図 (10/12) (解析ケース①)

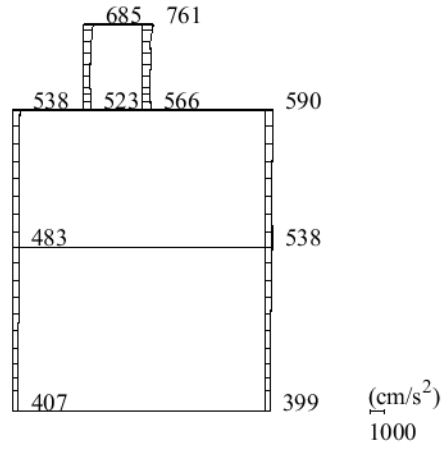


(a) $S_s - N2$ (EW) (++) 水平

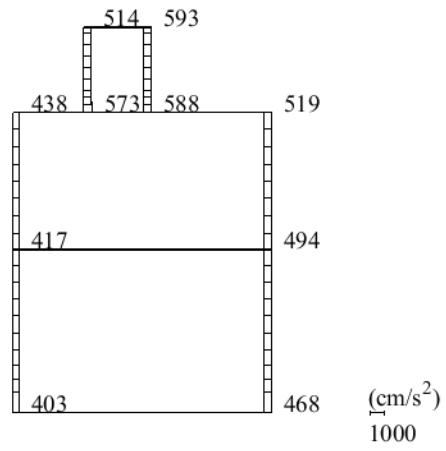


(b) $S_s - N2$ (EW) (++) 鉛直

図 4-11 最大応答加速度分布図 (11/12) (解析ケース①)



(a) $S_s - N2 (EW) (-+)$ 水平

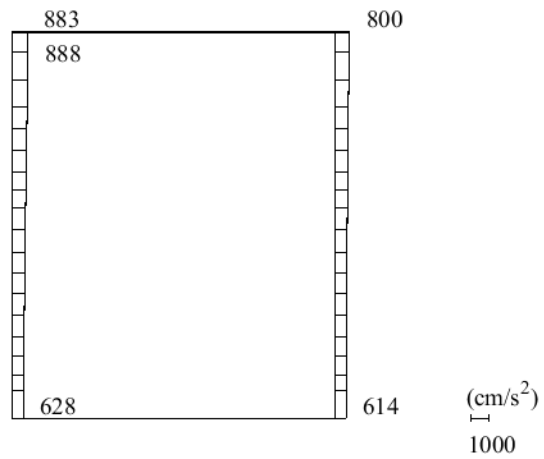


(b) $S_s - N2 (EW) (-+)$ 鉛直

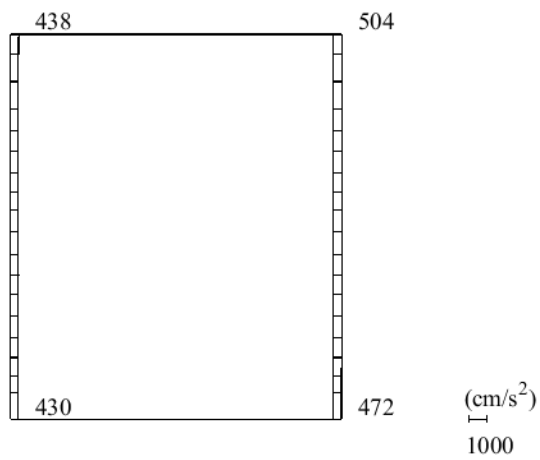
図 4-12 最大応答加速度分布図 (12/12) (解析ケース①)

4.2 B－B断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として，解析ケース①（基本ケース）について，すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-13～図 4-24 に示す。

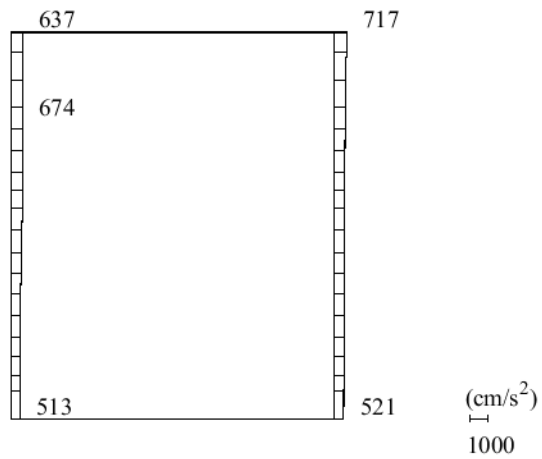


(a) S s - D (++) 水平

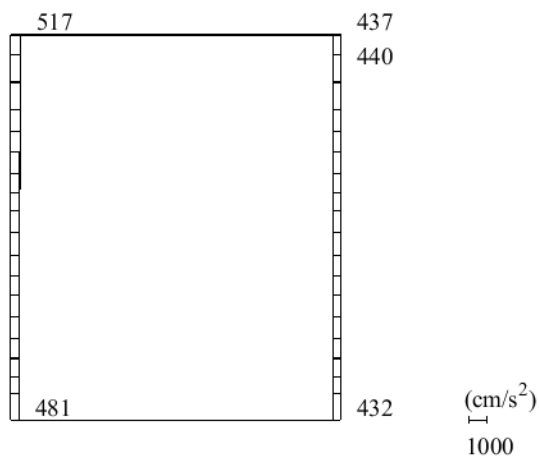


(b) S s - D (++) 鉛直

図 4-13 最大応答加速度分布図 (1/12) (解析ケース①)

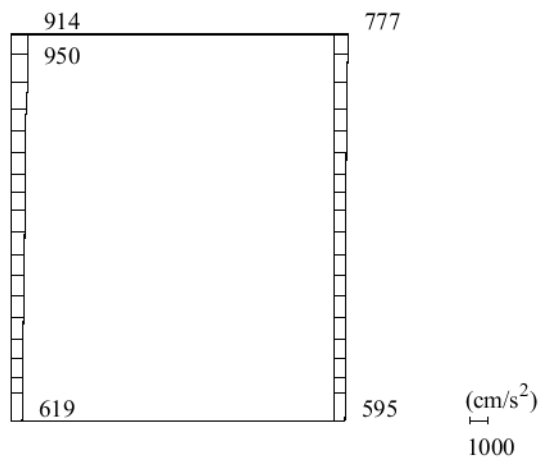


(a) S s - D (-+) 水平

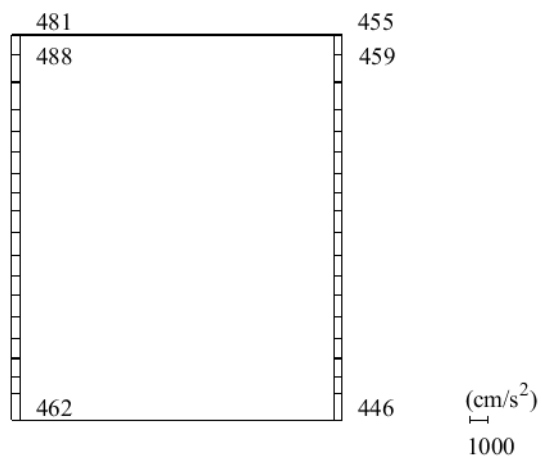


(b) S s - D (-+) 鉛直

図 4-14 最大応答加速度分布図 (2/12) (解析ケース①)

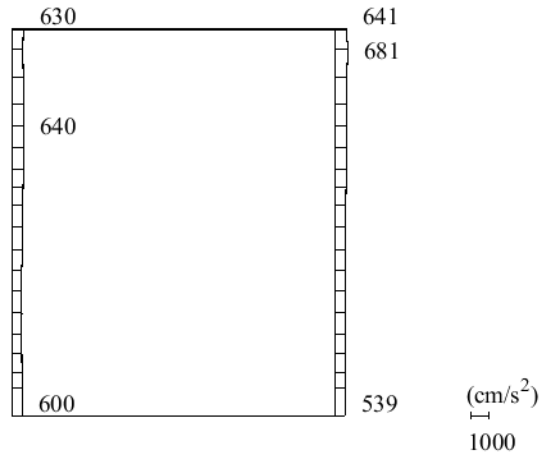


(a) S s - D (+ -) 水平

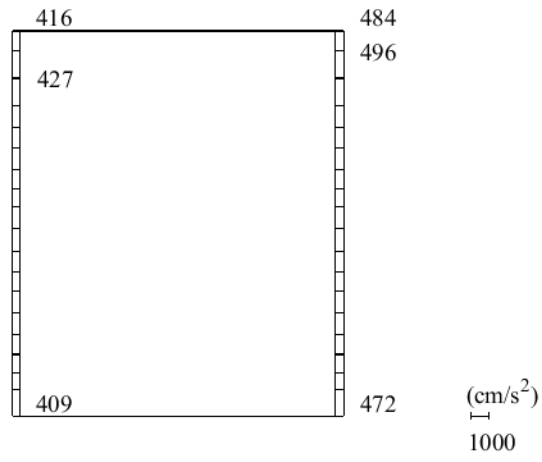


(b) S s - D (+ -) 鉛直

図 4-15 最大応答加速度分布図 (3/12) (解析ケース①)

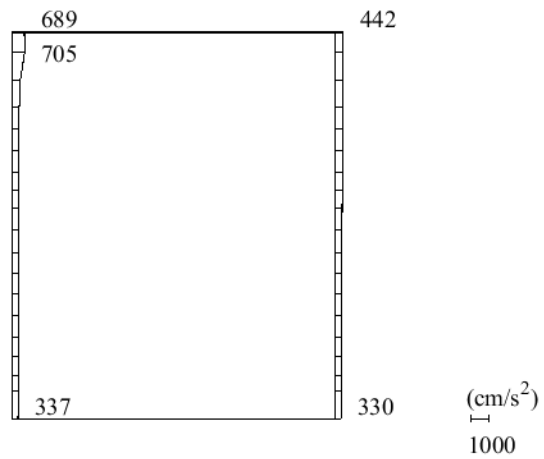


(a) S s - D (--) 水平

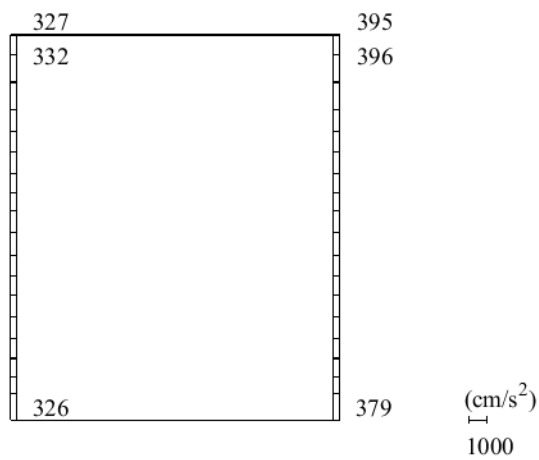


(b) S s - D (--) 鉛直

図 4-16 最大応答加速度分布図 (4/12) (解析ケース①)

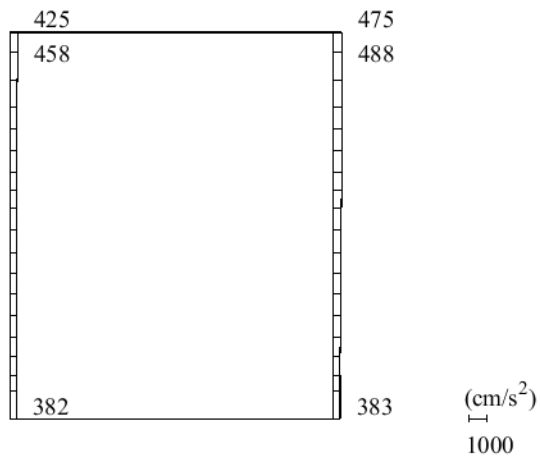


(a) $S_s - F_1$ (++) 水平

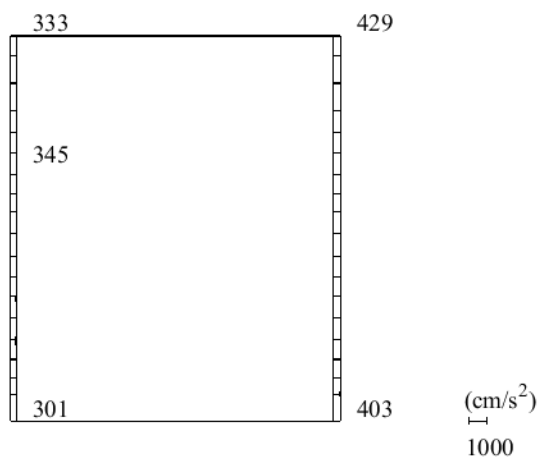


(b) $S_s - F_1$ (++) 鉛直

図 4-17 最大応答加速度分布図 (5/12) (解析ケース①)

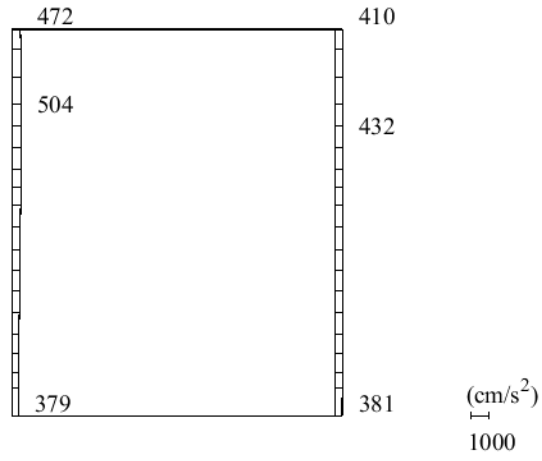


(a) $S_s - F_2$ (++) 水平

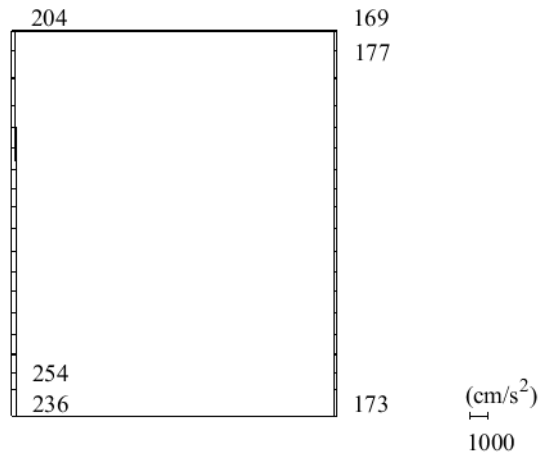


(b) $S_s - F_2$ (++) 鉛直

図 4-18 最大応答加速度分布図 (6/12) (解析ケース①)

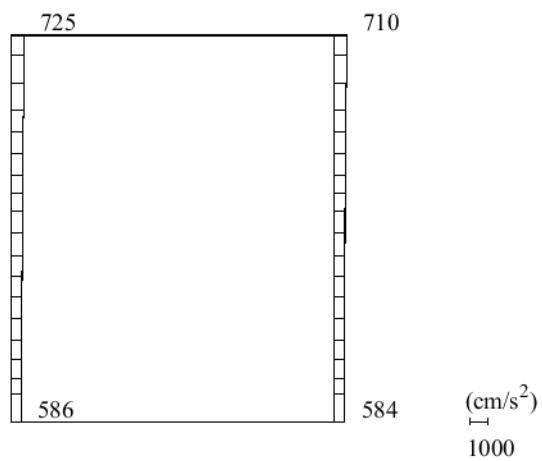


(a) S s - N 1 (++) 水平

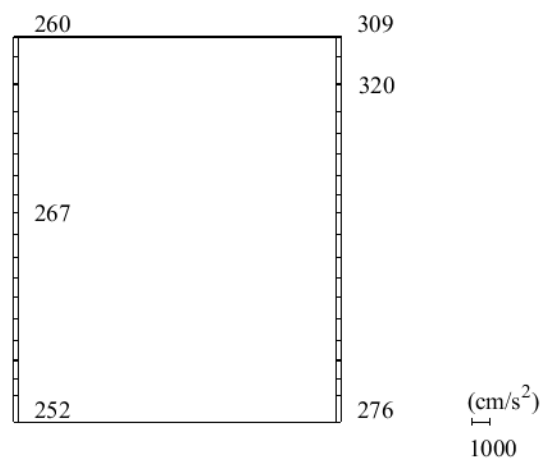


(b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-19 最大応答加速度分布図 (7/12) (解析ケース①)

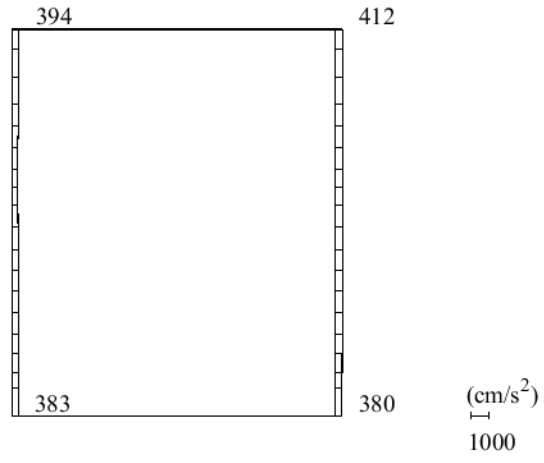


(a) $S_s - N1$ (−+) 水平

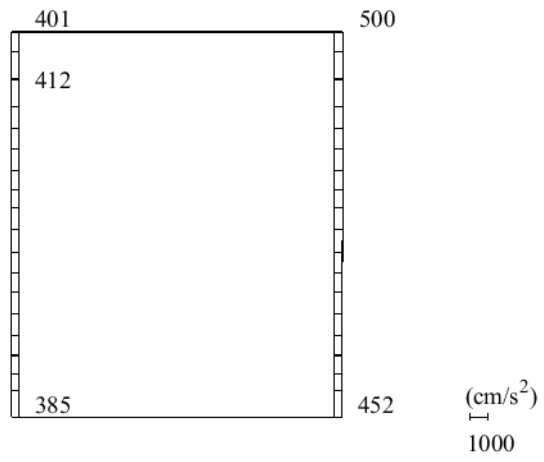


(b) $S_s - N1$ (−+) 鉛直

図 4-20 最大応答加速度分布図 (8/12) (解析ケース①)

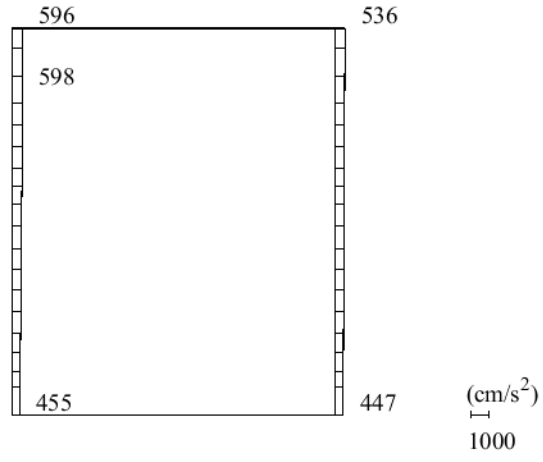


(a) $S_s - N_2 (NS)$ (++) 水平

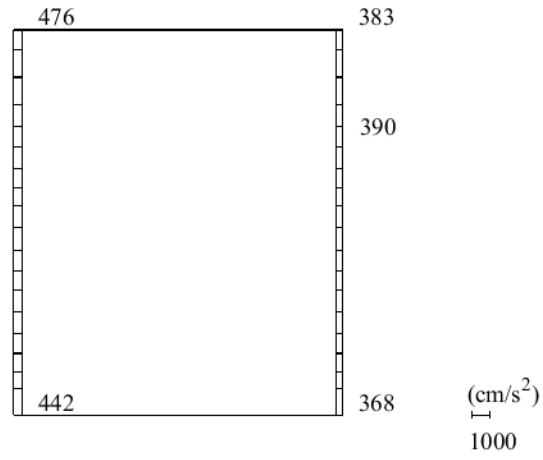


(b) $S_s - N_2 (NS)$ (++) 鉛直

図 4-21 最大応答加速度分布図 (9/12) (解析ケース①)

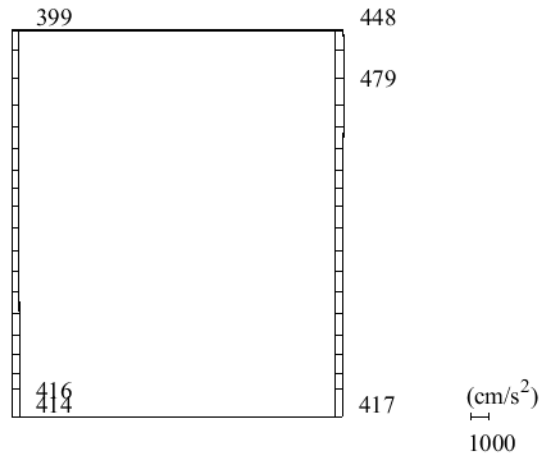


(a) $S_s - N_2 (NS)$ (- +) 水平

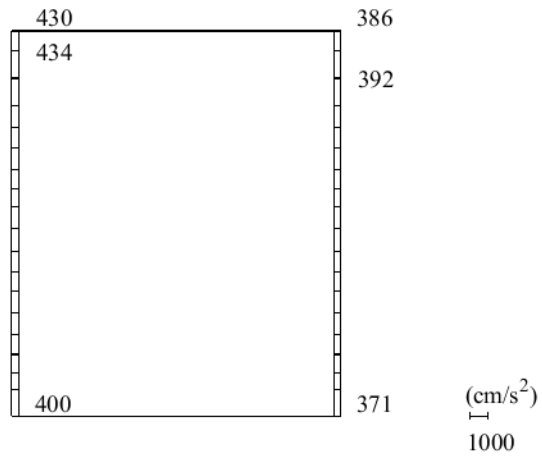


(b) $S_s - N_2 (NS)$ (- +) 鉛直

図 4-22 最大応答加速度分布図 (10/12) (解析ケース①)

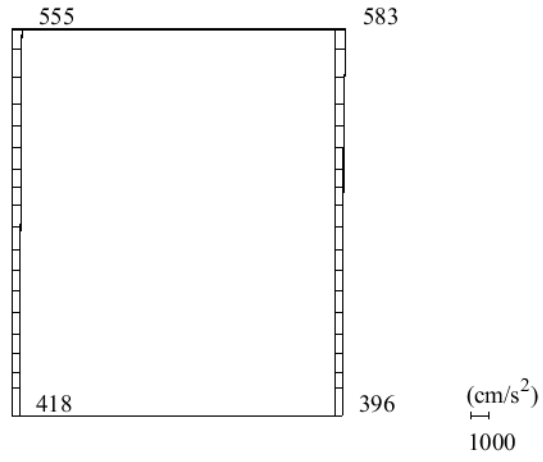


(a) $S_s - N_2$ (EW) (++) 水平

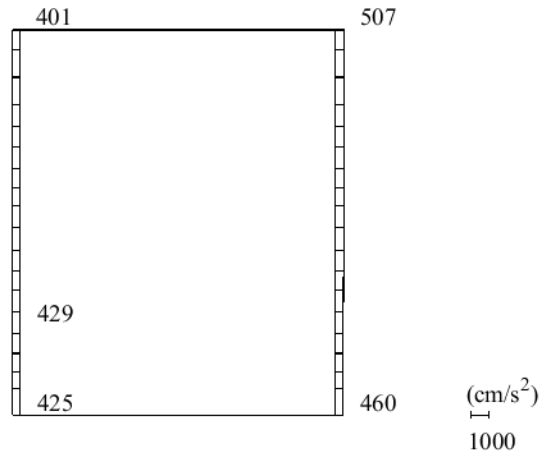


(b) $S_s - N_2$ (EW) (++) 鉛直

図 4-23 最大応答加速度分布図 (11/12) (解析ケース①)



(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平

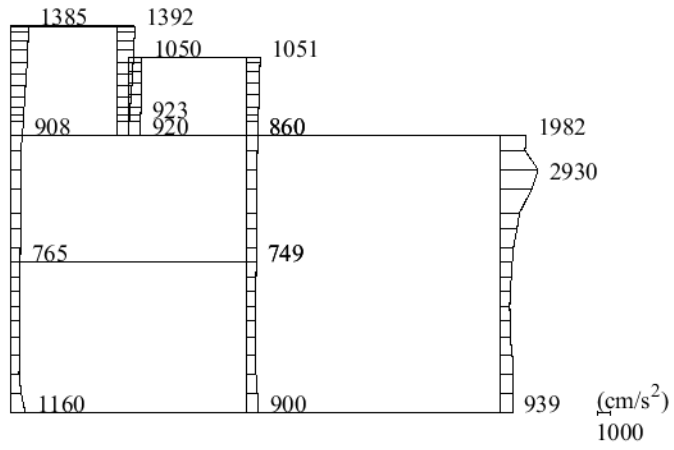


(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

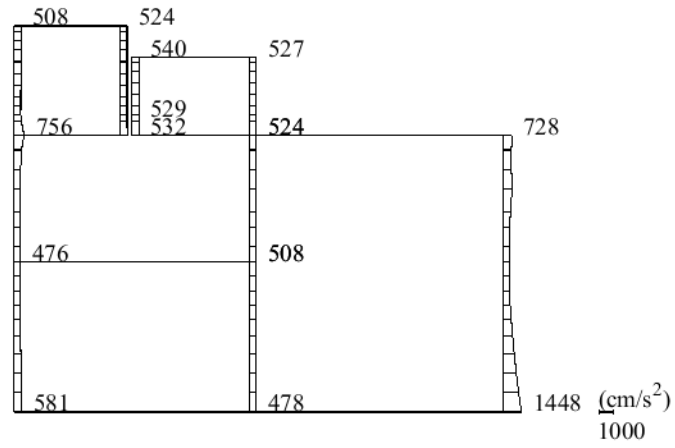
図 4-24 最大応答加速度分布図 (12/12) (解析ケース①)

4.3 C-C断面の解析結果

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図4-25～図4-36に示す。

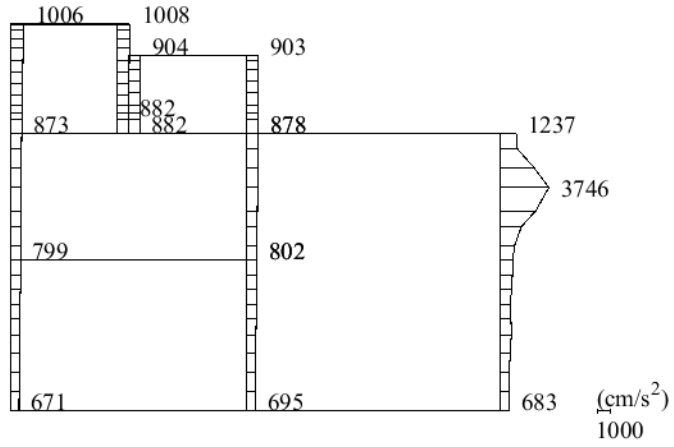


(a) S s - D (++) 水平

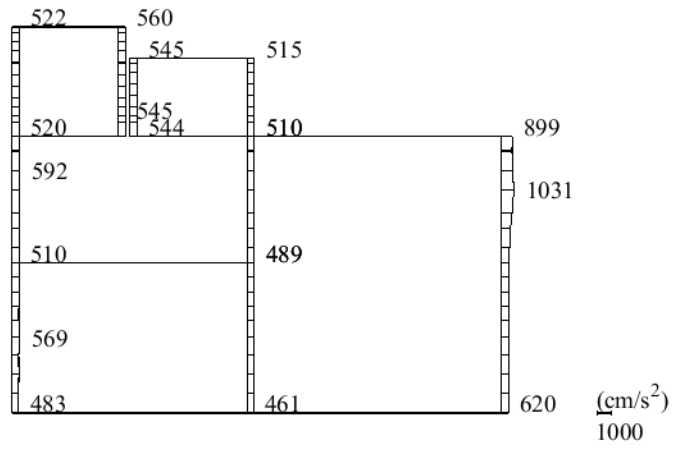


(b) S s - D (++) 鉛直

図 4-25 最大応答加速度分布図 (1/12) (解析ケース①)

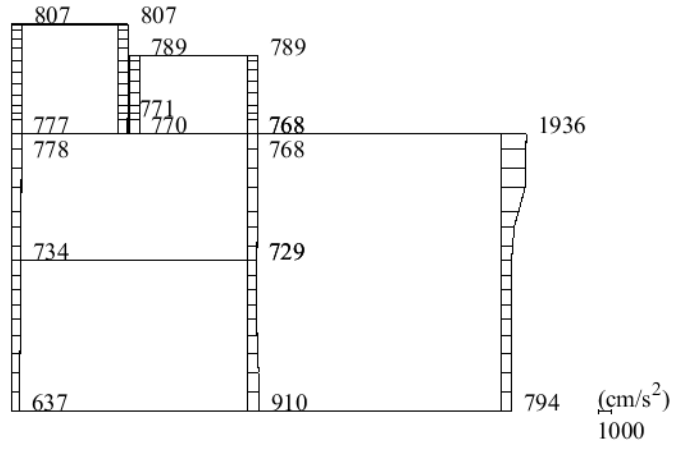


(a) S s - D (-+) 水平

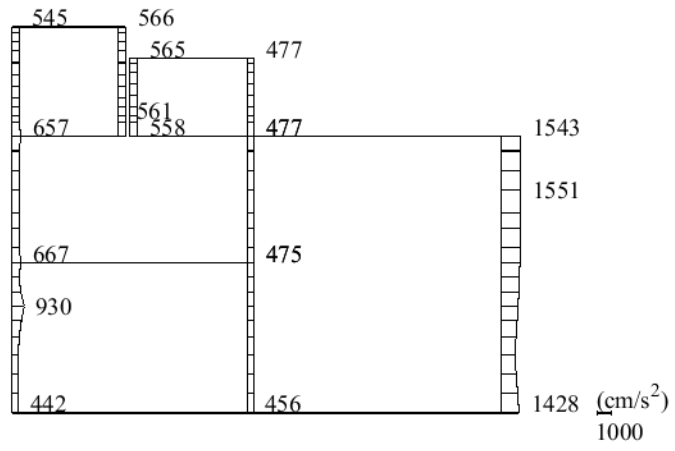


(b) S s - D (-+) 鉛直

図 4-26 最大応答加速度分布図 (2/12) (解析ケース①)

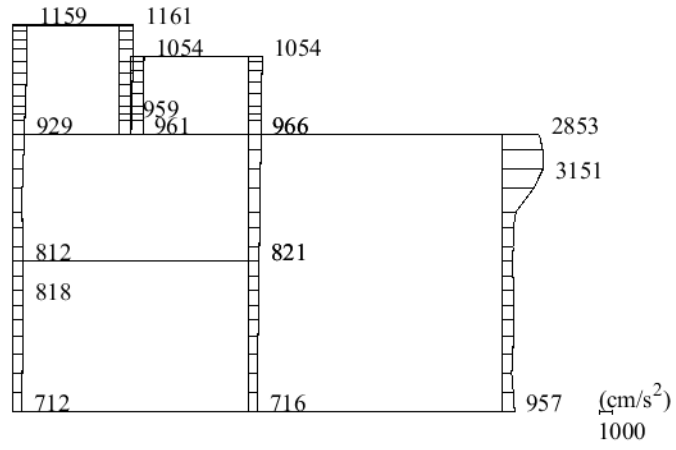


(a) S s - D (+ -) 水平

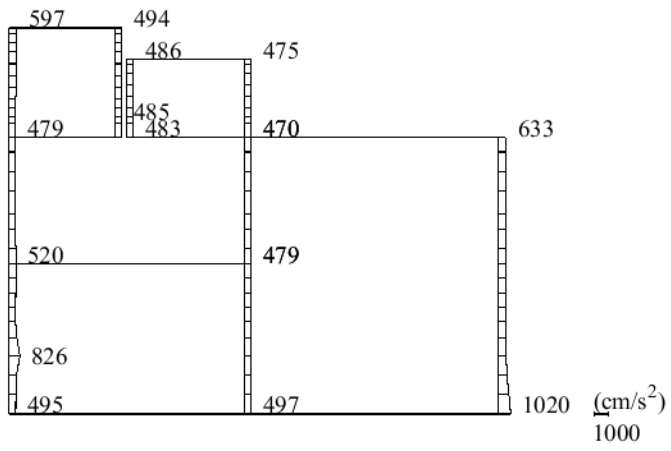


(b) S s - D (+ -) 鉛直

図 4-27 最大応答加速度分布図 (3/12) (解析ケース①)

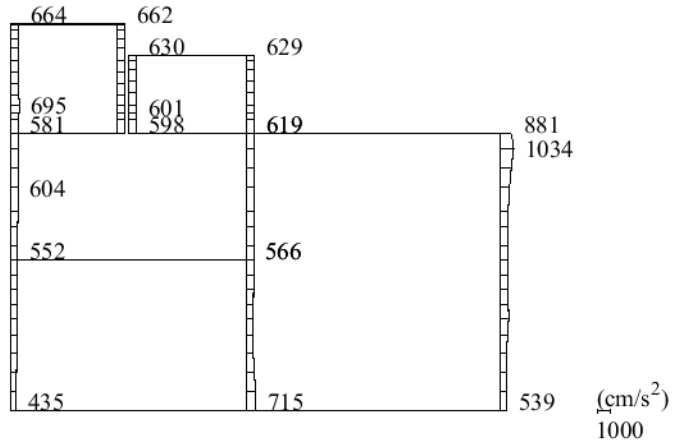


(a) S s - D (--) 水平

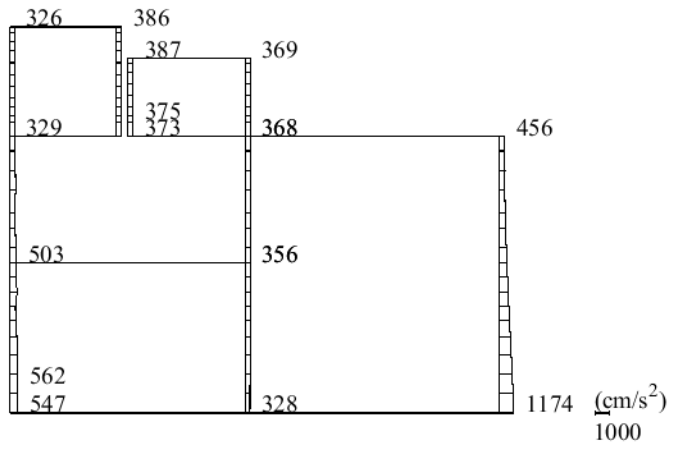


(b) S s - D (--) 鉛直

図 4-28 最大応答加速度分布図 (4/12) (解析ケース①)

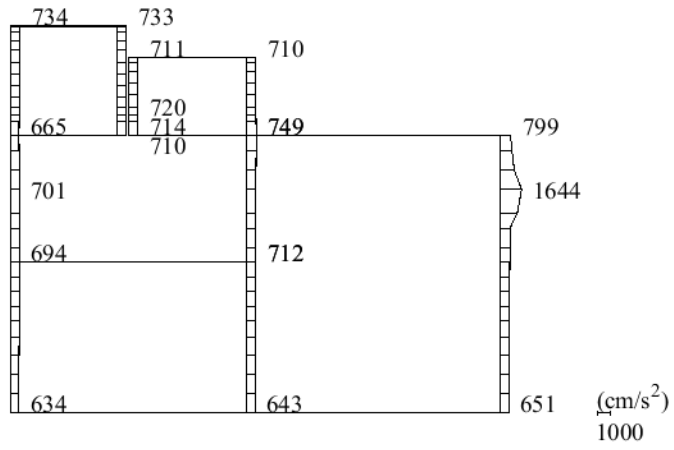


(a) S s - F 1 (++) 水平

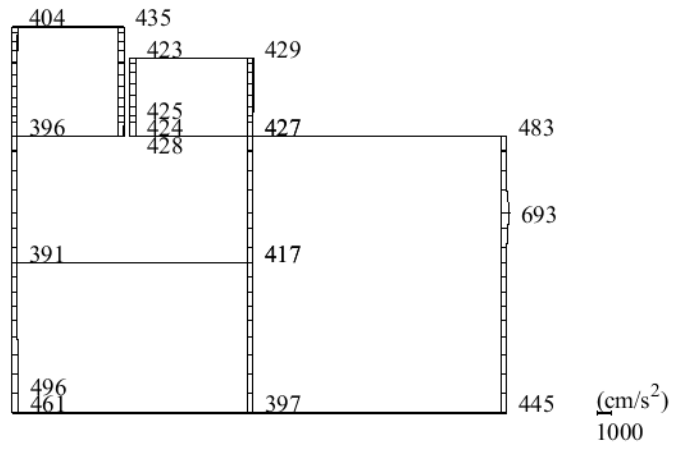


(b) S s - F 1 (++) 鉛直

図 4-29 最大応答加速度分布図 (5/12) (解析ケース①)

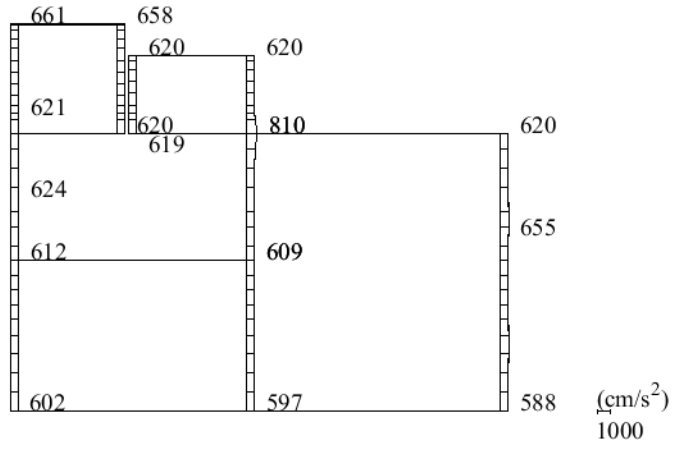


(a) $S_s - F_2$ (++) 水平

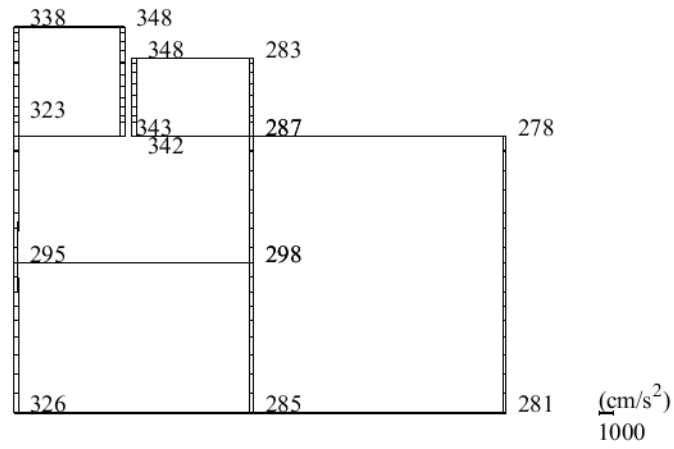


(b) $S_s - F_2$ (++) 鉛直

図 4-30 最大応答加速度分布図 (6/12) (解析ケース①)

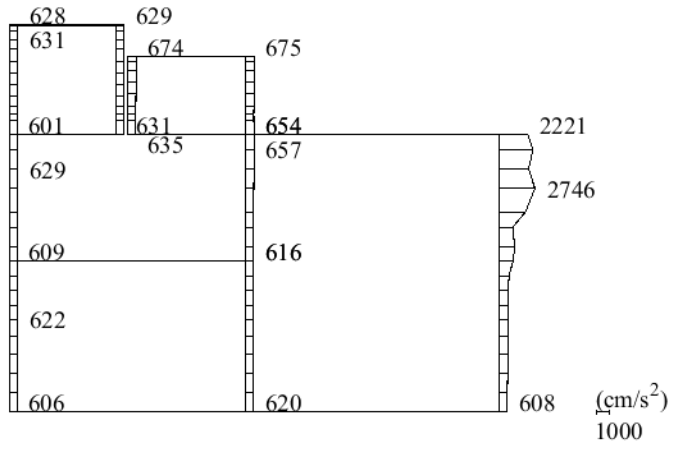


(a) S s - N 1 (++) 水平

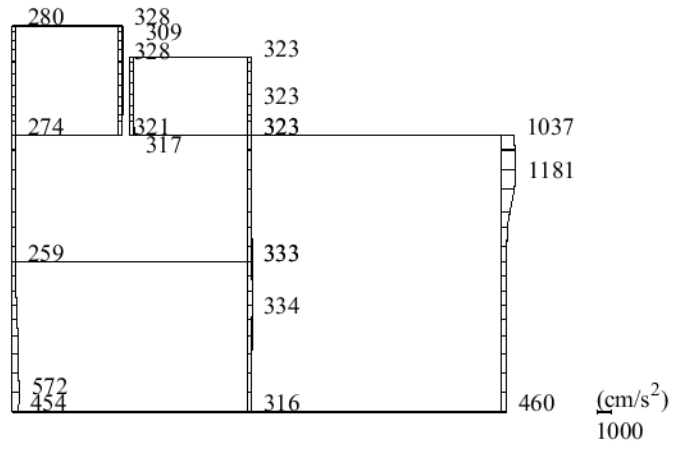


(b) S s - N 1 (++) 鉛直

図 4-31 最大応答加速度分布図 (7/12) (解析ケース①)

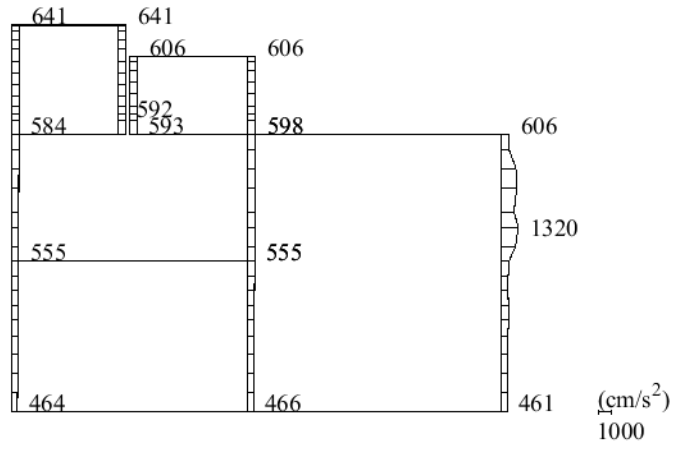


(a) S s - N 1 (-+) 水平

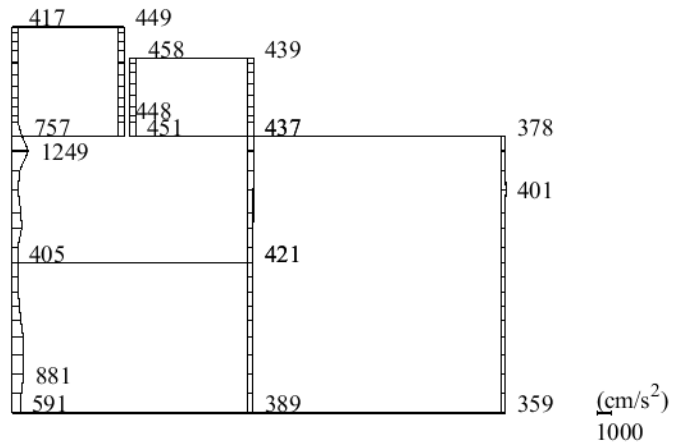


(b) S s - N 1 (-+) 鉛直

図 4-32 最大応答加速度分布図 (8/12) (解析ケース①)

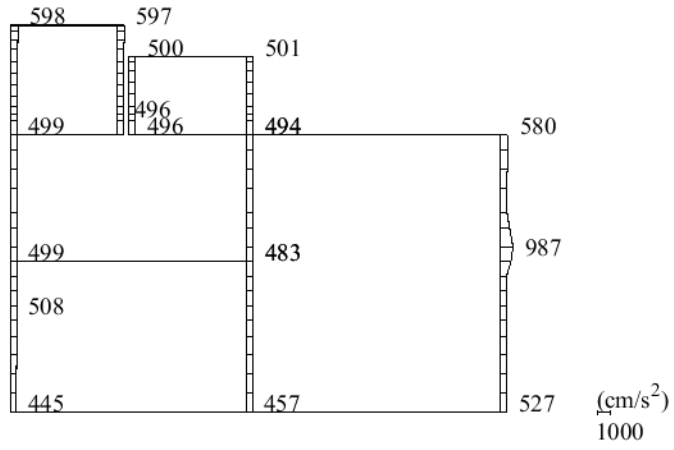


(a) $S_s - N_2 (NS)$ (++) 水平

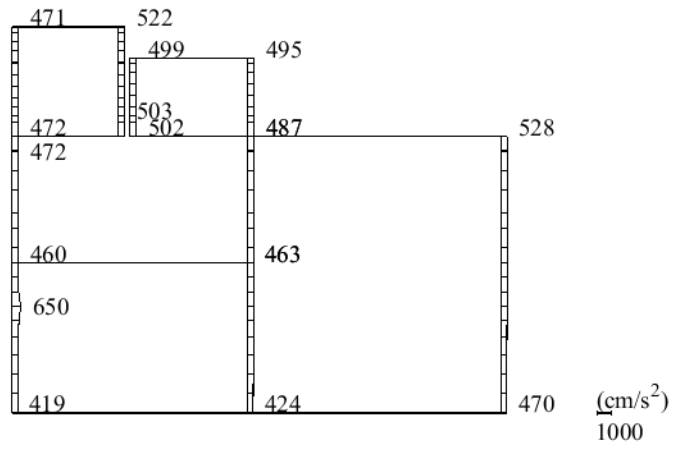


(b) $S_s - N_2 (NS)$ (++) 鉛直

図 4-33 最大応答加速度分布図 (9/12) (解析ケース①)

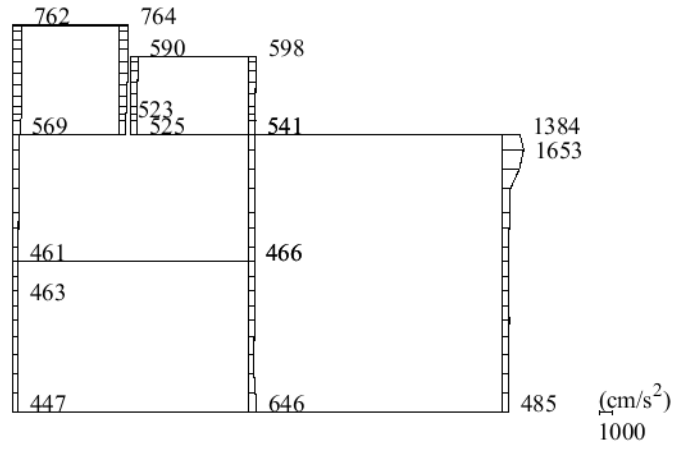


(a) $S_s - N_2 (NS)$ (- +) 水平

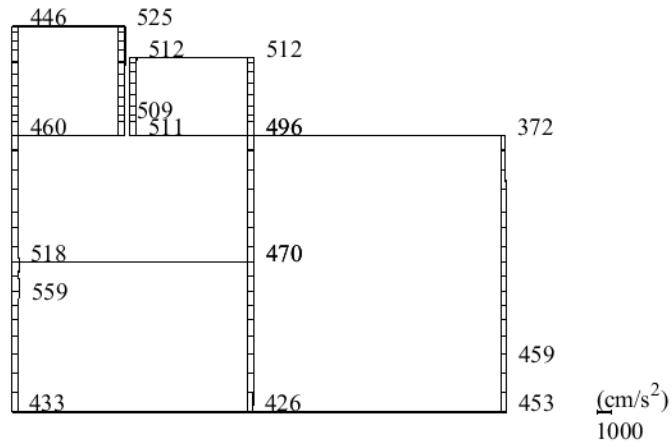


(b) $S_s - N_2 (NS)$ (- +) 鉛直

図 4-34 最大応答加速度分布図 (10/12) (解析ケース①)

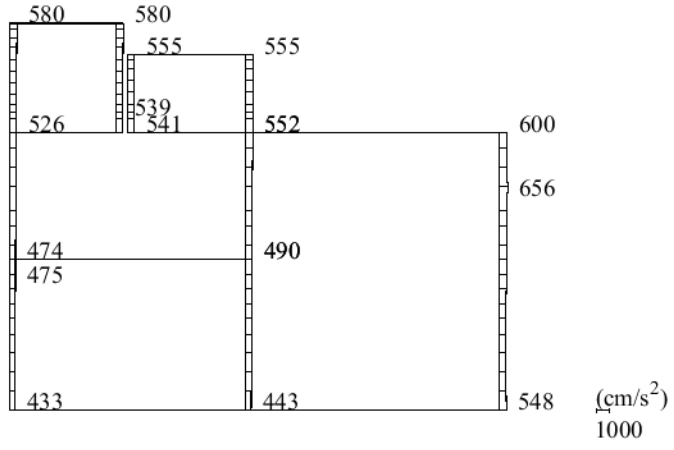


(a) $S_s - N2 (EW) \quad (++) \quad \text{水平}$

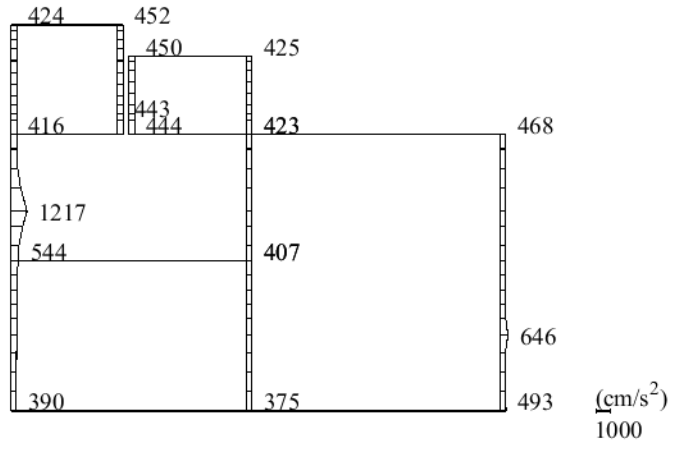


(b) $S_s - N2 (EW) \quad (++) \quad \text{鉛直}$

図 4-35 最大応答加速度分布図 (11/12) (解析ケース①)



(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

図 4-36 最大応答加速度分布図 (12/12) (解析ケース①)

VI-2-2-33 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震性について
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	10
2.4 適用規格・基準等	13
3. 耐震評価	14
3.1 評価対象断面	14
3.2 使用材料及び材料の物性値	16
3.3 許容限界	17
3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界	17
3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	18
3.4 評価方法	19
3.4.1 構造部材の健全性評価	19
3.4.2 基礎地盤の支持性能評価	23
4. 耐震評価結果	24
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	24
4.2 貯水機能に対する評価結果	27
4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	28
4.3.1 基礎地盤	28

1. 概要

本資料は、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格納槽が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び支持機能を有していることを確認するものである。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に要求される機能維持の確認は、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。また、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の一部である低圧原子炉代替注水槽については、貯水機能に対する評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の位置図を図 2-1 に示す。

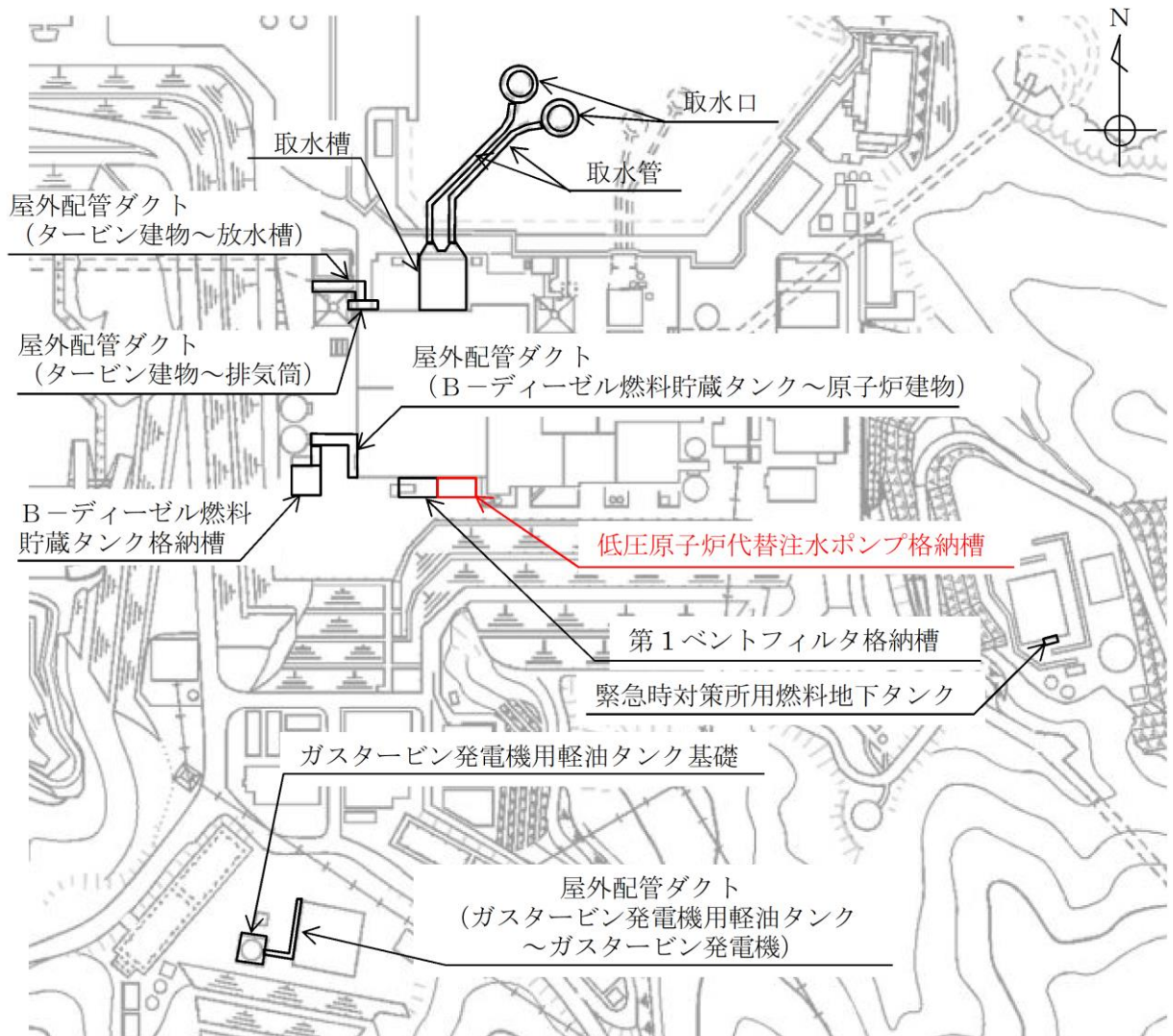


図 2-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 位置図

2.2 構造概要

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の平面図を図 2-2 に，断面図を図 2-3～図 2-7 に，概略配筋図を図 2-8～図 2-12 示す。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は，低圧原子炉代替注水槽を有し，低圧原子炉代替注水ポンプ等を間接支持する幅 26.6m (EW 方向) ×13.4m (NS 方向)，高さ約 21.2m の鉄筋コンクリート造の地中（一部地上部を含む）構造物であり，直接又はマンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する C_M級及び C_H級岩盤に支持される。



図 2-2 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 平面図

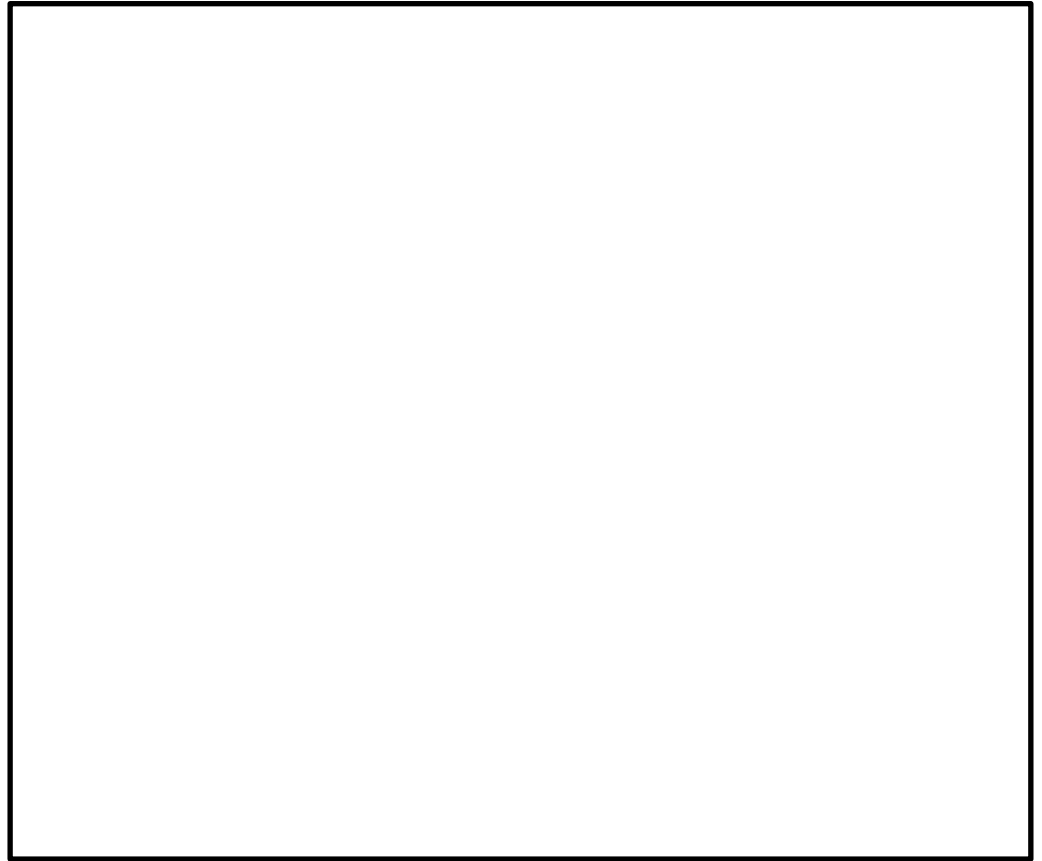


図 2-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (A-A断面)

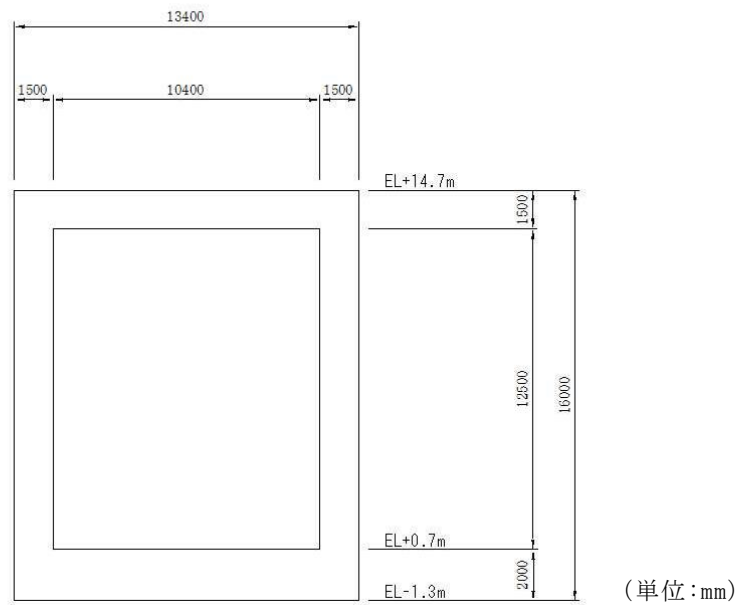
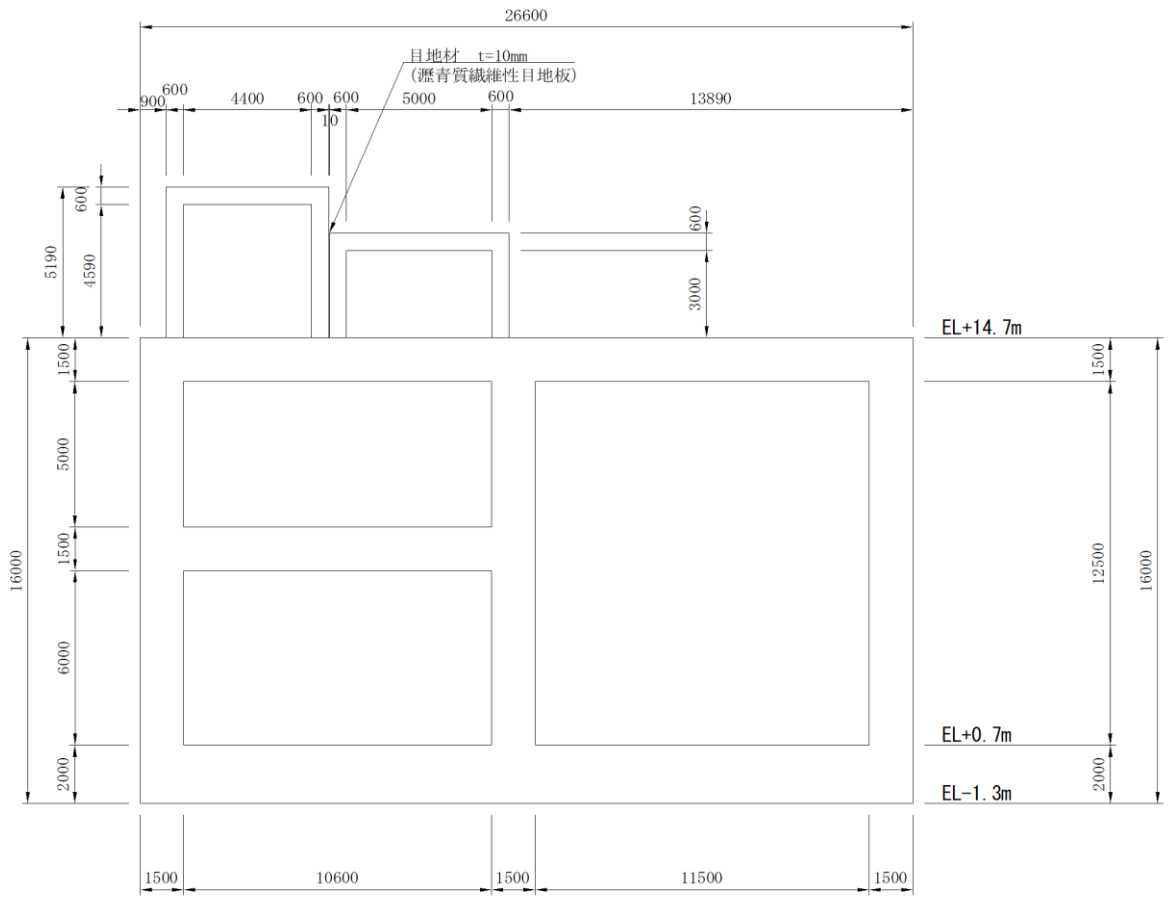


図 2-4 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (B-B断面)



(単位:mm)

図 2-5 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (C-C断面)

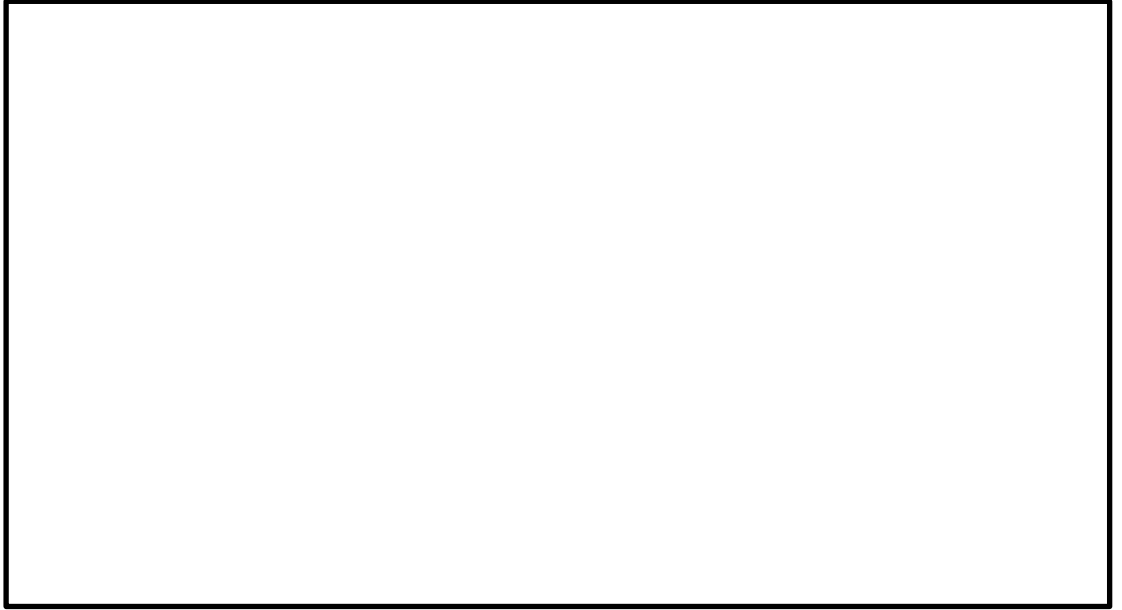


図 2-6 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (D-D断面)

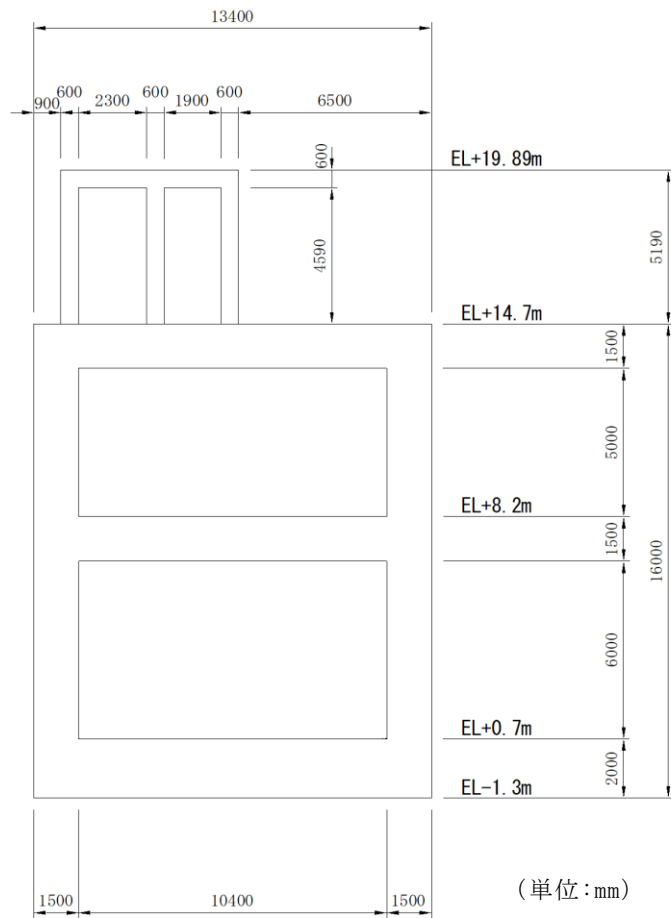


図 2-7 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 断面図 (E-E断面)

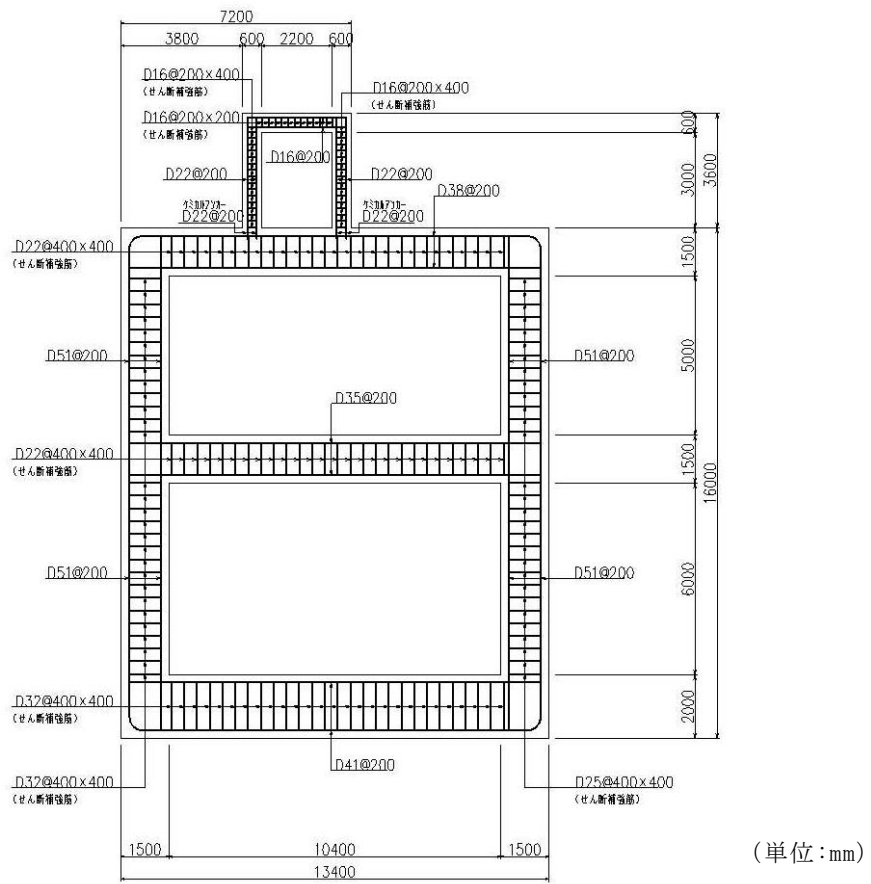


図 2-8 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (A-A 断面)

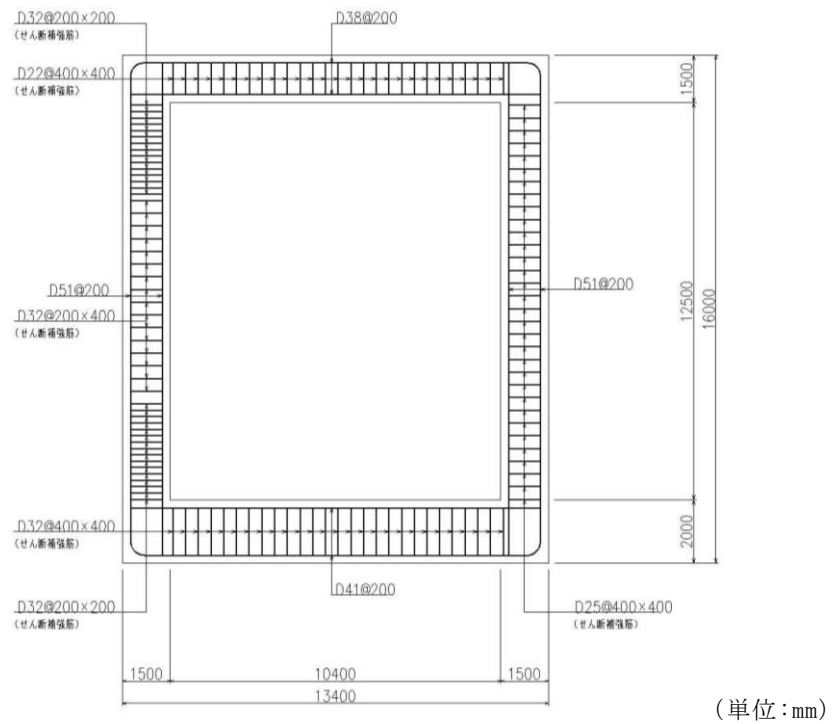


図 2-9 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (B-B 断面)

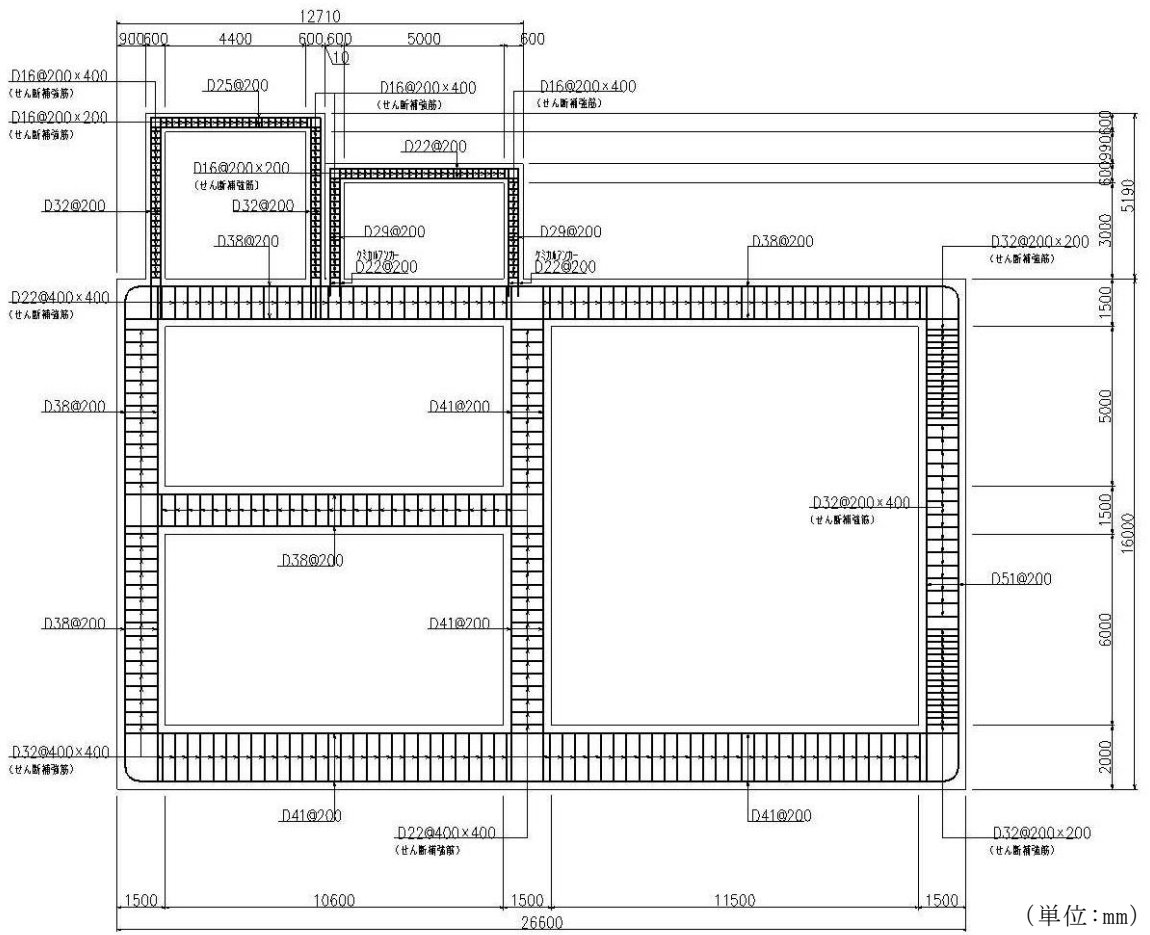


図 2-10 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (C-C 断面)

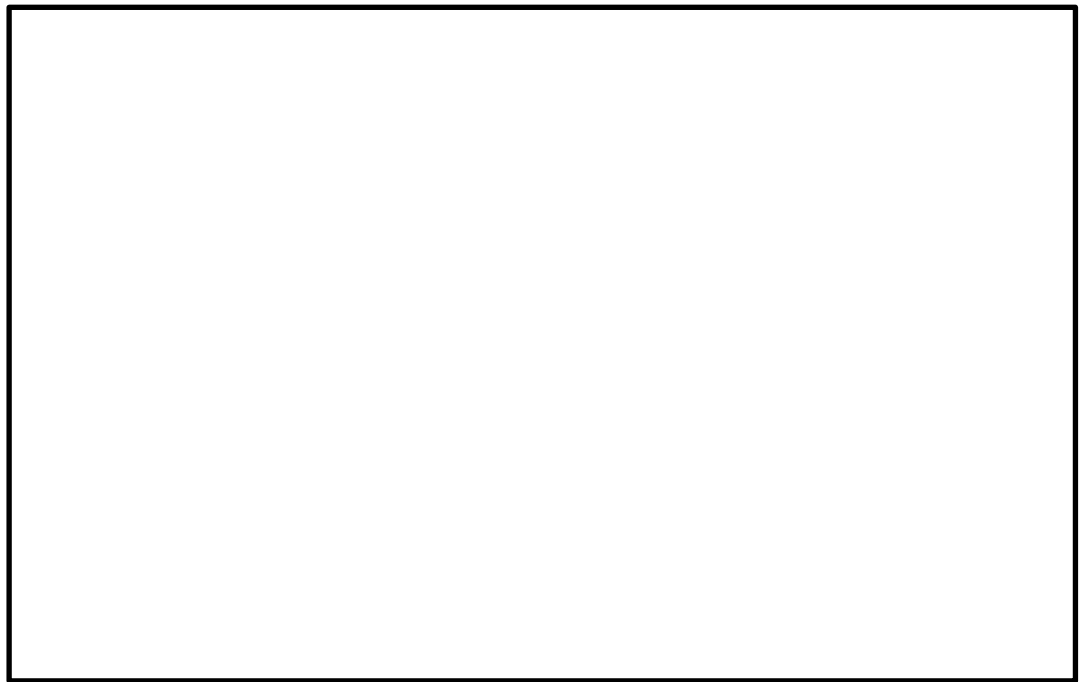


図 2-11 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (D-D 断面)

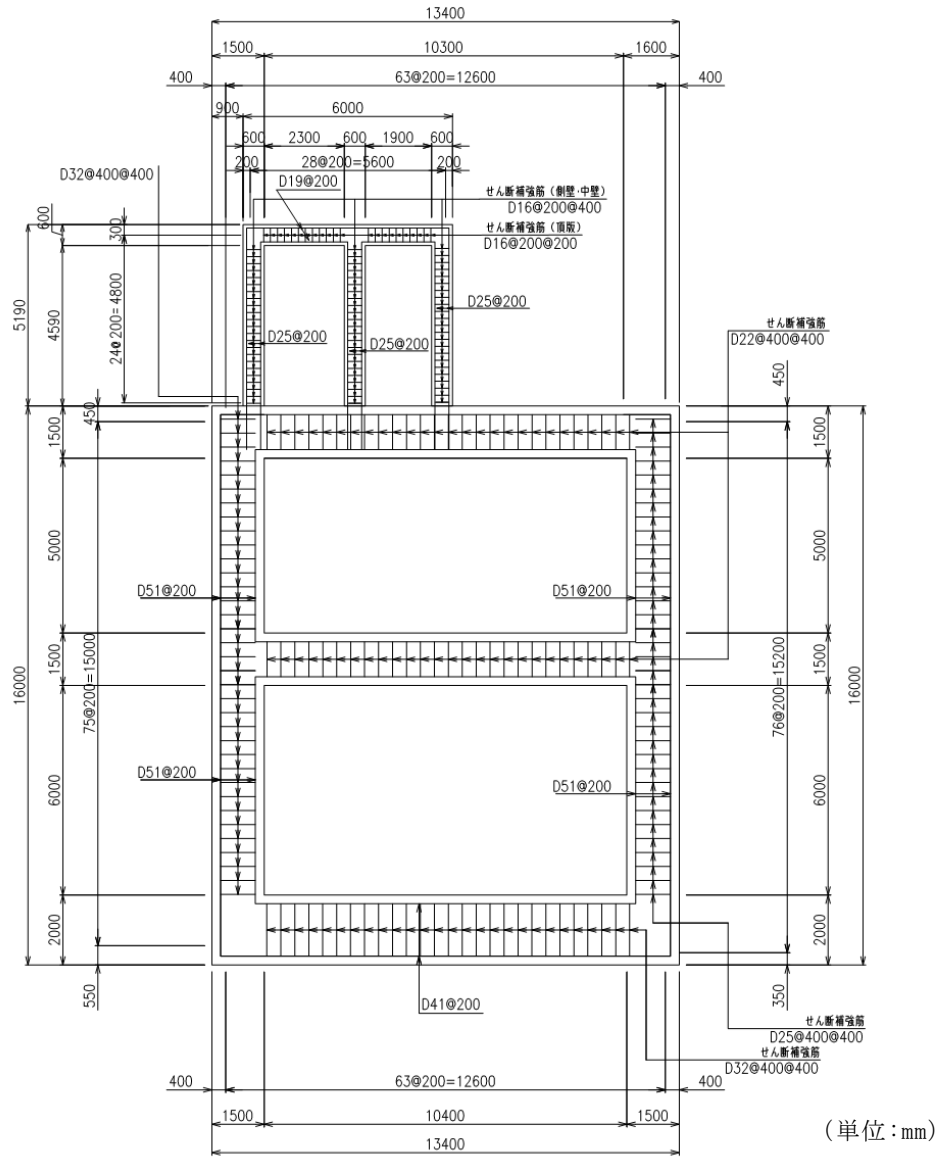


図 2-12 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 概略配筋図 (E-E 断面)

2.3 評価方針

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、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が設置される重大事故等対処施設に分類され、一部に低圧原子炉代替注水槽を有している。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震評価フローを図 2-13 に示す。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、VI-2-2-32「低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設の評価として、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認し、これにより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を支持する機能を維持することができる。

構造部材の健全性評価については、VI-2-2-32「低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、曲げ・軸力系の破壊に対しては構造部材の照査用ひずみが許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、VI-2-2-32「低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤に発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の一部である低圧原子炉代替注水槽は、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であり、貯水機能を維持することが要求されるため、構造部材の貯水機能に対する評価を併せて実施する。

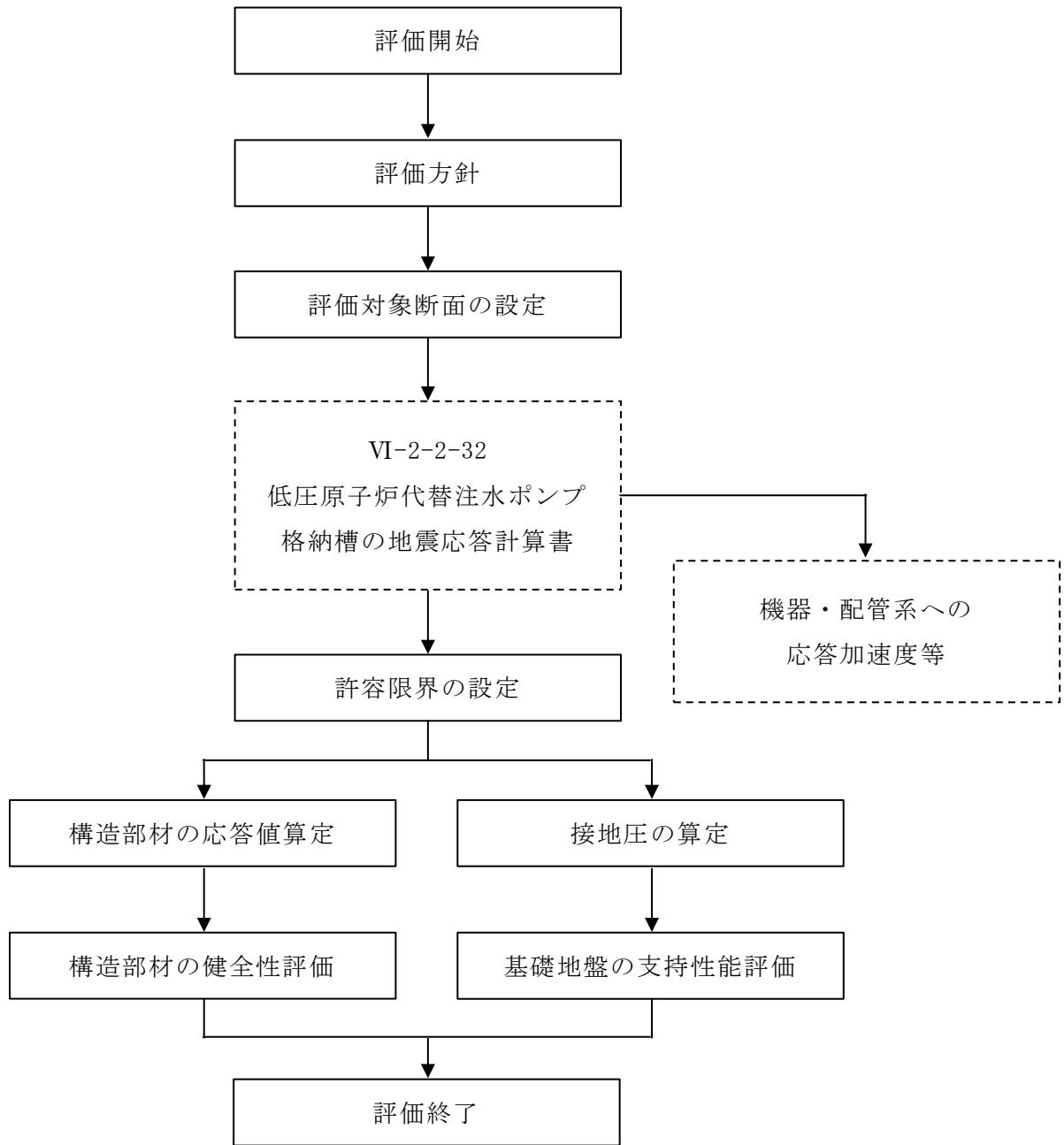


図 2-13 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 耐震評価フロー

表 2-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力度*	
貯水機能を維持すること	貯水機能	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の評価対象断面位置を図 3-1 に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図 3-1 の A-A 断面及び B-B 断面とする。

評価対象断面図を図 3-2 及び図 3-3 に示す。

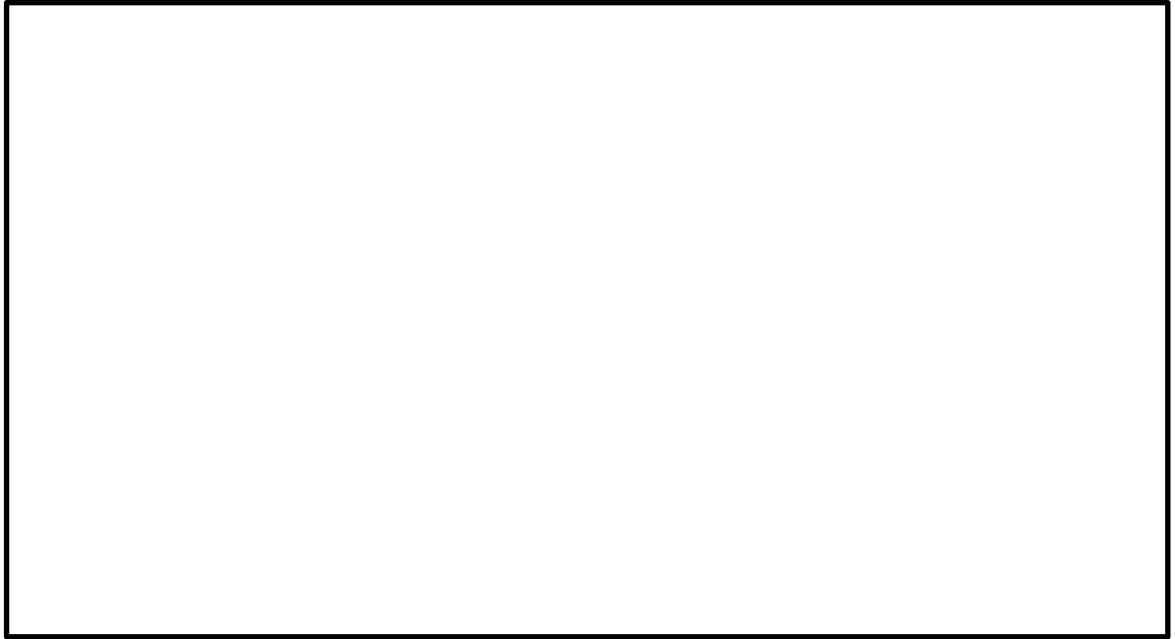
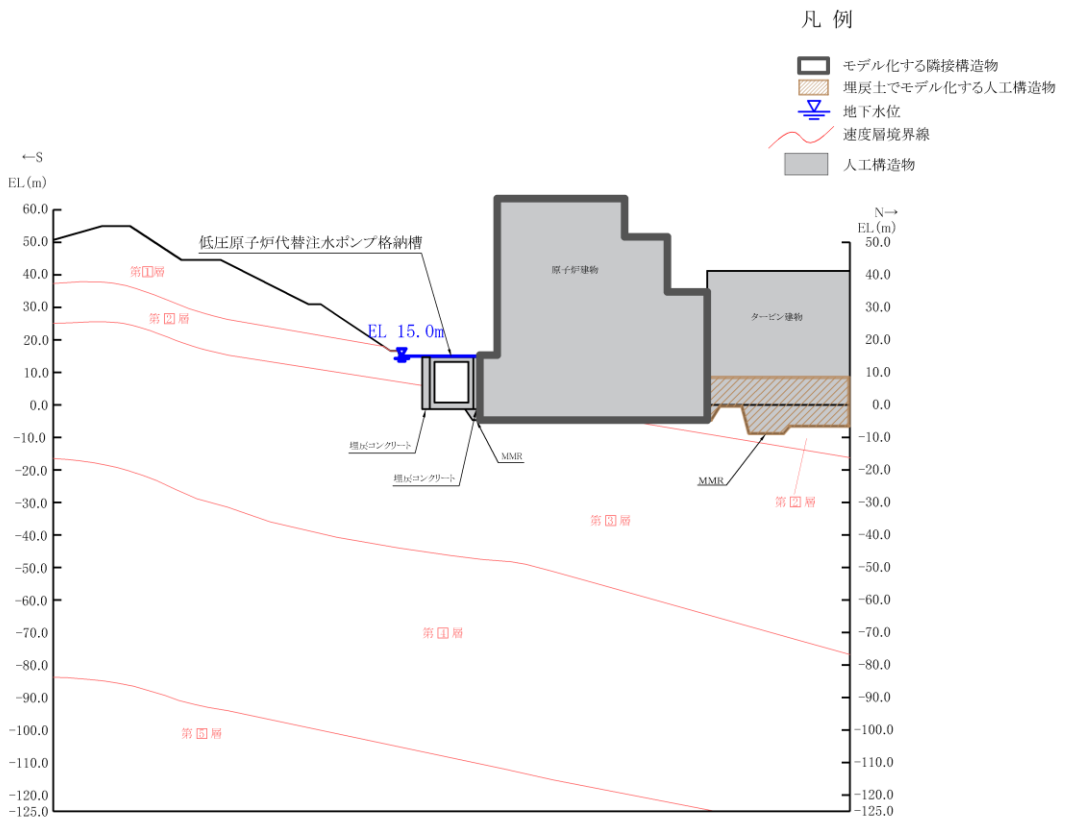
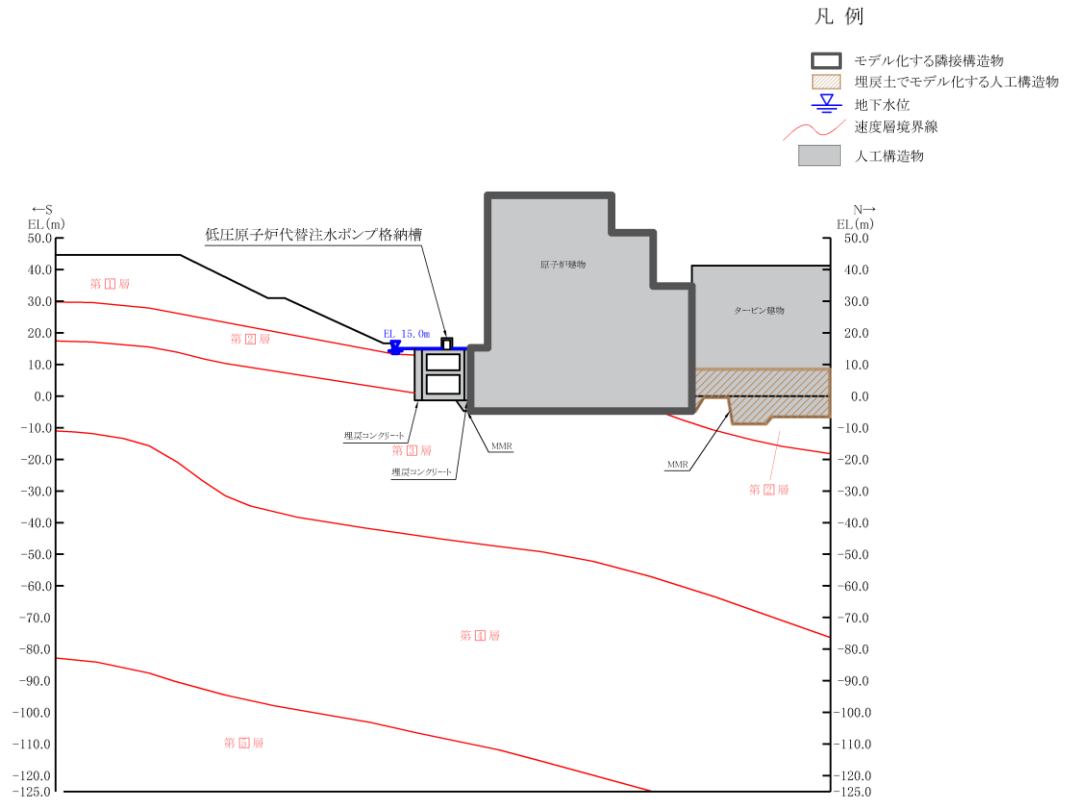


図 3-1 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 評価対象断面位置図



3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-1, 材料物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
埋戻コンクリート		設計基準強度 18.0N/mm ²
MMR		

表 3-2 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物	2.50×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
埋戻コンクリート	2.20×10 ⁴	22.6* ²	
MMR			

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみが1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

低圧原子炉代替注水槽における貯水機能を損なわないことの確認については、コンクリート標準示方書に基づき、主筋ひずみ及びコンクリートの圧縮ひずみについて、部材降伏に相当するひずみ（主筋ひずみ 1725μ ，コンクリート圧縮ひずみ 2000μ ）とする。

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表3-3に示す。

表3-3 低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	限界 ひずみ	圧縮縁コンクリートひずみ：1.0%（ 10000μ ）
貯水機能を維持すること		主筋ひずみ（SD345）： 1725μ コンクリート圧縮ひずみ： 2000μ

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表3-4に示す。

表3-4 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級又はC _H 級岩盤	9.8

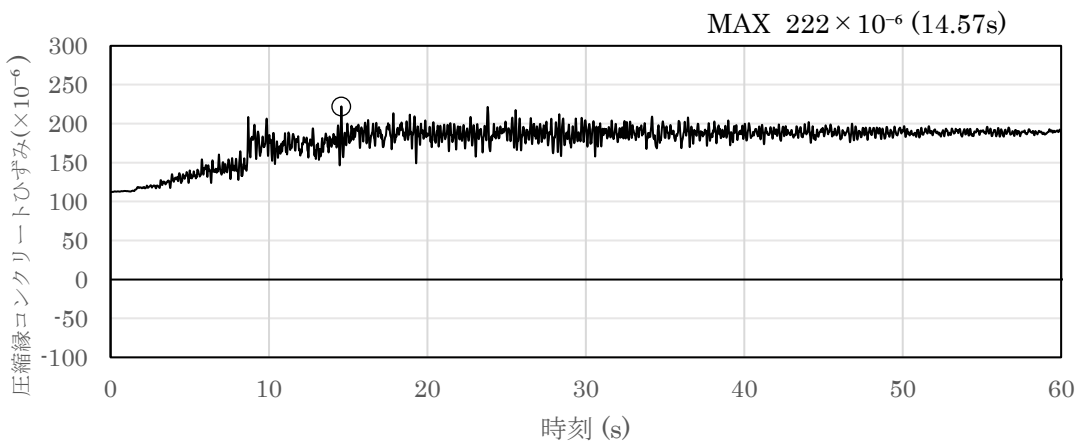
3.4 評価方法

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の耐震評価は，地震応答解析により算定した照査用応答値が，「3.3 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

3.4.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査に対して，地震応答解析により算定した照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ・軸力系の破壊に対して照査値が最大となる地震動及び解析ケースでのひずみの時刻歴波形及び発生位置を図 3-4～図 3-6 に，せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図 3-7 及び図 3-8 に示す



(圧縮を正で示す。)

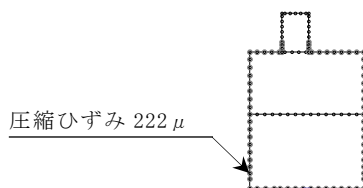
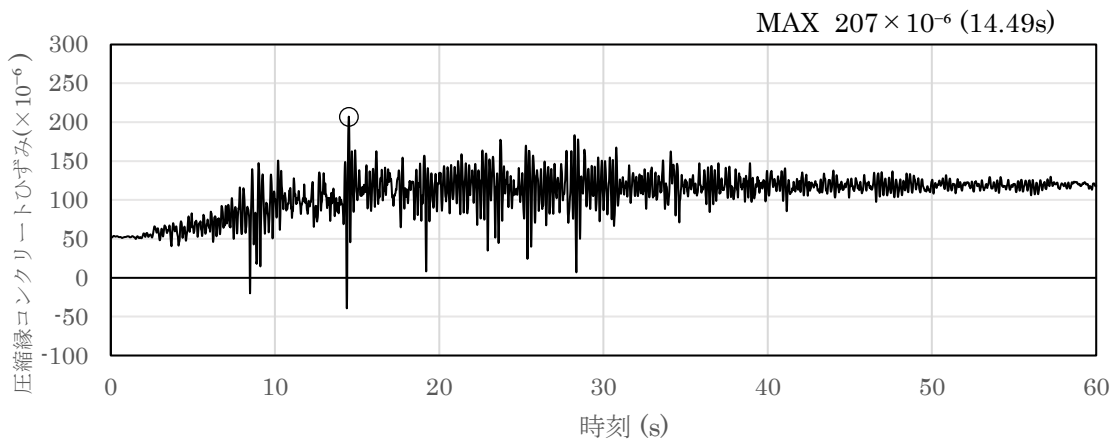


図 3-4 曲げ・軸力系の破壊に対する照査におけるひずみの時刻歴波形
(A-A断面，解析ケース①，S_s-D (-+))



(圧縮を正で示す。)

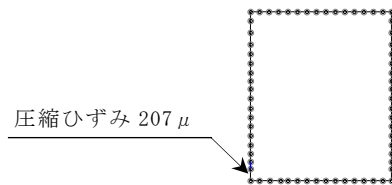
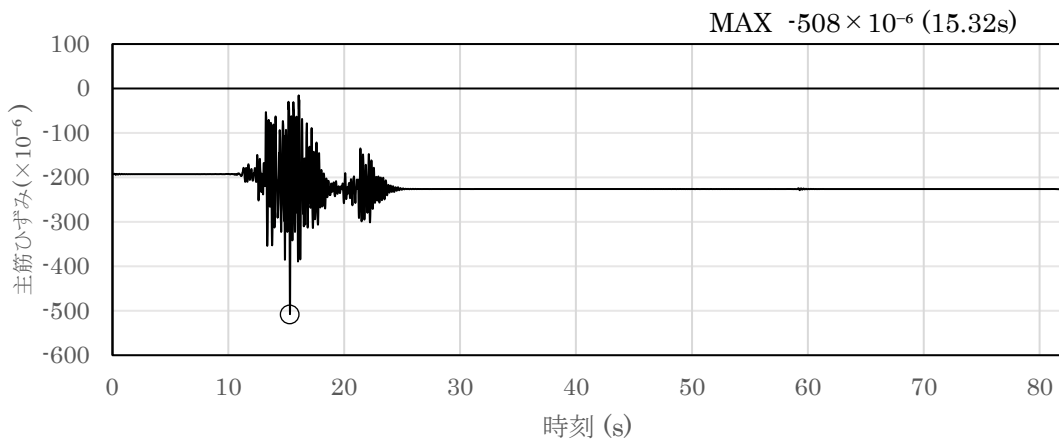


図 3-5 曲げ・軸力系の破壊に対する照査におけるひずみ（コンクリート）の時刻歴波形（B-B断面，解析ケース①，S s - D (+ -))



(圧縮を正で示す。)

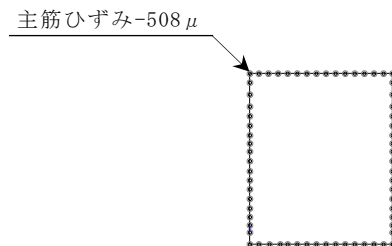
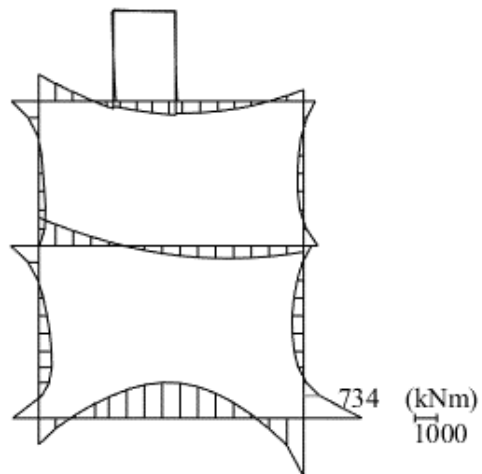
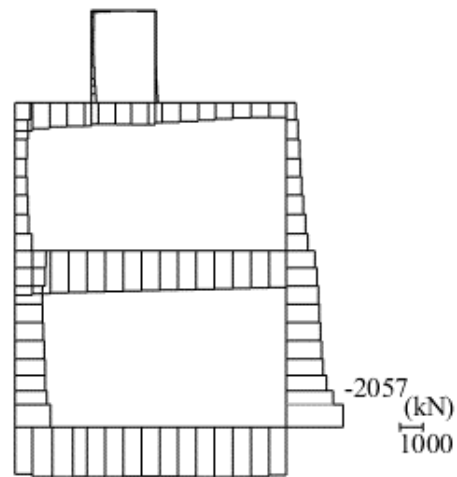


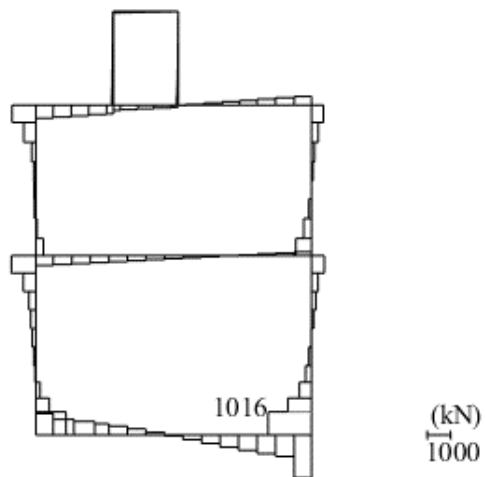
図 3-6 曲げ・軸力系の破壊に対する照査におけるひずみ（主筋）の時刻歴波形（B-B断面，解析ケース①，S s - F 2 (NS) (++))



数値：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)

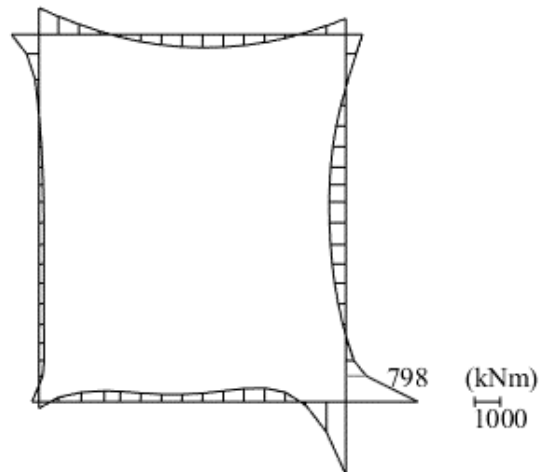


数値：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)

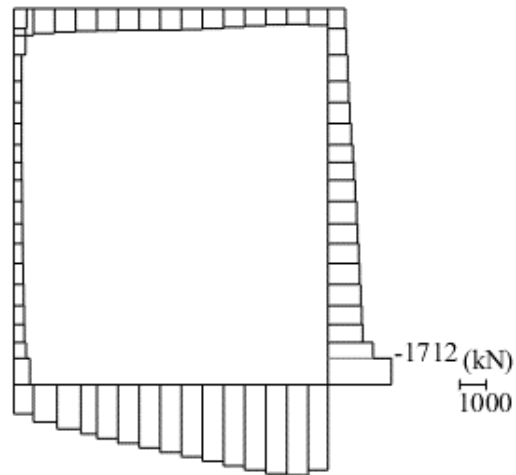


数値：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

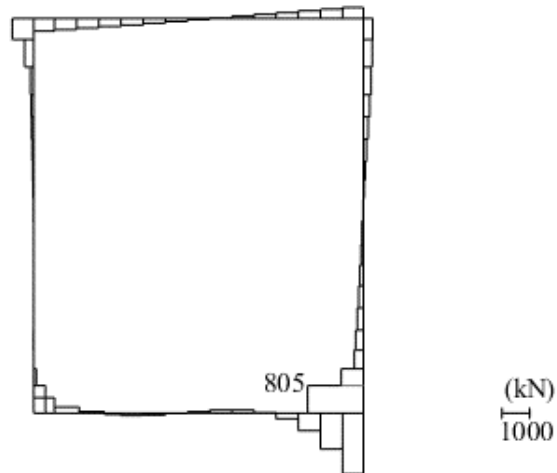
図 3-7 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (A-A断面, 解析ケース①, S_s-D (+-), t=8.84s)



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 3-8 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (B-B断面, 解析ケース①, S s - D (+-), t=8.85s)

3.4.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては基礎地盤に発生する接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-1 に及び表 4-2, せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-3 及び表 4-4 に示す。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
①	S s - D (-+)	267 μ	10000 μ	0.03

注記* : 照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-2 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
①	S s - D (+-)	248 μ	10000 μ	0.03

注記* : 照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-3 せん断破壊に対する最大照査値 (A-A断面)

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版	2	①	S s - D (-+)	663	1264	0.53
側壁	12	①	S s - D (+-)	1066	1837	0.59
床版	5	①	S s - D (+-)	490	1394	0.36
底版	6	①	S s - N 1 (-+)	1270	3100	0.41

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

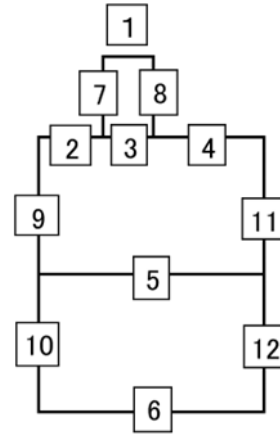
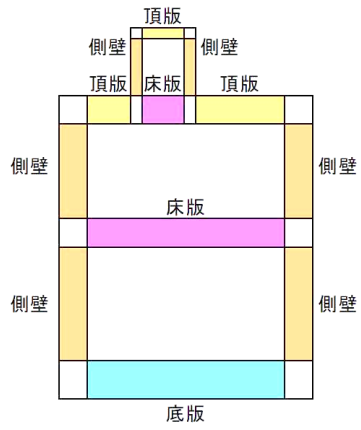
*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-4 せん断破壊に対する最大照査値 (B-B断面)

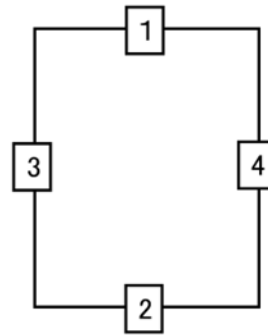
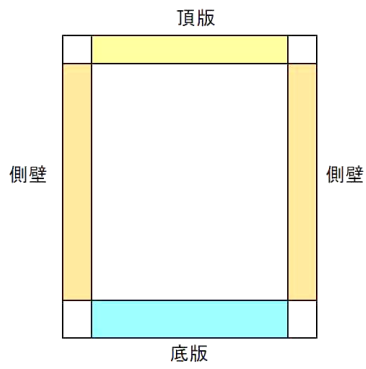
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
頂版	1	①	S s - D (--)	353	832	0.43
側壁	4	①	S s - D (+-)	845	1763	0.48
底版	2	①	S s - D (++)	1365	3162	0.44

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a



A - A 断面



B - B 断面

図 4-1 評価位置

4.2 貯水機能に対する評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-5 及び表 4-6 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-7 に示す。

低圧原子炉代替注水槽の照査用ひずみ及び照査用せん断力が、貯水機能に対する許容限界以下であることを確認した。

表 4-5 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（コンクリート）

解析 ケース	地震動	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
①	S s - D (+-)	248 μ	2000 μ	0.13

注記*：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-6 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（主筋）

解析 ケース	地震動	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
①	S s - F 2 N S (++)	610 μ	1725 μ	0.36

注記*：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-7 せん断破壊に対する最大照査値

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	1	①	S s - D (--)	353	832	0.43
側壁	4	①	S s - D (+-)	845	1763	0.48
底版	2	①	S s - D (++)	1365	3162	0.44

注記*1：評価位置は図 4-1 における B - B 断面

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

4.3 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

4.3.1 基礎地盤

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表4-8及び表4-9に示す。また、最大接地圧分布図を図4-2及び図4-3に示す。なお、低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の基礎地盤には一部MMRが存在するが、MMRの支圧強度は岩盤の限界支持力度より十分に大きいことから、評価を省略する。

低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力度を下回ることを確認した。

表4-8 基礎地盤の支持性能に対する照査結果（A-A断面）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S s - D (+-)	3.14	9.8	0.33

表4-9 基礎地盤の支持性能に対する照査結果（B-B断面）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S s - D (+-)	2.65	9.8	0.28

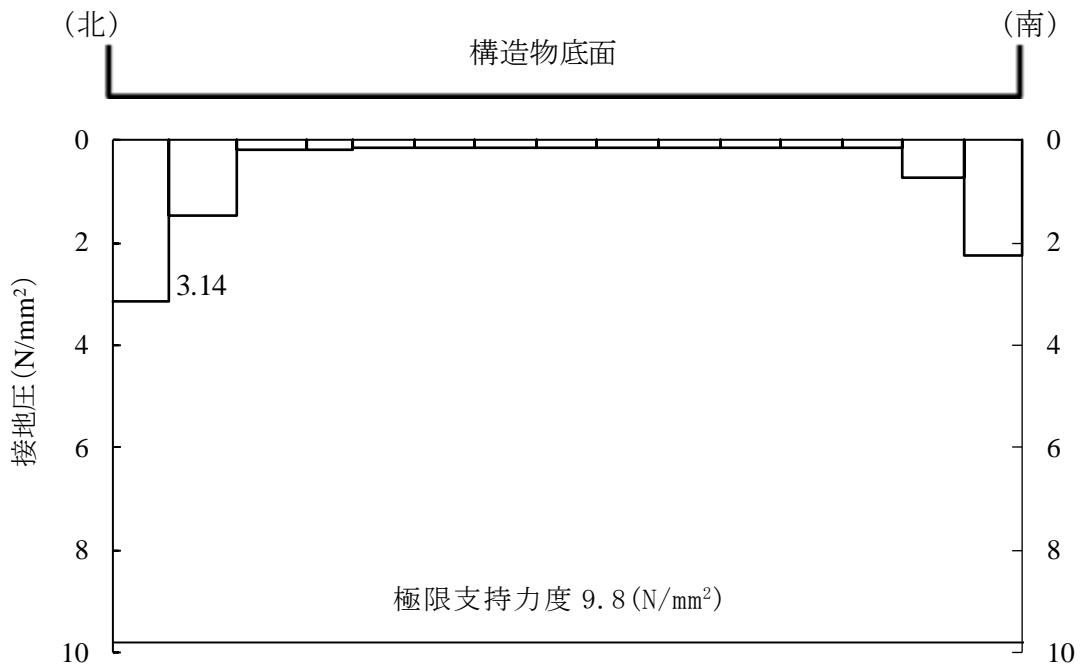


図 4-2 基礎地盤の最大接地圧分布図
(A-A断面, 解析ケース①, S_s-D (+))

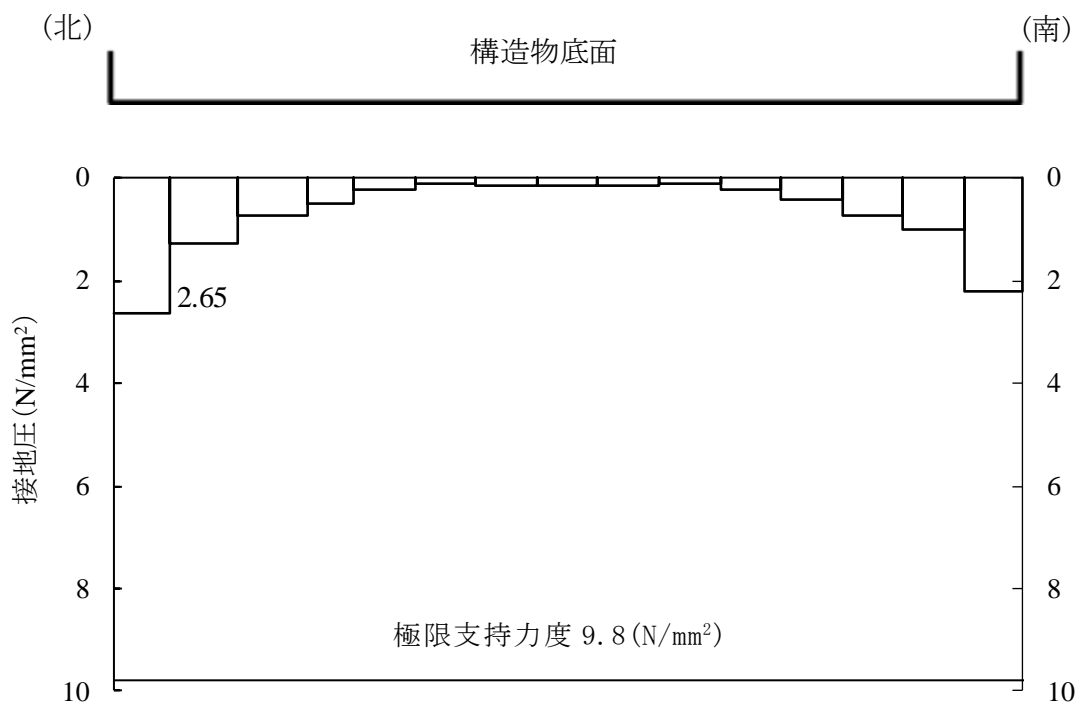


図 4-3 基礎地盤の最大接地圧分布図
(B-B断面, 解析ケース①, S_s-D (+))

VI-2-2-37 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク
～ガスタービン発電機）の地震応答計算書

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 解析方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 解析方法	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	10
3.2.1 構造部材	10
3.2.2 地盤	12
3.2.3 減衰定数	13
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	14
3.3 荷重及び荷重の組合せ	16
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	16
3.3.2 荷重	16
3.3.3 荷重の組合せ	17
3.4 入力地震動	18
3.5 解析モデル及び諸元	35
3.5.1 解析モデル	35
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	37
3.5.3 地盤の物性値	37
3.5.4 地下水位	38
4. 解析結果	39

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答解析について説明するものである。

本地震応答解析は、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値を抽出するものである。その際、耐震評価に用いる応答値は、この地震応答解析により構造物に発生する変形、断面力及び基礎地盤に発生する接地圧とする。

また、機器・配管系が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の位置図を図2-1に示す。

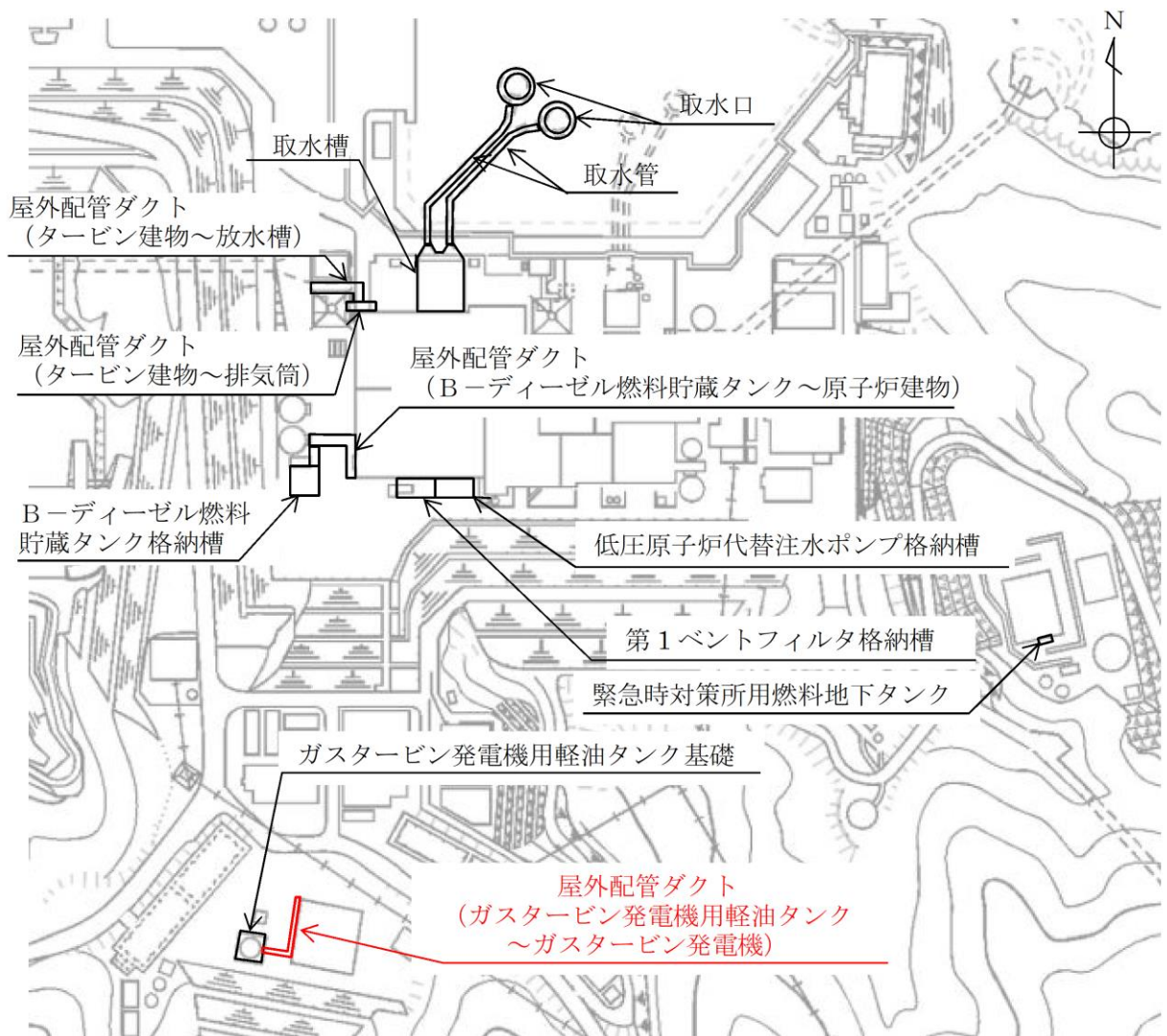


図2-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）位置図

2.2 構造概要

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁を間接支持する延長約 55.5m、幅 2.8m、高さ 1.8m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する C_L 級岩盤に支持される。

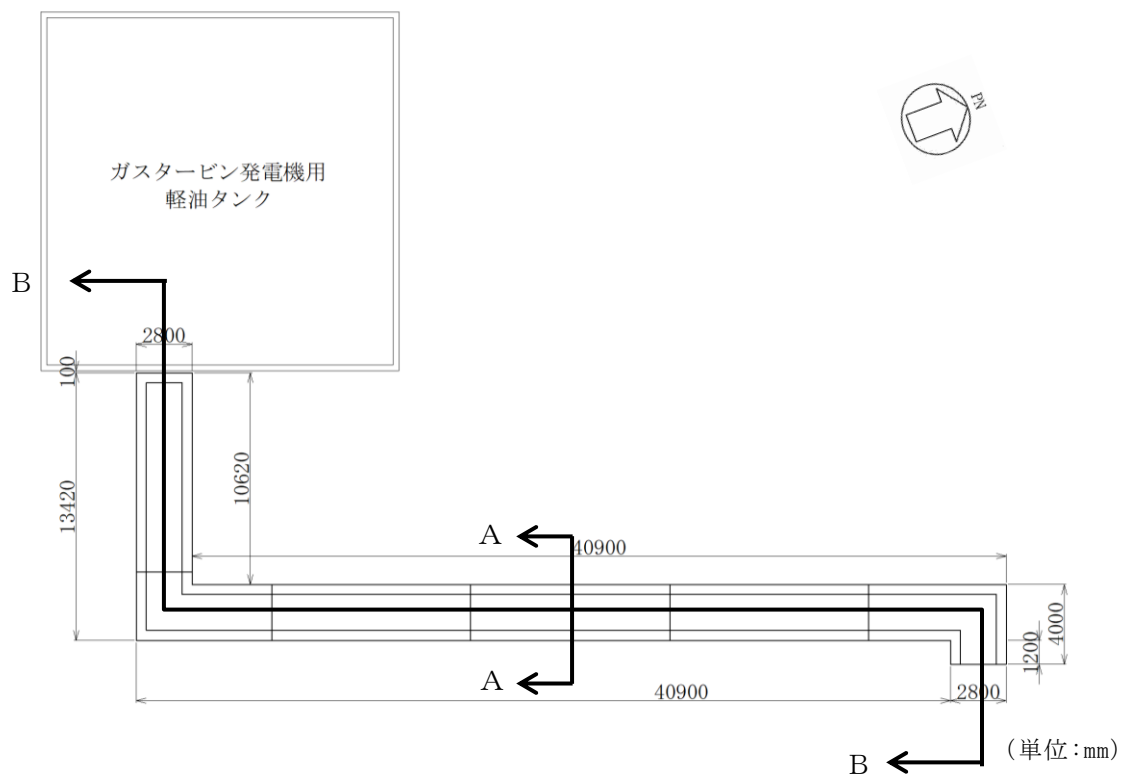


図 2-2 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
平面図

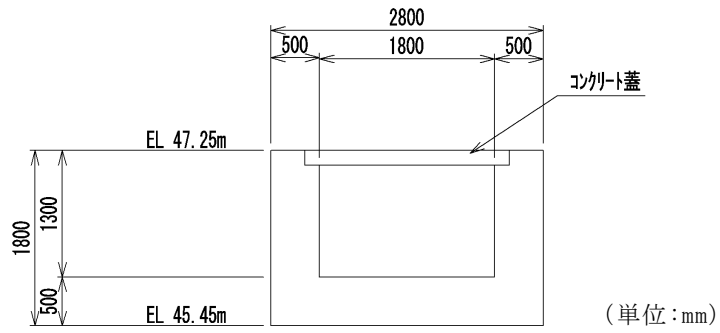


図 2-3 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
断面図（A-A 断面）

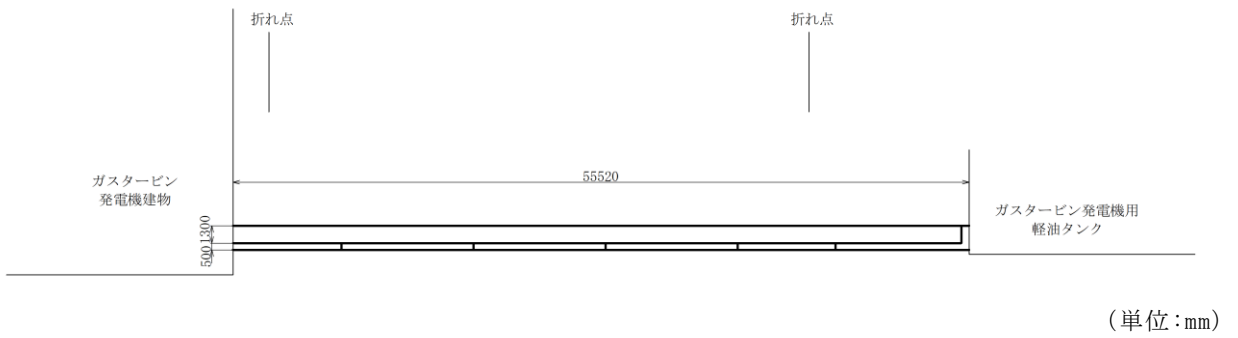


図 2-4 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
断面図（B-B 断面）

2.3 解析方針

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，基準地震動 S_s に対して地震応答解析を実施する。

図 2-5 に屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は，「2. 基本方針」に基づき，「3.1 評価対象断面」に示す断面において，「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴応答解析により行うこととし，地盤物性のばらつきを適切に考慮する。

時刻歴応答解析は，「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に，「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は，機器・配管系の設計用床応答スペクトルの作成に用いる。また，変形，断面力及び基礎地盤の接地圧は，屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の耐震評価に用いる。

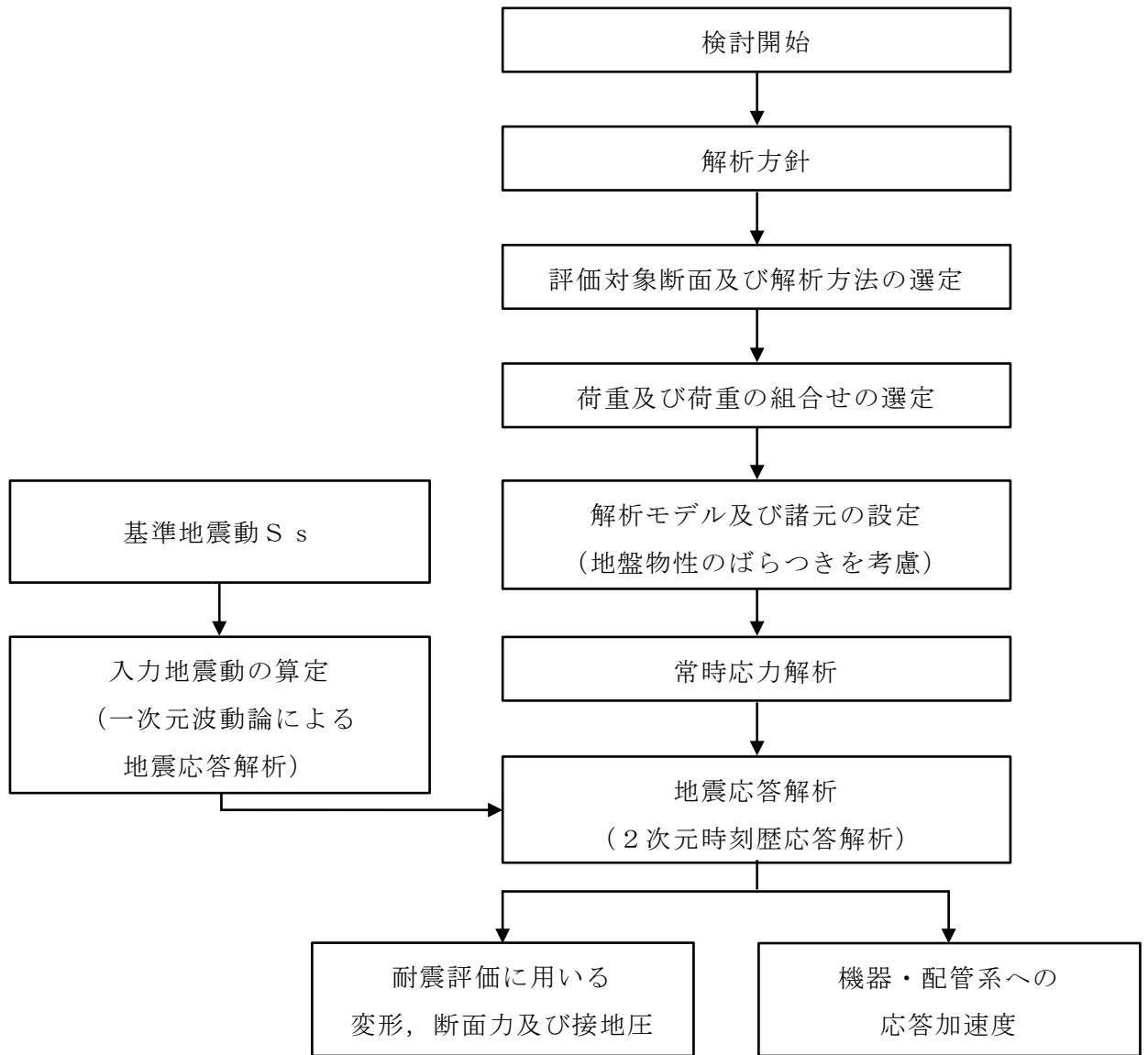


図 2-5 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書[設計編]（土木学会，2017年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）
- ・道路橋示方書・同解説 V耐震設計編（日本道路協会，2002年）

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の評価対象断面位置図を図 3-1 に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面及び機器・配管系に対する応答加速度抽出断面は，図 3-1 の A-A 断面とする。

評価対象断面図を図 3-2 に示す。

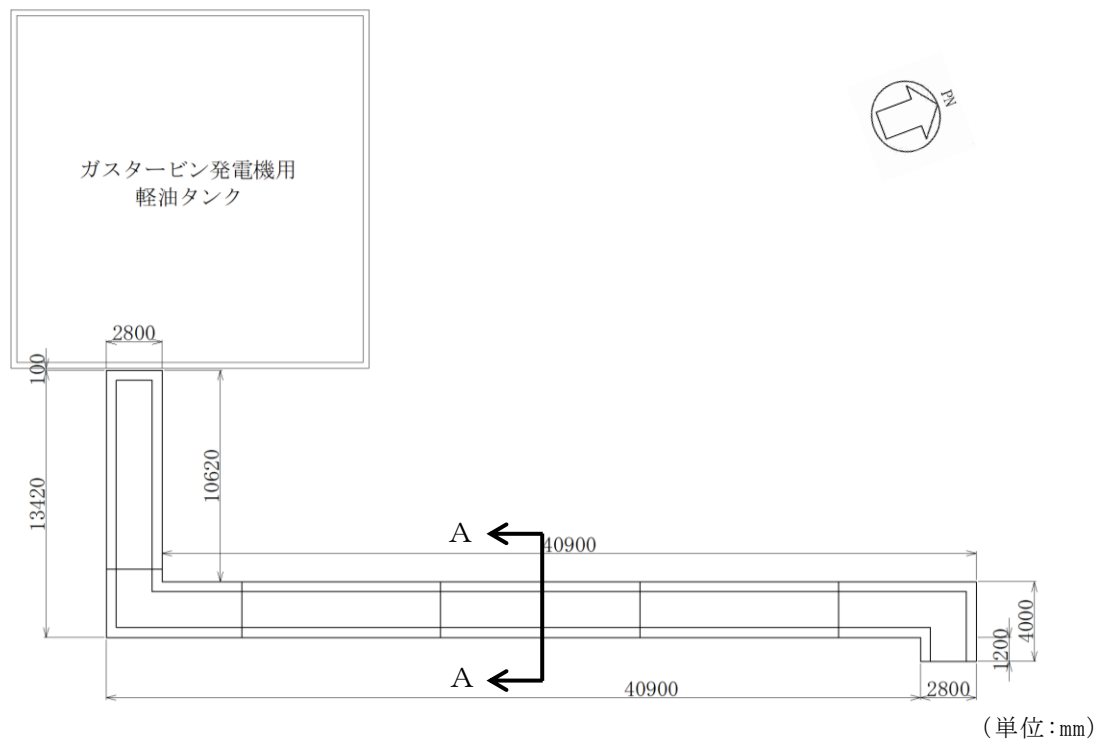


図 3-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
評価対象断面位置図

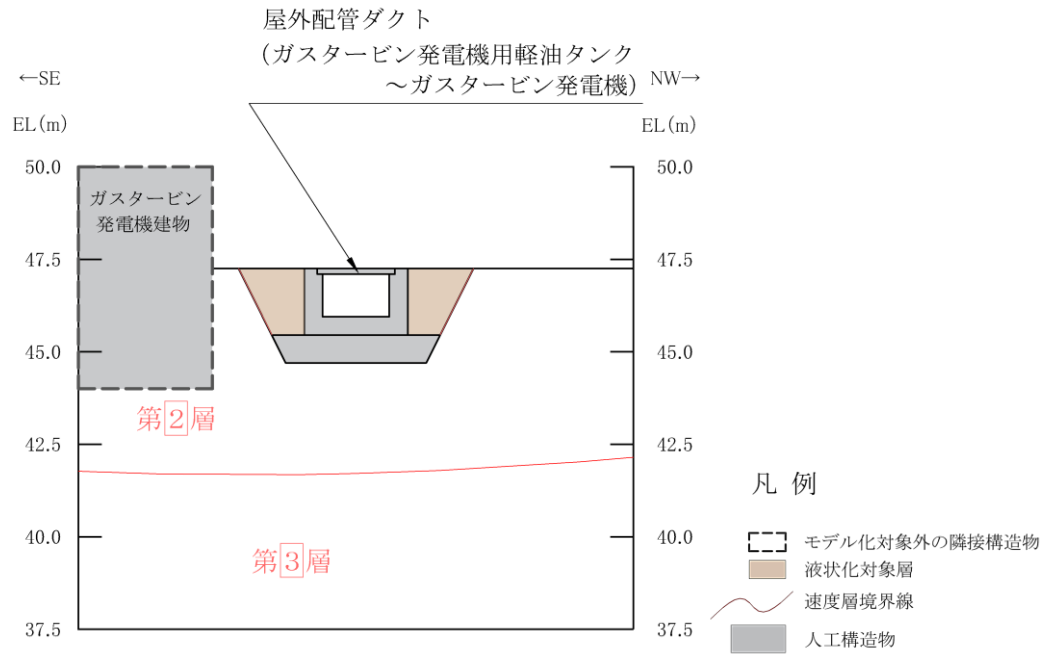


図 3-2 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
評価対象断面図 (A-A断面)

3.2 解析方法

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行う。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、施設周辺の設計地下水位が底版より低いため、解析手法の選定フローに基づき全応力解析とする。

構造部材については、非線形はり要素を用いることとし、構造部材の非線形特性については、ファイバーモデルで考慮する。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようにモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」を使用する。なお、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。

3.2.1 構造部材

鉄筋コンクリート部材は、ファイバーモデルによる非線形はり要素でモデル化する。ファイバーモデルは、はり要素の断面を層状に分割し各層に材料の非線形特性を考慮する材料非線形モデルであり（図3-3参照）、図3-4に示すコンクリートの応力-ひずみ関係及び図3-5に示す鉄筋の応力-ひずみ関係を考慮する。

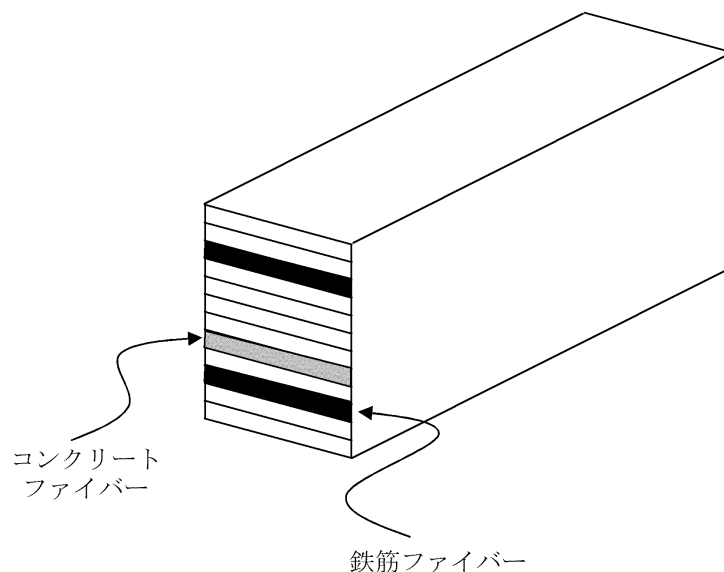
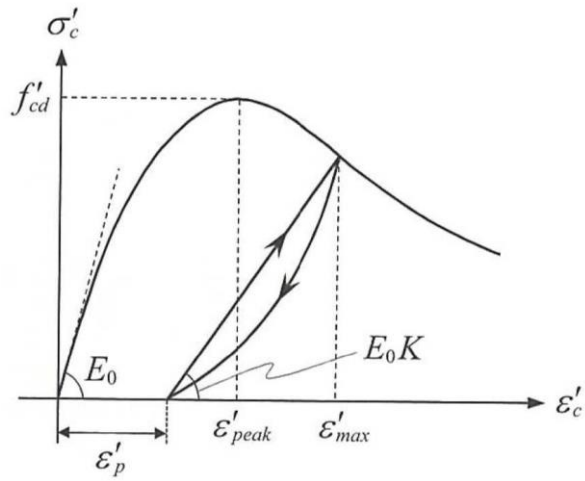
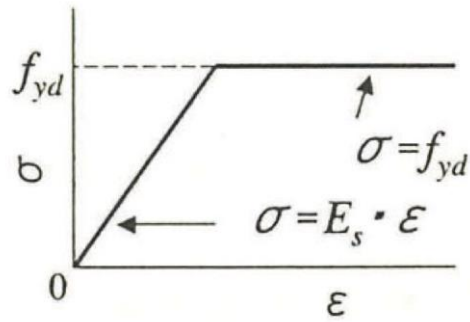


図 3-3 ファイバーモデルの概念図



(コンクリート標準示方書[設計編] (土木学会, 2017年制定) より引用)

図 3-4 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(コンクリート標準示方書[構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定) より引用)

図 3-5 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)

3.2.2 地盤

地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケースを設定する。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、MMR 上に設置され、側面に埋戻土が分布し、主たる荷重は埋戻土の土圧となることから、埋戻土の初期せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

解析ケースについては、せん断弾性係数の平均値を基本ケース（表 3-1 に示すケース①）とした場合に加えて、平均値 $\pm 1.0 \times$ 標準偏差（ σ ）のケース（表 3-1 に示すケース②及び③）について確認を行う。

地盤のばらつきの設定方法の詳細は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケース選定」に示す。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

評価対象断面	α	β
A-A断面	6.834	1.059×10^{-4}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

(1) 耐震評価における解析ケース

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び地盤の支持力照査の照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表3-1に示す解析ケース②及び③を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表3-3に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②	ケース③
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値		平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*1	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (1波) を加えた全7波に対し、ケース①（基本ケース）を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が0.5を超える照査項目に対して、最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも0.5以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。	
		−+*1	−*2		
		+−*1	○		
		−−*1	−*2		
	$S_s - F1$	++*1	○		
	$S_s - F2$	++*1	○		
	$S_s - N1$	++*1	○		
		−+*1	−*2		
	$S_s - N2$ (NS)	++*1	○		
		−+*1	−*2		
$S_s - N2$ (EW)	++*1	○			
	−+*1	−*2			

注記*1：地震動の位相について、++の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「−」は位相を反転させたケースを示す。

*2：解析モデルが左右対称であり、水平動の位相反転による解析結果への影響はない。

(2) 機器・配管系に対する応答加速度抽出のための解析ケース

機器・配管系に対する応答加速度抽出においては、床応答への保守的な配慮として表 3-1 に示す解析ケース①に加え、解析ケース②及び③を実施する。機器・配管系の応答加速度抽出における解析ケースを表 3-4 に示す。

表 3-4 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース

解析ケース			ケース①	ケース②	ケース③
			基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース
地盤物性			平均値	平均値+1 σ	平均値-1 σ
地震動 (位相)	S s - D	++*1	○	○	○
		-+*1	-*2	-*2	-*2
		+-*1	○	○	○
		--*1	-*2	-*2	-*2
	S s - F 1	++*1	○	○	○
	S s - F 2	++*1	○	○	○
	S s - N 1	++*1	○	○	○
		-+*1	-*2	-*2	-*2
	S s - N 2 (NS)	++*1	○	○	○
		-+*1	-*2	-*2	-*2
	S s - N 2 (EW)	++*1	○	○	○
		-+*1	-*2	-*2	-*2

注記*1：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

*2：解析モデルが左右対称であり，水平動の位相反転による解析結果への影響はない。

3.3 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」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪を考慮する。埋設構造物であるため風の影響は考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重及び機器・配管荷重を考慮する。なお、ダクト蓋はモデル化せず、固定荷重として重量を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、土圧及び積雪荷重（ P_s ）を考慮する。

(3) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-5 に示す。

表 3-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図3-6に入力地震動算定の概念図を、図3-7～図3-22に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「microSHAKE/3D」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

ここで、断層モデルを用いた手法による基準地震動 $S_s - F1$ 及び $F2$ については、評価対象断面の方位を考慮し角度補正を行う。

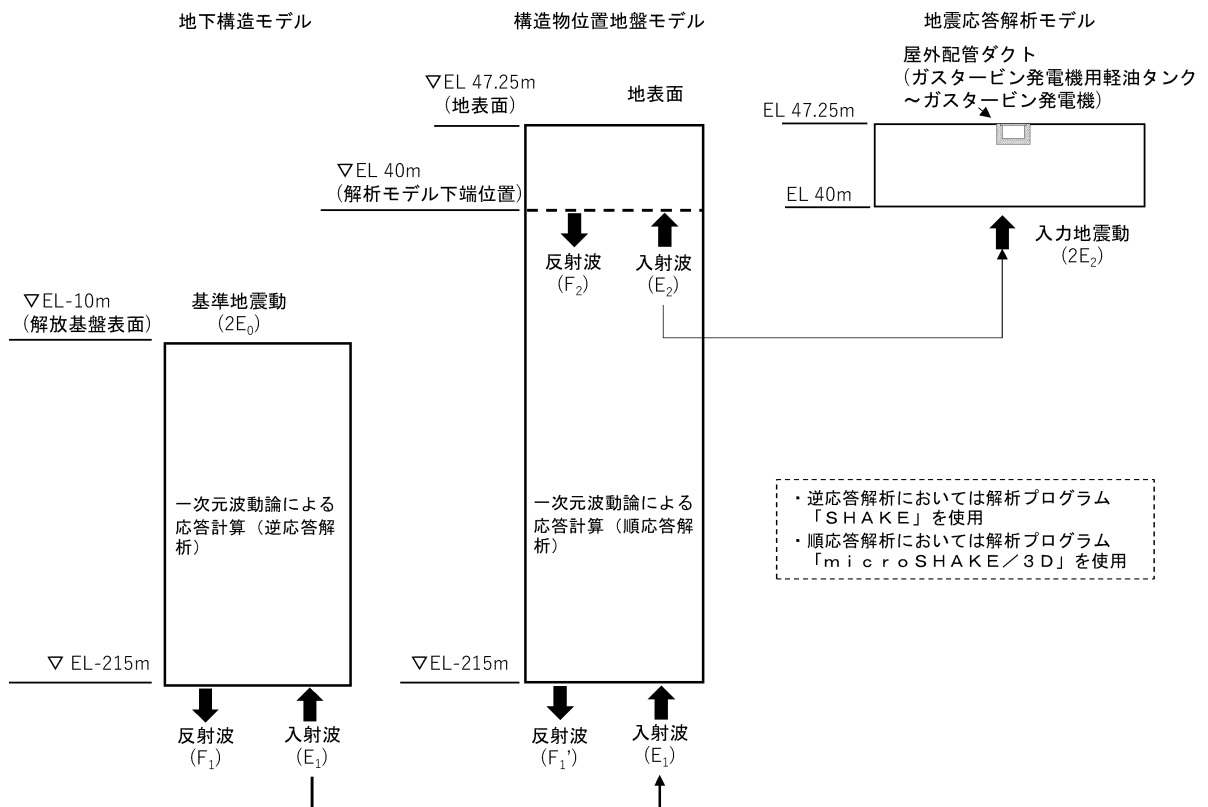
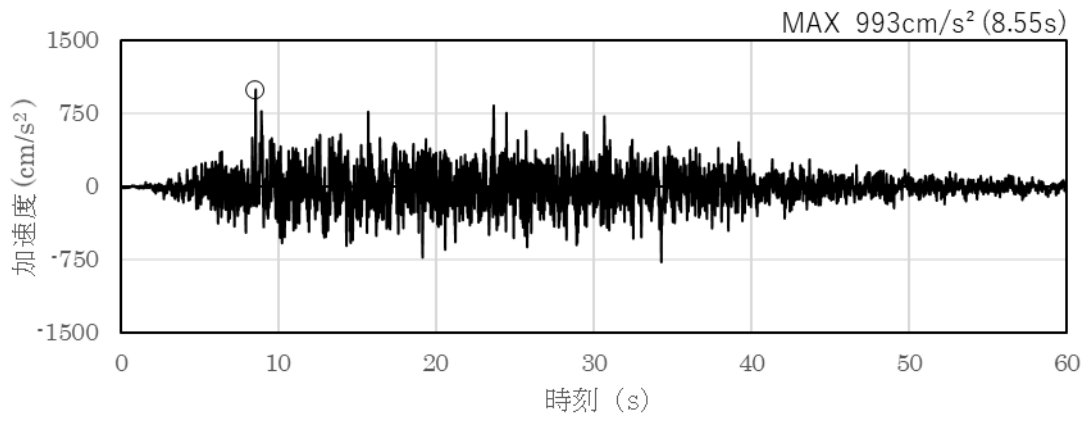
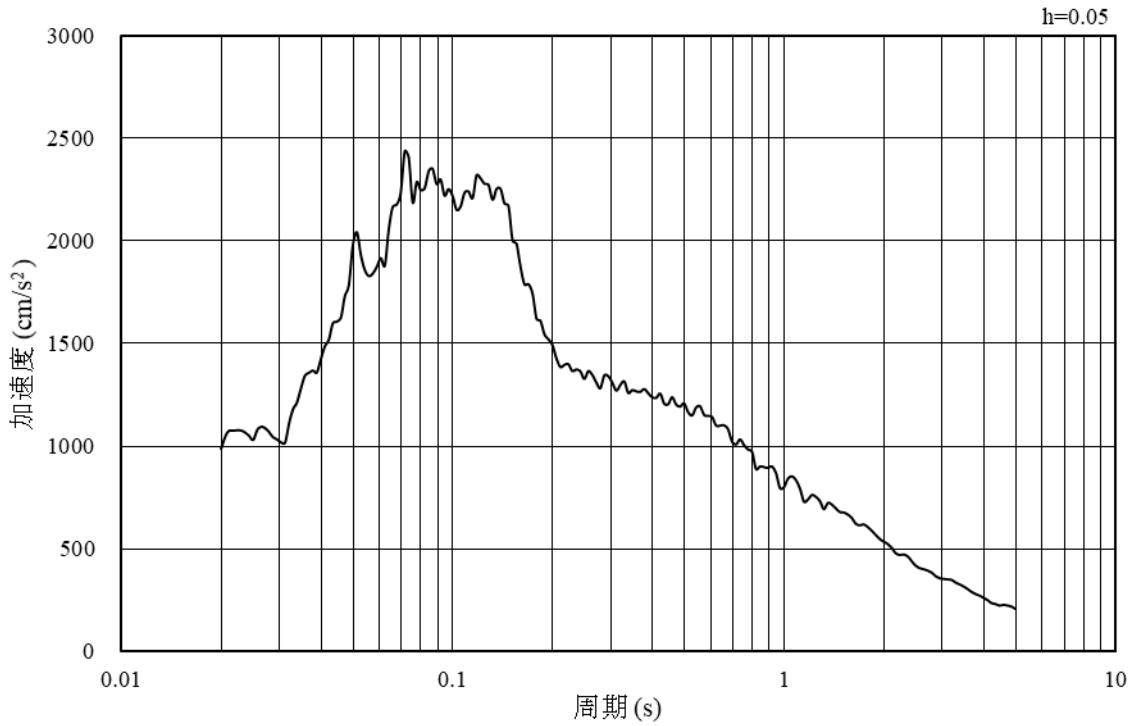


図3-6 入力地震動算定の概念図

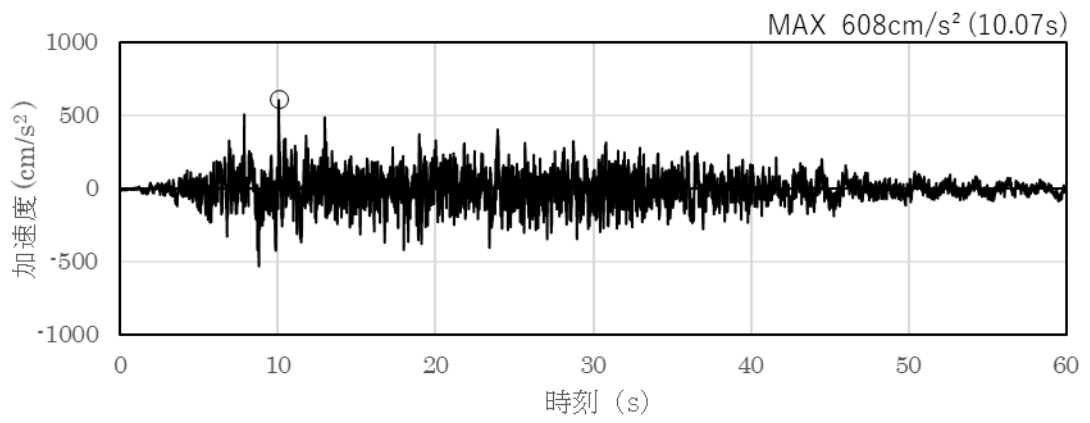


(a) 加速度時刻歴波形

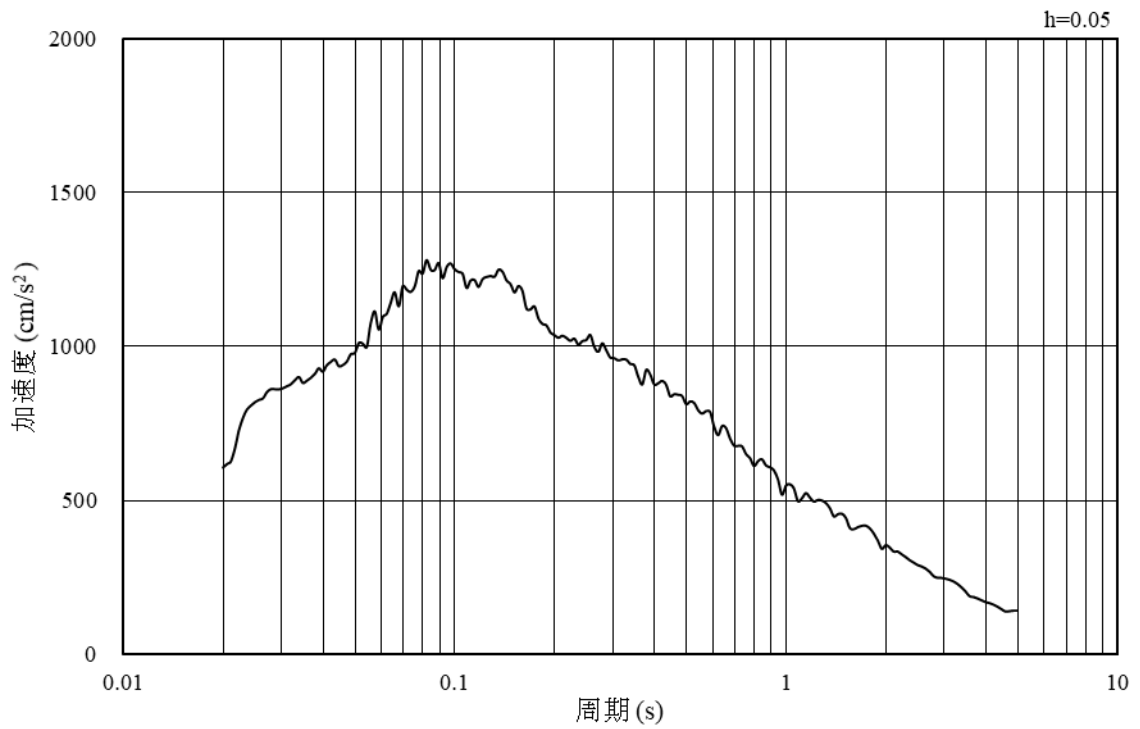


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - D)

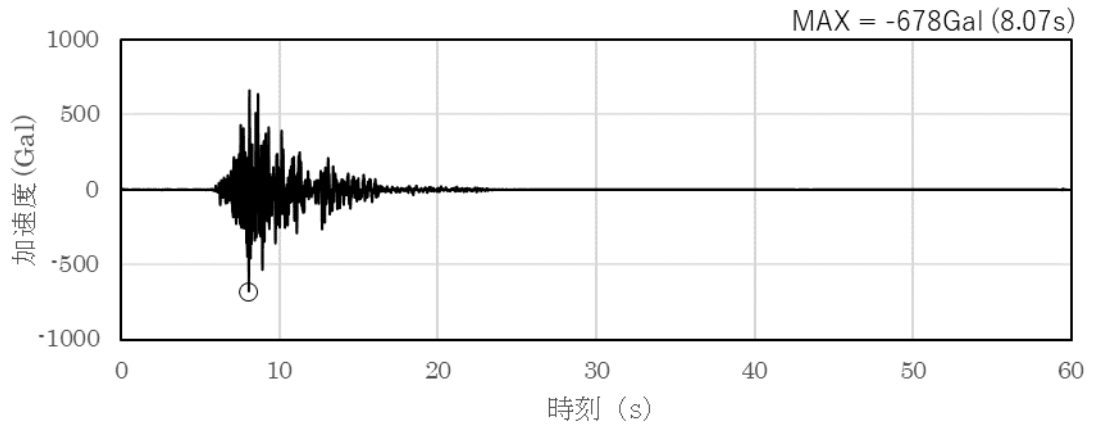


(a) 加速度時刻歴波形

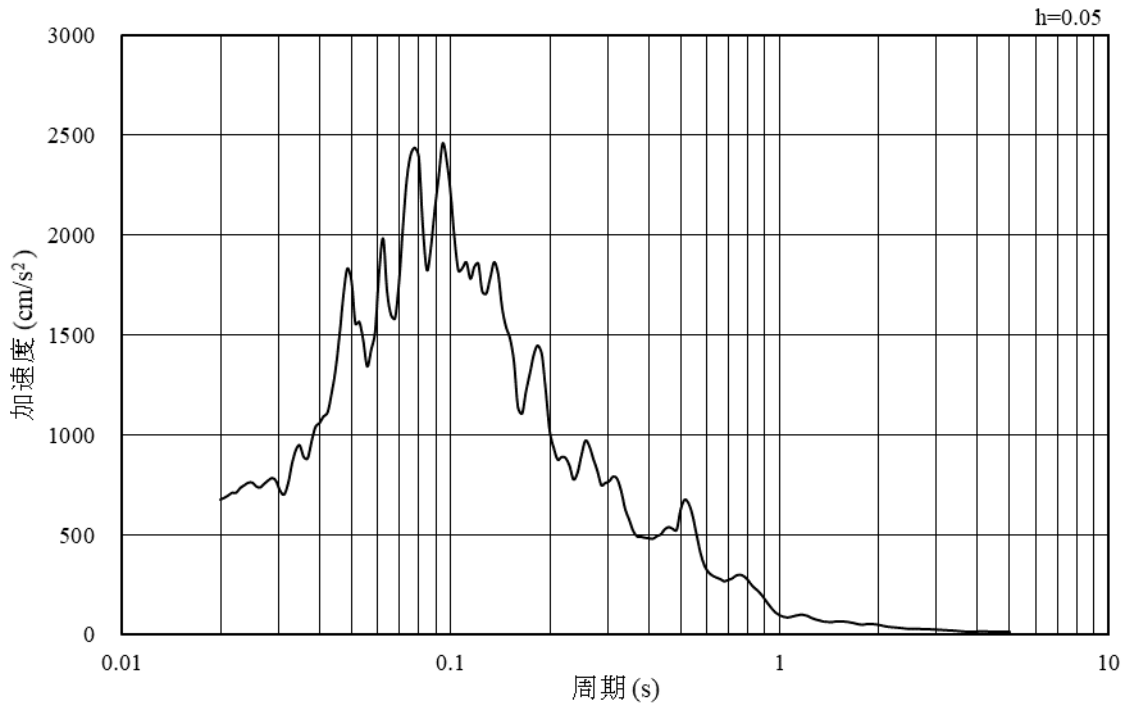


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

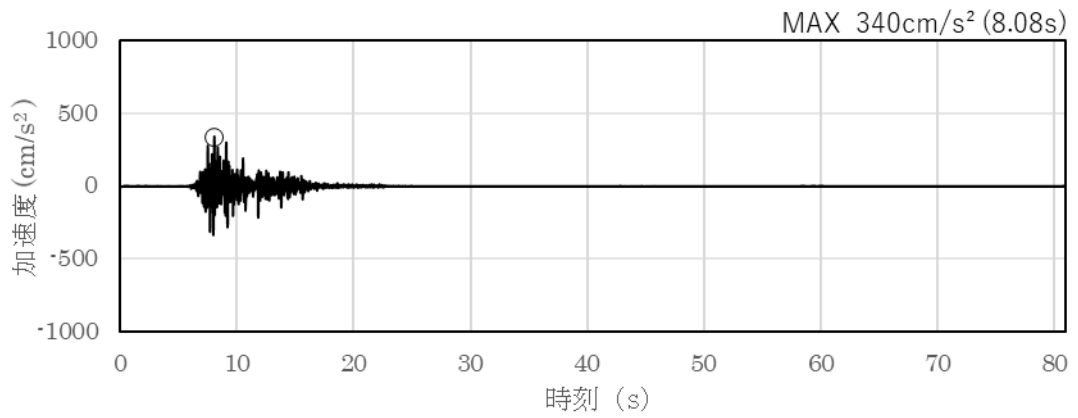


(a) 加速度時刻歴波形

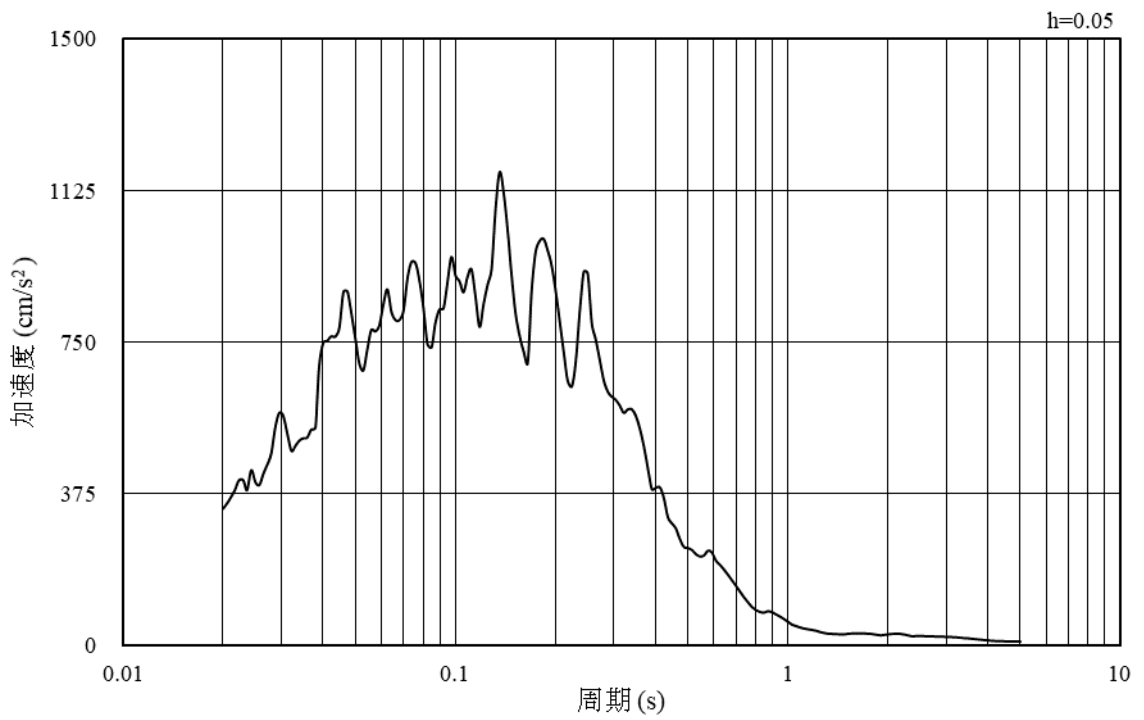


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1, N S 方向)

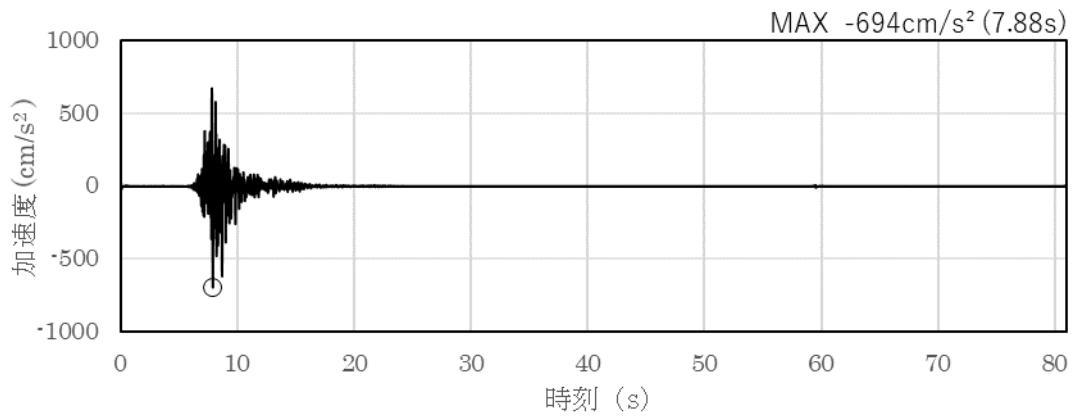


(a) 加速度時刻歴波形

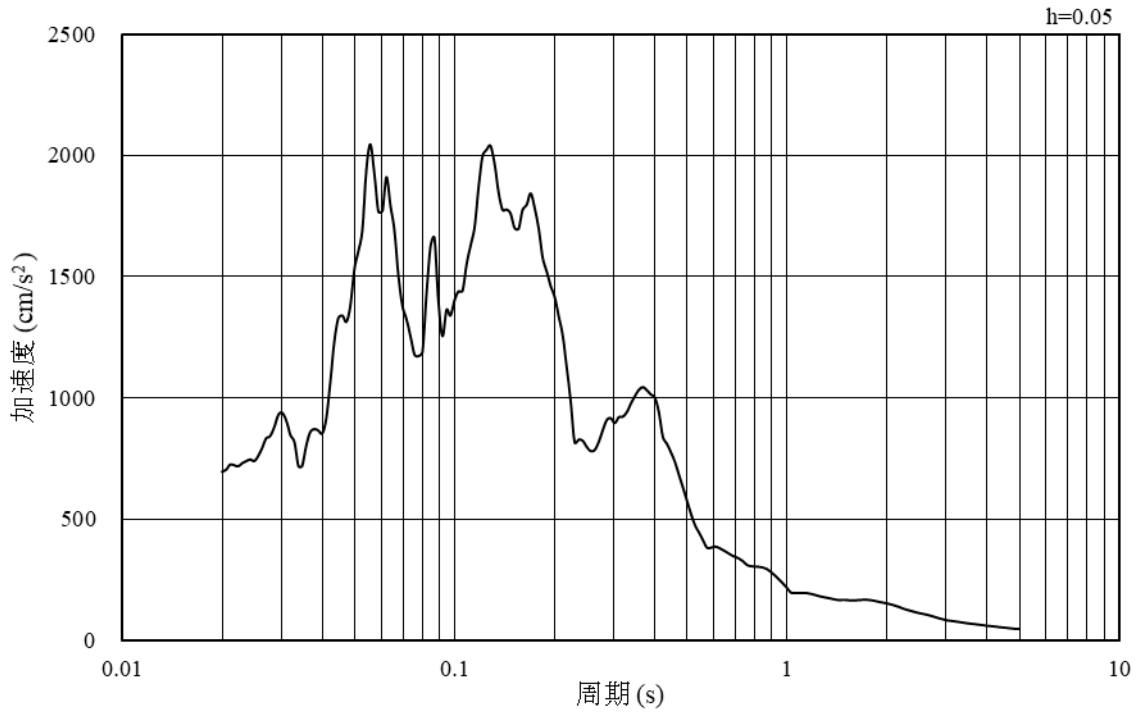


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1, N S 方向)

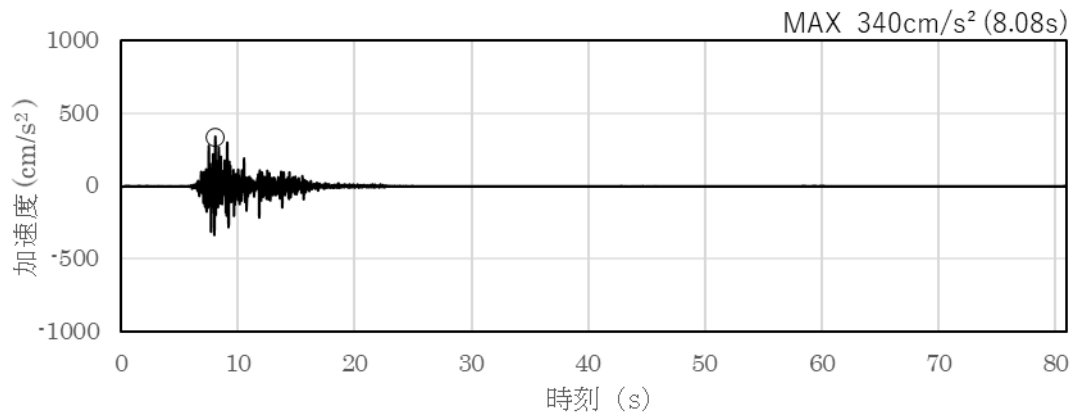


(a) 加速度時刻歴波形

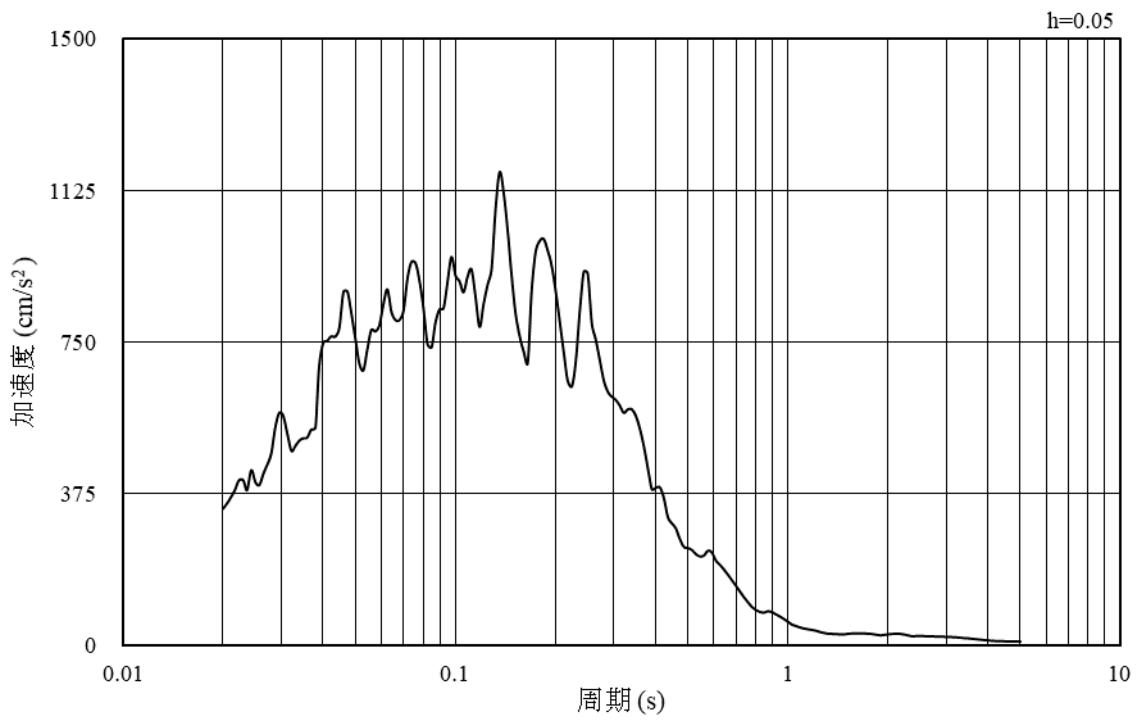


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1, E W方向)

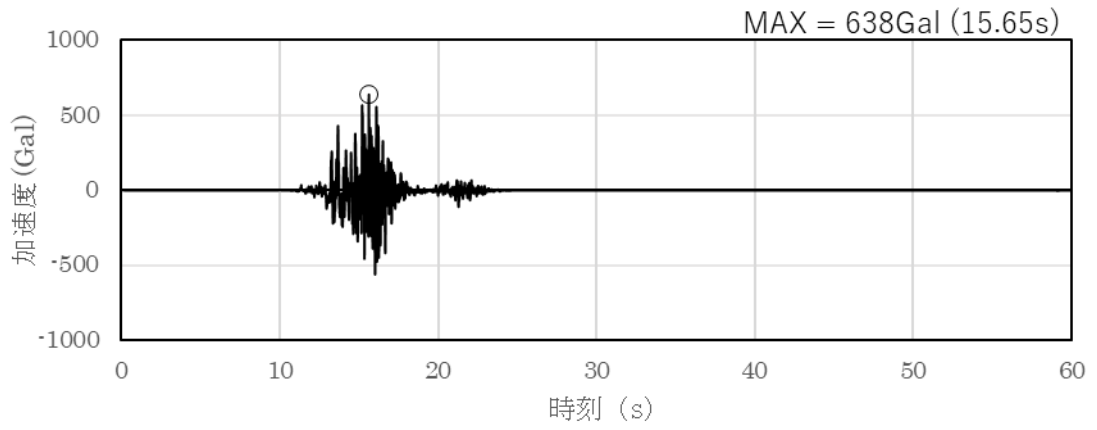


(a) 加速度時刻歴波形

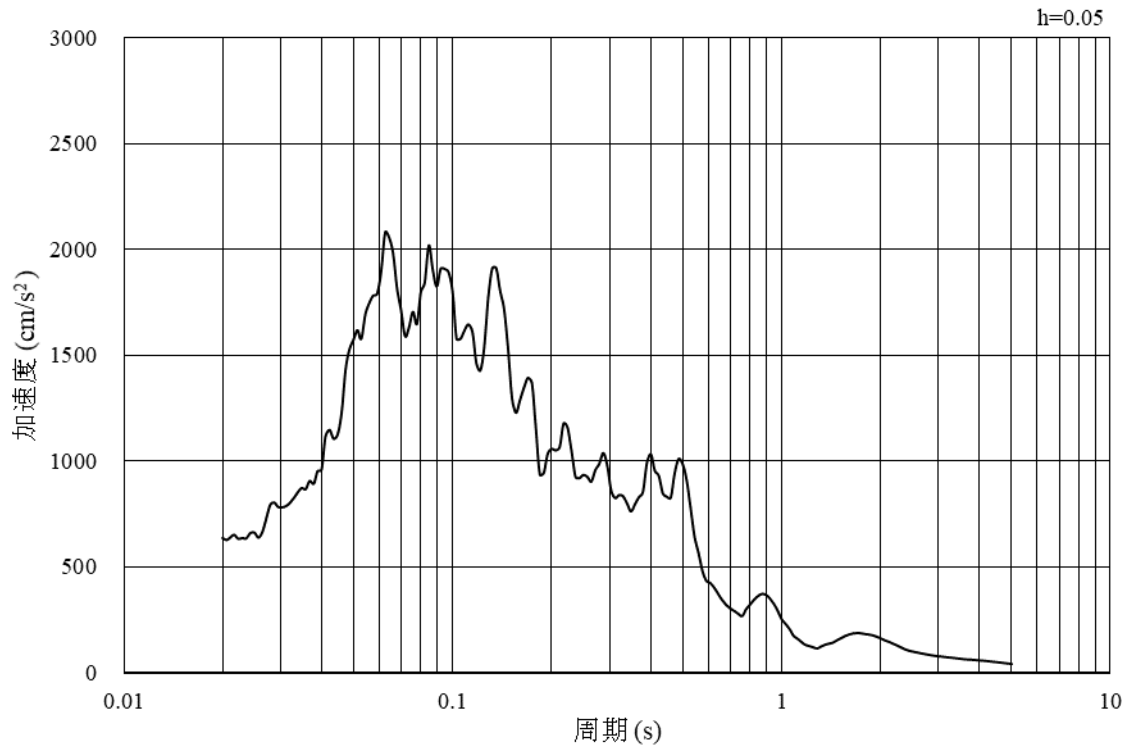


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1, E W方向)

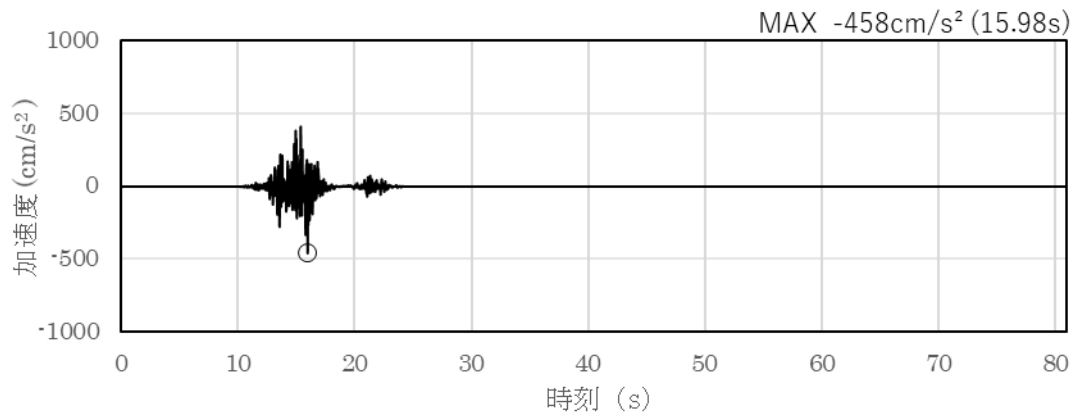


(a) 加速度時刻歴波形

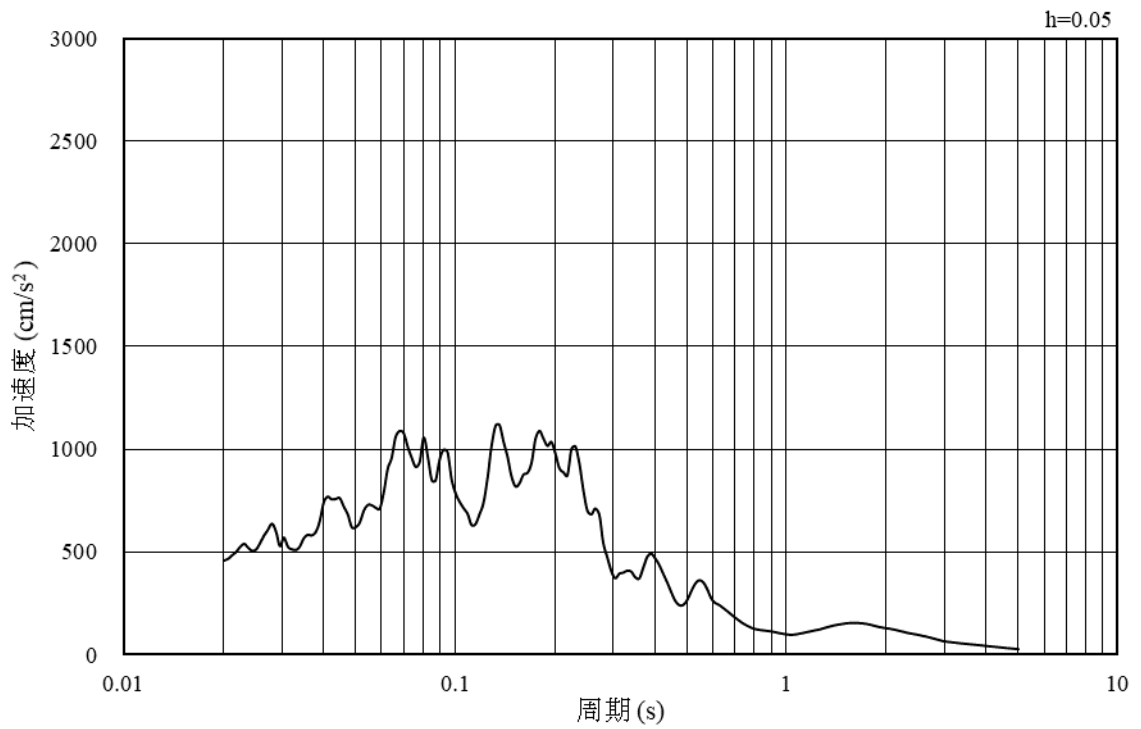


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2, N S 方向)

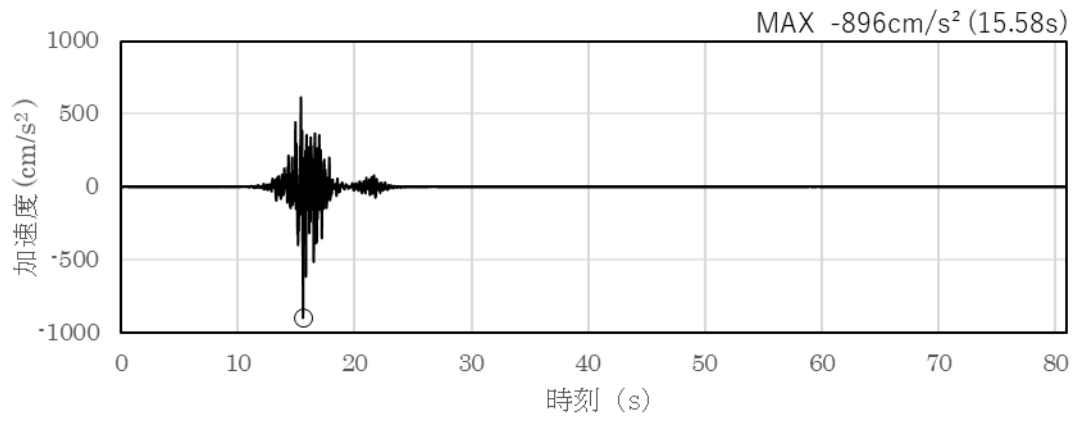


(a) 加速度時刻歴波形

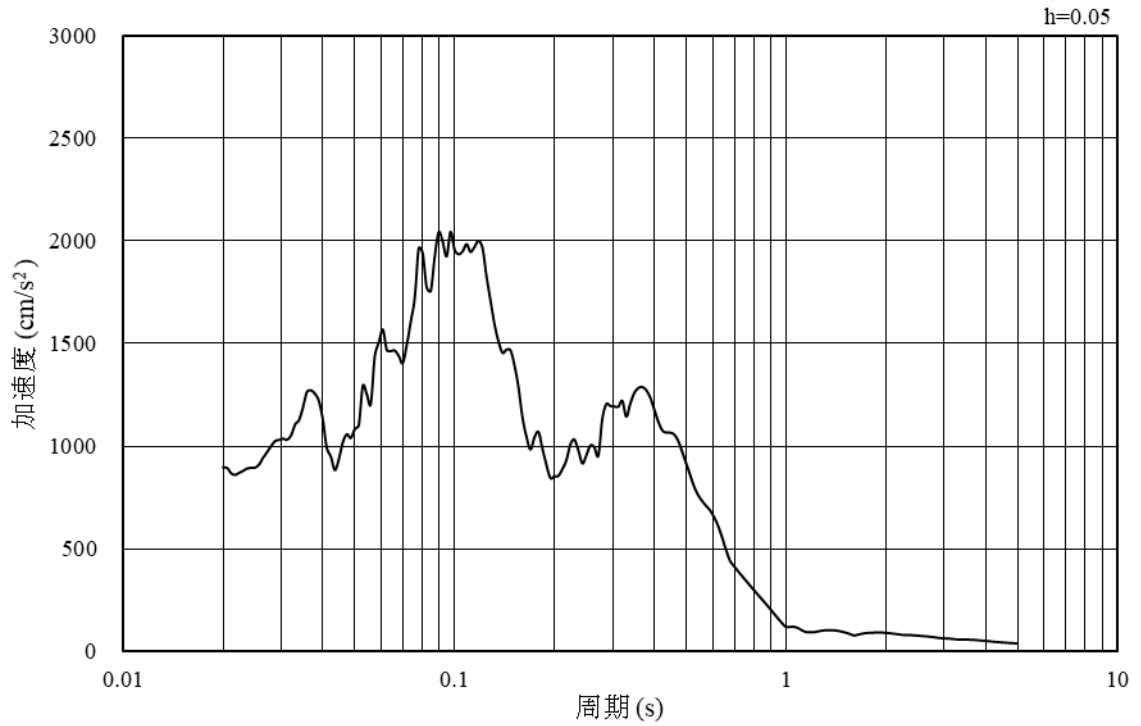


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2, N S 方向)

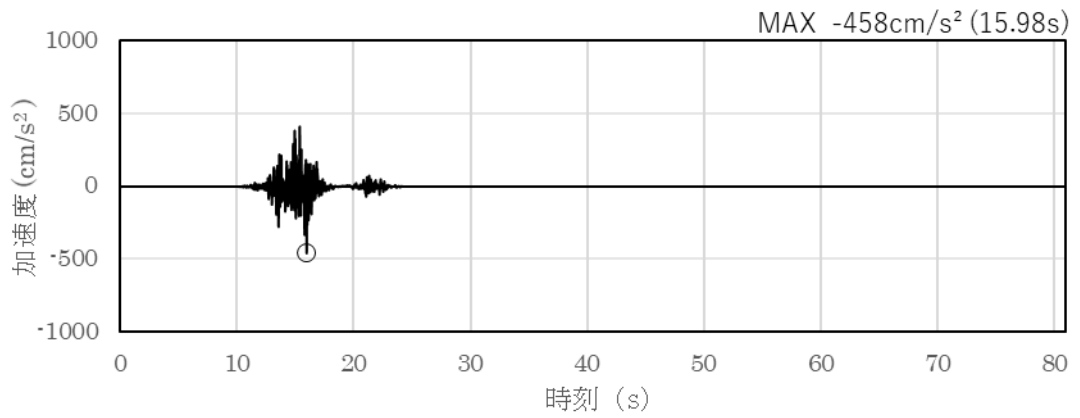


(a) 加速度時刻歴波形

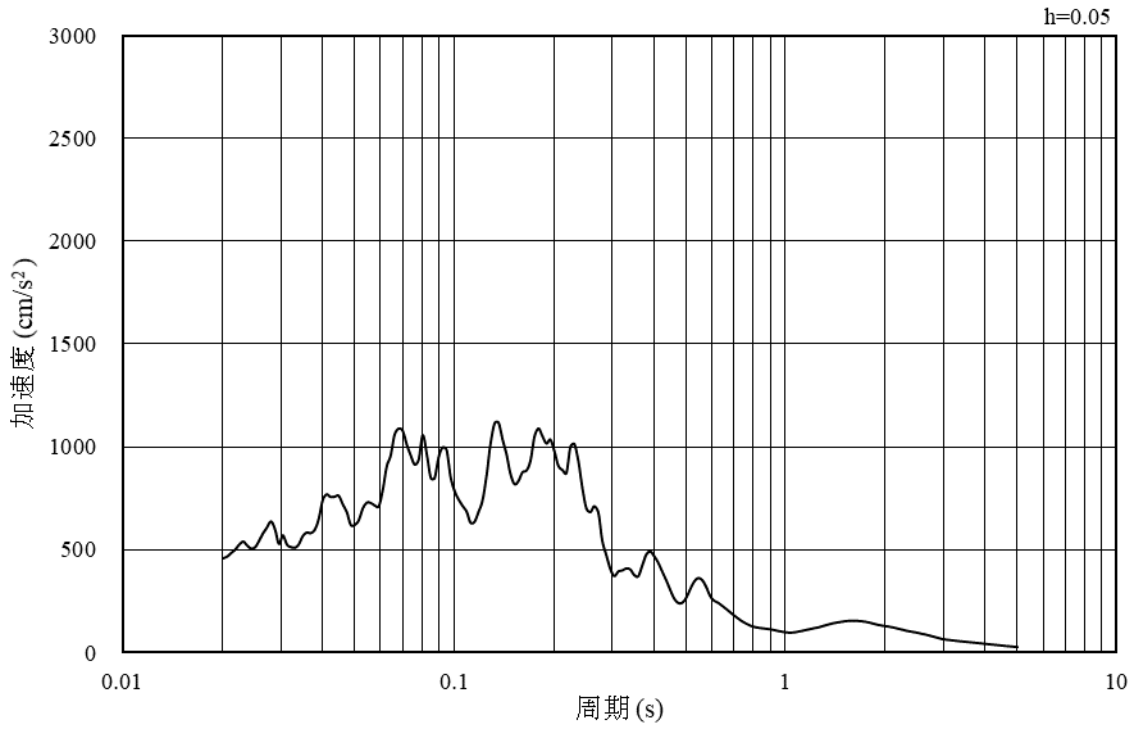


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2, E W方向)

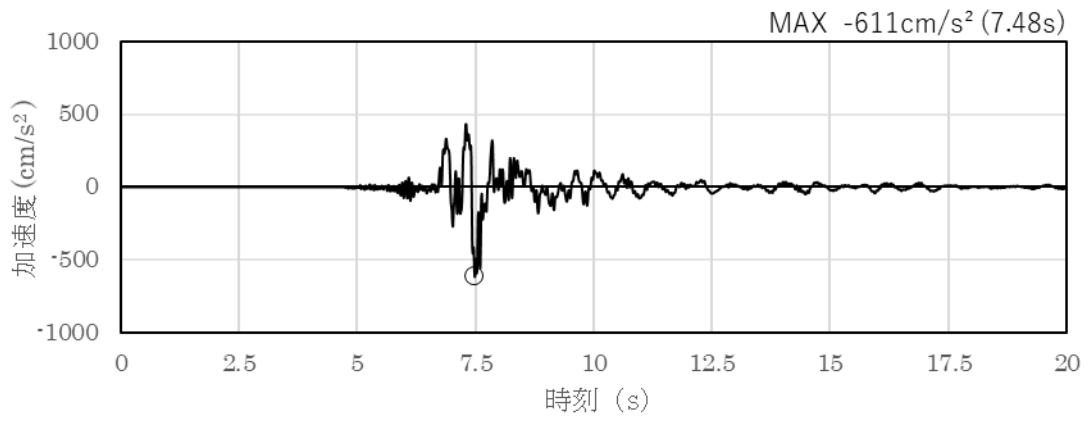


(a) 加速度時刻歴波形

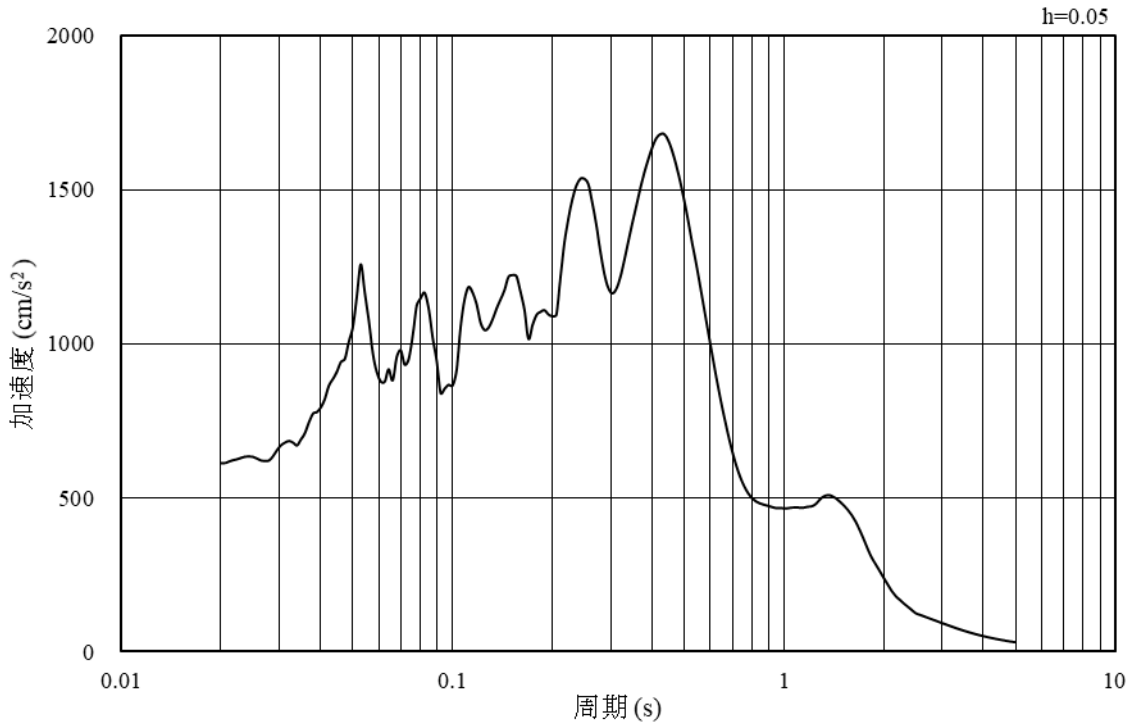


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2, E W方向)

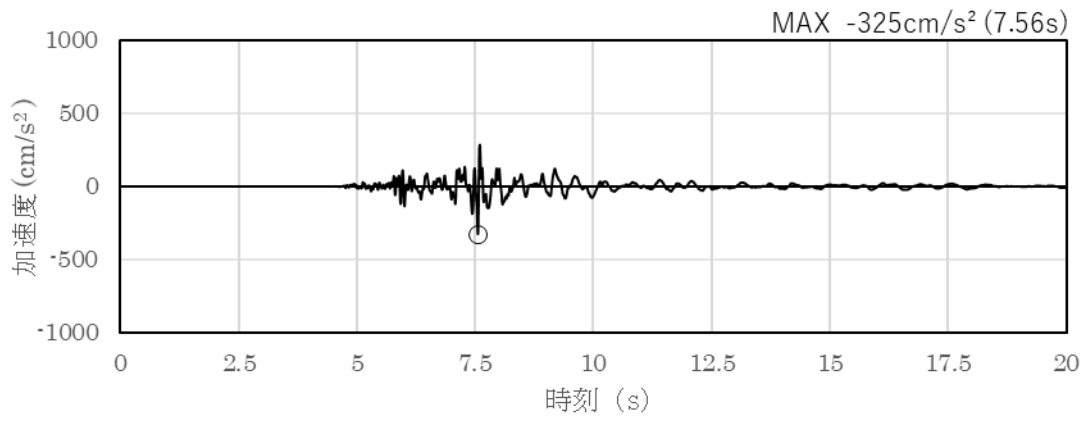


(a) 加速度時刻歴波形

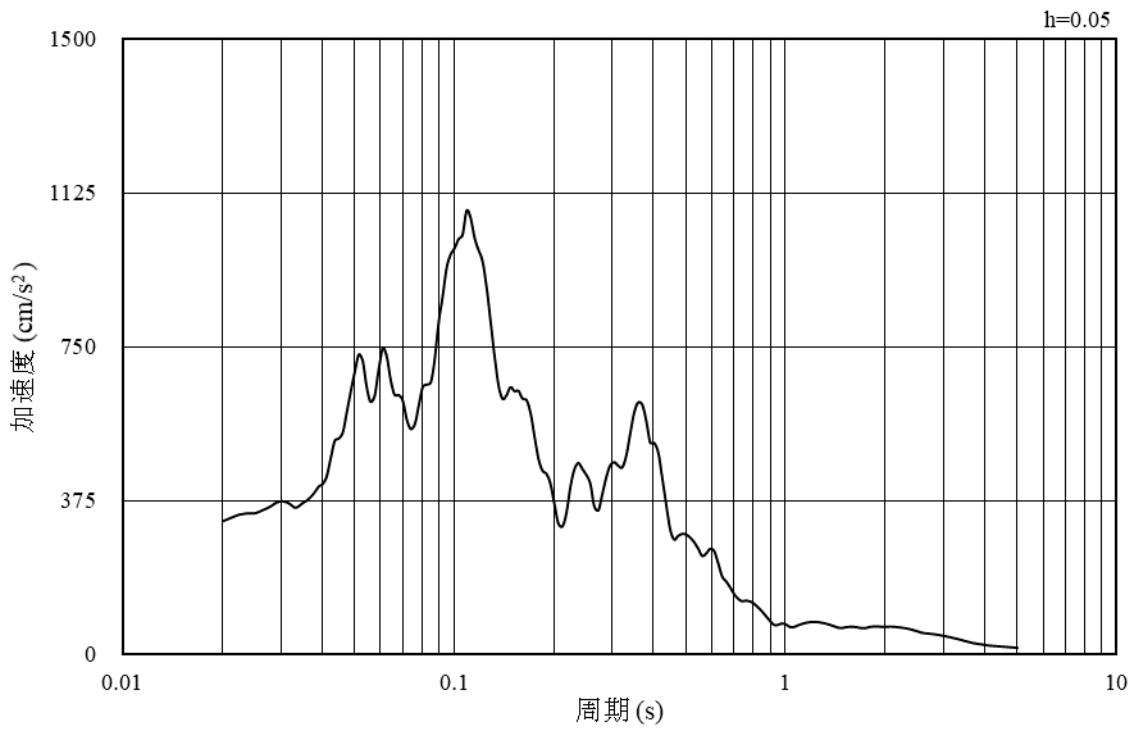


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

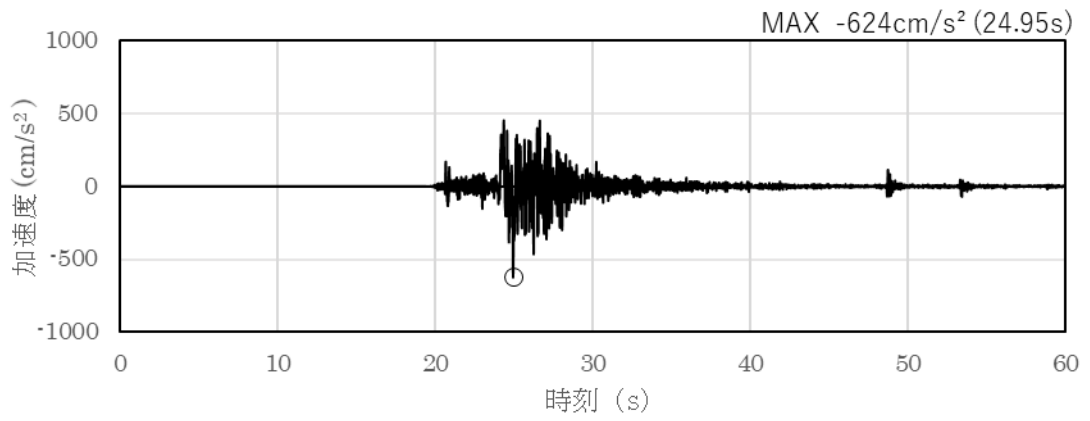


(a) 加速度時刻歴波形

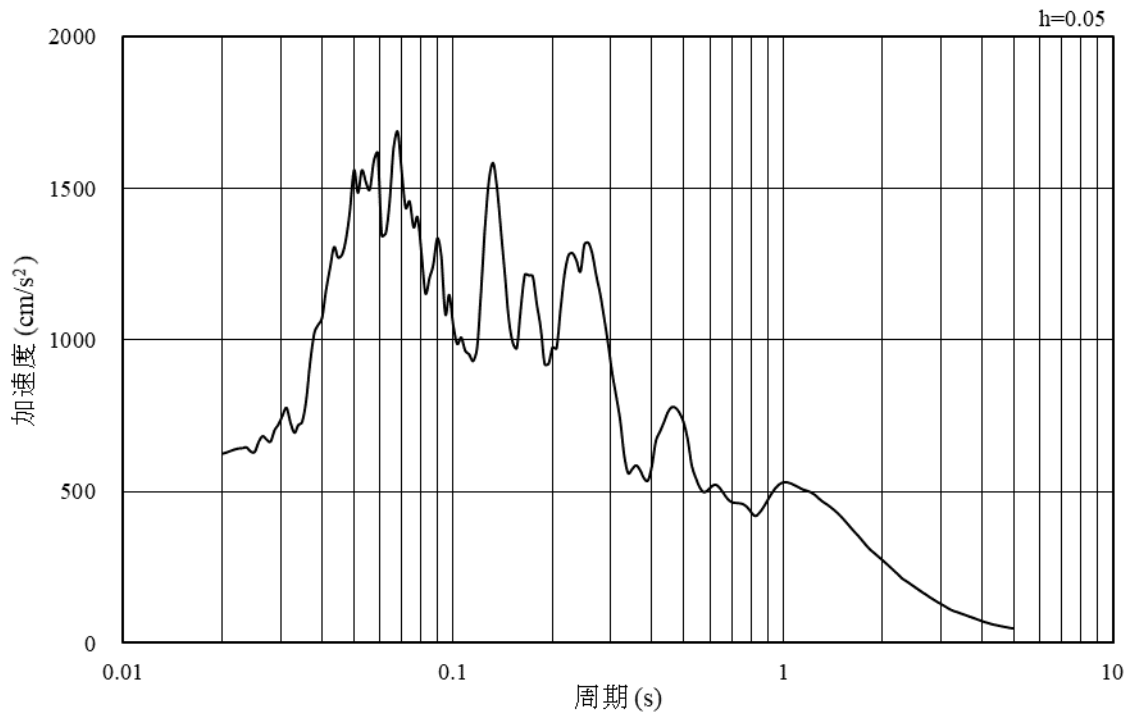


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

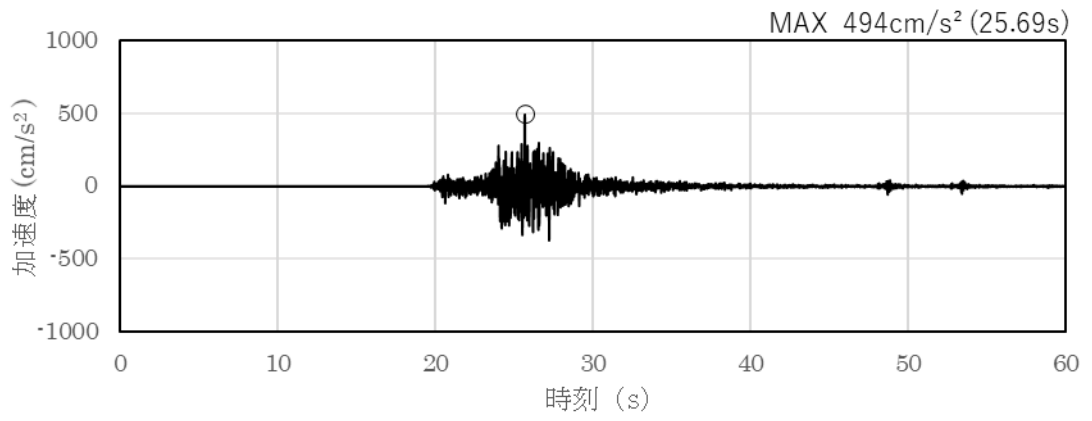


(a) 加速度時刻歴波形

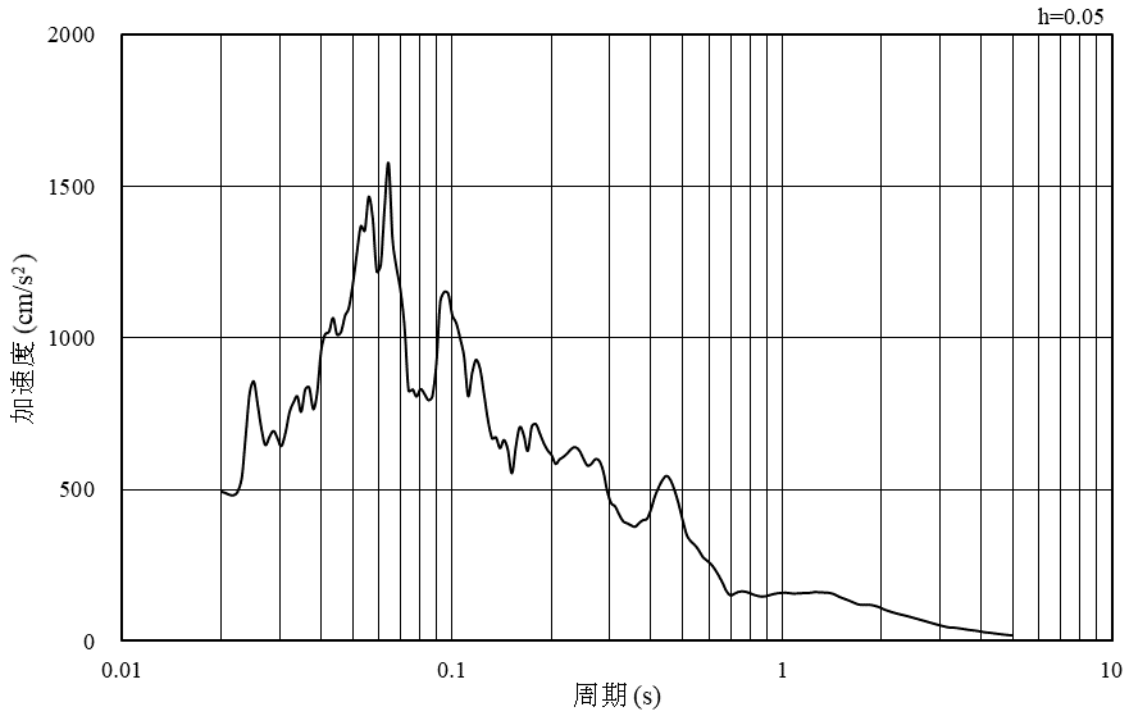


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, N S 方向)

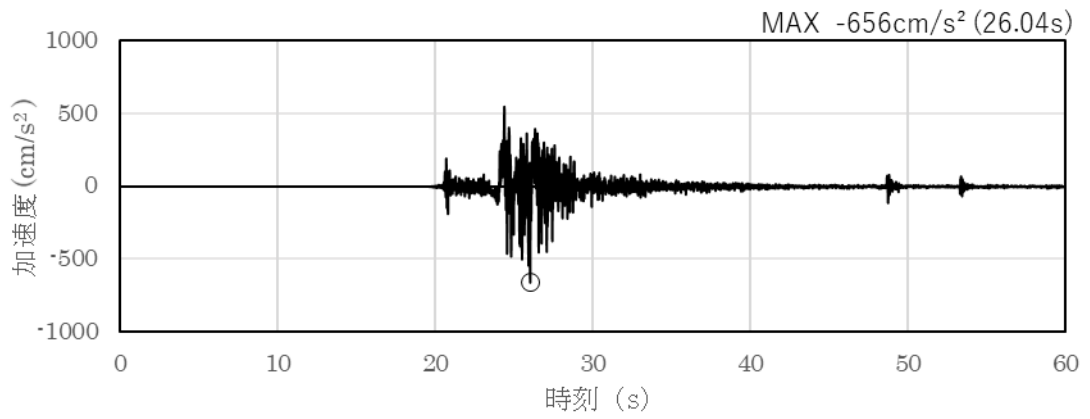


(a) 加速度時刻歴波形

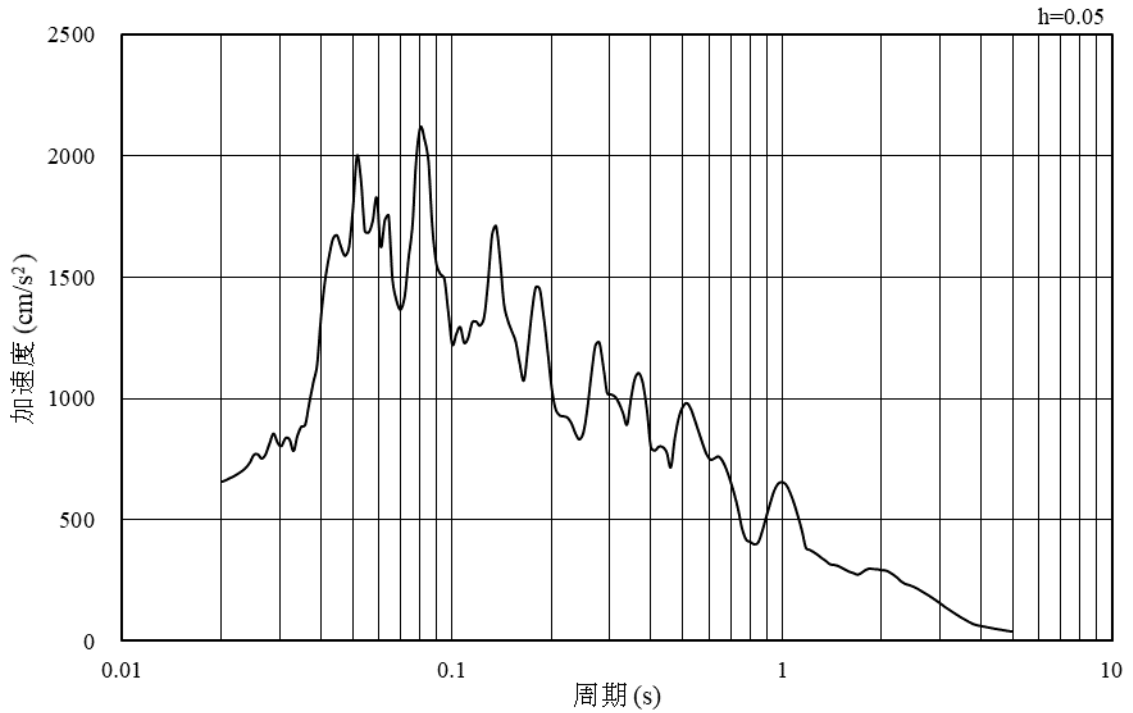


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, N S 方向)

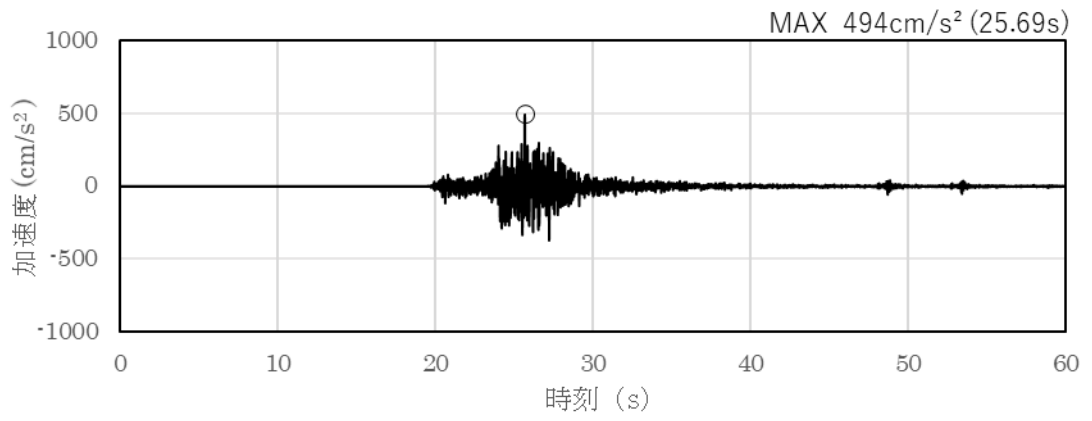


(a) 加速度時刻歴波形

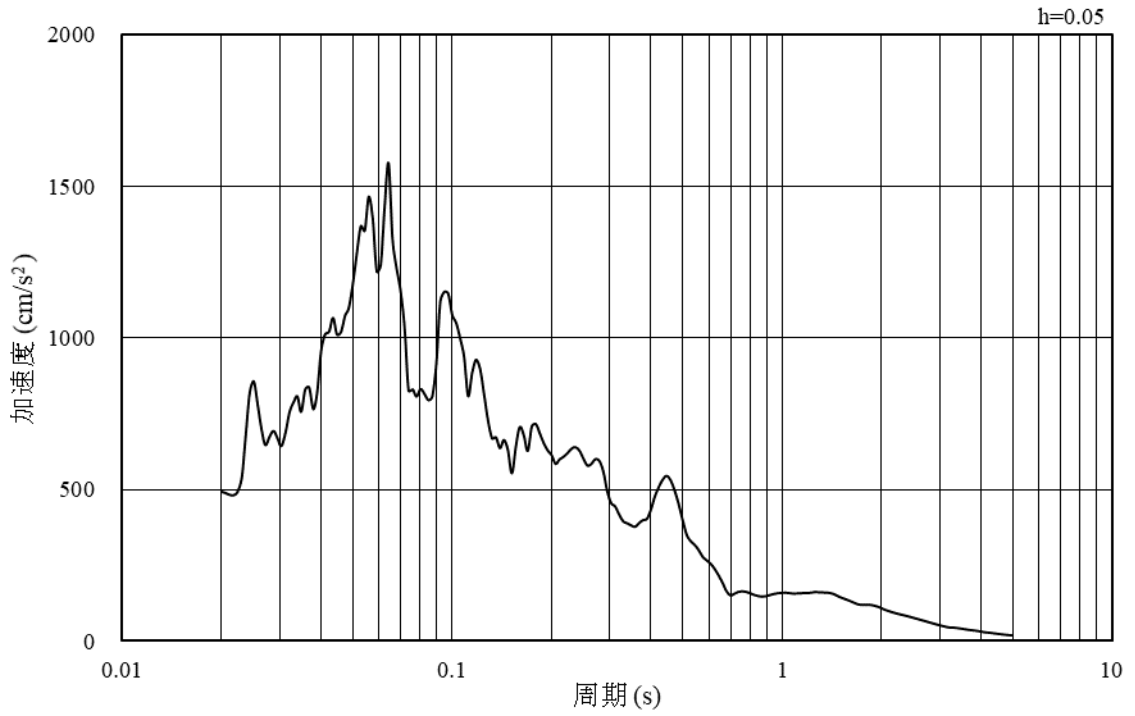


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2, E W方向)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2, E W方向)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答解析モデルを図 3-23 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素によりモデル化する。

構造物の断面部材として見込んでいないダクト蓋重量を両側壁の上端で負担する。

機器・配管荷重は解析モデルに付加重量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) MMR のモデル化

MMRは無筋コンクリートとして、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

地震時の「構造物とMMR」、「構造物と地盤」及び「MMRと地盤」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

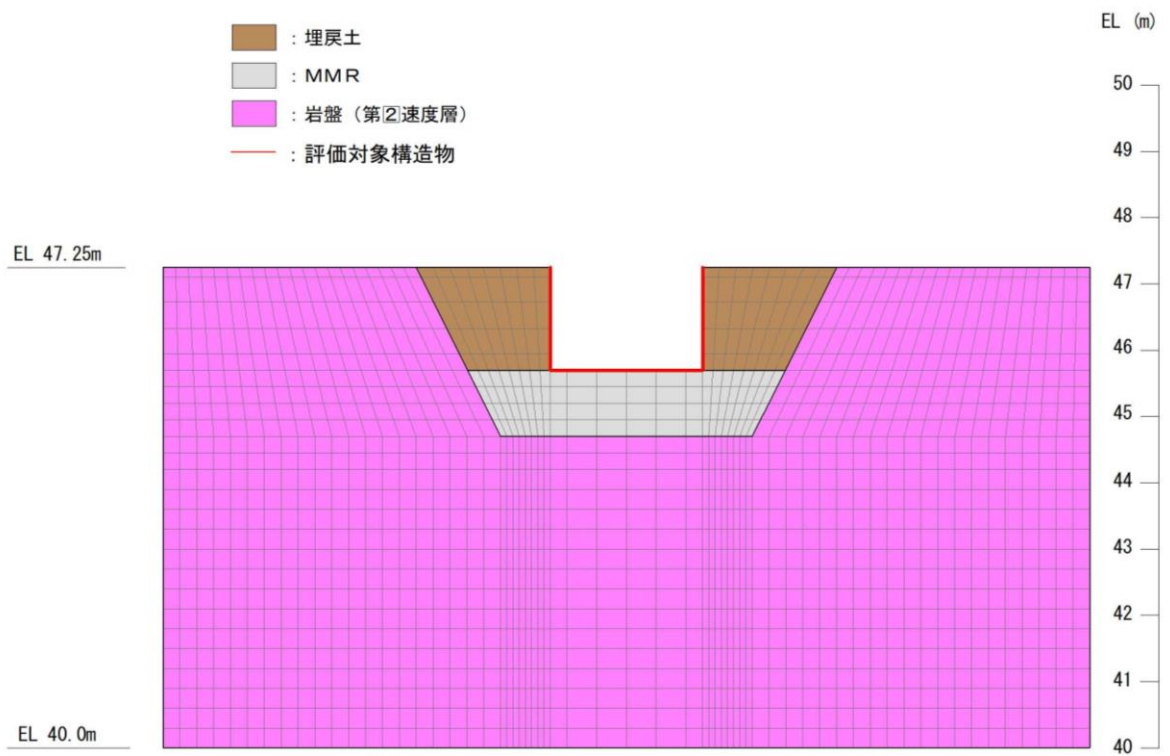


図 3-23 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
地震応答解析モデル図（A-A断面）

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-6 に、材料の物性値を表 3-7 に示す。

表 3-6 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 18.0N/mm ²

表 3-7 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物	2.50×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
MMR	2.20×10 ⁴	22.6* ²	

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.5.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表3-8に示す。

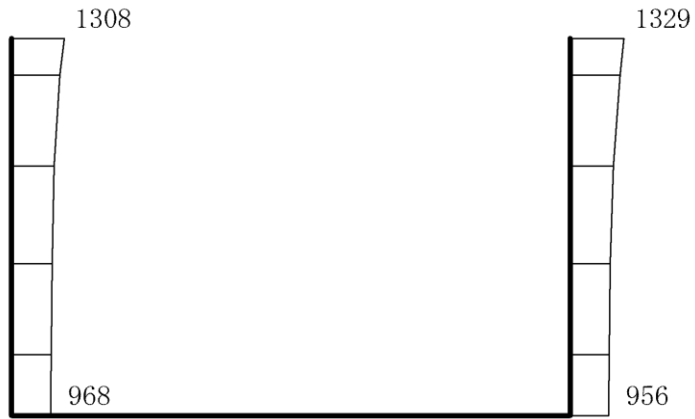
なお、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）については、地下水位が構造物基礎下端より十分低いため、地下水を考慮しない。

表 3-8 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）	A-A断面	地下水位が構造物基礎下端より十分低いため考慮しない

4. 解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-1～図 4-9 に示す。また、解析ケース①において、照査値が最大となる地震動に対しての解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図 4-10 及び図 4-11 に示す。これらに加え、機器・配管系に対する応答加速度抽出として、解析ケース②及び③について、すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-12～図 4-29 に示す。



(a) S s - D (++) 水平

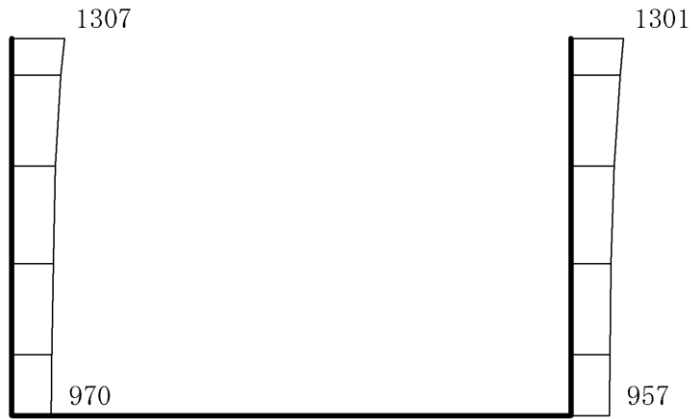


(b) S s - D (++) 鉛直

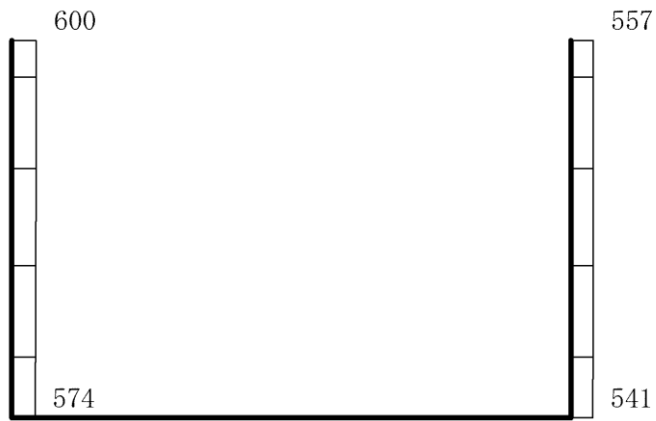
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-1 最大応答加速度分布図 (1/29) (解析ケース①)



(a) S s - D (+ -) 水平

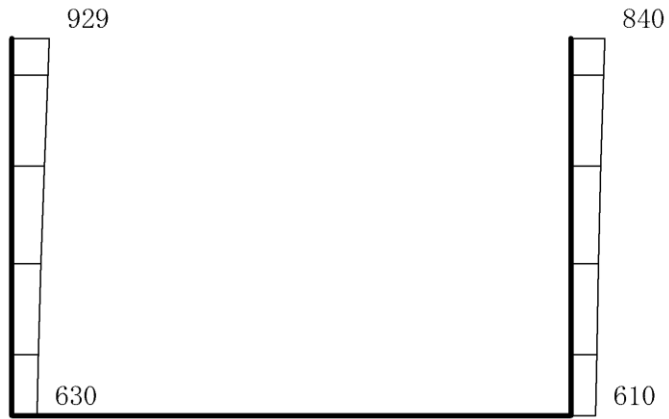


(b) S s - D (+ -) 鉛直

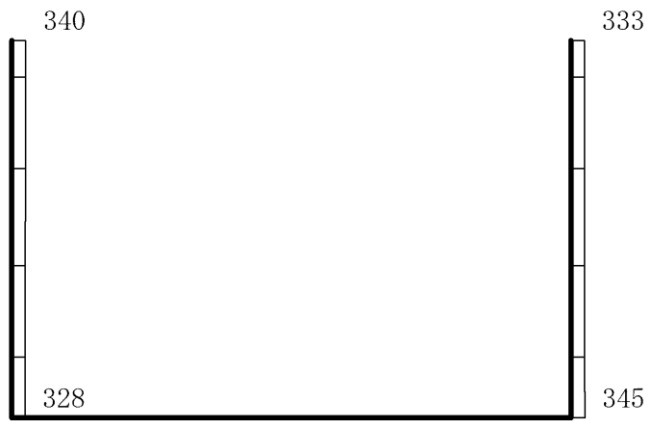
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-2 最大応答加速度分布図 (2/29) (解析ケース①)



(a) $S_s - F1$ (NS) (++) 水平

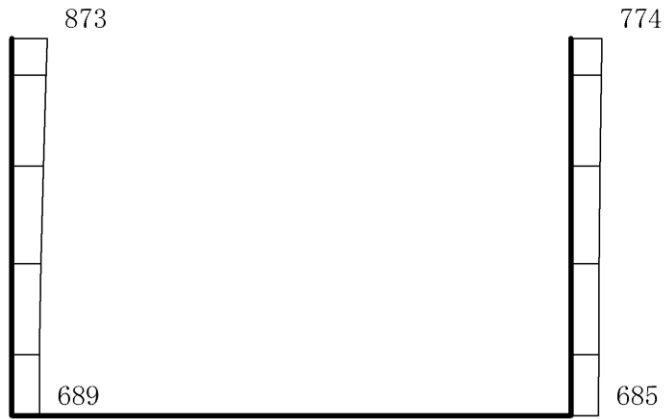


(b) $S_s - F1$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-3 最大応答加速度分布図 (3/29) (解析ケース①)



(a) S_s - F 1 (E W) (++) 水平



(b) S_s - F 1 (E W) (++) 鉛直

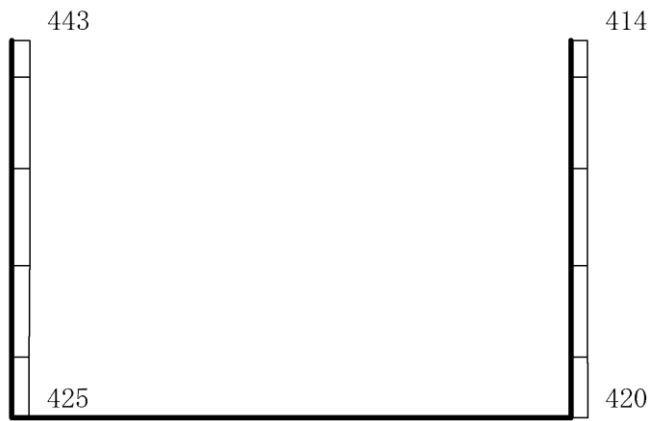
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-4 最大応答加速度分布図 (4/29) (解析ケース①)



(a) $S_s - F_2$ (NS) (++) 水平



(b) $S_s - F_2$ (NS) (++) 鉛直

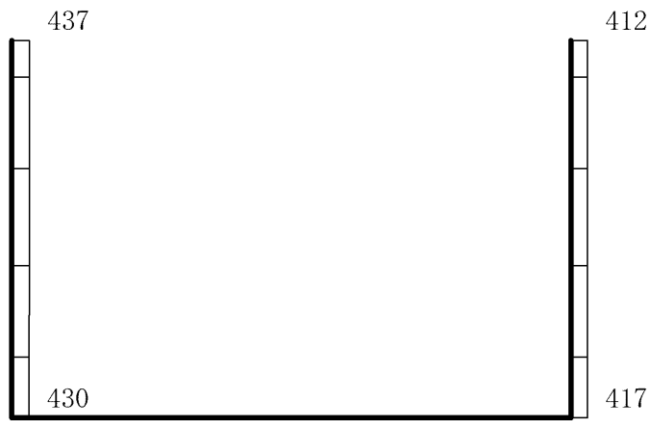
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-5 最大応答加速度分布図 (5/29) (解析ケース①)



(a) $S_s - F_2$ (EW) (++) 水平



(b) $S_s - F_2$ (EW) (++) 鉛直

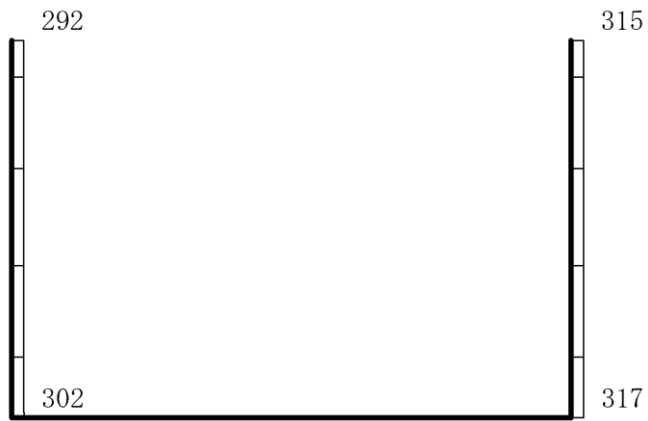
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-6 最大応答加速度分布図 (6/29) (解析ケース①)



(a) S s - N 1 (++) 水平

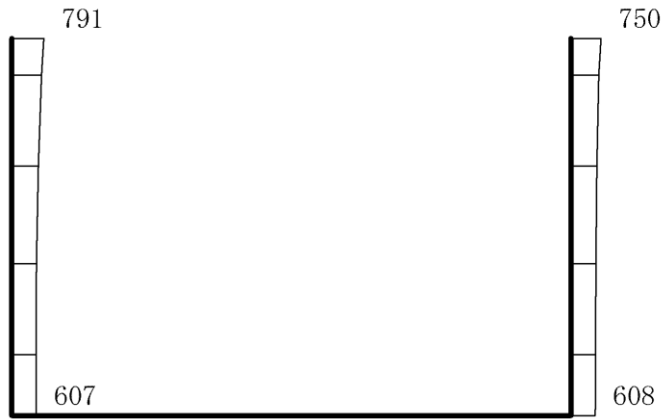


(b) S s - N 1 (++) 鉛直

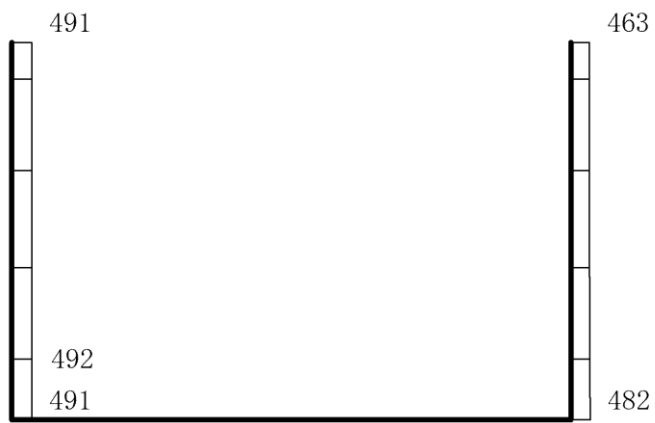
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-7 最大応答加速度分布図 (7/29) (解析ケース①)



(a) $S_s - N2$ (NS) (++) 水平

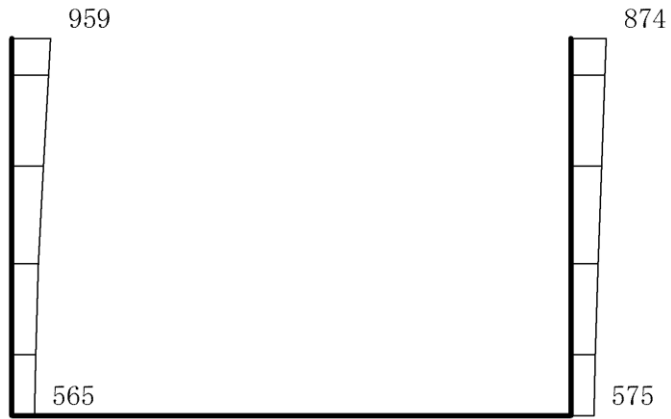


(b) $S_s - N2$ (NS) (++) 鉛直

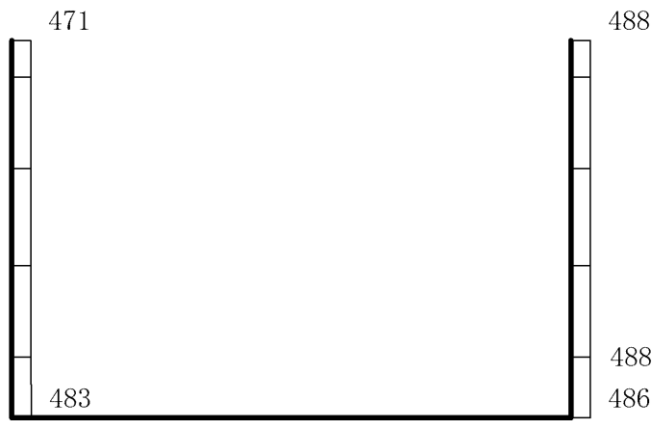
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-8 最大応答加速度分布図 (8/29) (解析ケース①)



(a) S_s - N 2 (E W) (++) 水平



(b) S_s - N 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-9 最大応答加速度分布図 (9/29) (解析ケース①)



(a) S s - D (+-) 水平

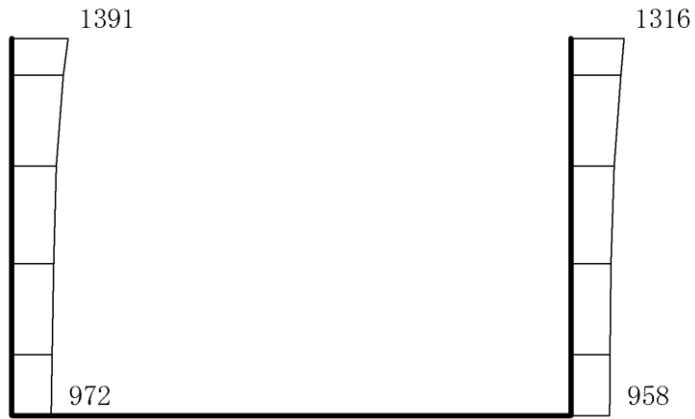


(b) S s - D (+-) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-10 最大応答加速度分布図 (10/29) (解析ケース②)



(a) S s - D (+ -) 水平

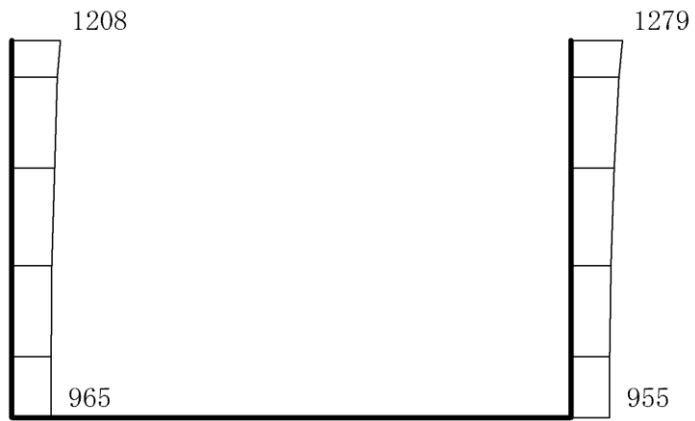


(b) S s - D (+ -) 鉛直

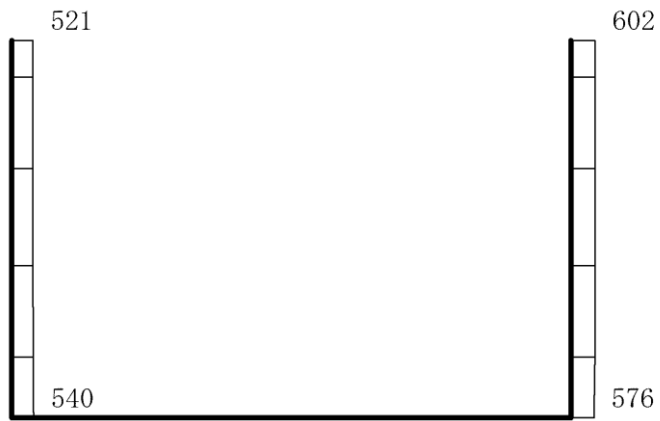
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-11 最大応答加速度分布図 (11/29) (解析ケース③)



(a) S s - D (++) 水平

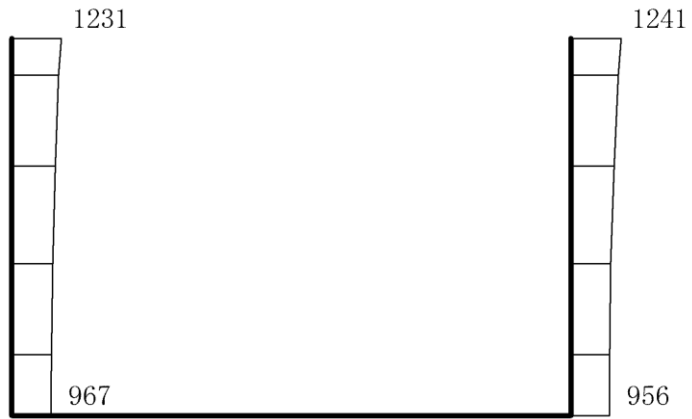


(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-12 最大応答加速度分布図 (12/29) (解析ケース②)



(a) S s - D (+-) 水平



(b) S s - D (+-) 鉛直

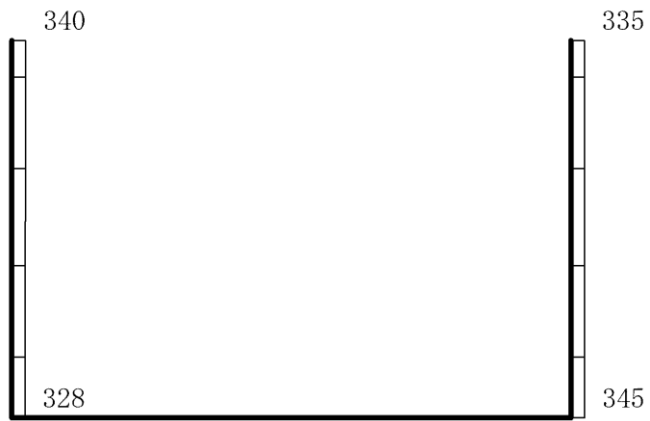
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-13 最大応答加速度分布図 (13/29) (解析ケース②)



(a) $S_s - F1$ (NS) (++) 水平

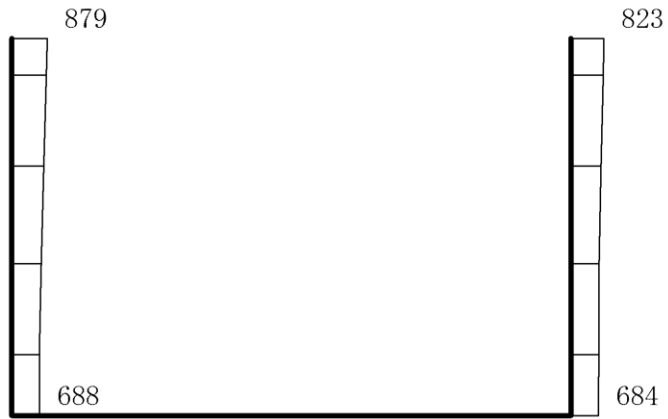


(b) $S_s - F1$ (NS) (++) 鉛直

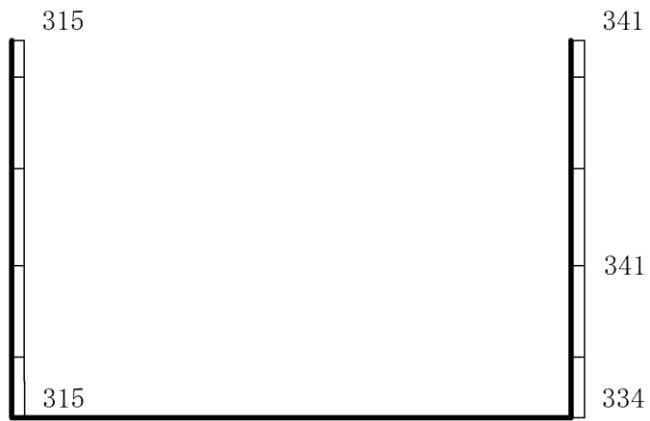
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-14 最大応答加速度分布図 (14/29) (解析ケース②)



(a) $S_s - F1$ (EW) (++) 水平

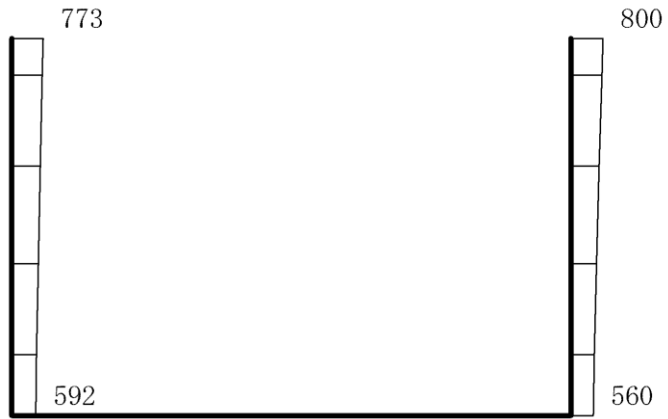


(b) $S_s - F1$ (EW) (++) 鉛直

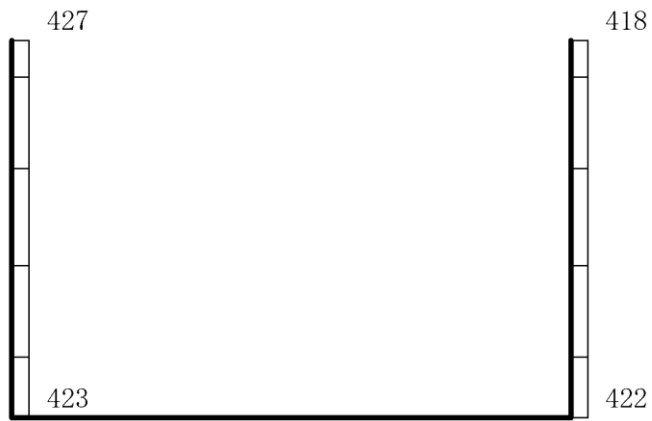
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-15 最大応答加速度分布図 (15/29) (解析ケース②)



(a) $S_s - F_2$ (NS) (++) 水平

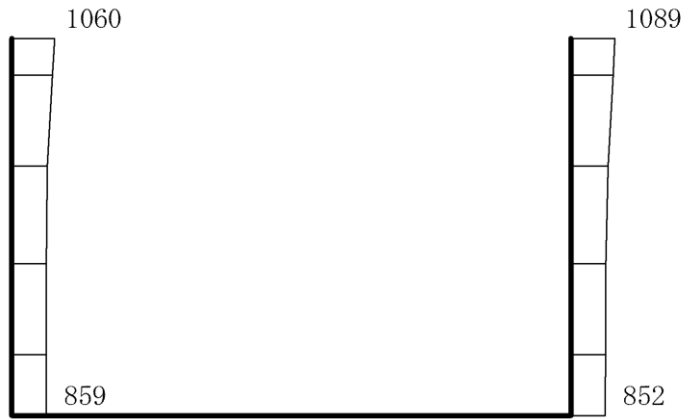


(b) $S_s - F_2$ (NS) (++) 鉛直

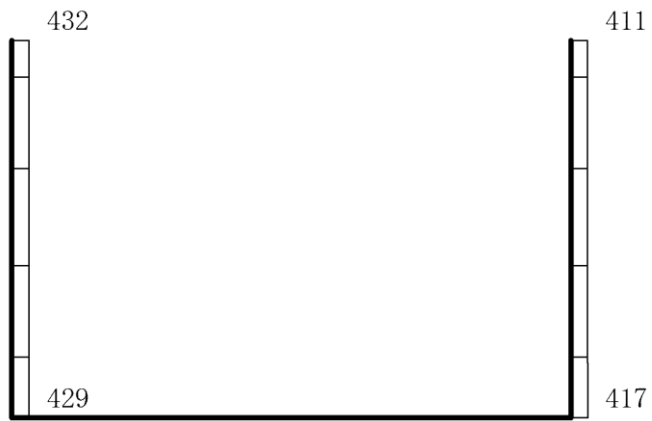
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-16 最大応答加速度分布図 (16/29) (解析ケース②)



(a) $S_s - F_2$ (EW) (++) 水平



(b) $S_s - F_2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-17 最大応答加速度分布図 (17/29) (解析ケース②)



(a) S s - N 1 (++) 水平

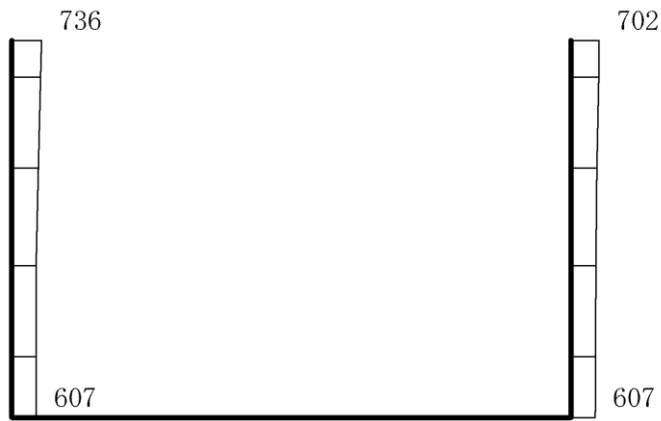


(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-18 最大応答加速度分布図 (18/29) (解析ケース②)



(a) $S_s - N2$ (NS) (++) 水平

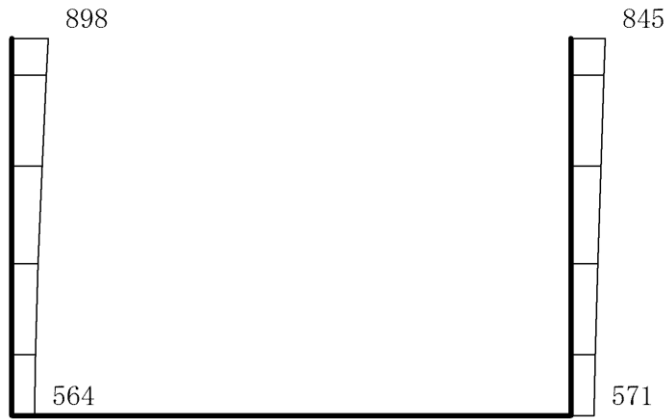


(b) $S_s - N2$ (NS) (++) 鉛直

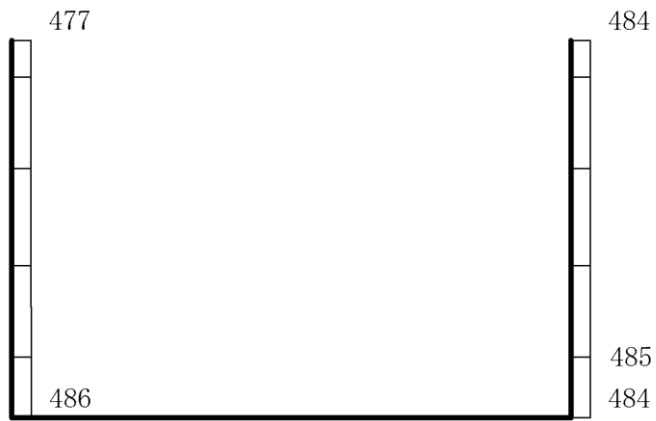
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-19 最大応答加速度分布図 (19/29) (解析ケース②)



(a) $S_s - N 2$ (EW) (++) 水平

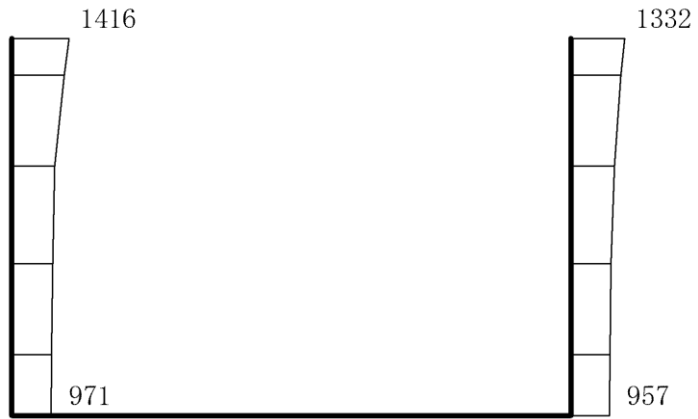


(b) $S_s - N 2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール 0 ——— 0.5(m)

応答値スケール 0 ——— 3000 (cm/s²)

図 4-20 最大応答加速度分布図 (20/29) (解析ケース②)



(a) S s - D (++) 水平

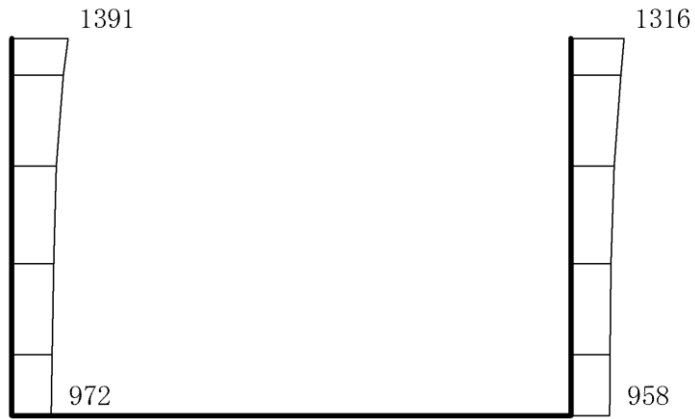


(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-21 最大応答加速度分布図 (21/29) (解析ケース③)



(a) S s - D (+-) 水平

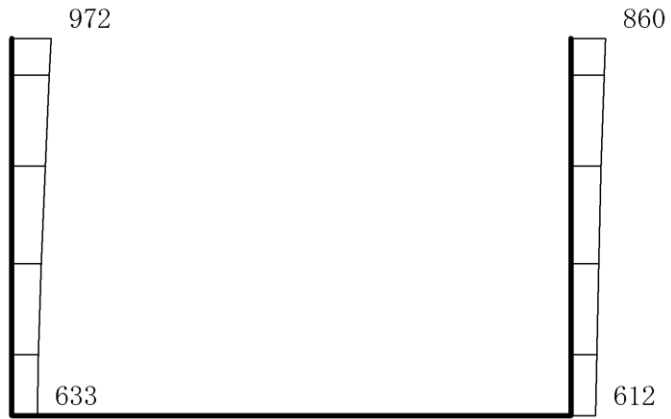


(b) S s - D (+-) 鉛直

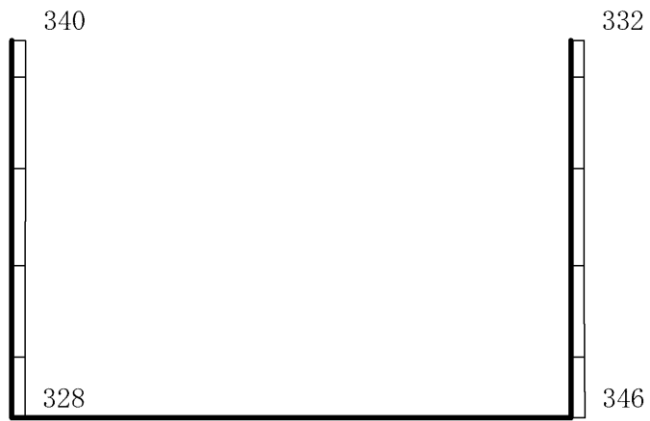
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-22 最大応答加速度分布図 (22/29) (解析ケース③)



(a) $S_s - F1$ (NS) (++) 水平

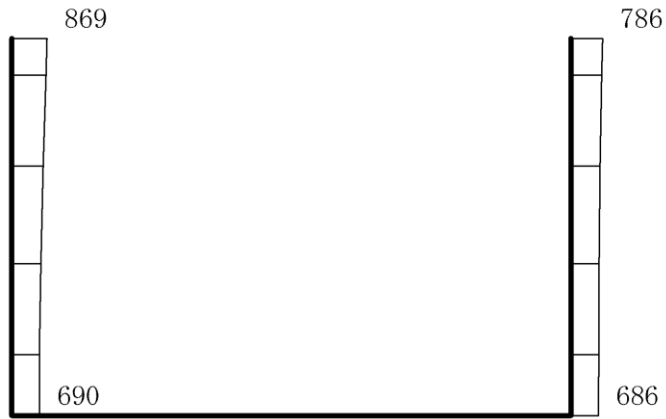


(b) $S_s - F1$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-23 最大応答加速度分布図 (23/29) (解析ケース③)



(a) $S_s - F1$ (EW) (++) 水平

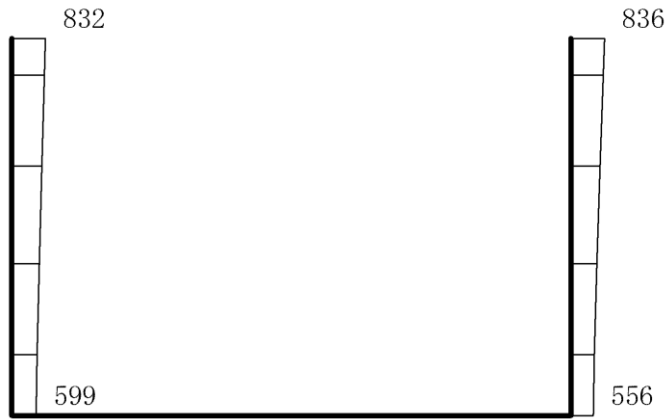


(b) $S_s - F1$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-24 最大応答加速度分布図 (24/29) (解析ケース③)



(a) $S_s - F_2$ (NS) (++) 水平



(b) $S_s - F_2$ (NS) (++) 鉛直

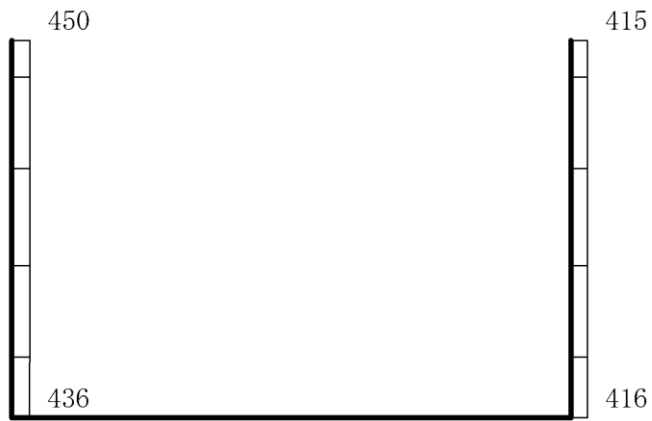
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-25 最大応答加速度分布図 (25/29) (解析ケース③)



(a) $S_s - F_2$ (EW) (++) 水平



(b) $S_s - F_2$ (EW) (++) 鉛直

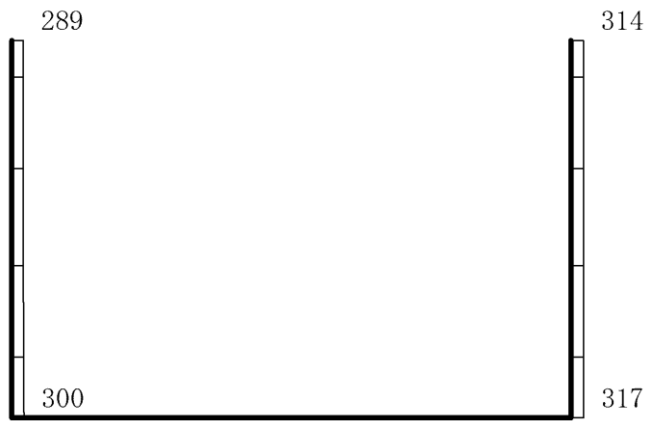
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-26 最大応答加速度分布図 (26/29) (解析ケース③)



(a) S s - N 1 (++) 水平

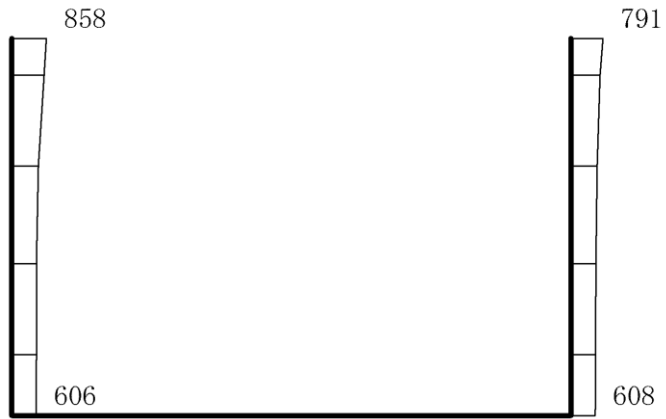


(b) S s - N 1 (++) 鉛直

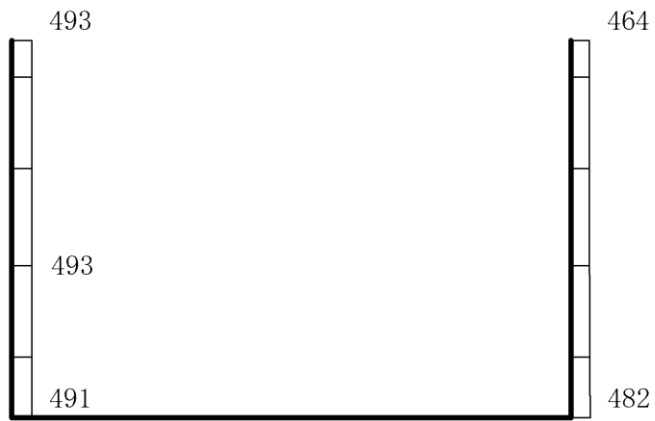
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-27 最大応答加速度分布図 (27/29) (解析ケース③)



(a) $S_s - N2$ (NS) (++) 水平



(b) $S_s - N2$ (NS) (++) 鉛直

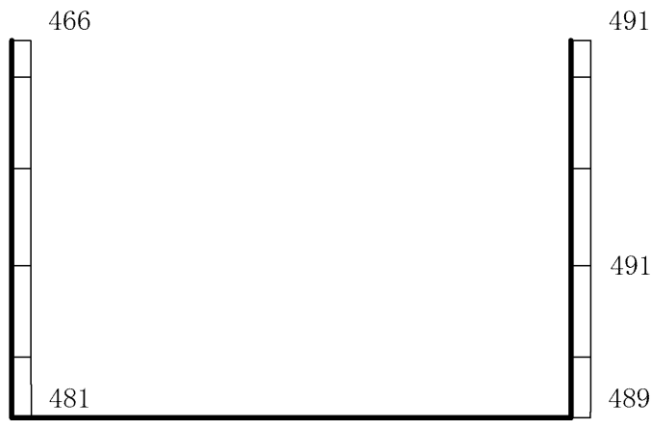
構造スケール 0 0.5(m)

応答値スケール 0 3000 (cm/s²)

図 4-28 最大応答加速度分布図 (28/29) (解析ケース③)



(a) $S_s - N 2$ (EW) (++) 水平



(b) $S_s - N 2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 0.5(m)$

応答値スケール $0 \quad 3000 (cm/s^2)$

図 4-29 最大応答加速度分布図 (29/29) (解析ケース③)

VI-2-2-38 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク
～ガスタービン発電機）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	5
2.4 適用規格・基準等	8
3. 耐震評価	2
3.1 評価対象断面	9
3.2 使用材料及び材料の物性値	11
3.3 許容限界	12
3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界	12
3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	13
3.4 評価方法	14
3.4.1 構造部材の健全性評価	14
3.4.2 基礎地盤の支持性能評価	16
4. 耐震評価結果	17
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	17
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	18
4.2.1 基礎地盤	18
4.2.2 MMR	19

1. 概要

本資料は、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、屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）に要求される機能維持の確認は、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の位置図を図 2-1 に示す。

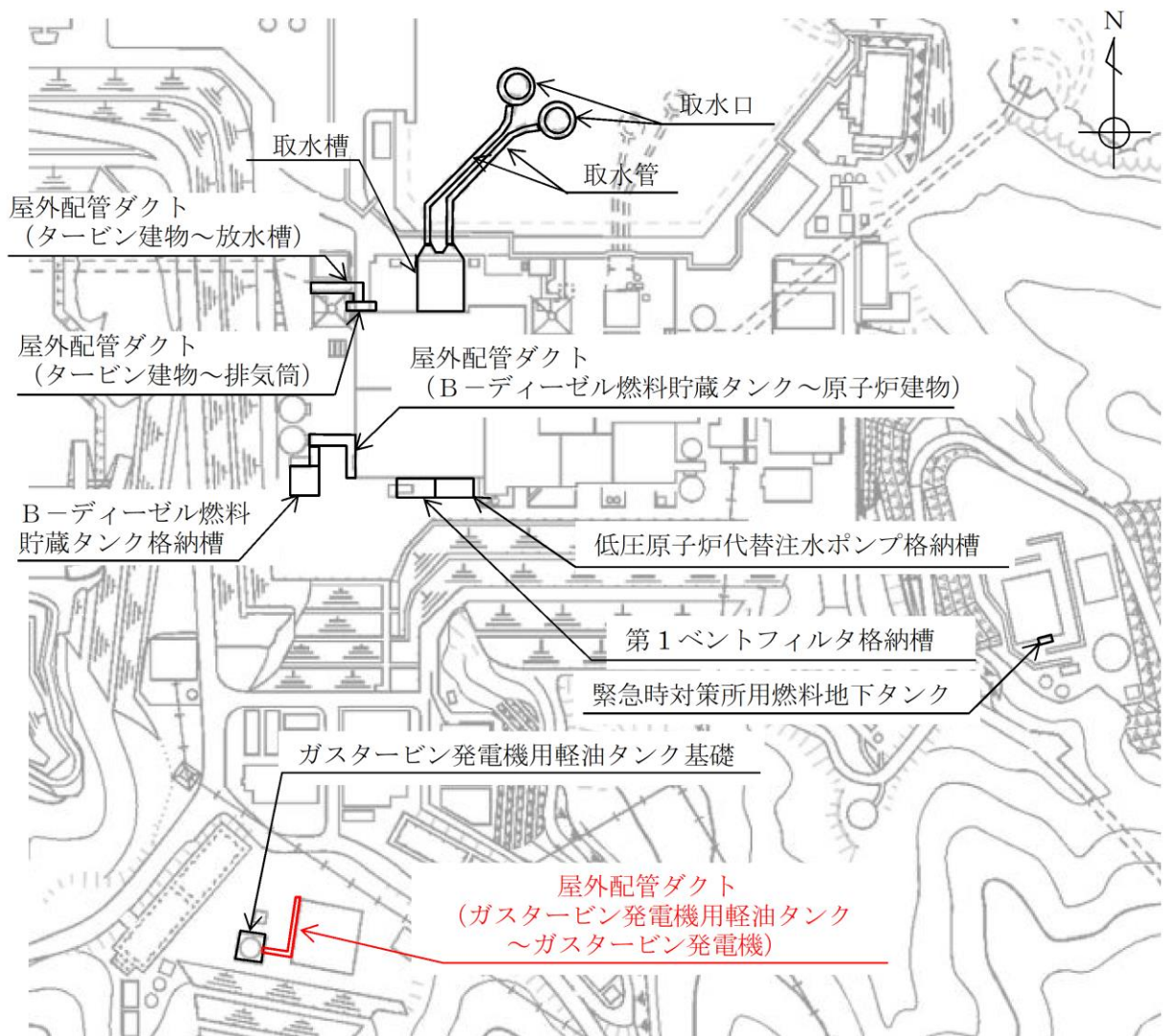


図 2-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）位置図

2.2 構造概要

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、概略配筋図を図 2-5 示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、ガスタービン発電機用燃料移送配管・弁を間接支持する延長約 55.5m、幅 2.8m、高さ 1.8m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して十分な支持性能を有する C_L 級岩盤に支持される。

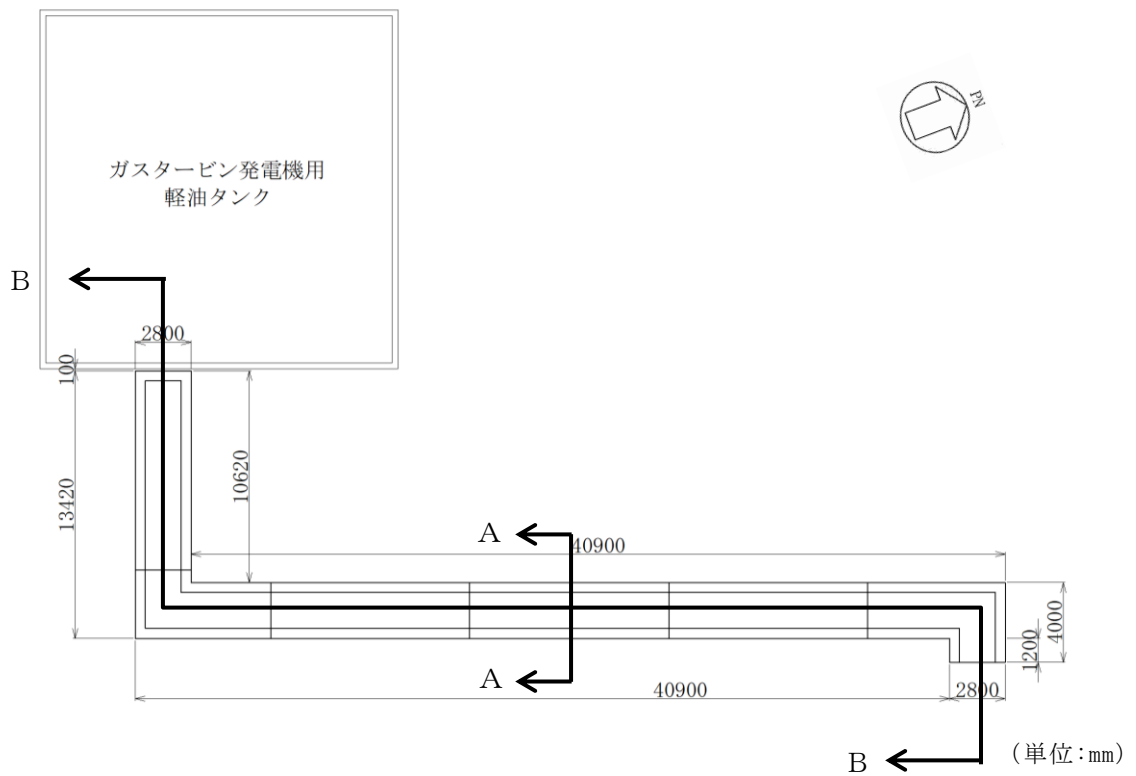


図 2-2 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
平面図

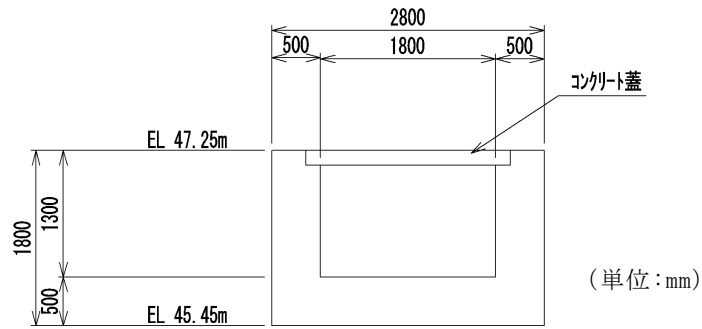


図 2-3 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
断面図（A-A 断面）

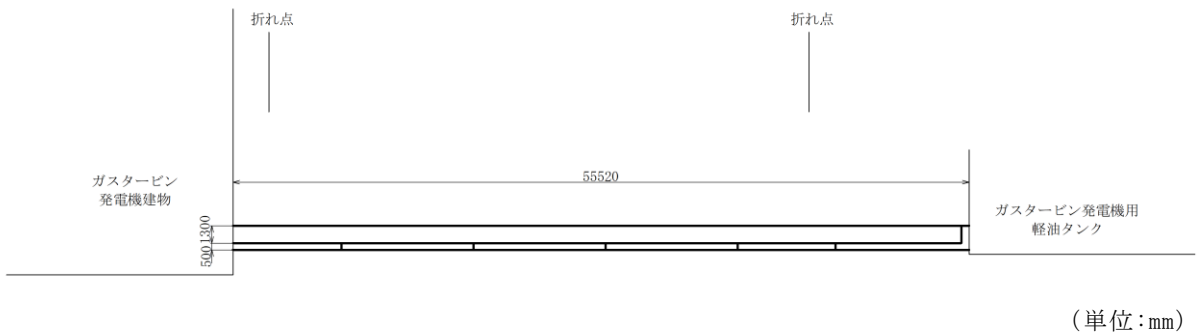


図 2-4 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
断面図（B-B 断面）

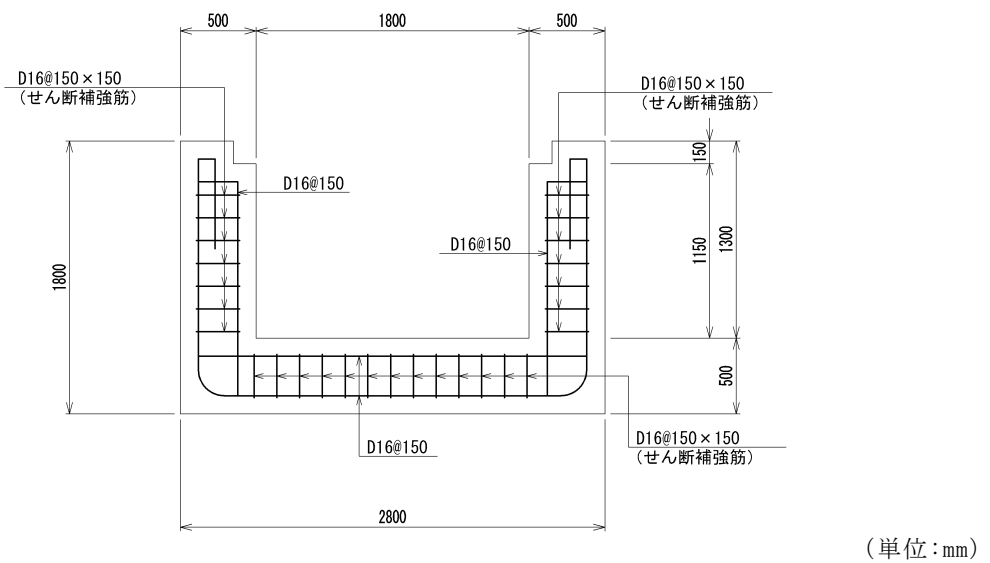


図 2-5 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
概略配筋図（A-A 断面）

2.3 評価方針

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）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が設置される重大事故等対処施設に分類される。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）は、VI-2-2-37「屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、重大事故等対処施設のの評価として、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認し、これにより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を支持する機能を維持することができる。

構造部材の健全性評価については、VI-2-2-37「屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、曲げ・軸力系の破壊に対しては構造部材の照査用ひずみが許容限界を下回ることを確認する。せん断破壊に対しては照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価については、VI-2-2-37「屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、基礎地盤及びMMRに発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認する。

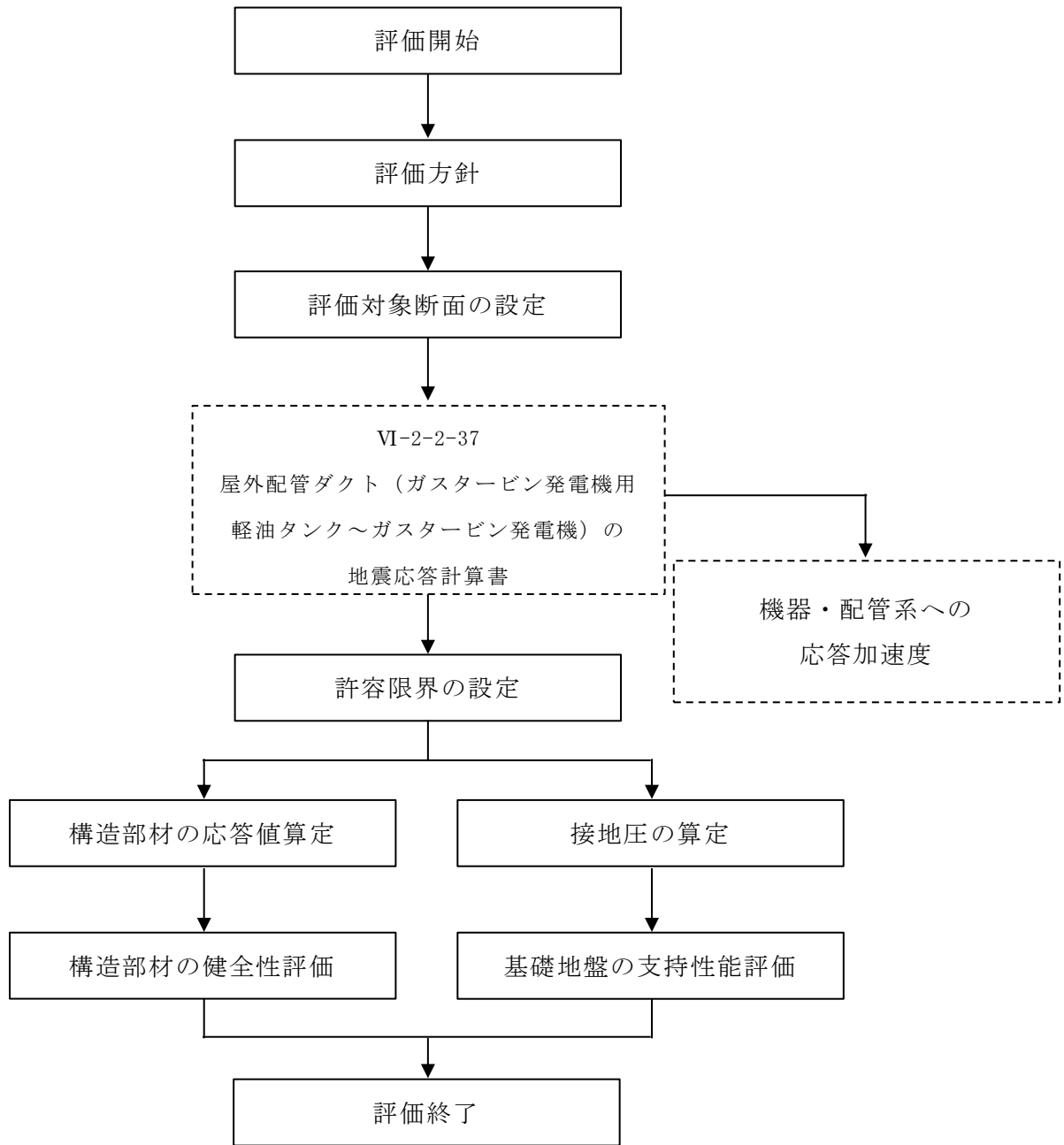


図 2-6 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
耐震評価フロー

表 2-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）

評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界を下回ることを確認	曲げ・軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を下回ることを確認	岩盤の極限支持力度*	
		MMR		MMRの支圧強度	

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の評価対象断面位置図を図 3-1 に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は，図 3-1 の A-A 断面とする。

評価対象断面図を図 3-2 に示す。

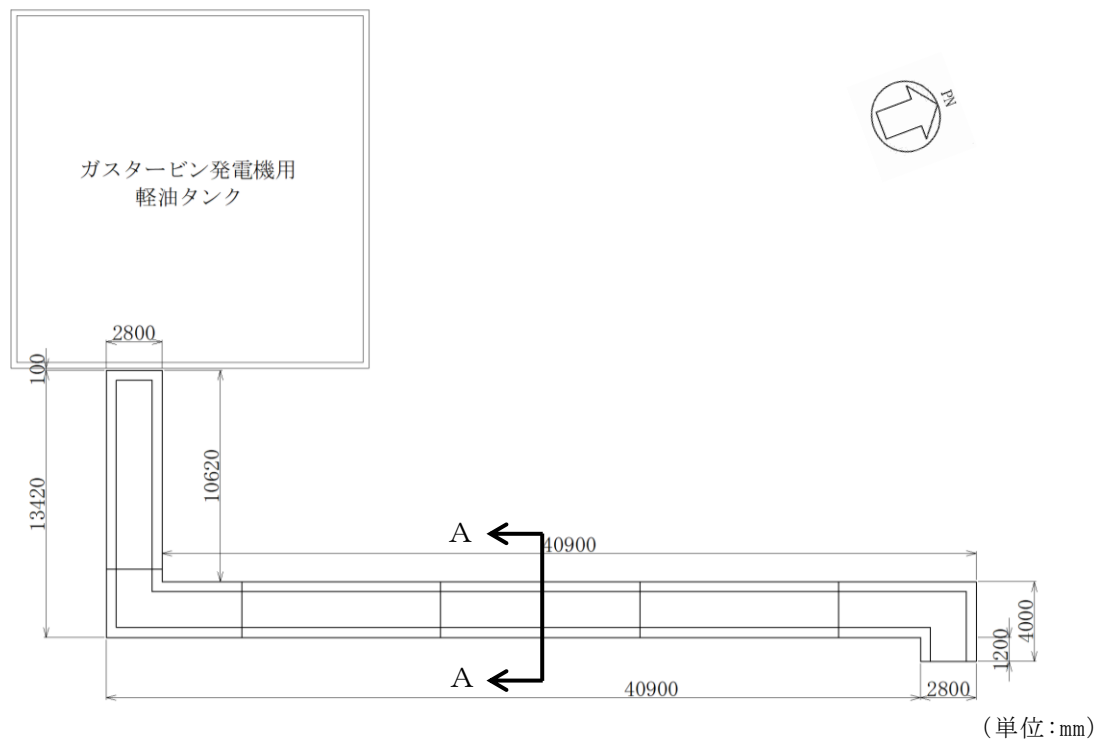


図 3-1 屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）
評価対象断面位置図

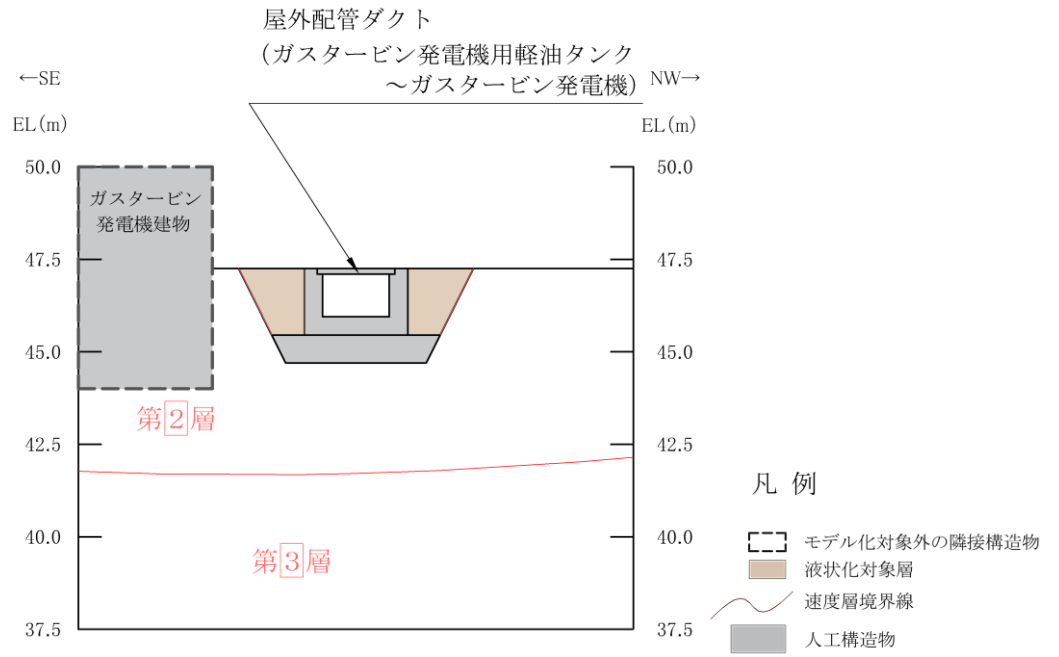


図 3-2 屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機)
評価対象断面図 (A-A断面)

3.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-1、材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

材料		仕様
構造物	コンクリート	設計基準強度 24.0N/mm ²
	鉄筋	SD345
MMR		設計基準強度 18.0N/mm ²

表 3-2 材料の物性値

材料	ヤング係数 (N/mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比
構造物	2.50×10 ⁴	24.0* ¹	0.2
MMR	2.20×10 ⁴	22.6* ²	

注記*1：鉄筋コンクリートの単位体積重量を示す。

*2：無筋コンクリートの単位体積重量を示す。

3.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ・軸力系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされており、圧縮縁コンクリートひずみが1.0%の状態は、かぶりコンクリートが剥落する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

(2) せん断破壊に対する許容限界

構造部材のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式で求まるせん断耐力とする。

3.3.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

(1) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-3 に示す。

表 3-3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _L 級岩盤	3.9

(2) MMR

MMRに発生する接地圧に対する許容限界は、「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年)」に基づき、コンクリートの支圧強度とする。

MMRの支持性能に対する許容限界を表 3-4 に示す。

表 3-4 MMRの支持性能に対する許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)
支圧強度	コンクリート ($f'_{ck} = 18.0 \text{ N/mm}^2$)	$f'_a = 18.0$

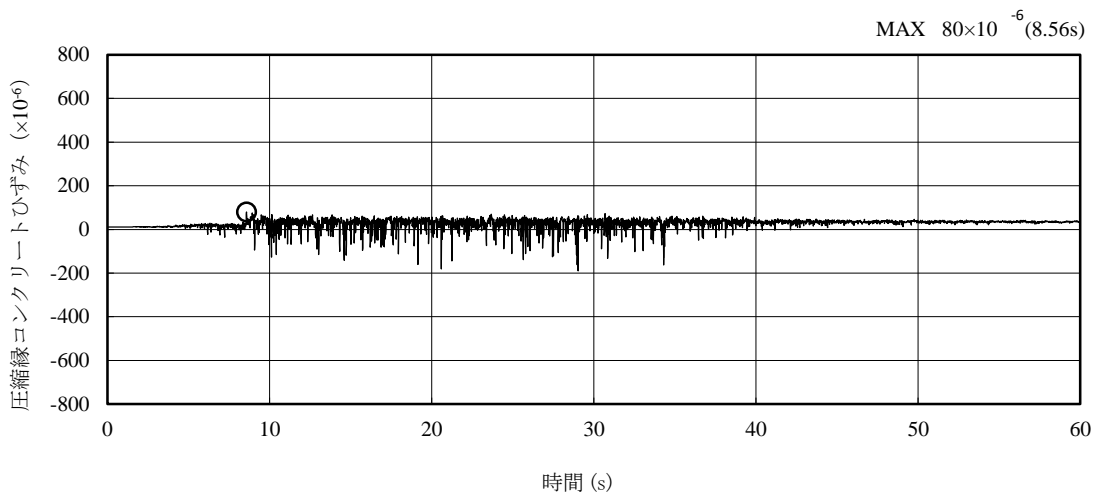
3.4 評価方法

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.3 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

3.4.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げ・軸力系及びせん断破壊に対する照査に対して、地震応答解析により算定した照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ・軸力系の破壊に対して照査値が最大となる地震動及び解析ケースでのひずみの時刻歴波形及び発生位置を図 3-3 に、せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図を図 3-4 に示す。



(圧縮を正で示す。)

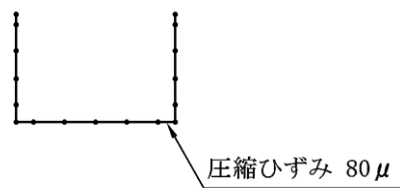
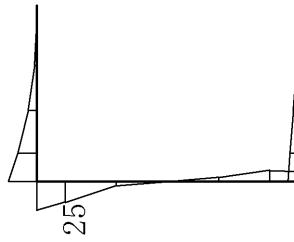
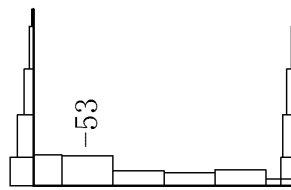


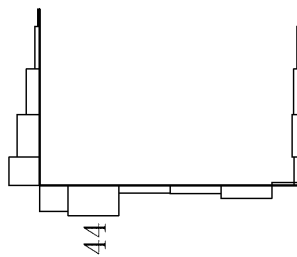
図 3-3 曲げ・軸力系の破壊に対する照査におけるひずみの時刻歴波形
(A-A断面, 解析ケース③, S s - D (+ -))



数值：評価位置における断面力
 (a) 曲げモーメント (kN・m)



数值：評価位置における断面力
 (b) 軸力 (kN) (+ : 引張, - : 圧縮)



数值：評価位置における断面力
 (c) せん断力 (kN)

図 3-4 せん断破壊に対する照査値最大時の断面力図
 (A-A断面, 解析ケース③, S_s-D (+-), t=21.23s)

3.4.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては基礎地盤及びMMRに発生する接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する各評価位置での最大照査値を表 4-2 に示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の照査用ひずみ及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値（A-A断面）

解析 ケース	地震動	照査用ひずみ* ϵ_d	限界ひずみ ϵ_R	照査値 ϵ_d / ϵ_R
③	S s - D (+-)	96 μ	10000 μ	0.01

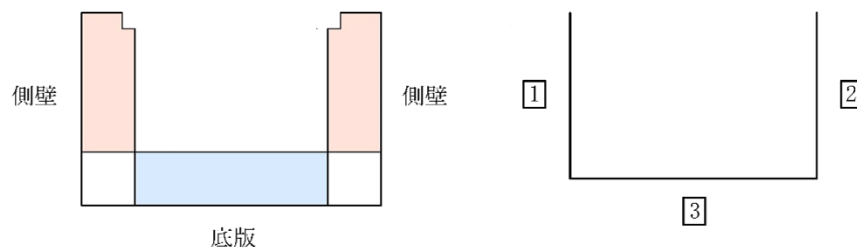
注記*：照査用ひずみ $\epsilon_d =$ 発生ひずみ $\epsilon \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-2 せん断破壊に対する最大照査値（A-A断面）

評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d / V_{yd}
側壁	2	③	S s - D (+-)	36	1065	0.04
底版	3	③	S s - D (+-)	46	1078	0.05

注記*1：評価位置は図 4-1 に示す。

*2：照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a



A-A断面

図 4-1 評価位置

4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

4.2.1 基礎地盤

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 4-3 に示す。また、最大接地圧分布図を図 4-2 に示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力度を下回ることを確認した。

表 4-3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果（A-A断面）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
①	S s - D (++)	0.10	3.9	0.03

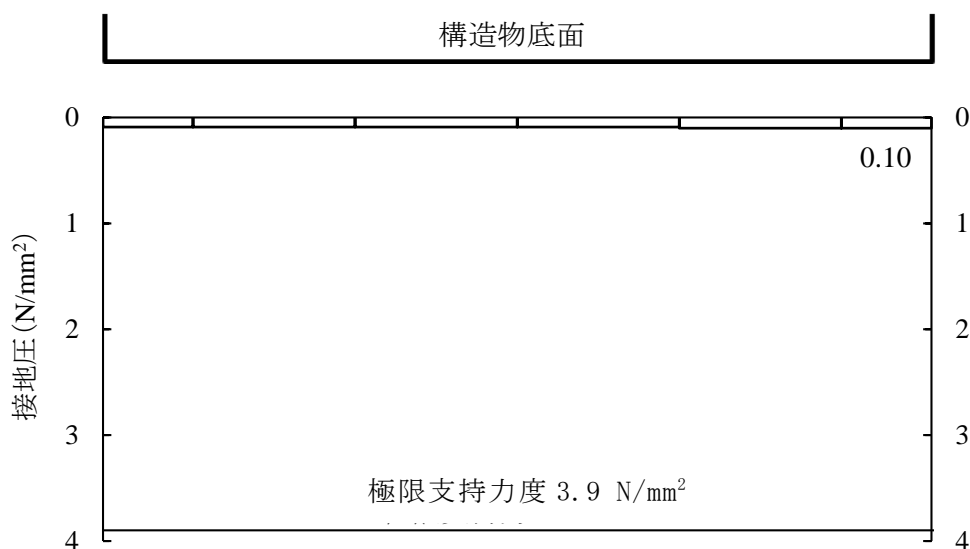


図 4-2 基礎地盤の最大接地圧分布図
(A-A断面, 解析ケース①, S s - D (++))

4.2.2 MMR

MMRの支持性能に対する照査結果を表4-4に示す。また、最大接地圧分布図を図4-3に示す。

屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）のMMRに発生する最大接地圧が、支圧強度を下回ることを確認した。

表4-4 MMRの支持性能に対する照査結果（A-A断面）

解析ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	支圧強度 f'_a (N/mm ²)	照査値 R_d / f'_a
③	S s - D (+-)	0.12	18.0	0.01

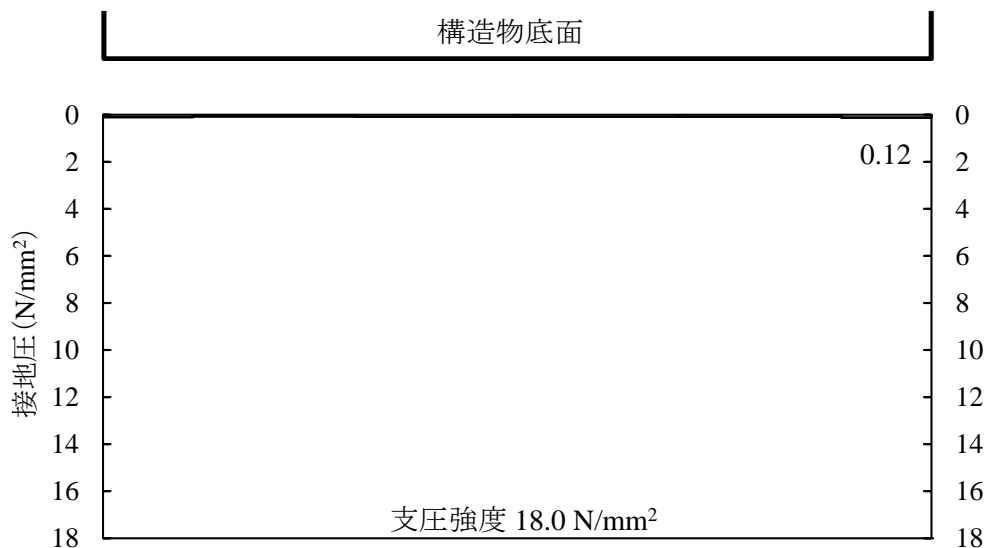


図4-3 基礎地盤の最大接地圧分布図
(A-A断面, 解析ケース③, S s - D (+-))

VI-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-5-3 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-2-5-3-1-2 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	65
3.1 計算方法	65
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	66
3.3 設計条件	69
3.4 材料及び許容応力	106
3.5 設計用地震力	107
4. 解析結果及び評価	108
4.1 固有周期及び設計震度	108
4.2 評価結果	129
4.2.1 管の応力評価結果	129
4.2.2 支持構造物評価結果	133
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	134
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	135

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。





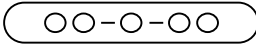
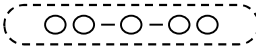

(3) 弁

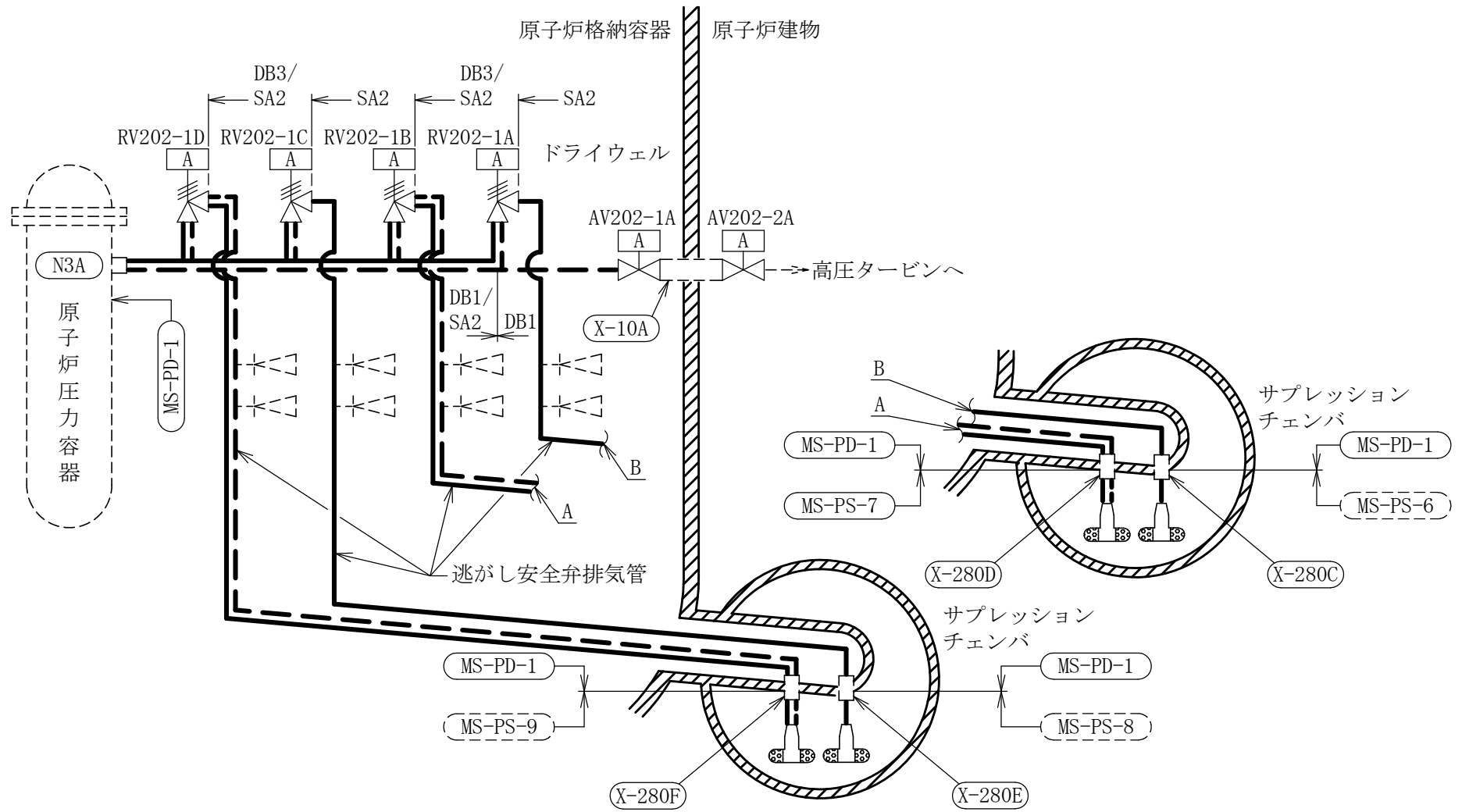
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

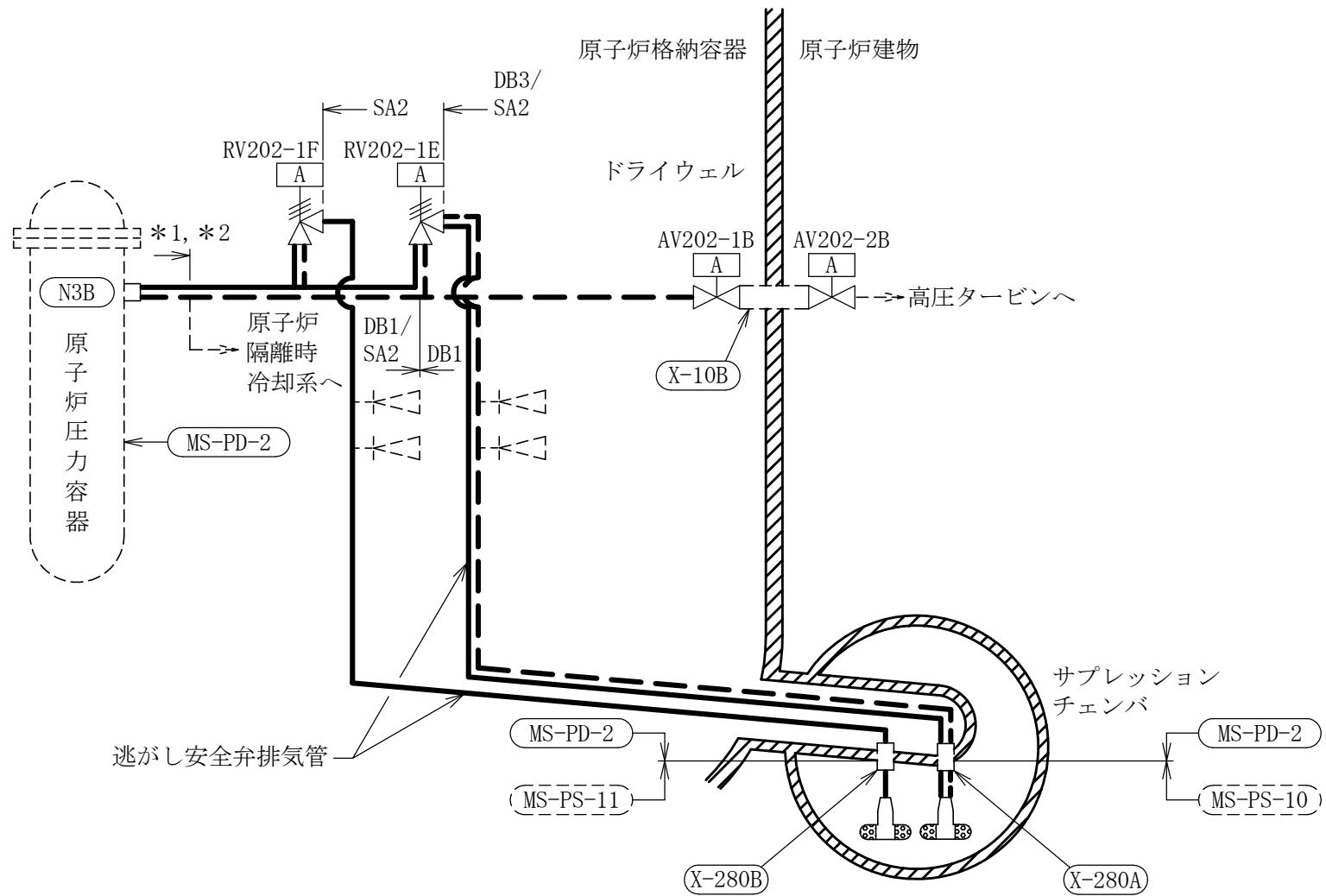
2.1 概略系統図

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



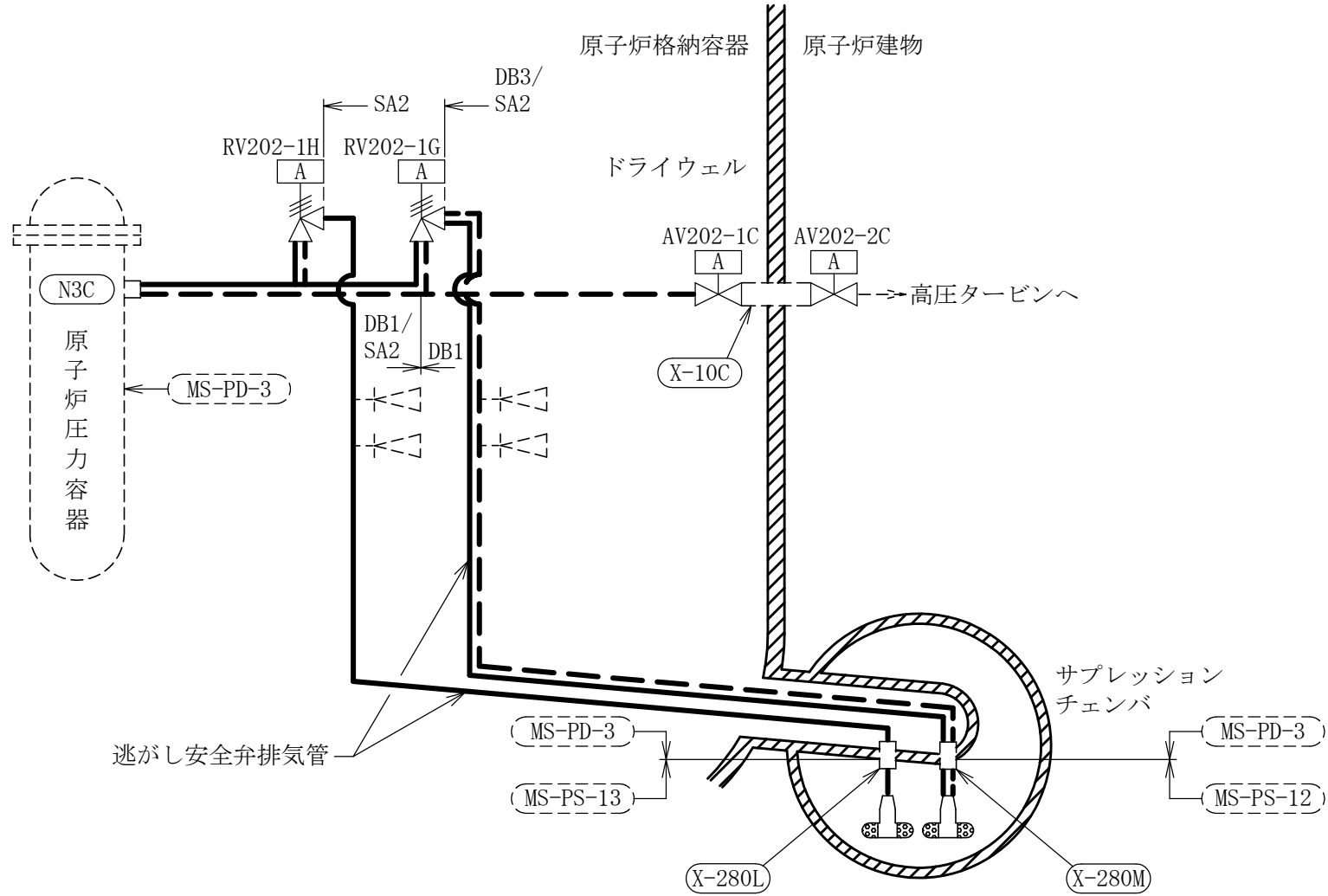
主蒸気系概略系統図 (その1)



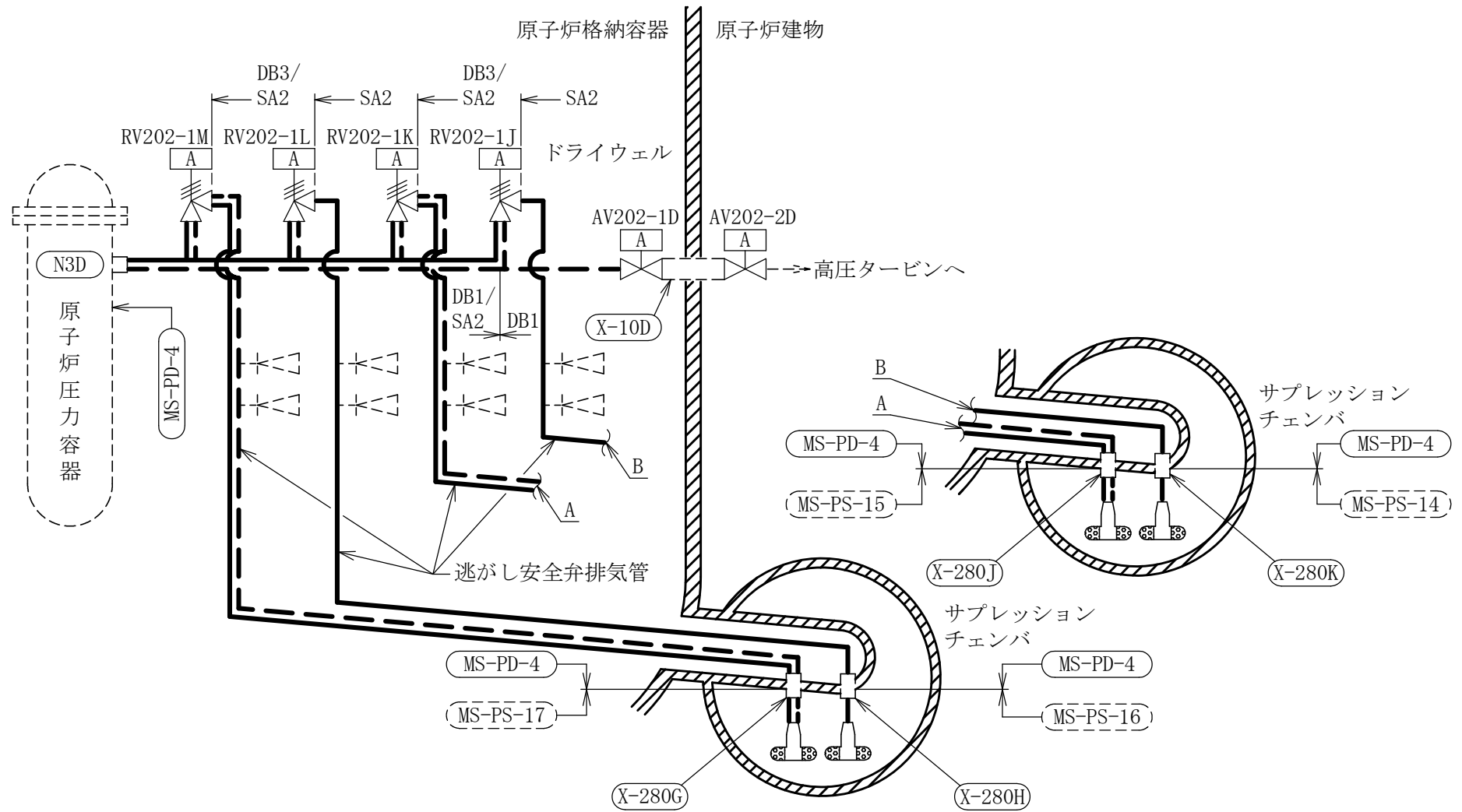
注記*1：高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。

*2：原子炉隔離時冷却系との兼用範囲である。

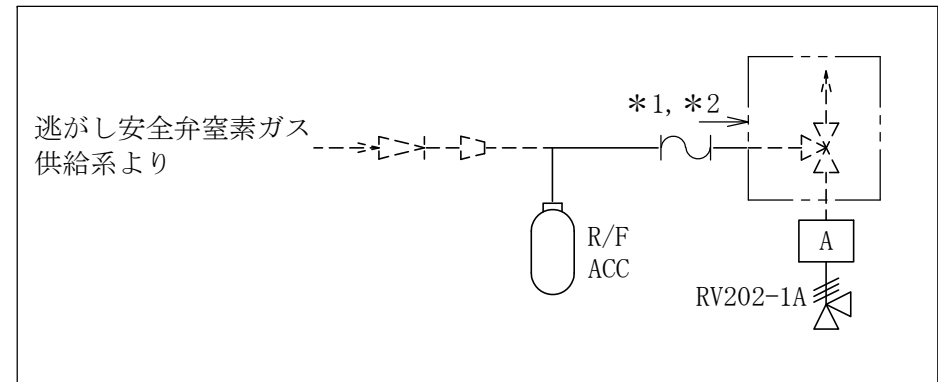
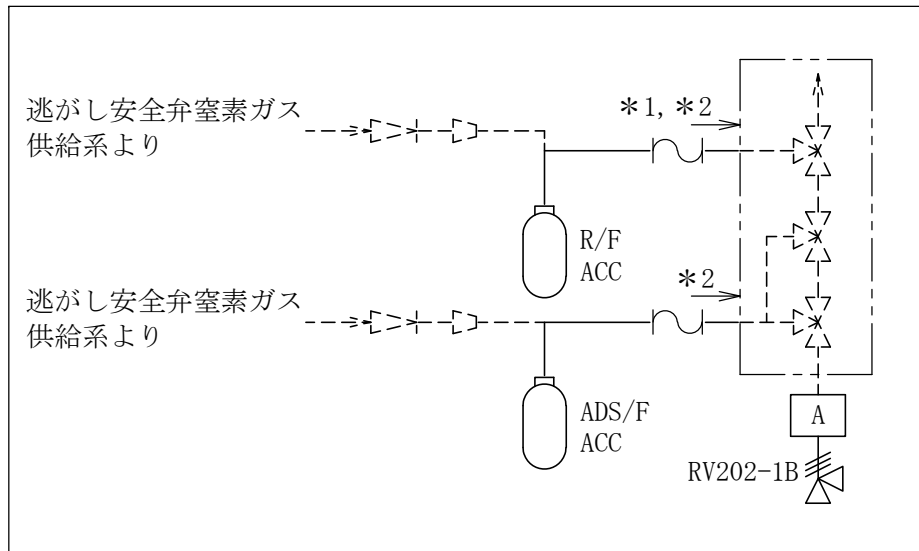
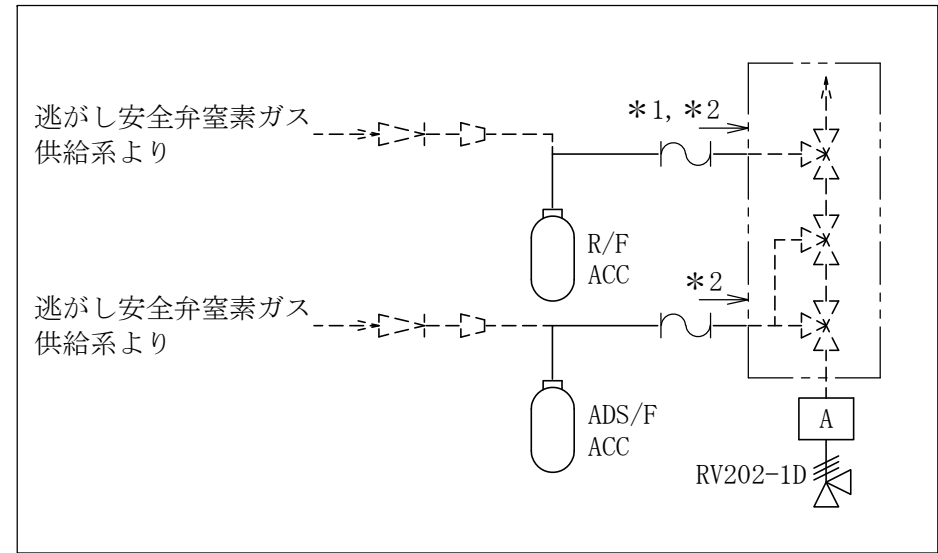
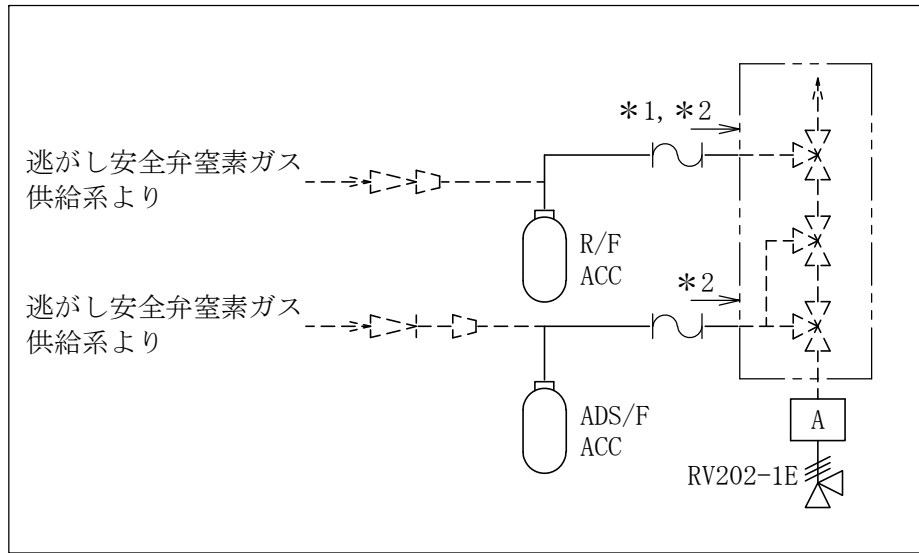
主蒸気系概略系統図（その2）



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。

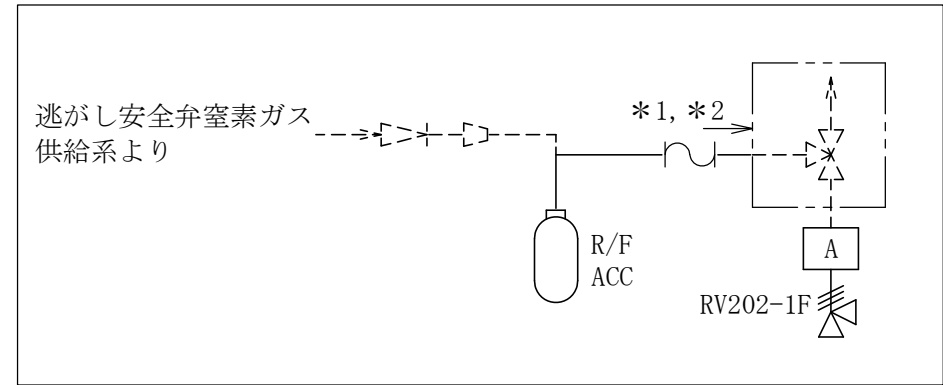
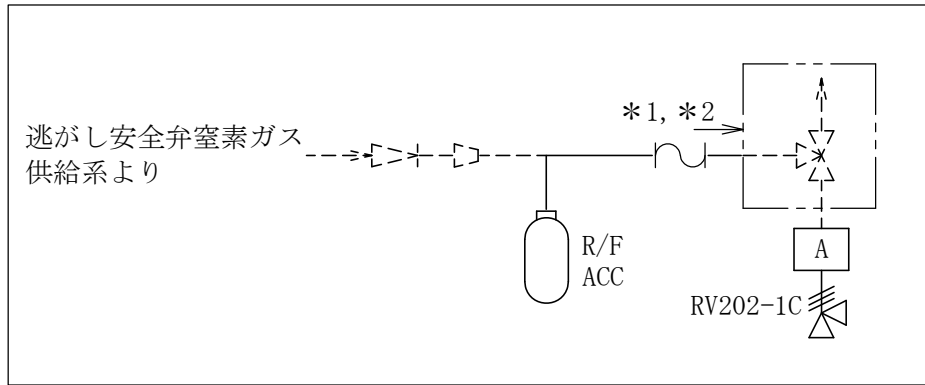
ADS/F ACC：逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

R/F ACC：逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

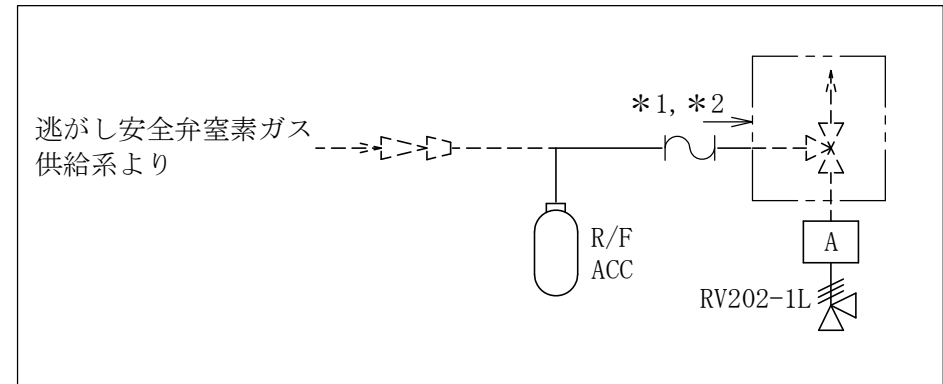
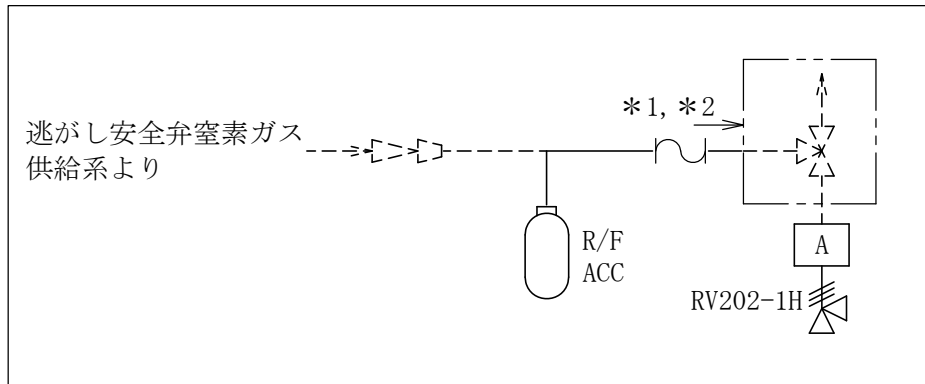
注記*1：逃がし安全弁窒素ガス供給系との兼用範囲である。

*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）

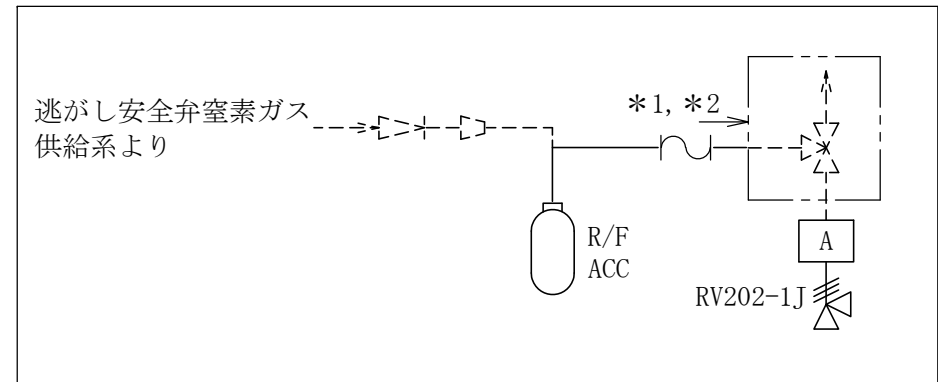
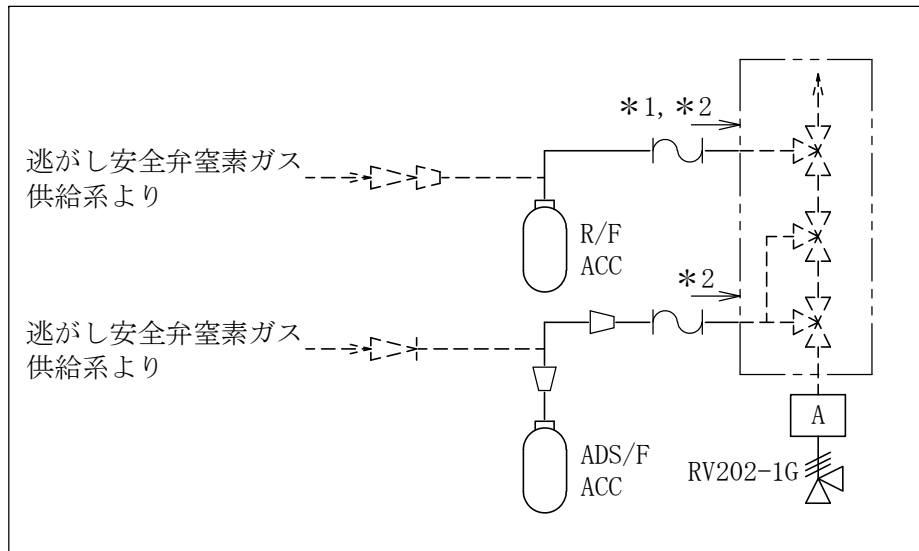
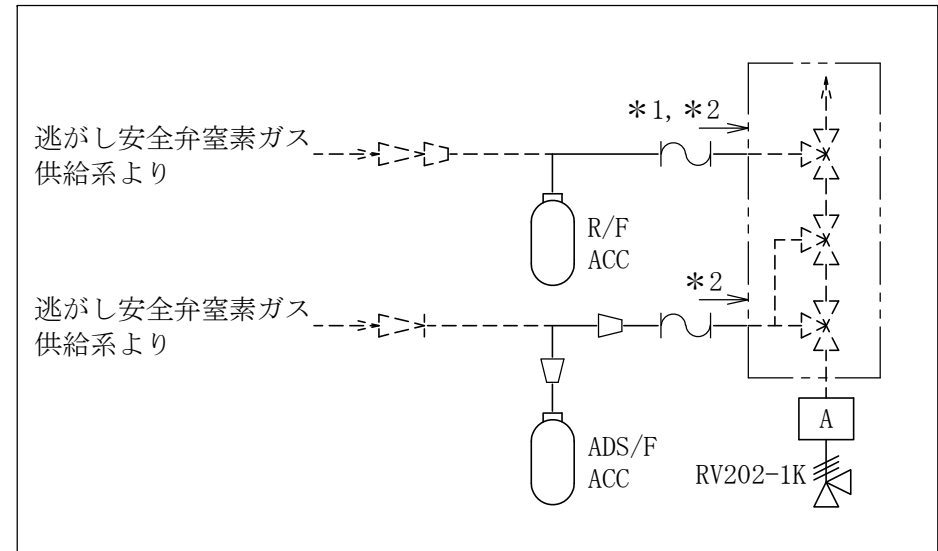
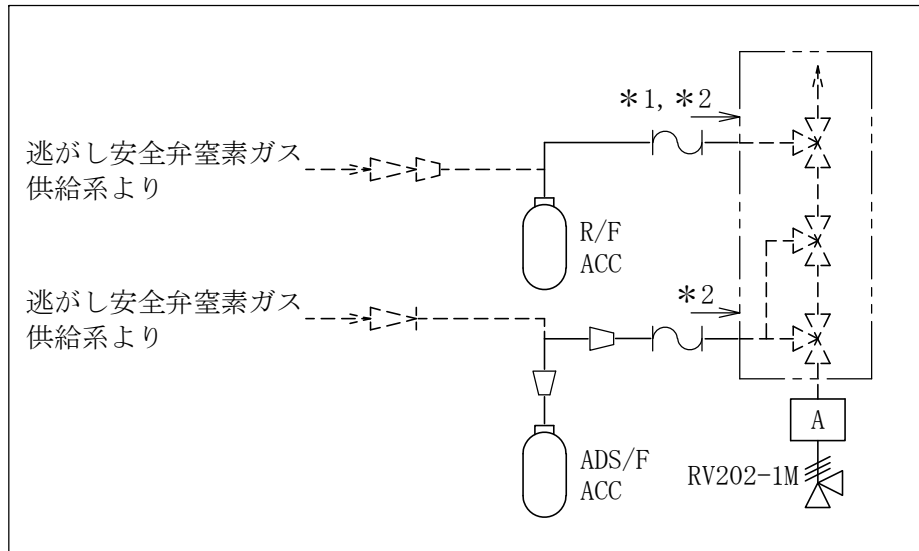


∞



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


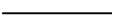
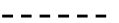


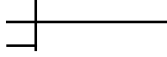
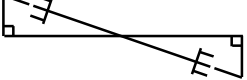
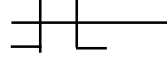
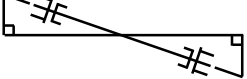
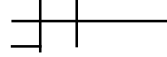

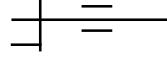
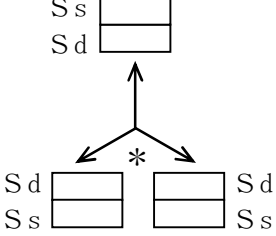
注記*1：逃がし安全弁窒素ガス供給系との兼用範囲である。

*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。

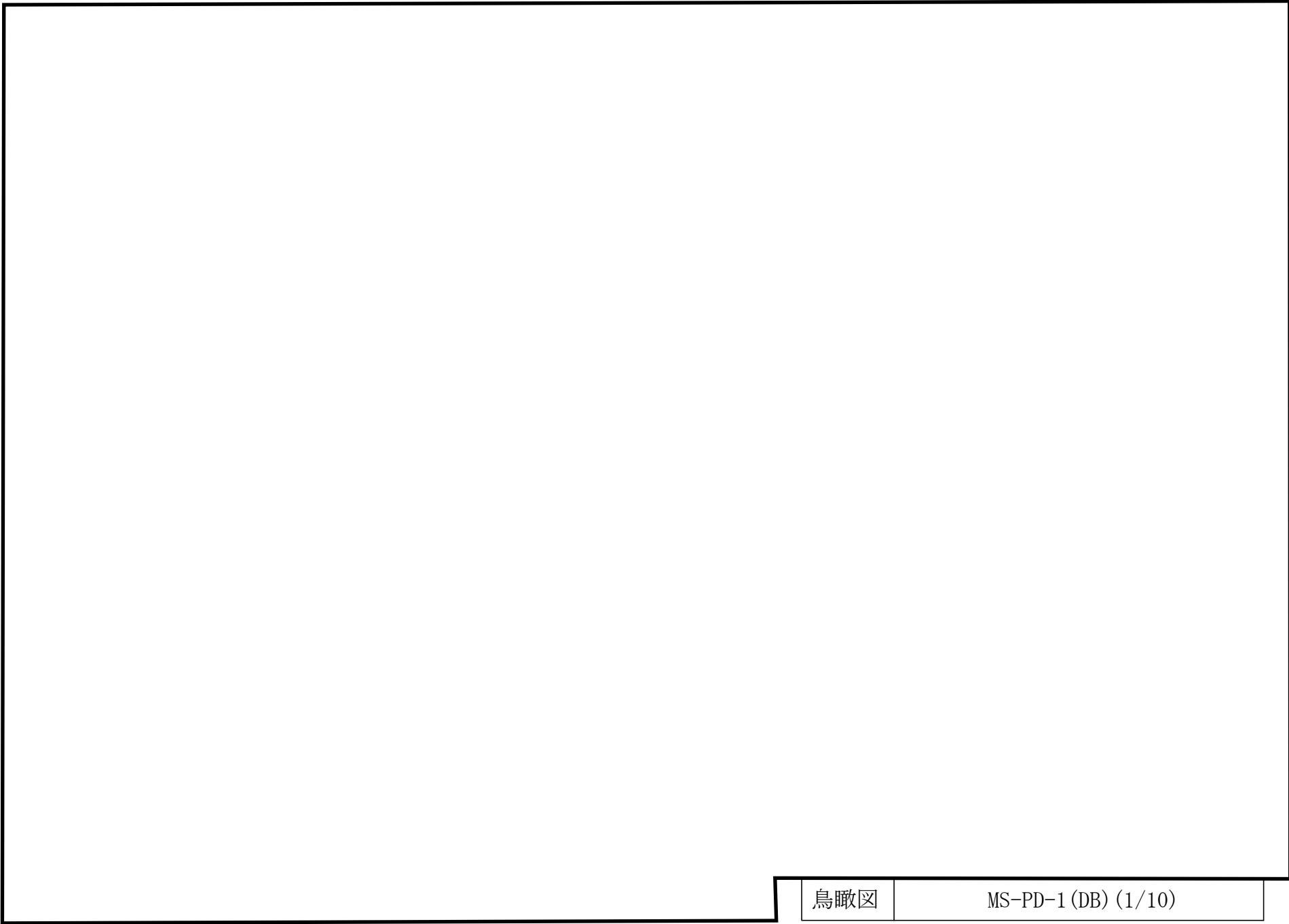
主蒸気系概略系統図（その7）

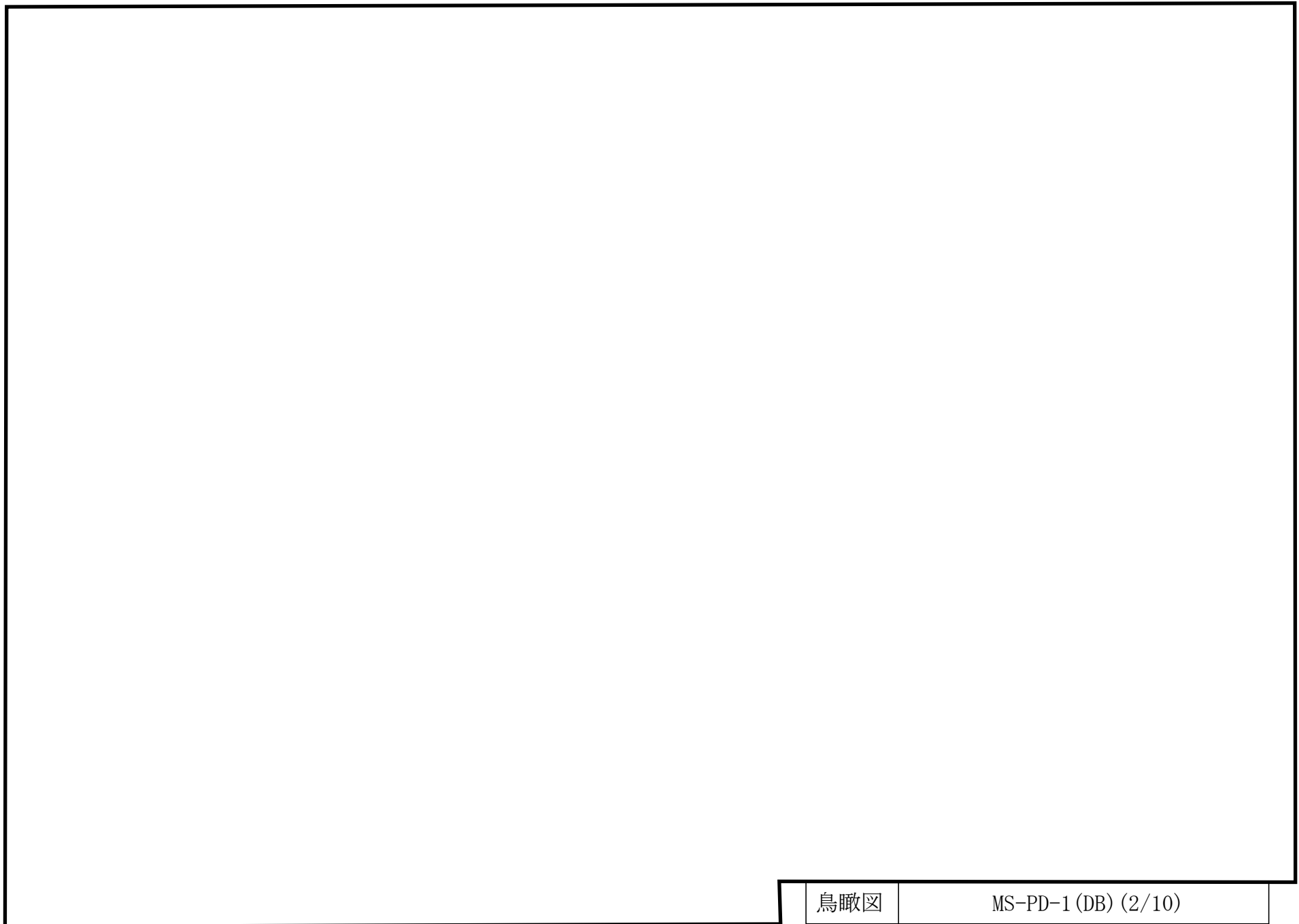
2.2 鳥瞰図

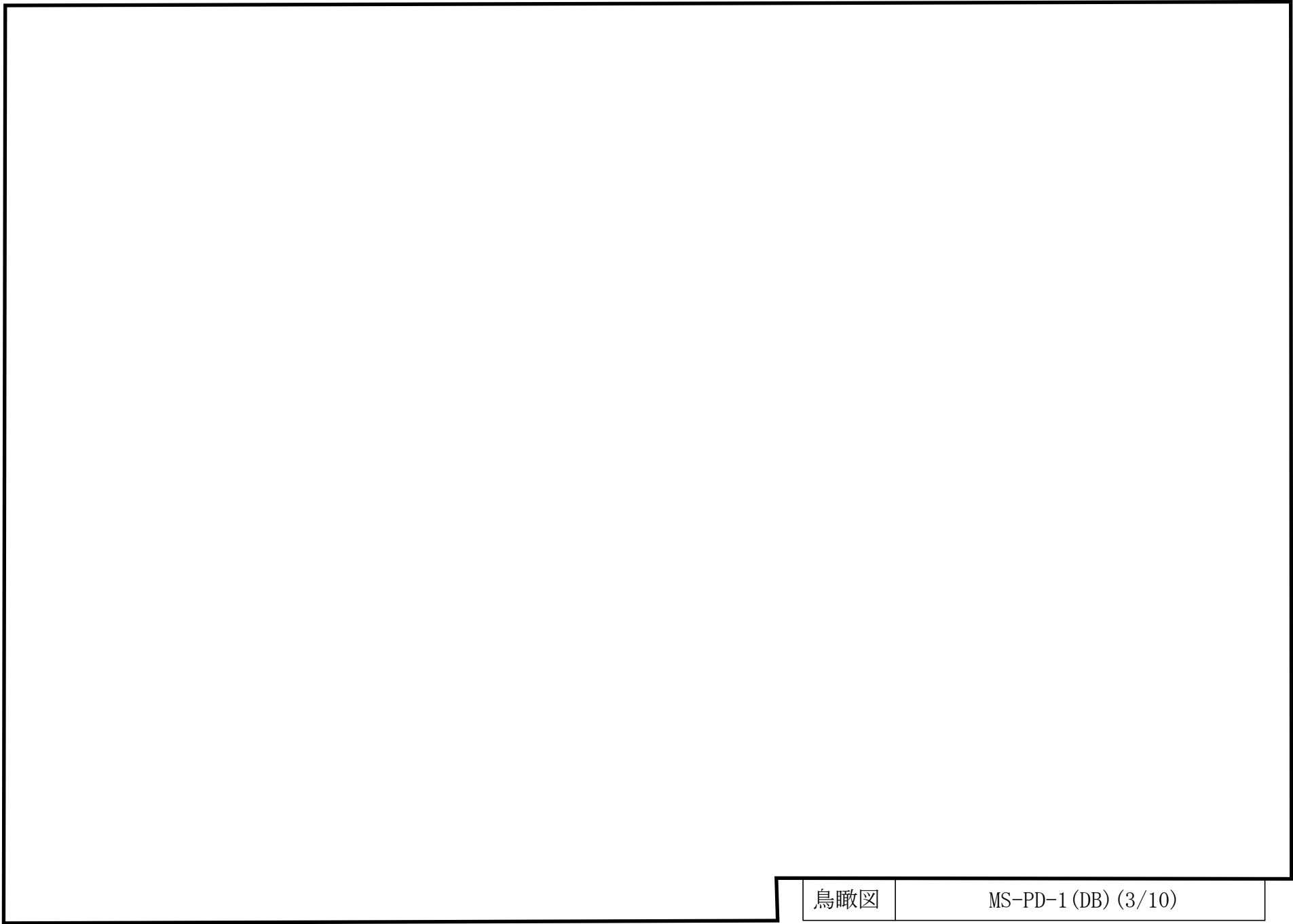
鳥瞰図記号凡例

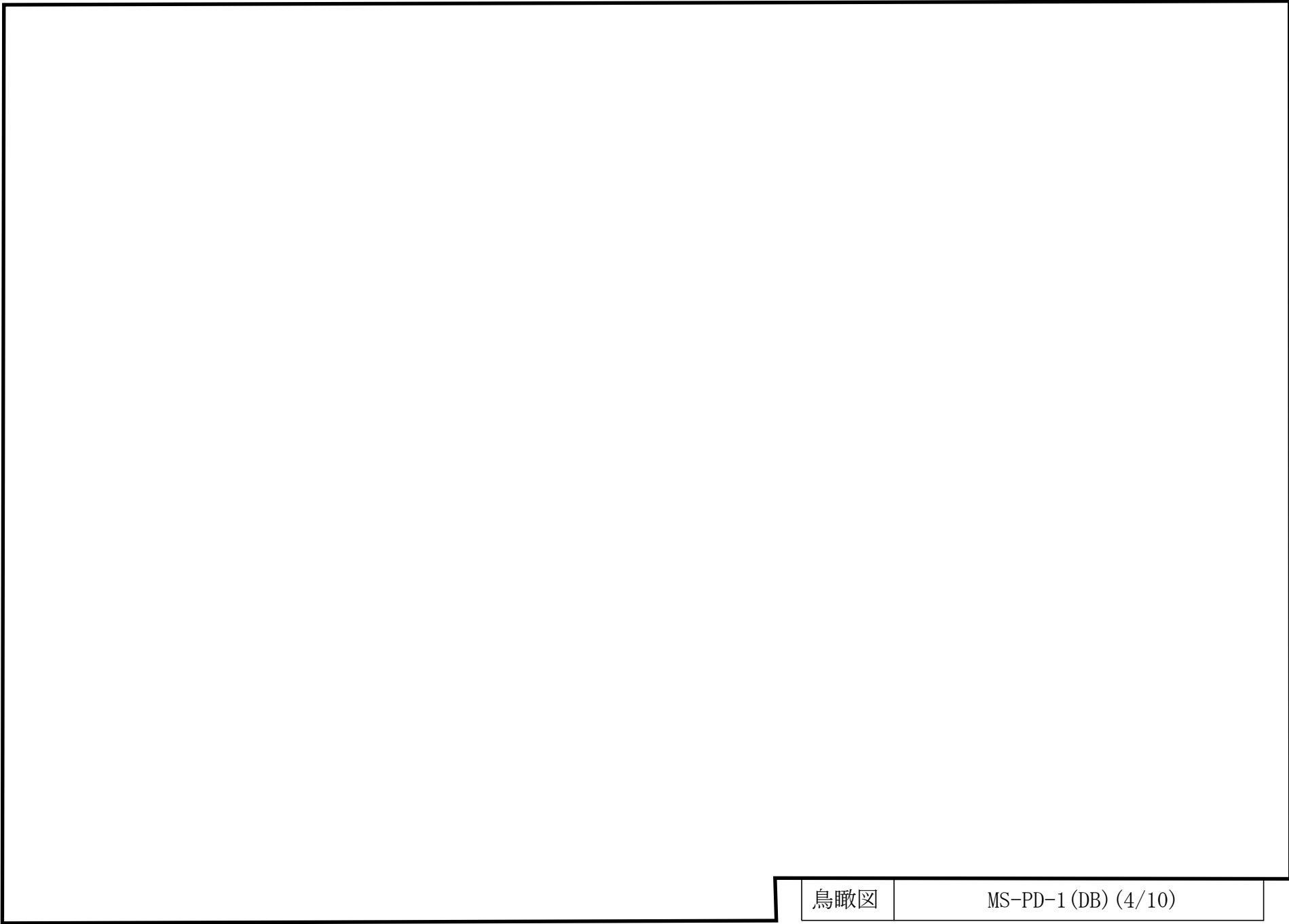
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナッパ
	スナッパ (斜め拘束の場合)
	ガイド
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(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。)

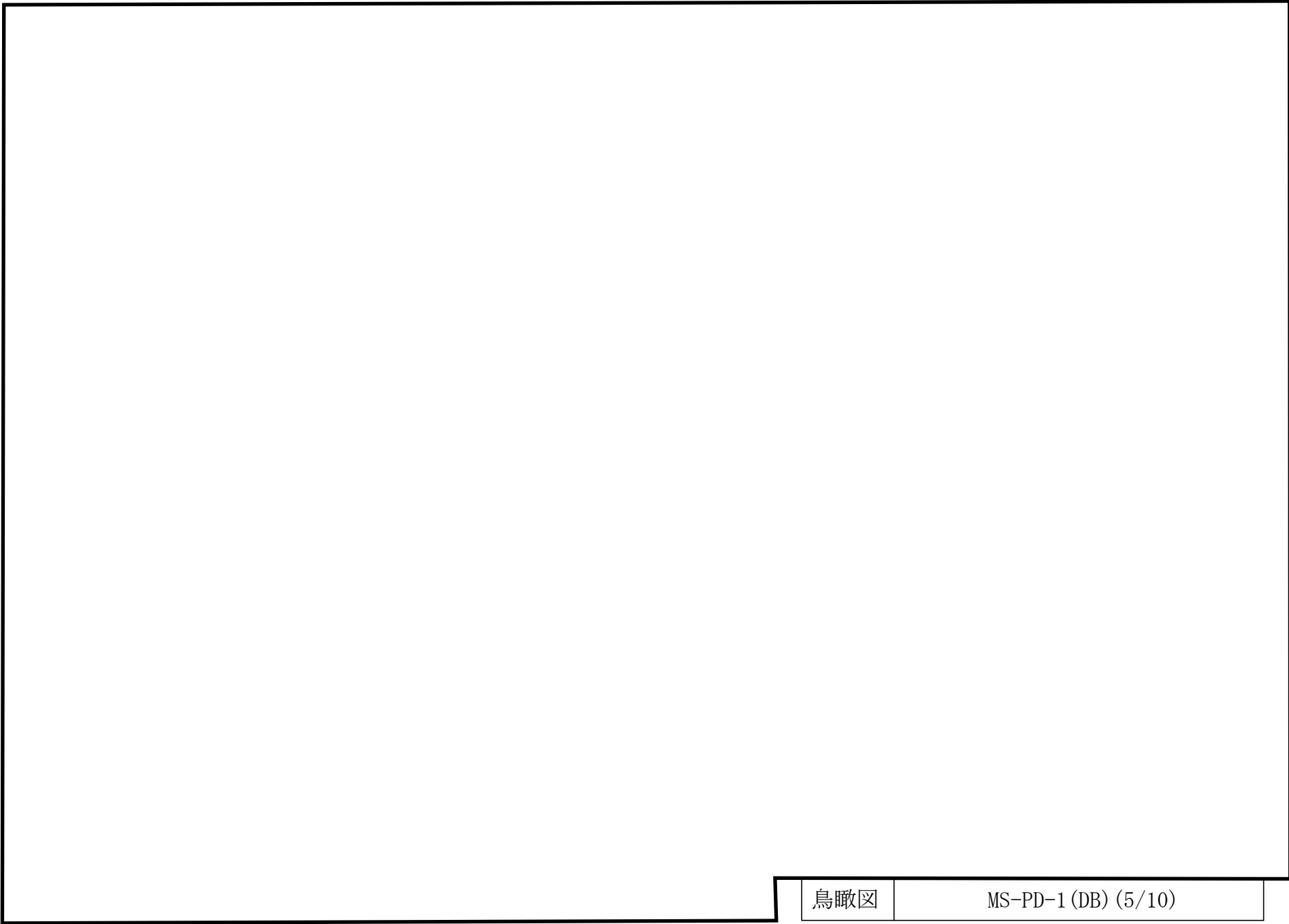
注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

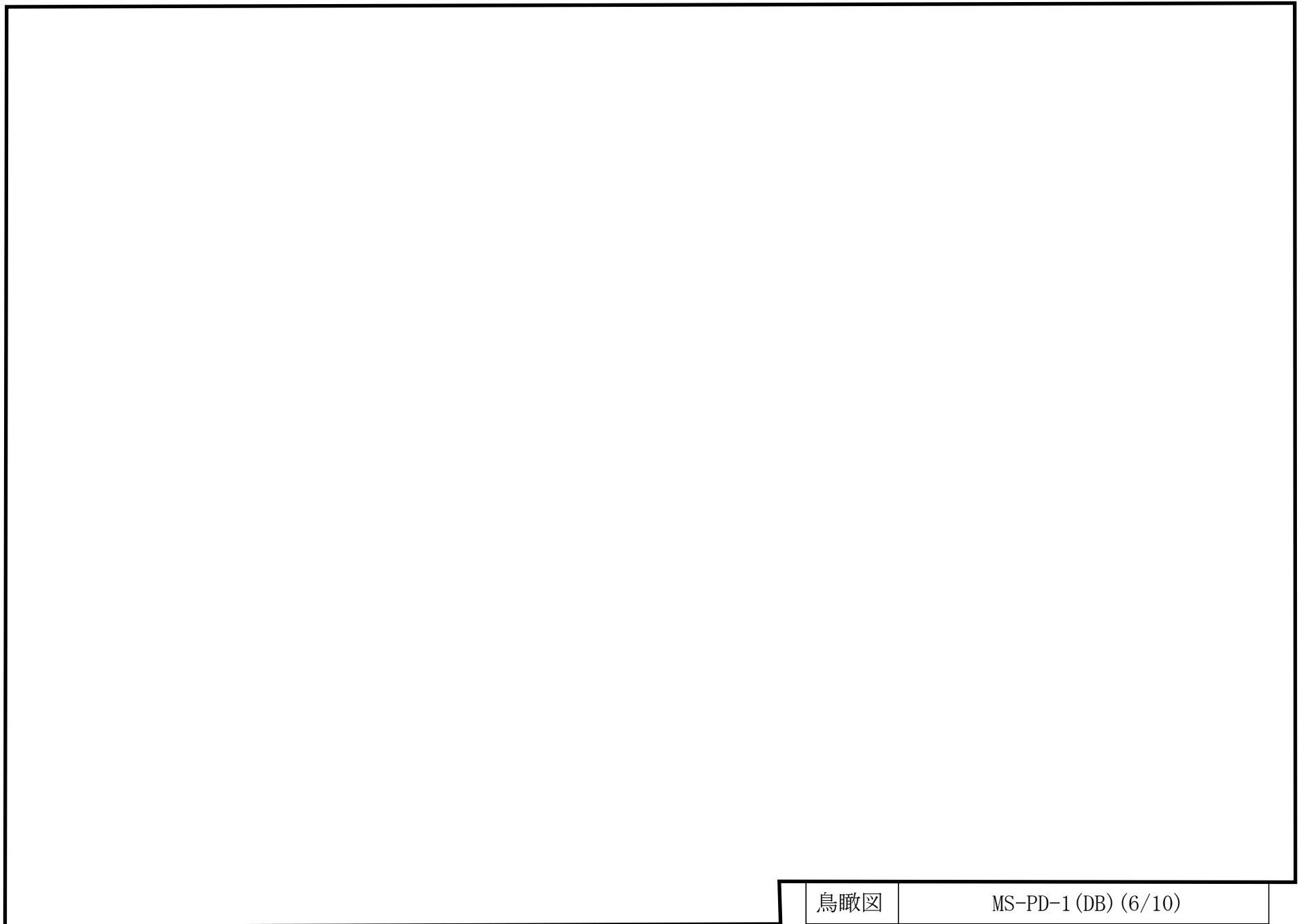


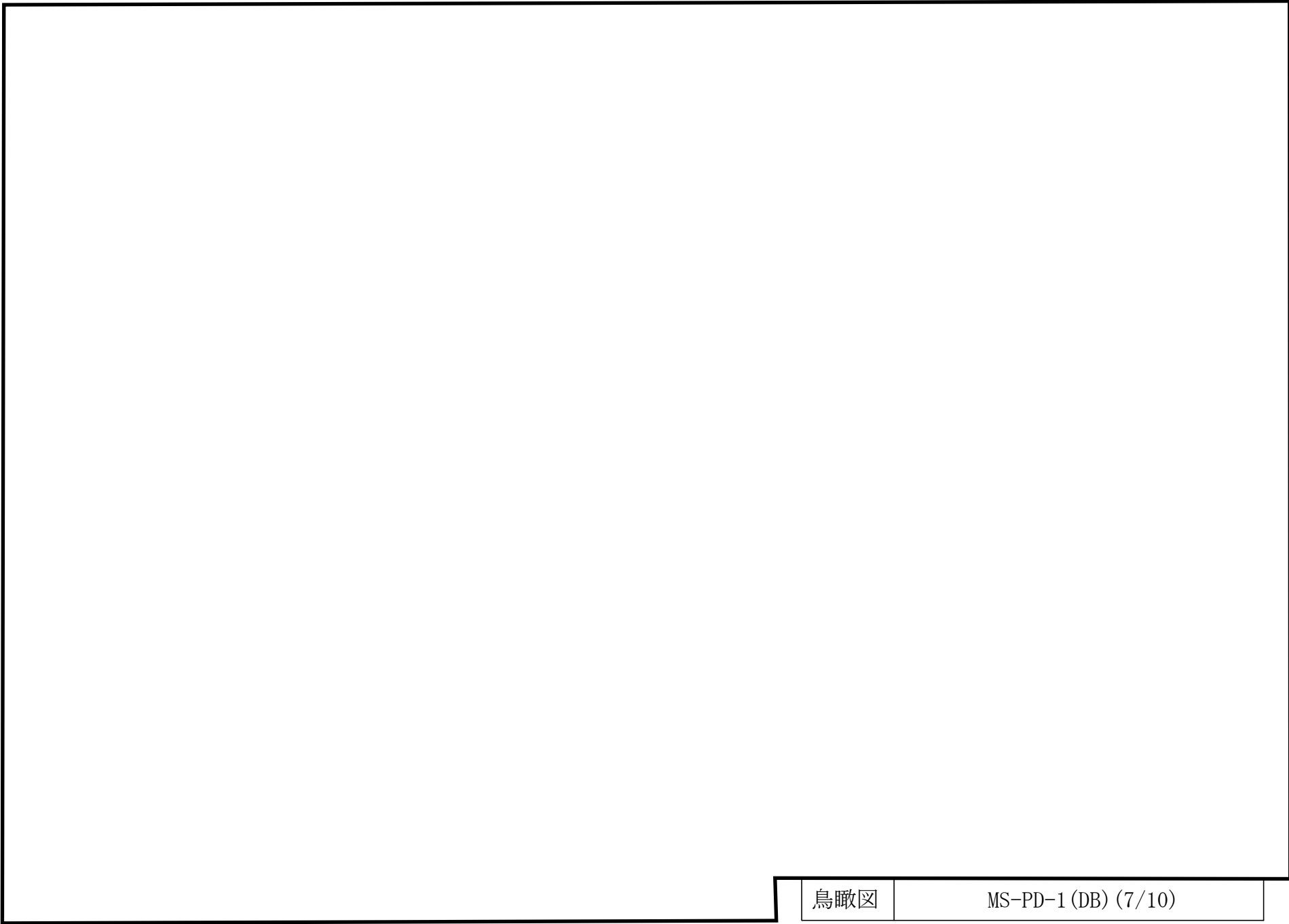


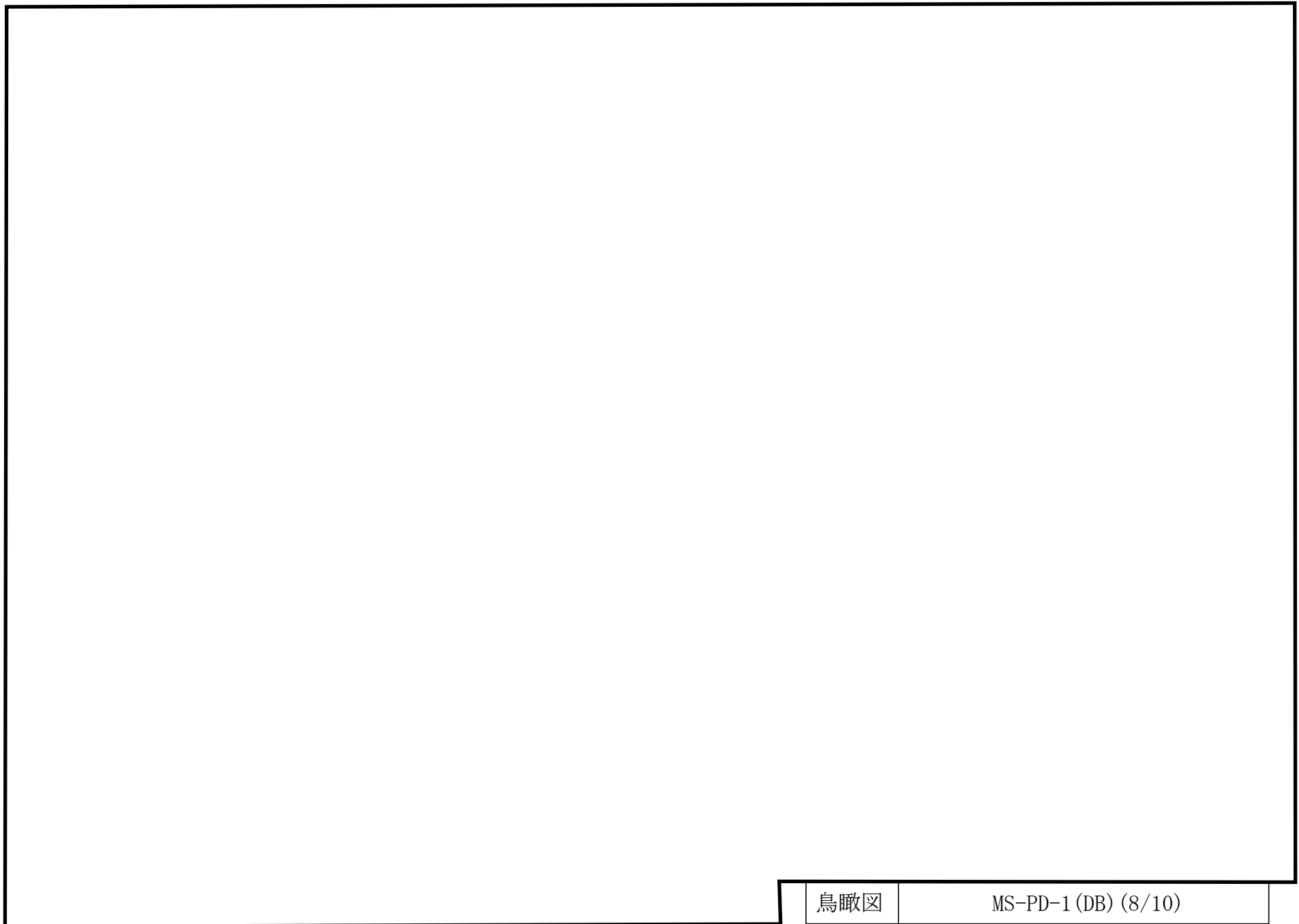


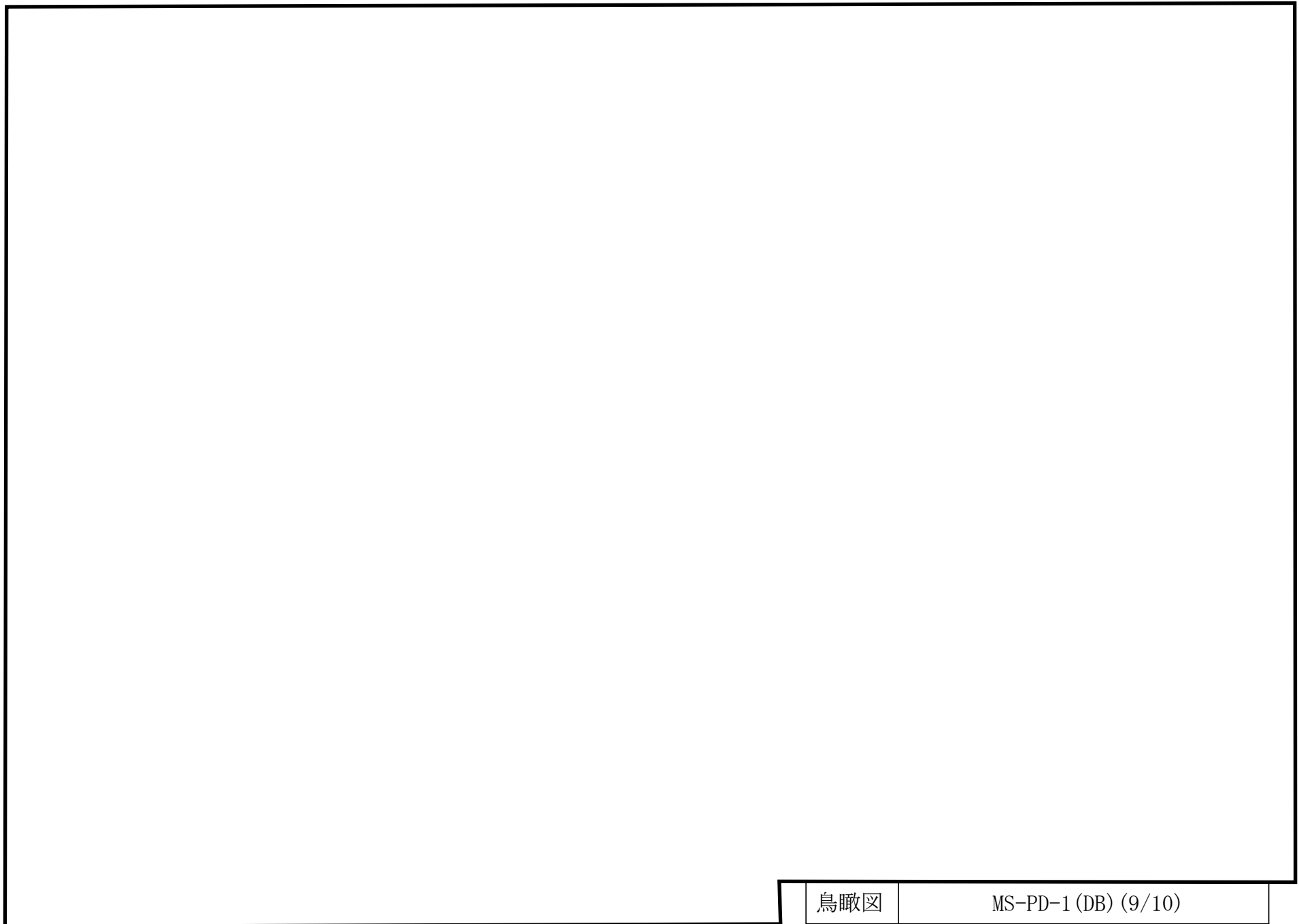


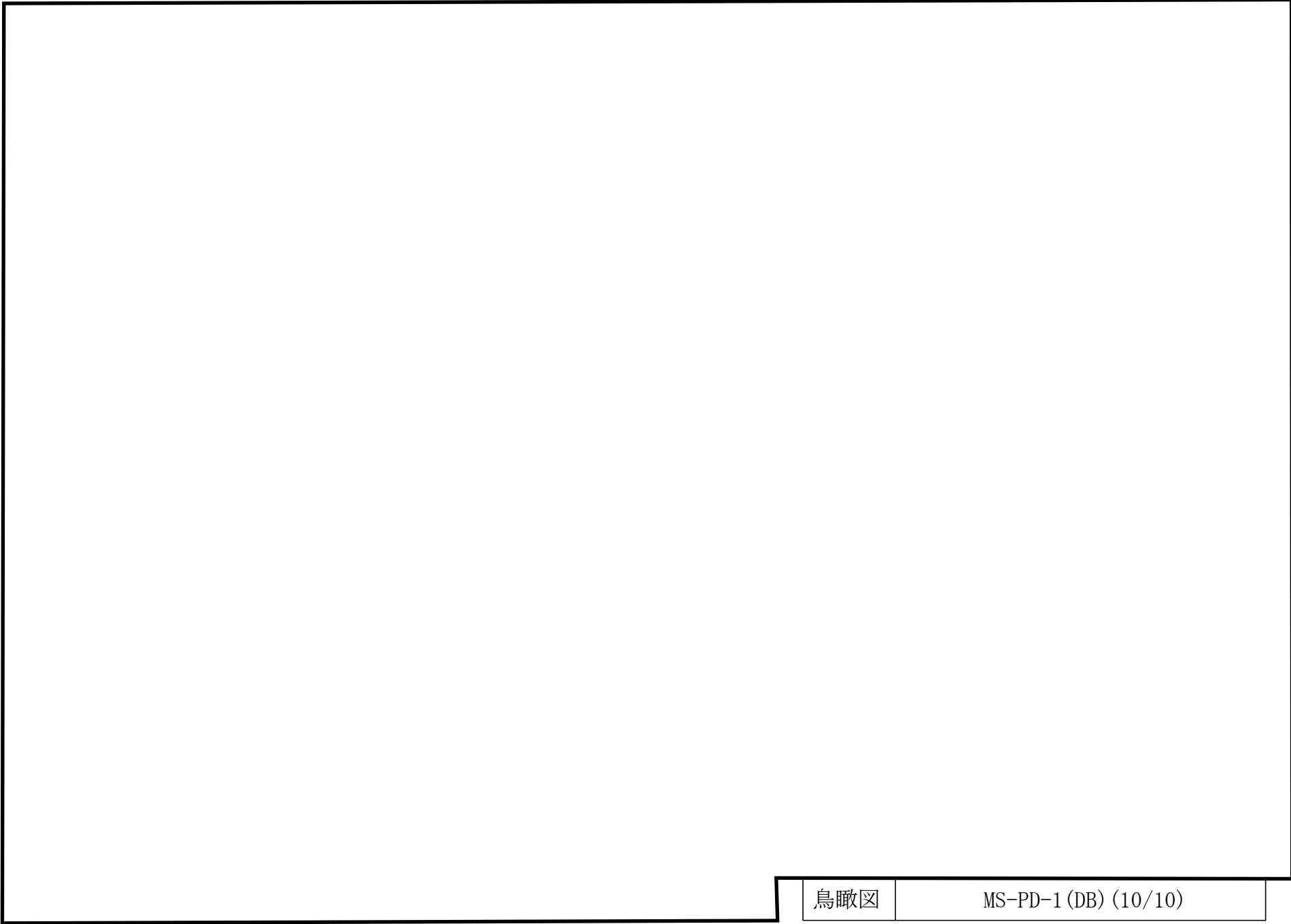


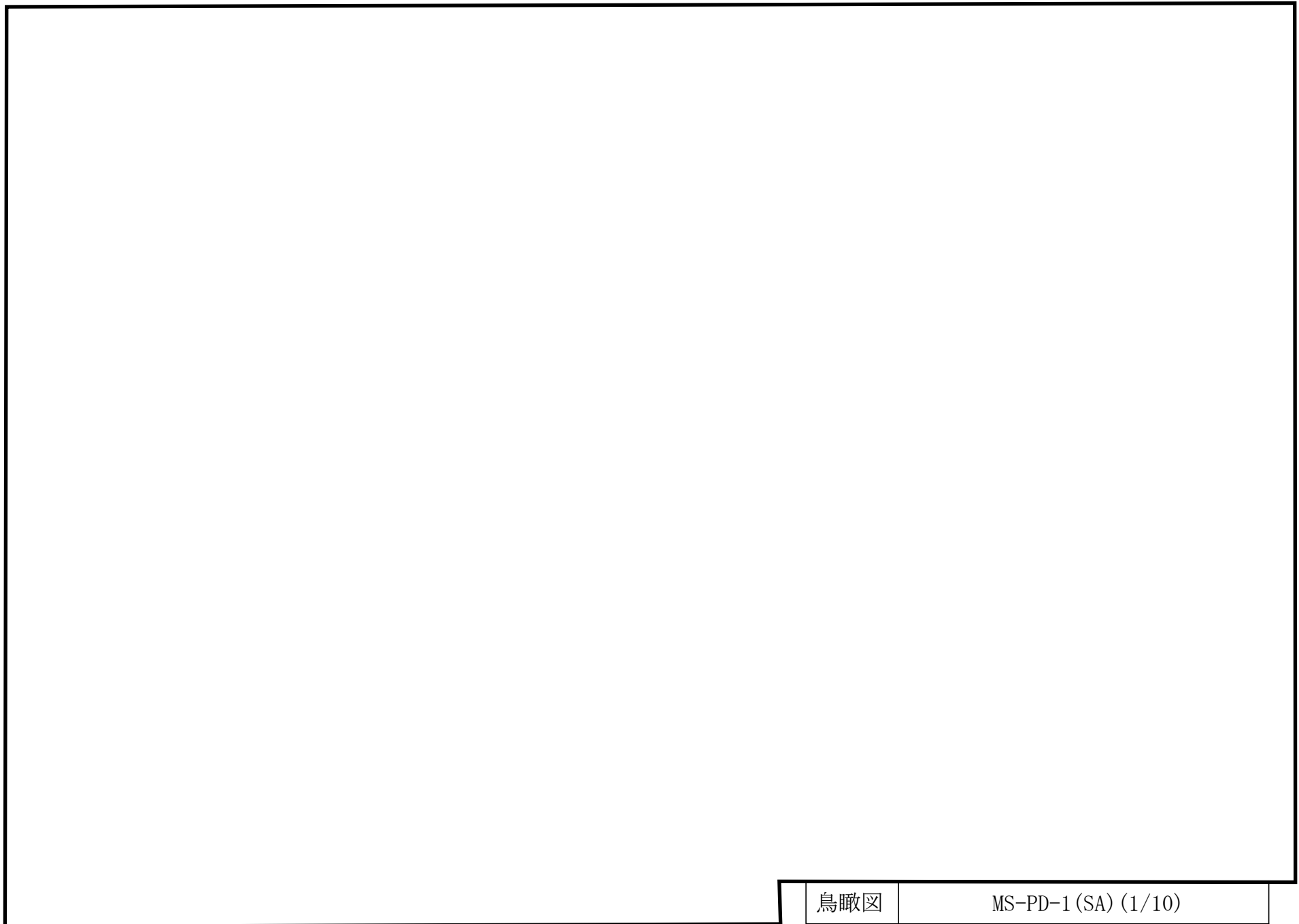


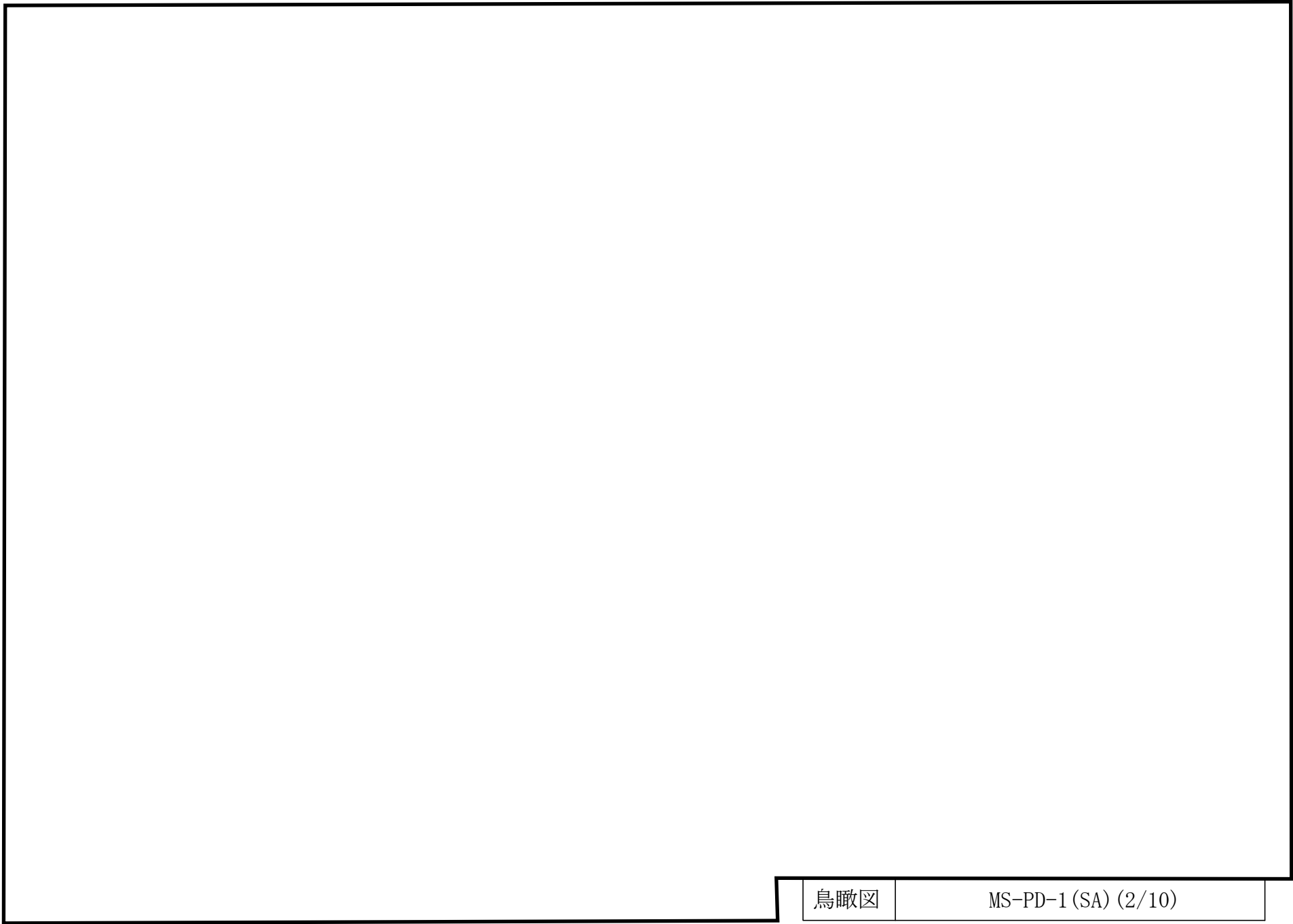


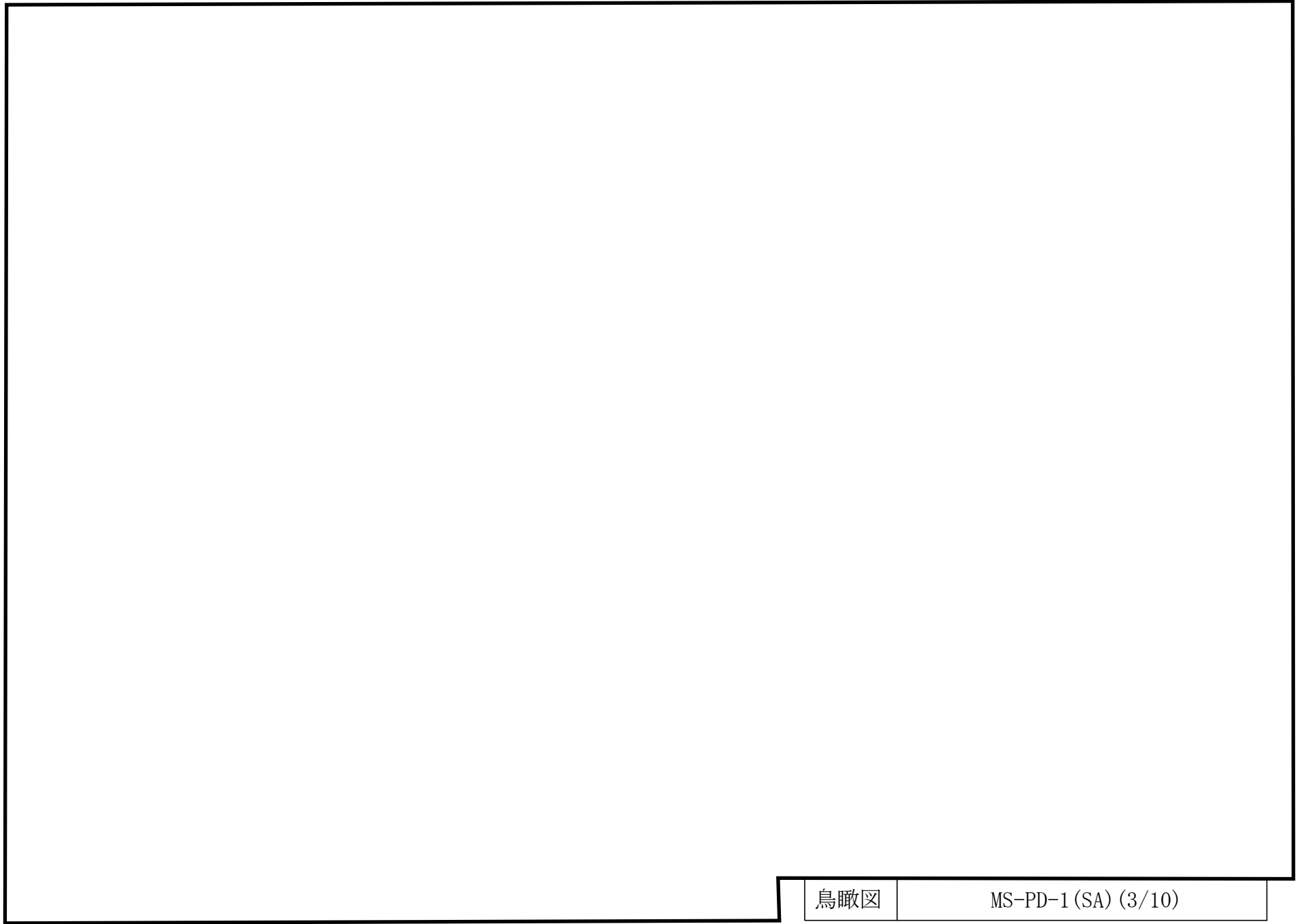


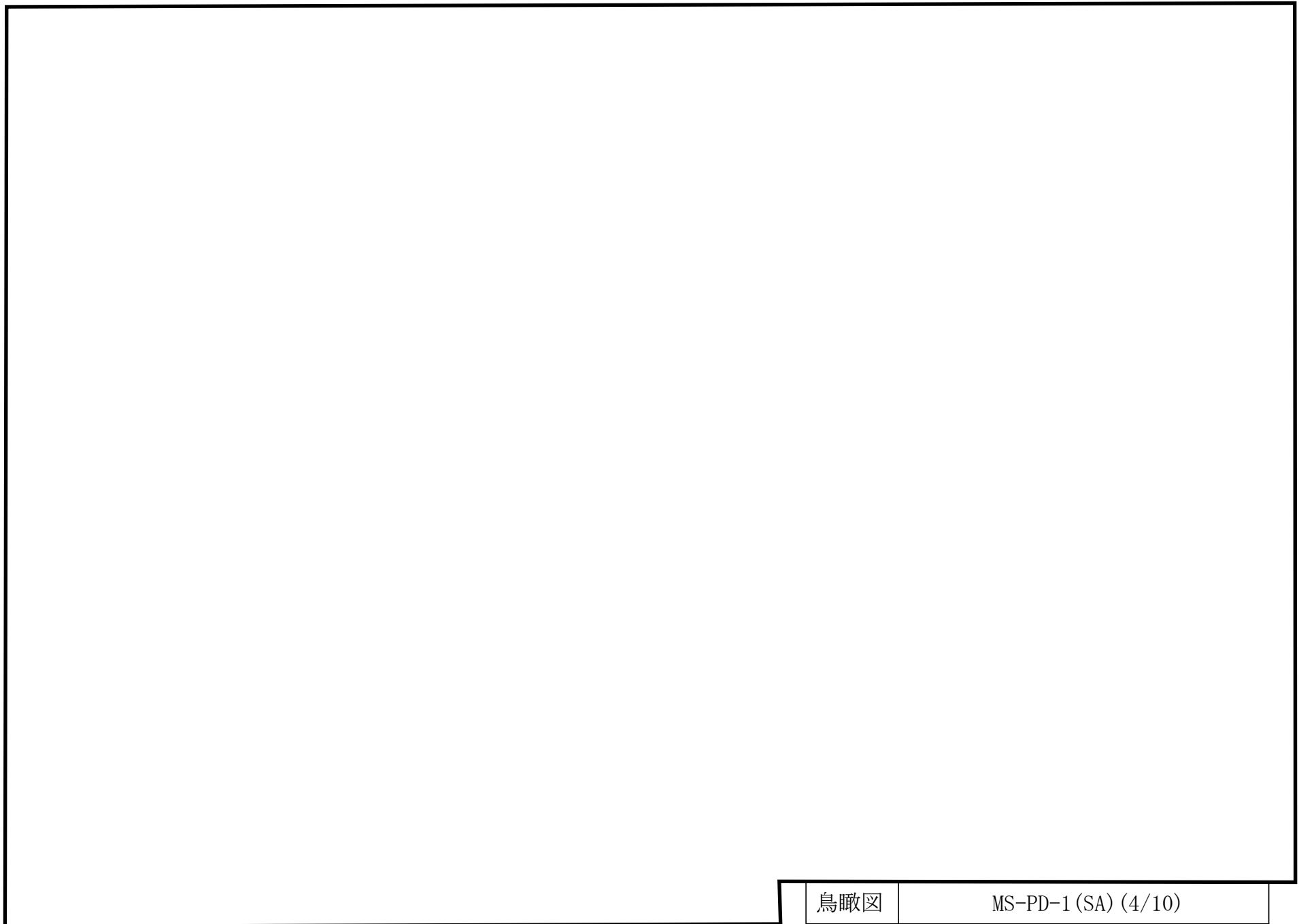


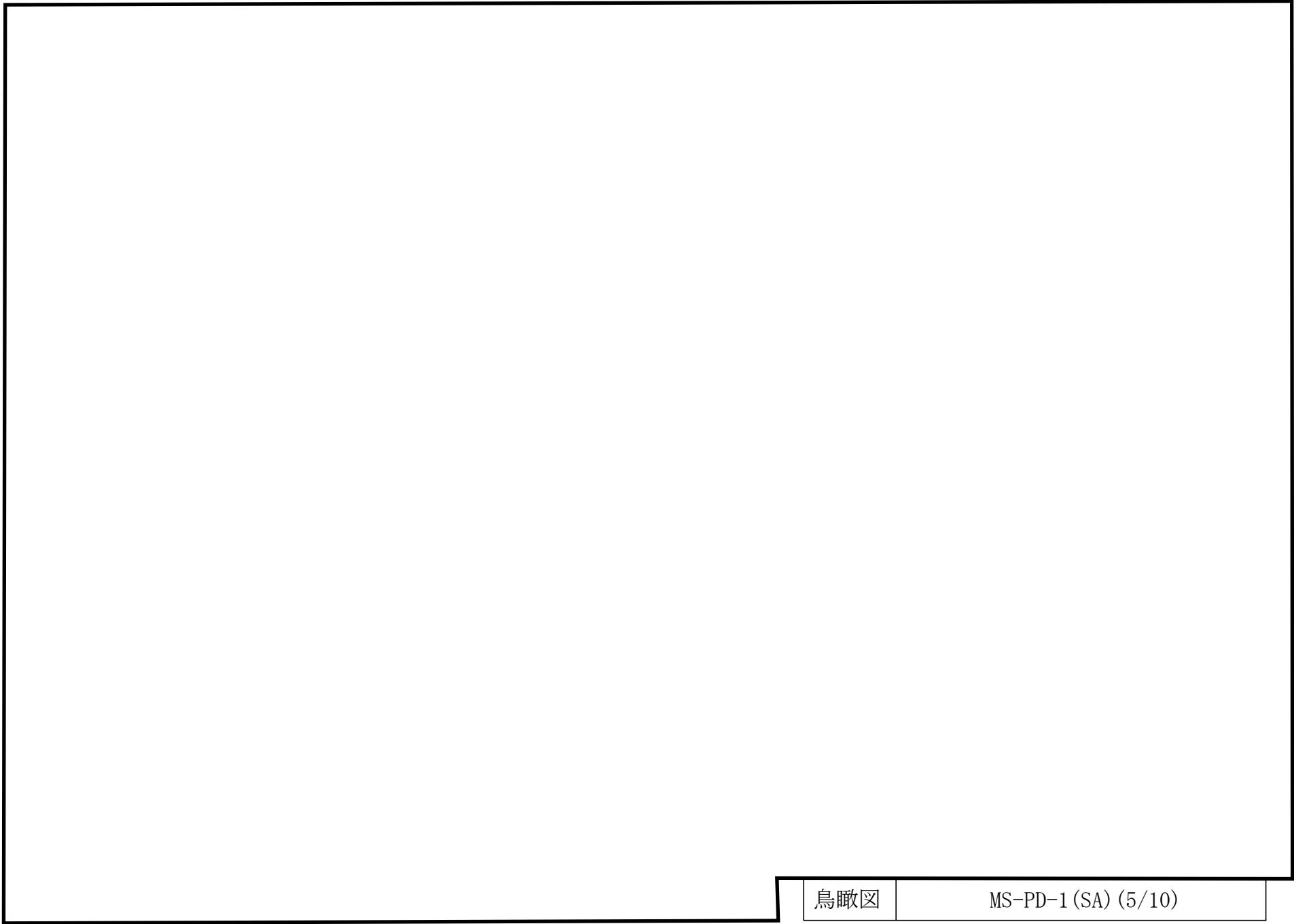


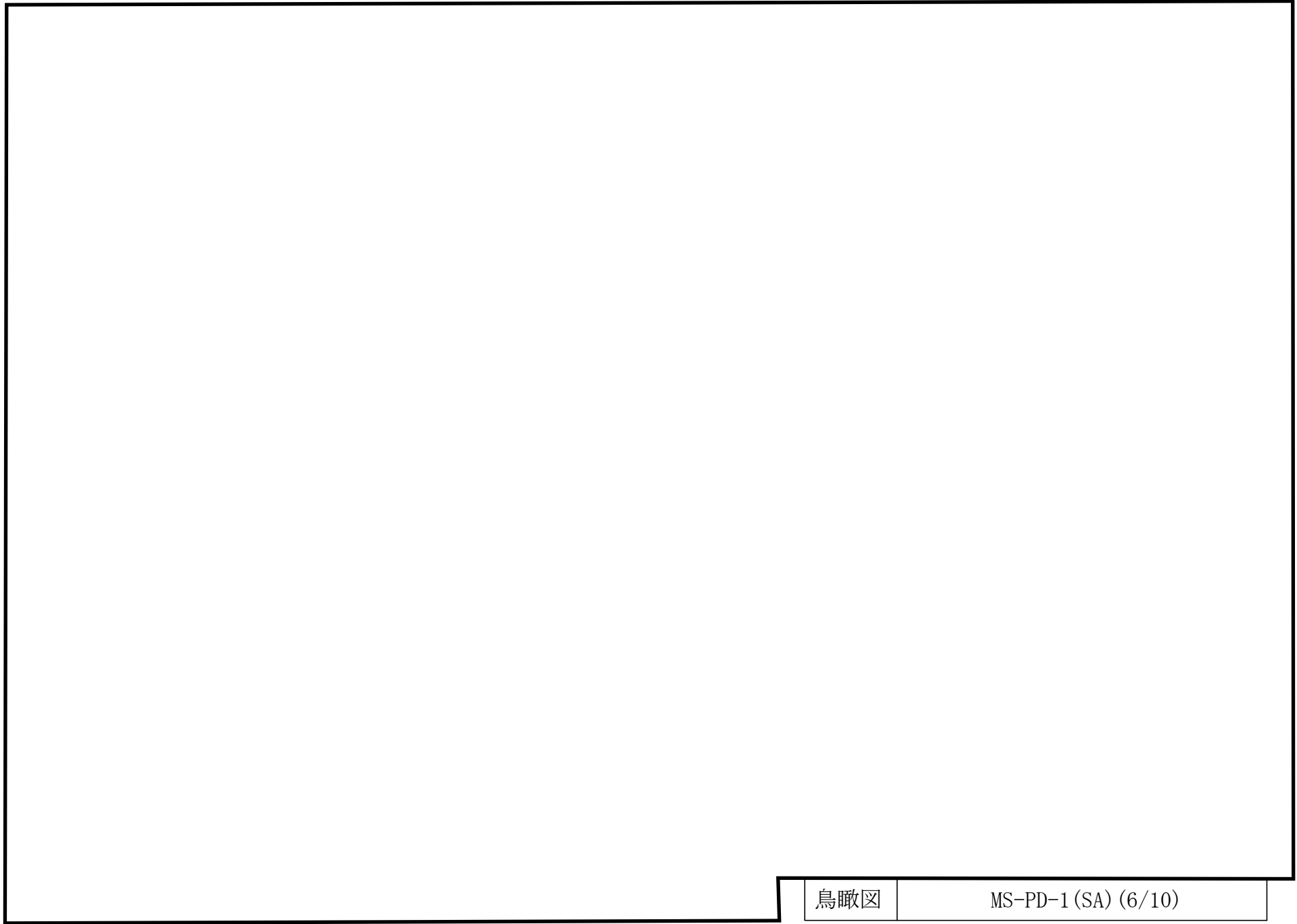


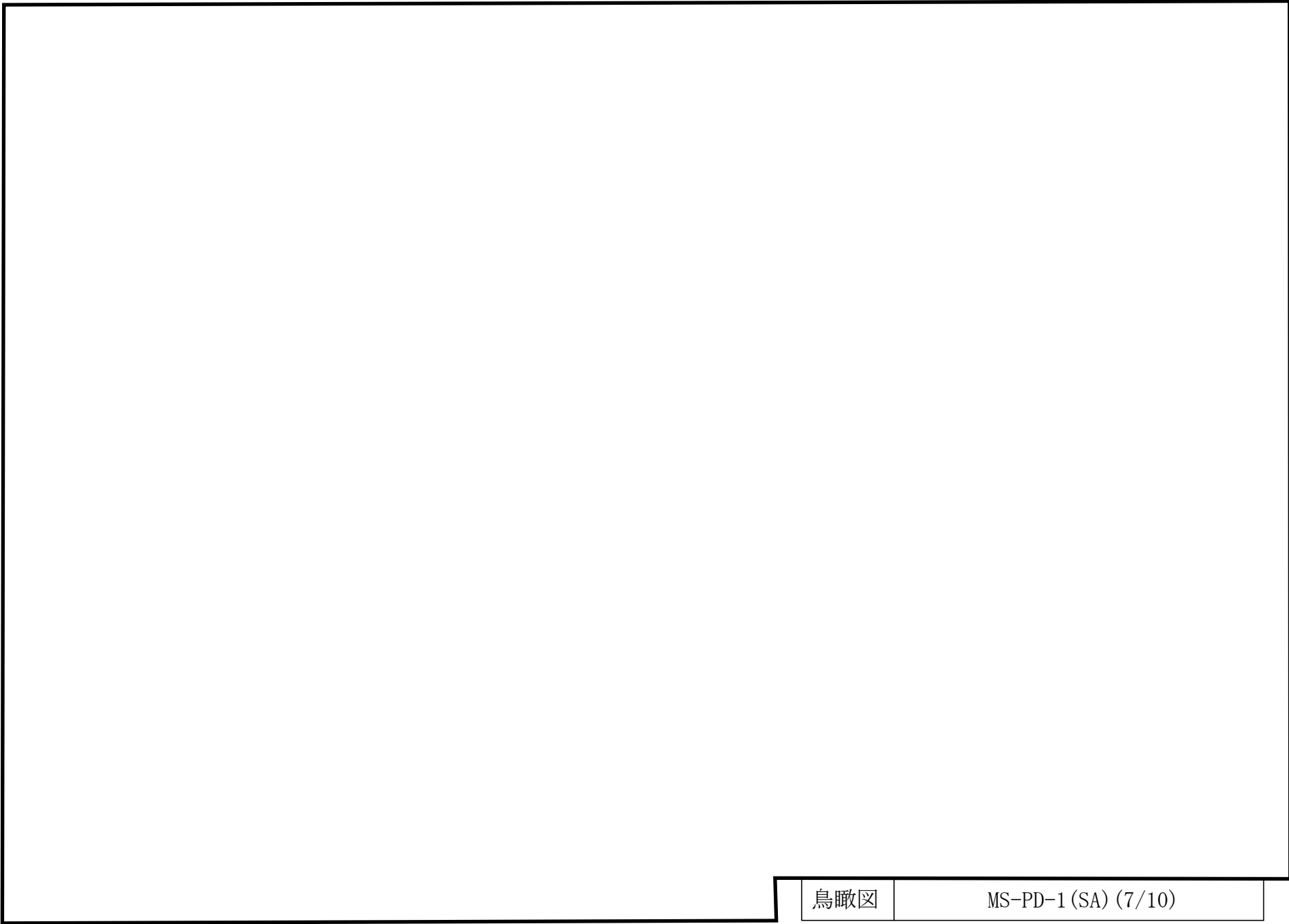


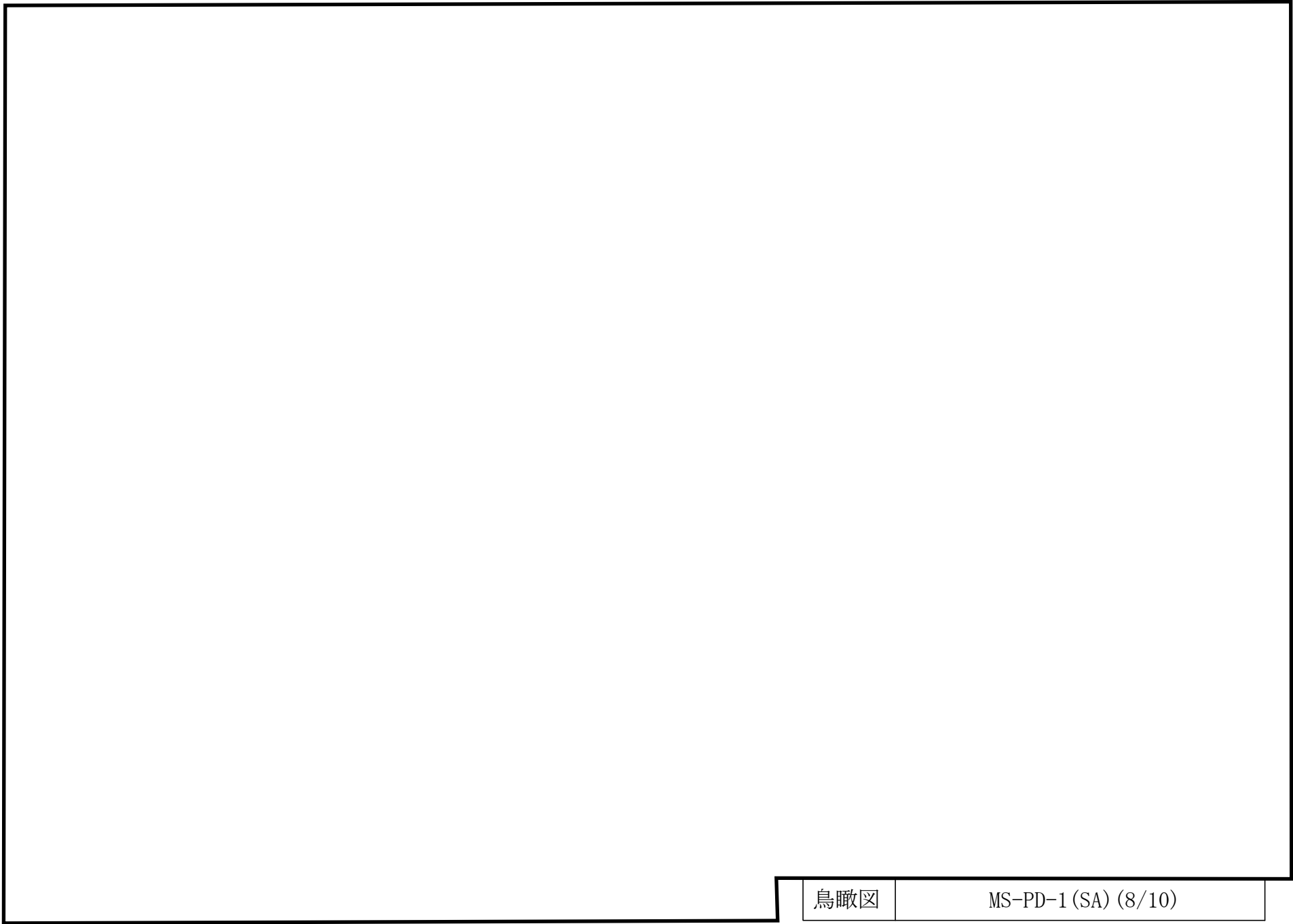


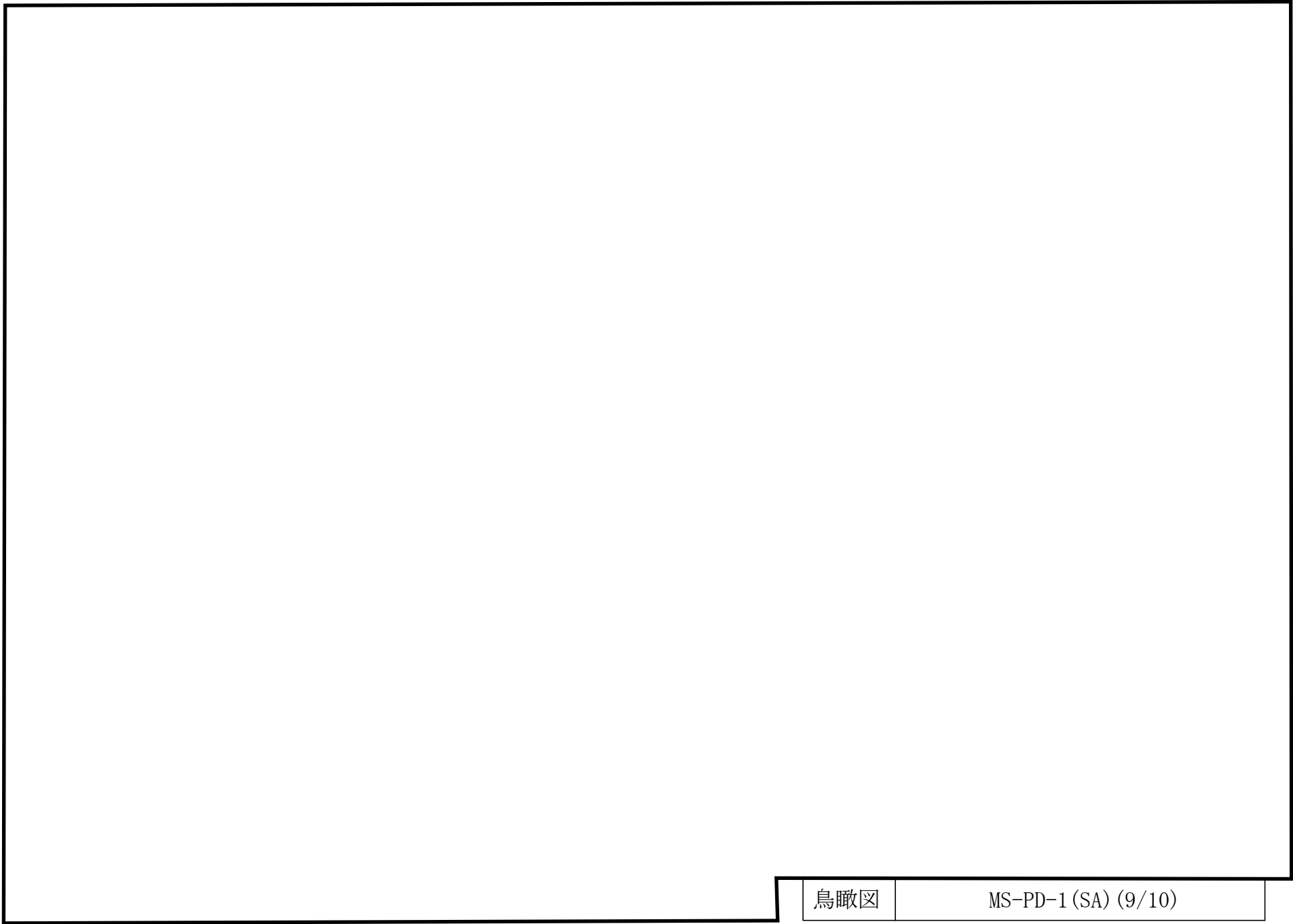






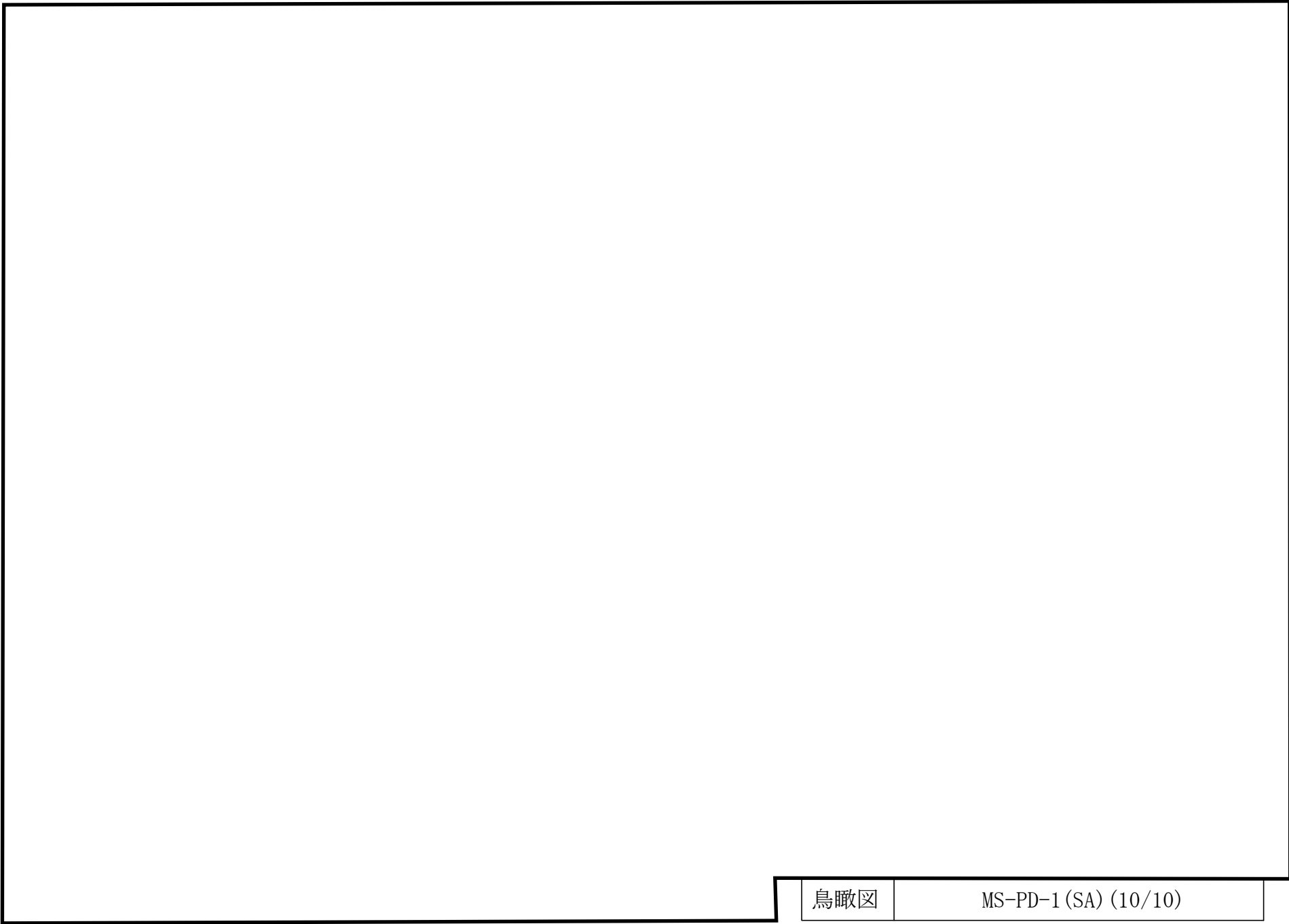


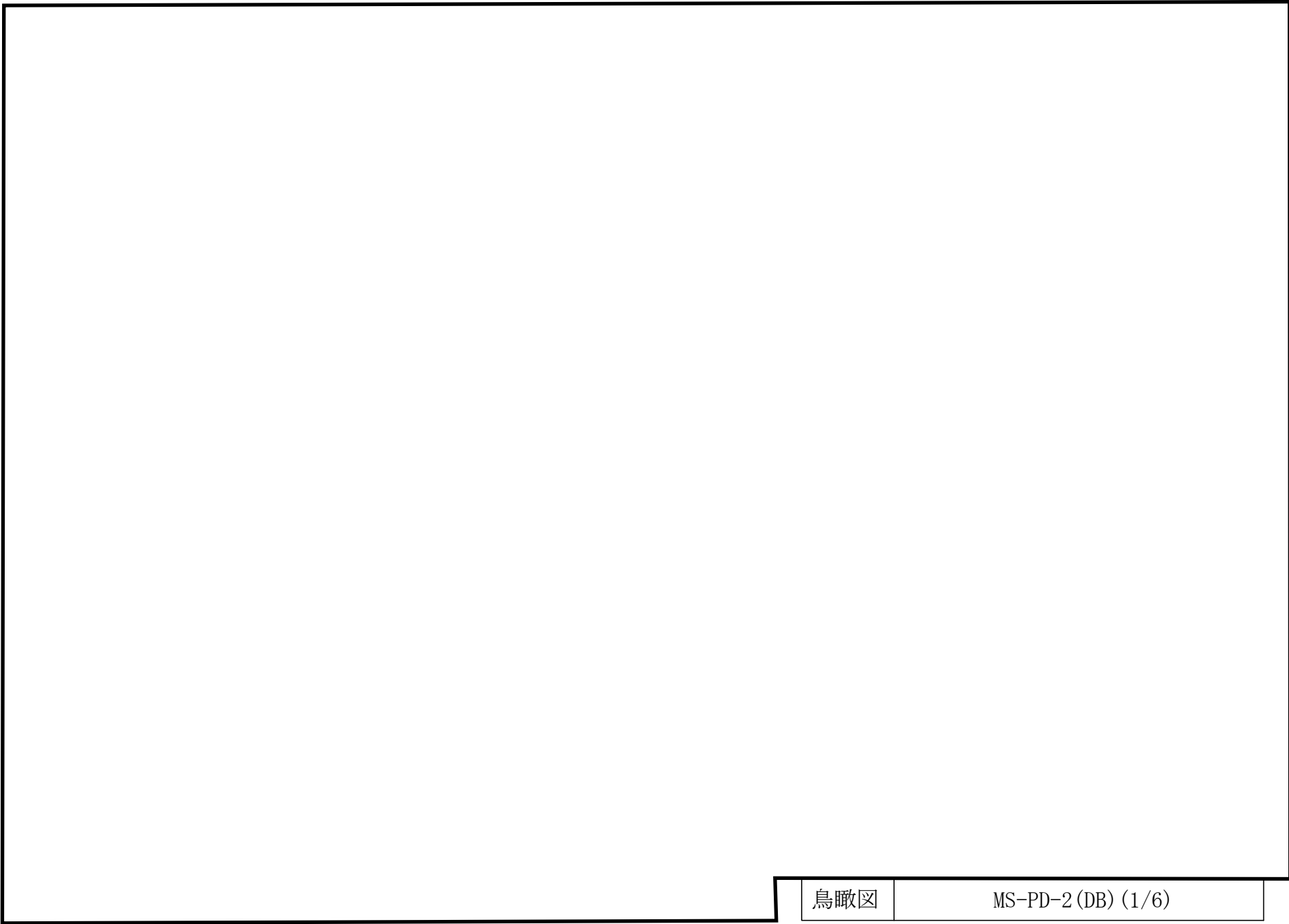


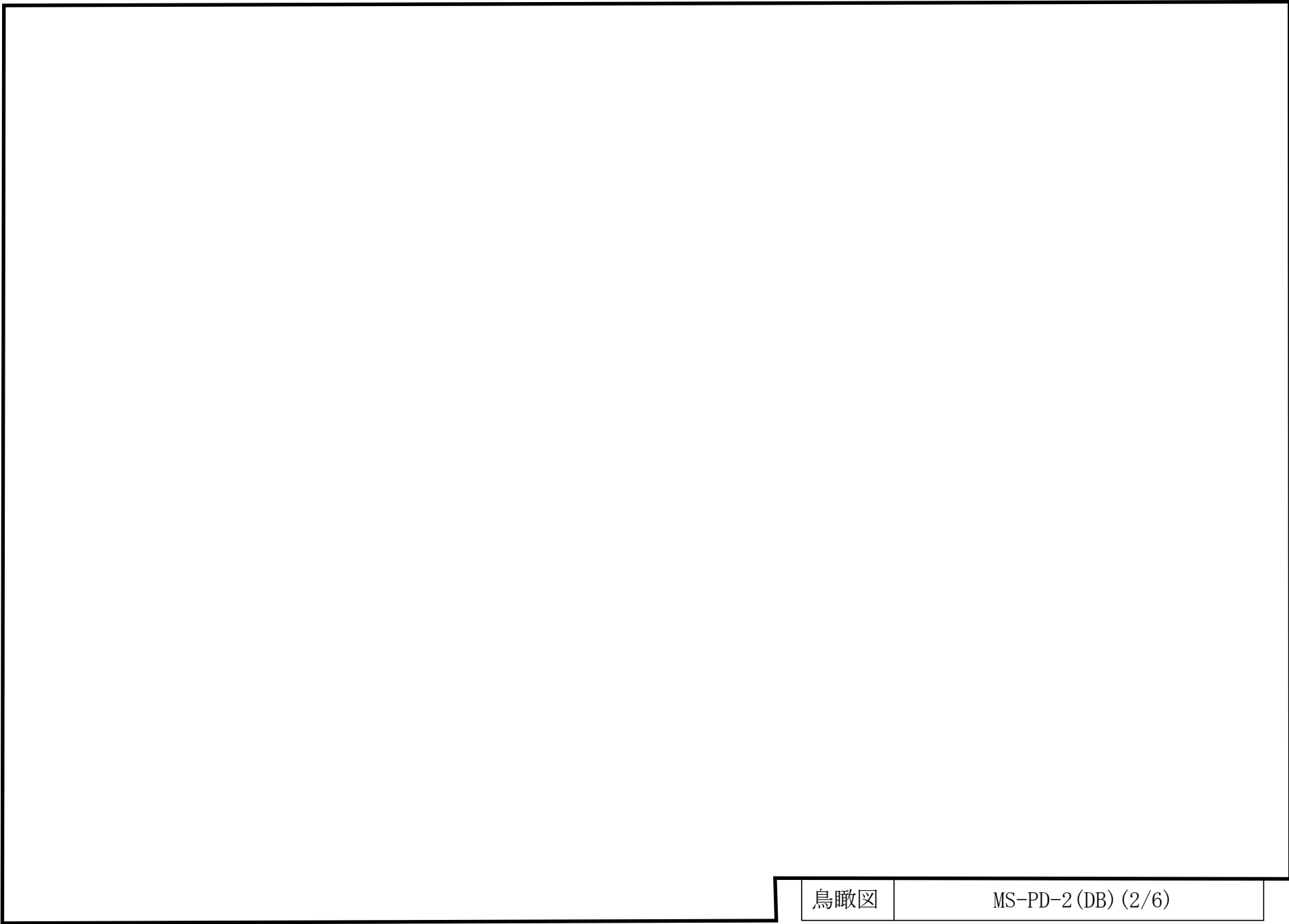


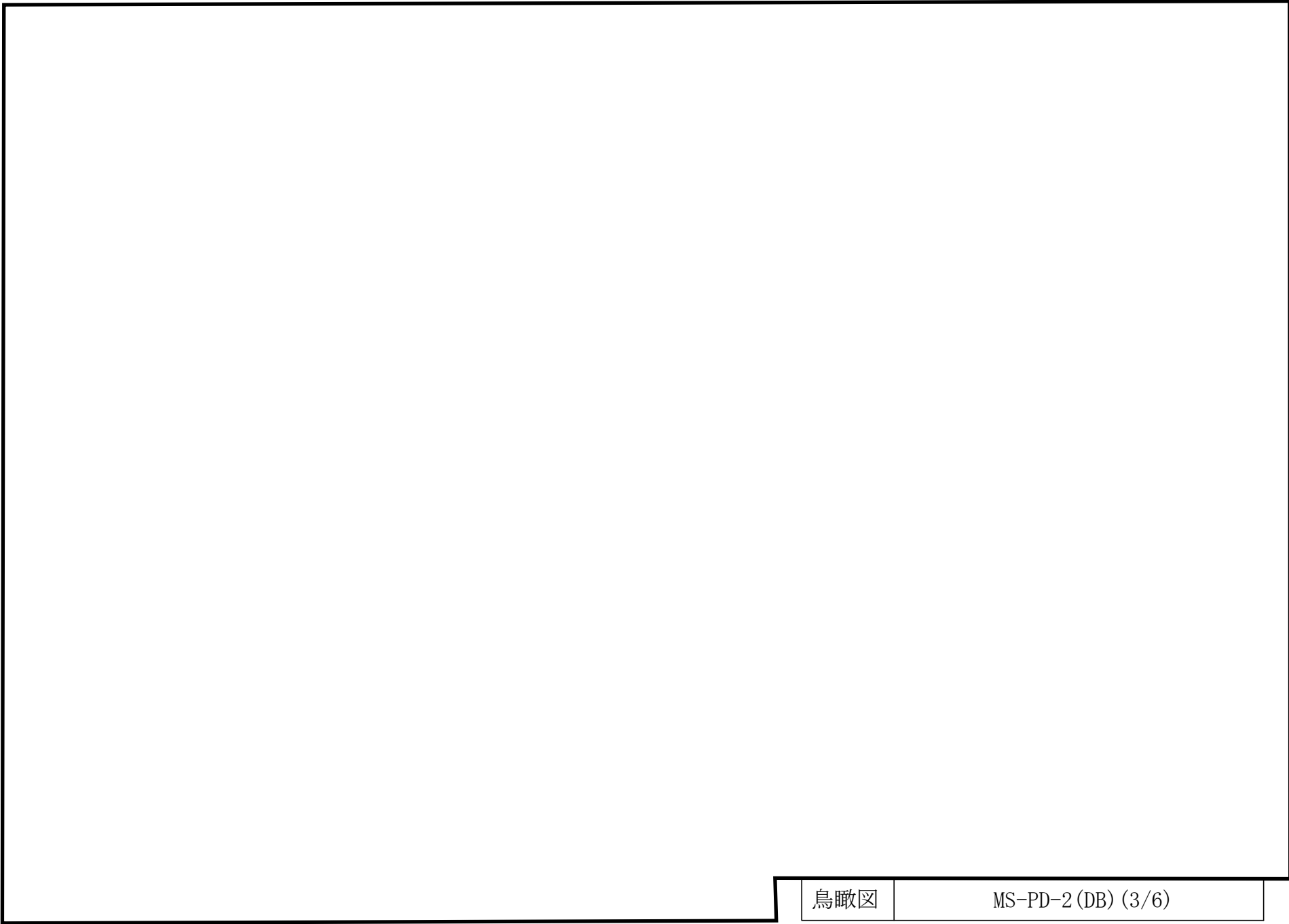
鳥瞰図

MS-PD-1 (SA) (9/10)



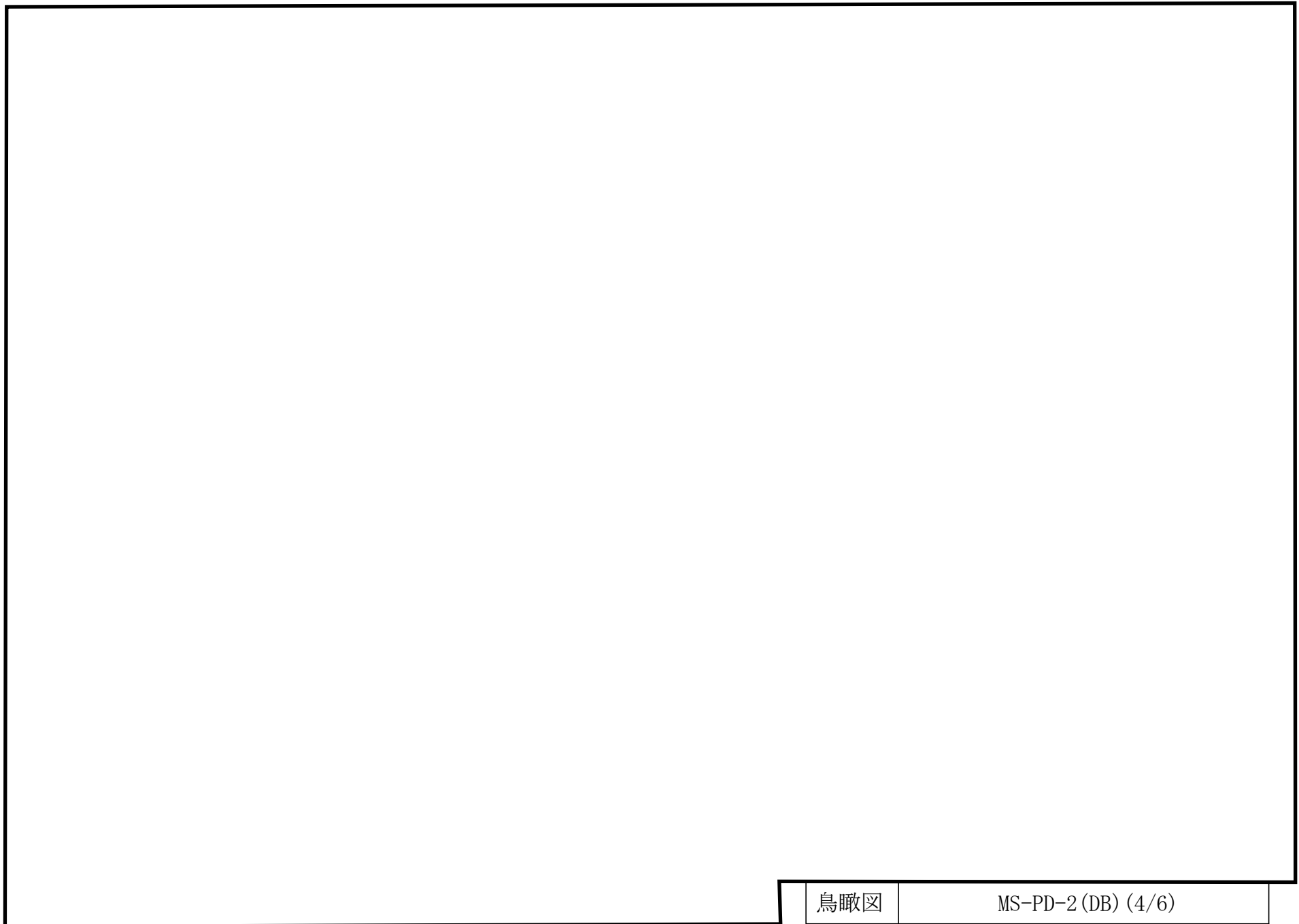






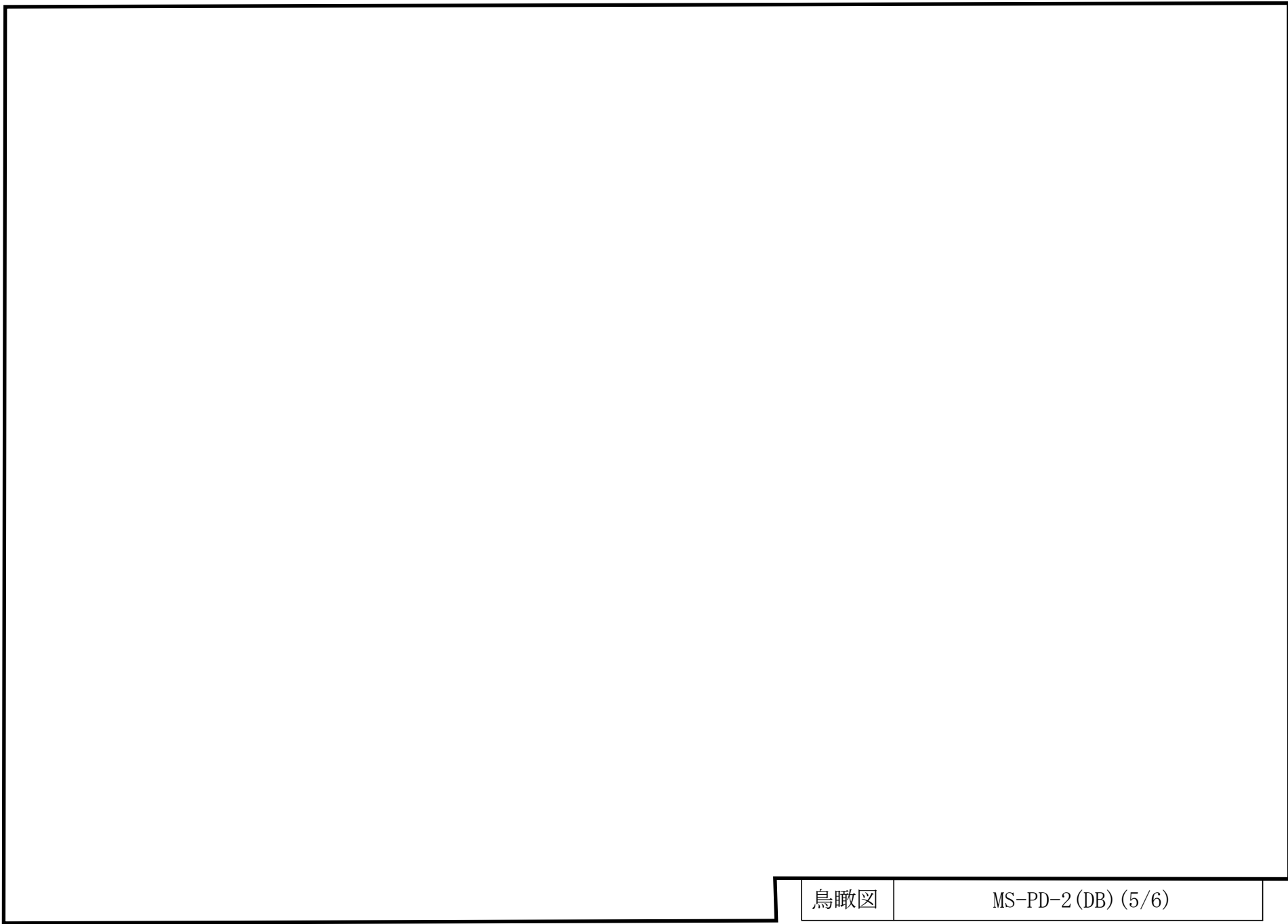
鳥瞰図

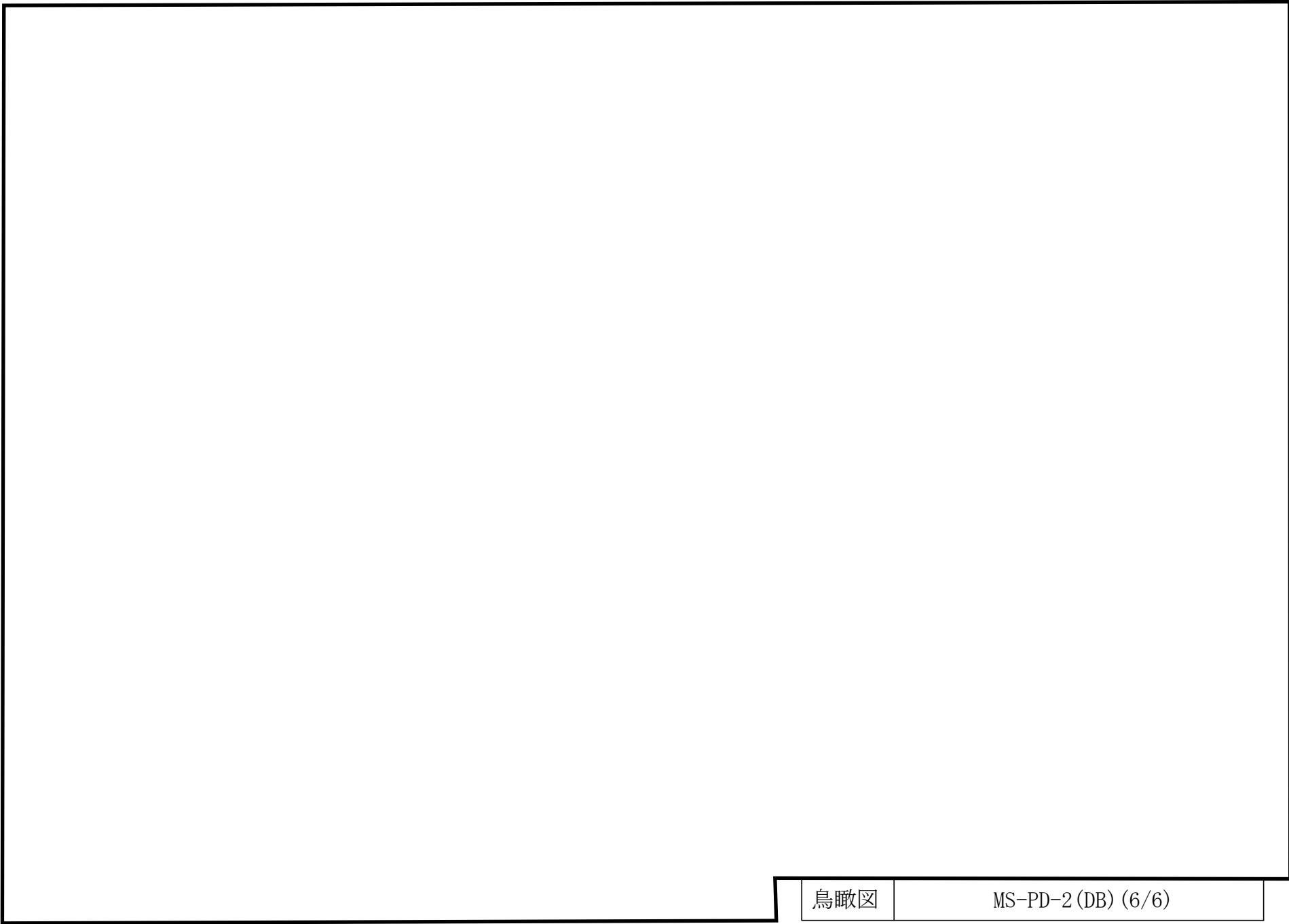
MS-PD-2 (DB) (3/6)

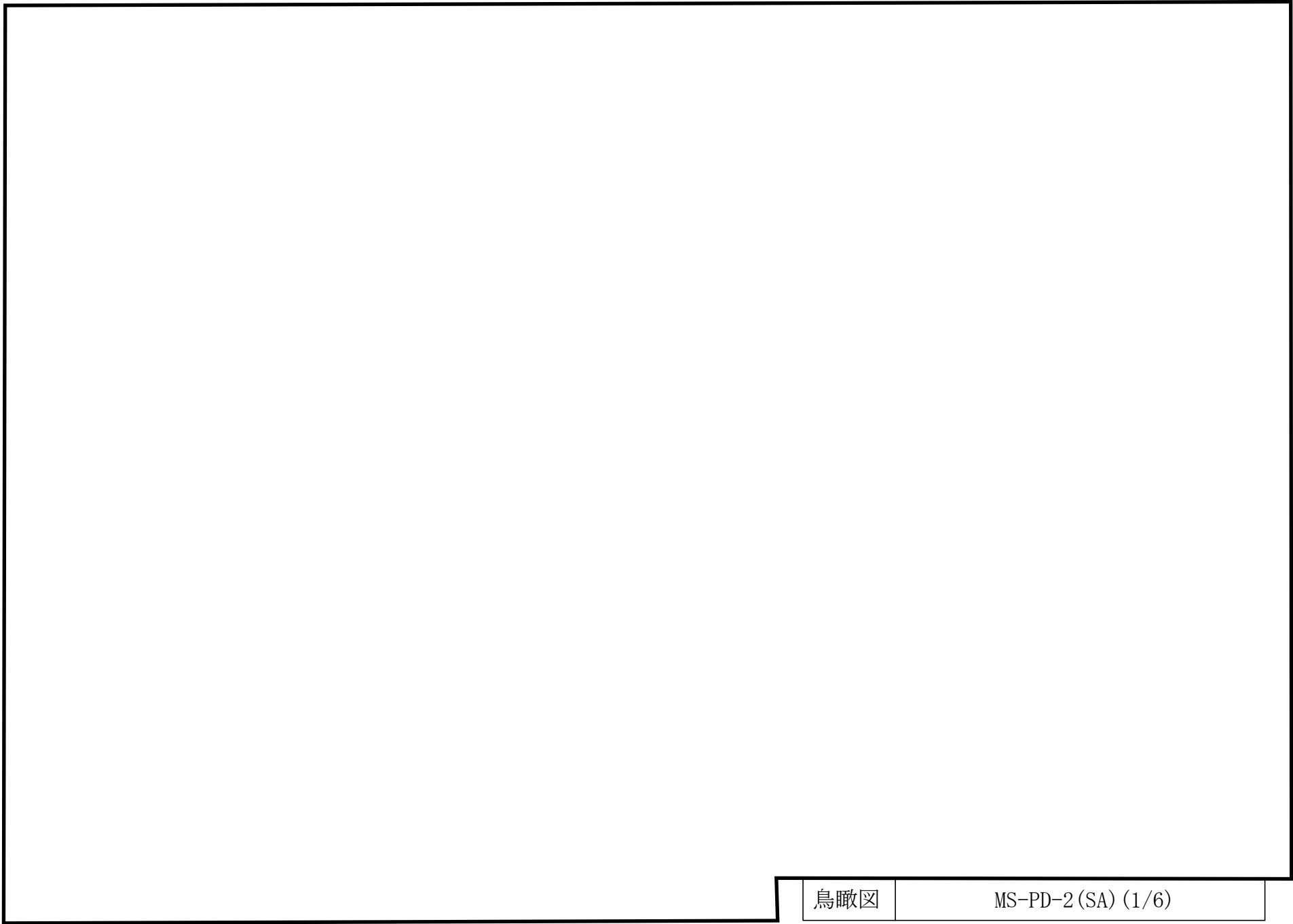


鳥瞰図

MS-PD-2 (DB) (4/6)

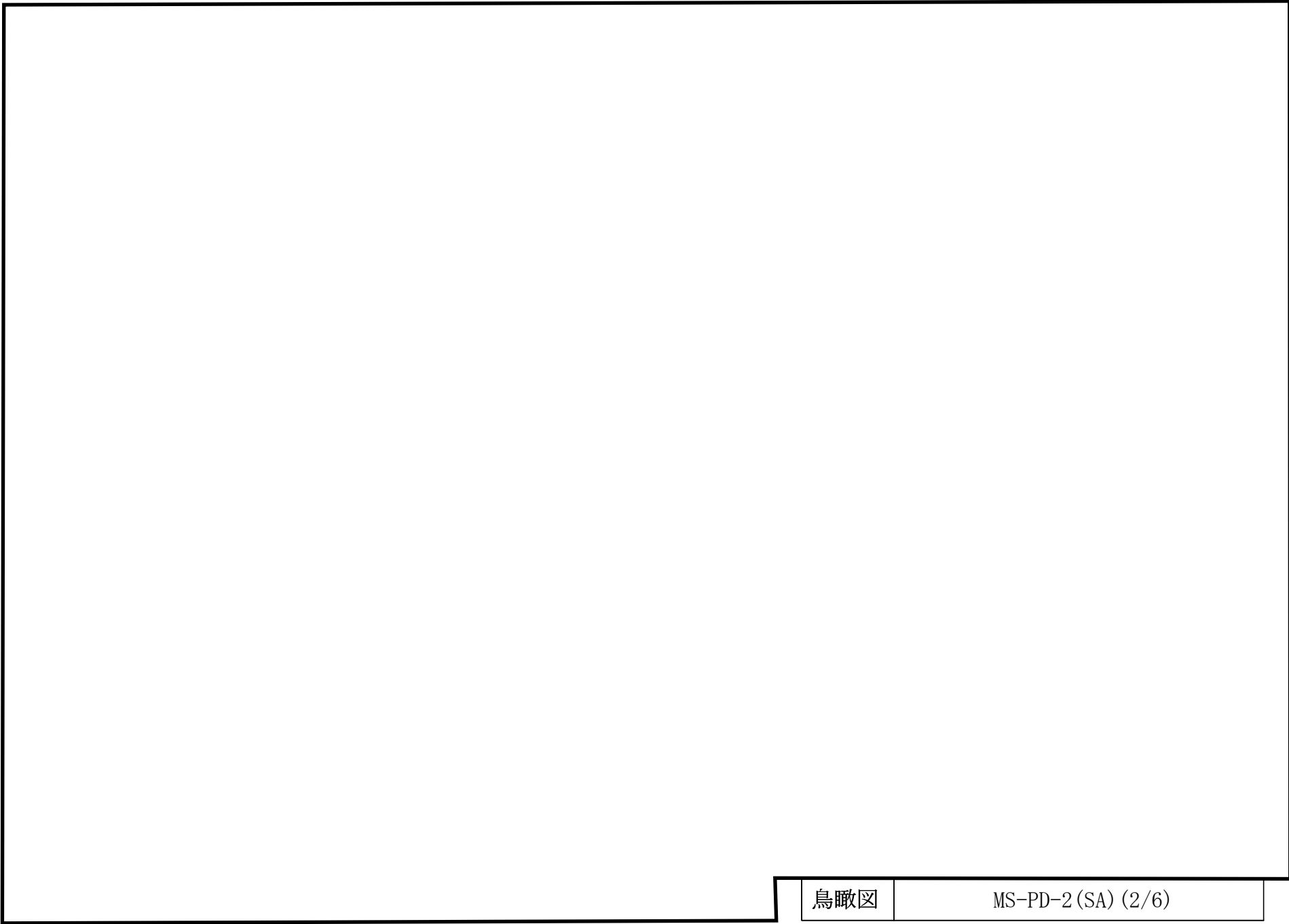






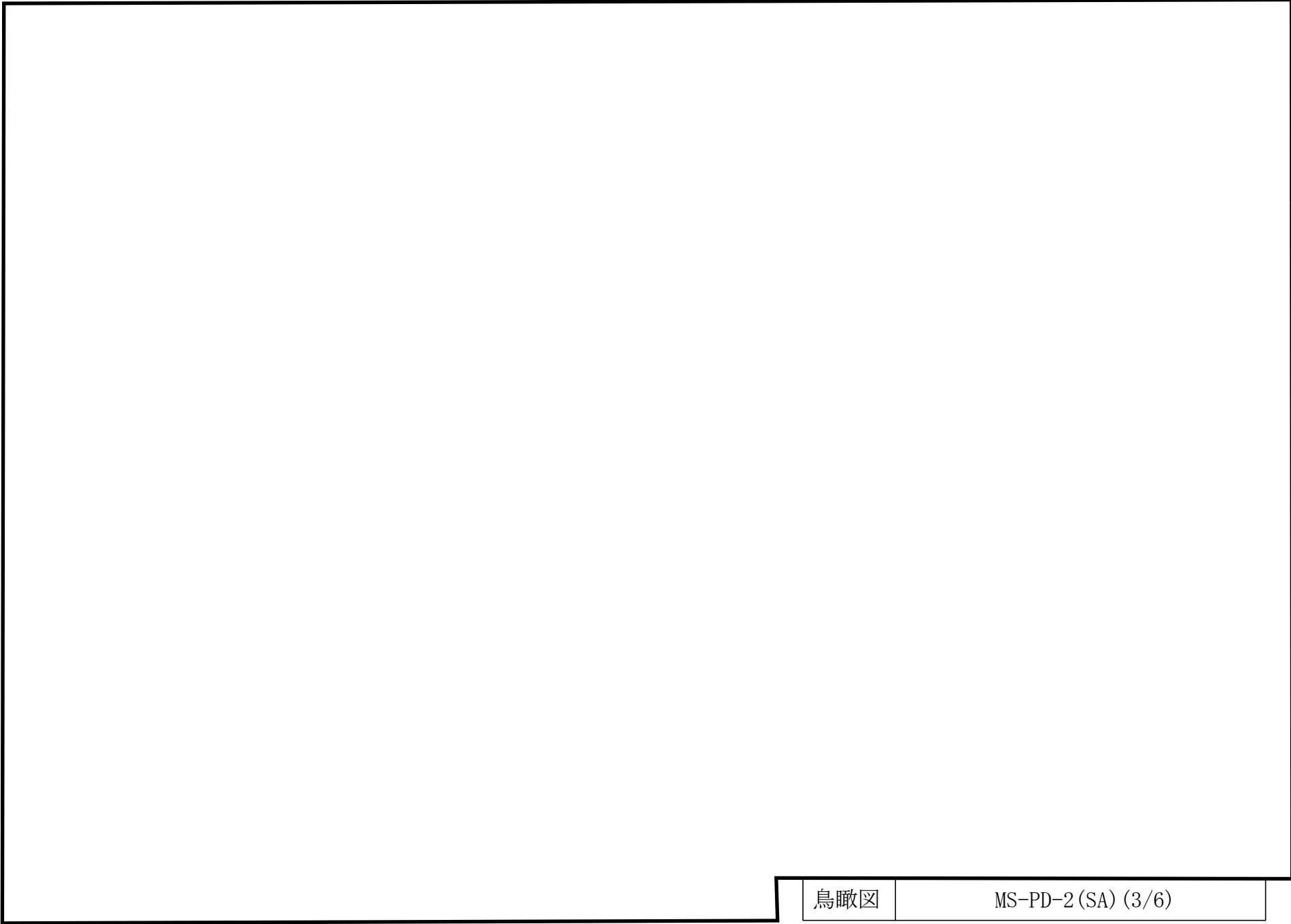
鳥瞰図

MS-PD-2 (SA) (1/6)



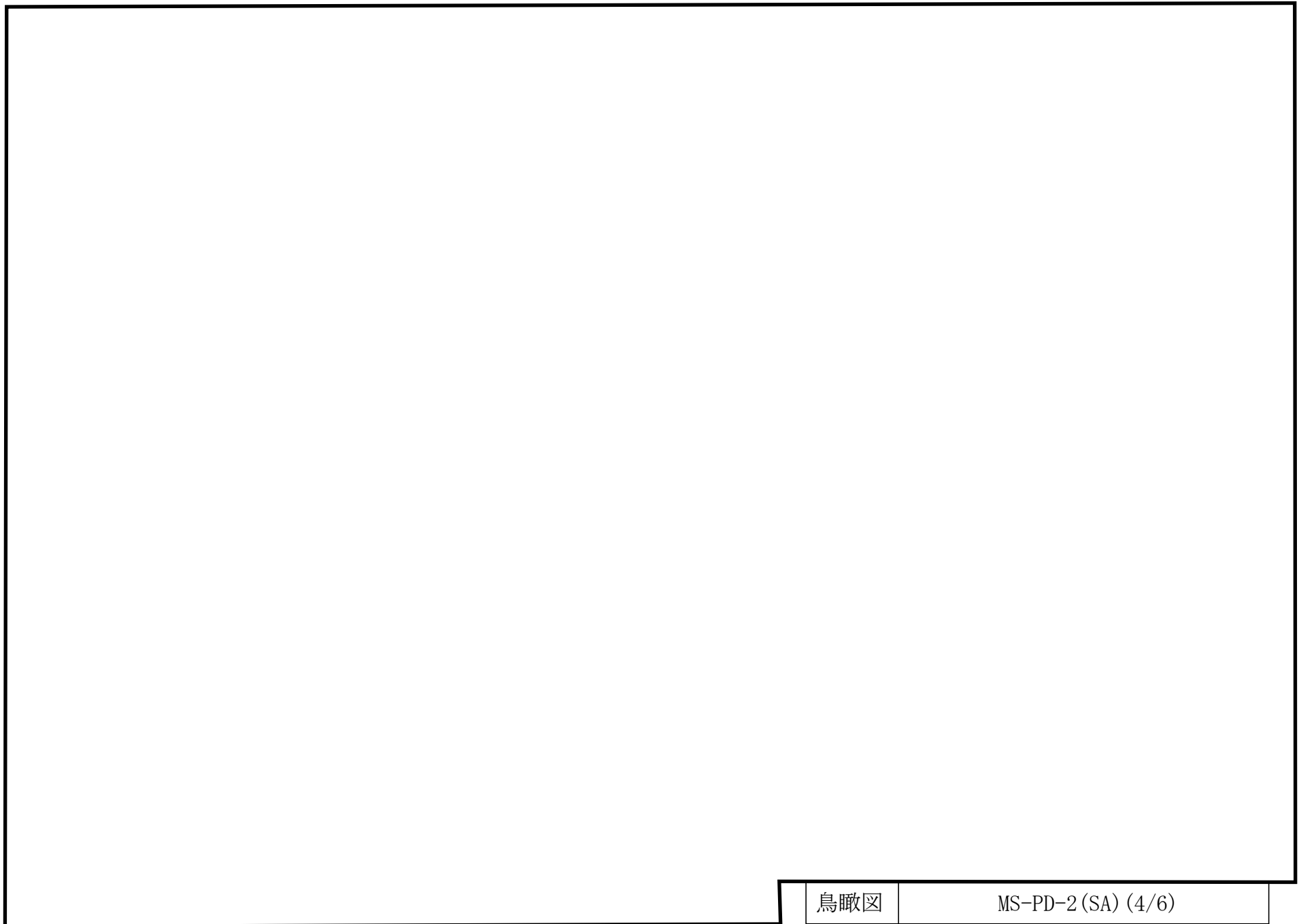
鳥瞰図

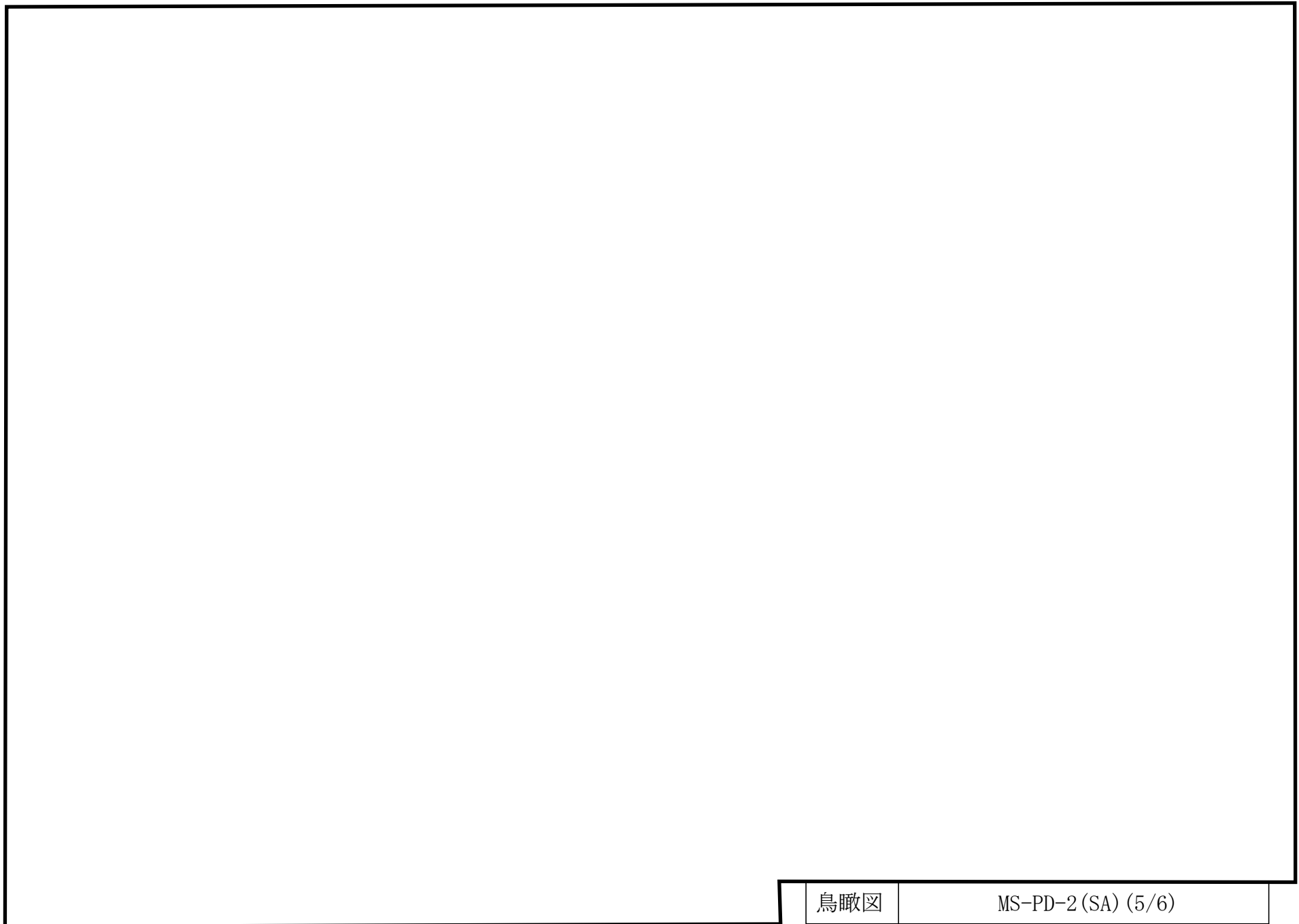
MS-PD-2 (SA) (2/6)



鳥瞰図

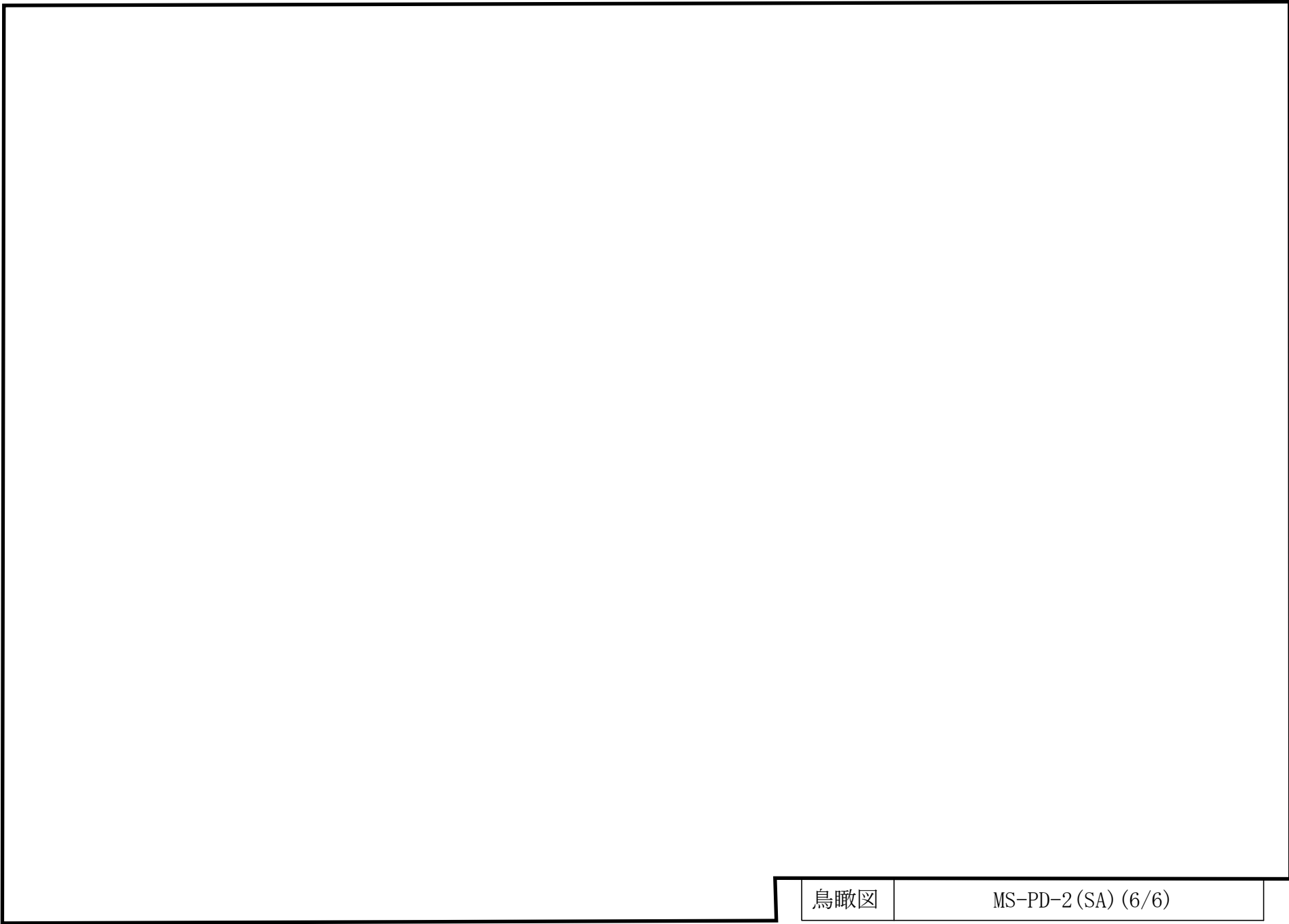
MS-PD-2 (SA) (3/6)

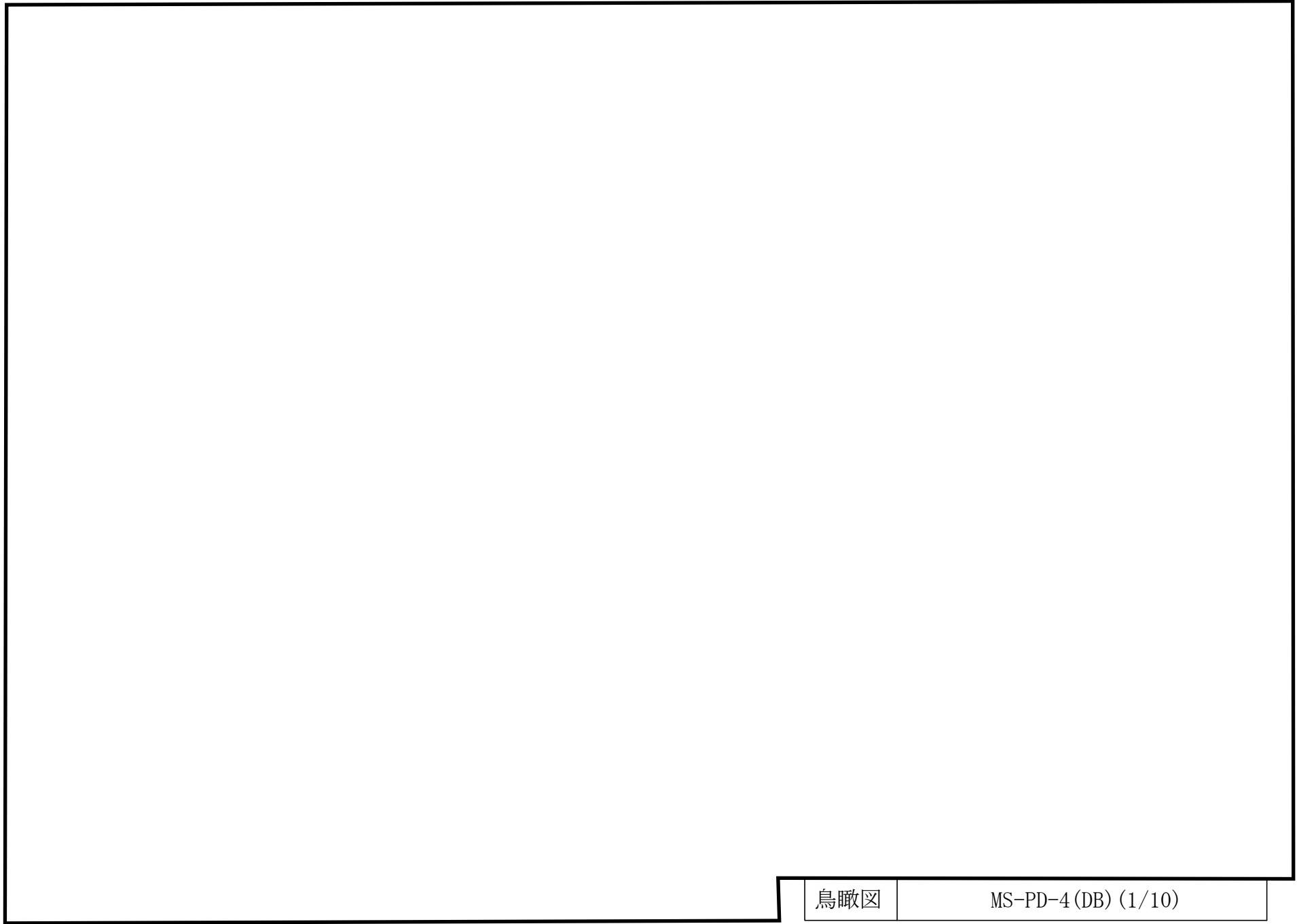


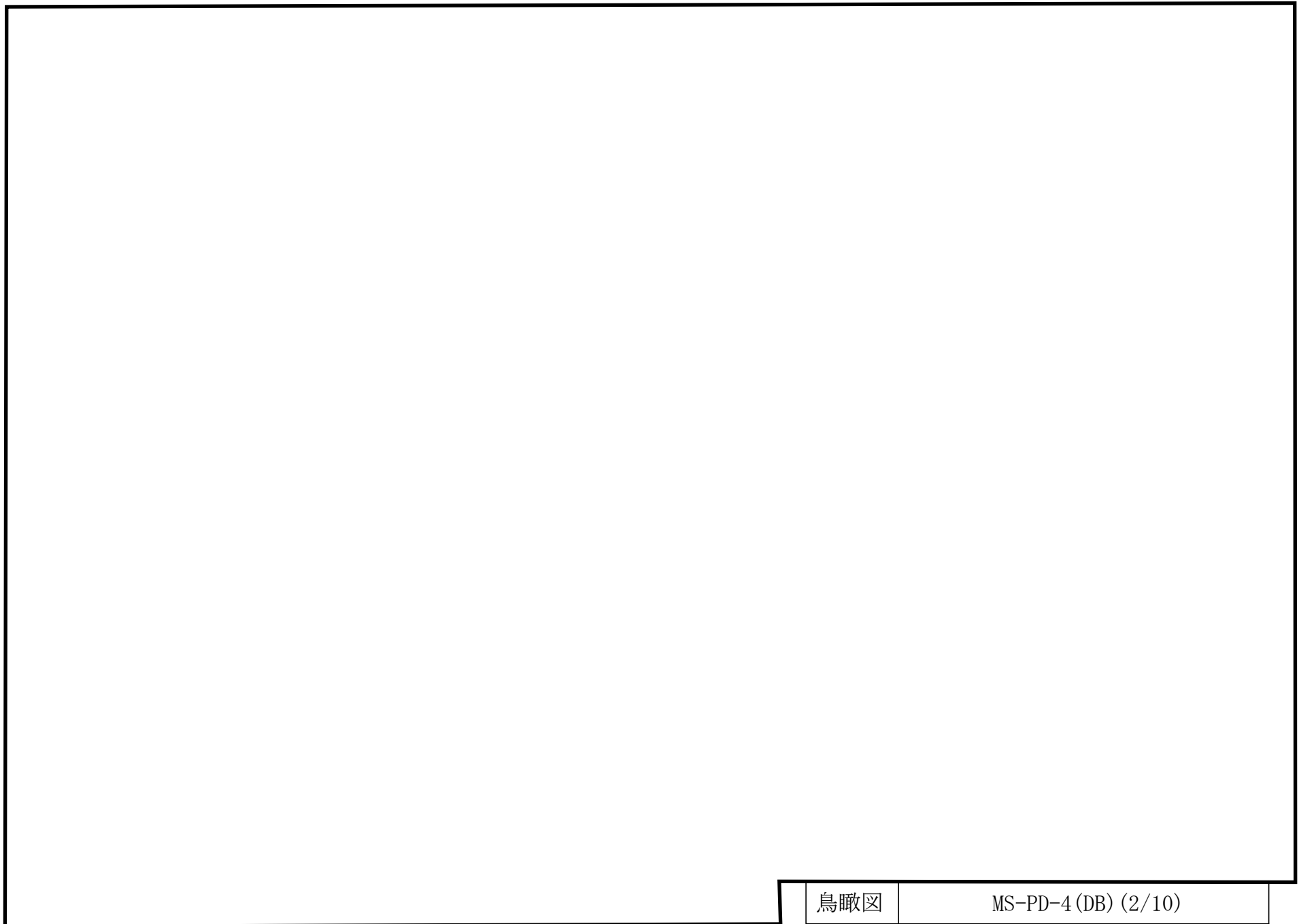


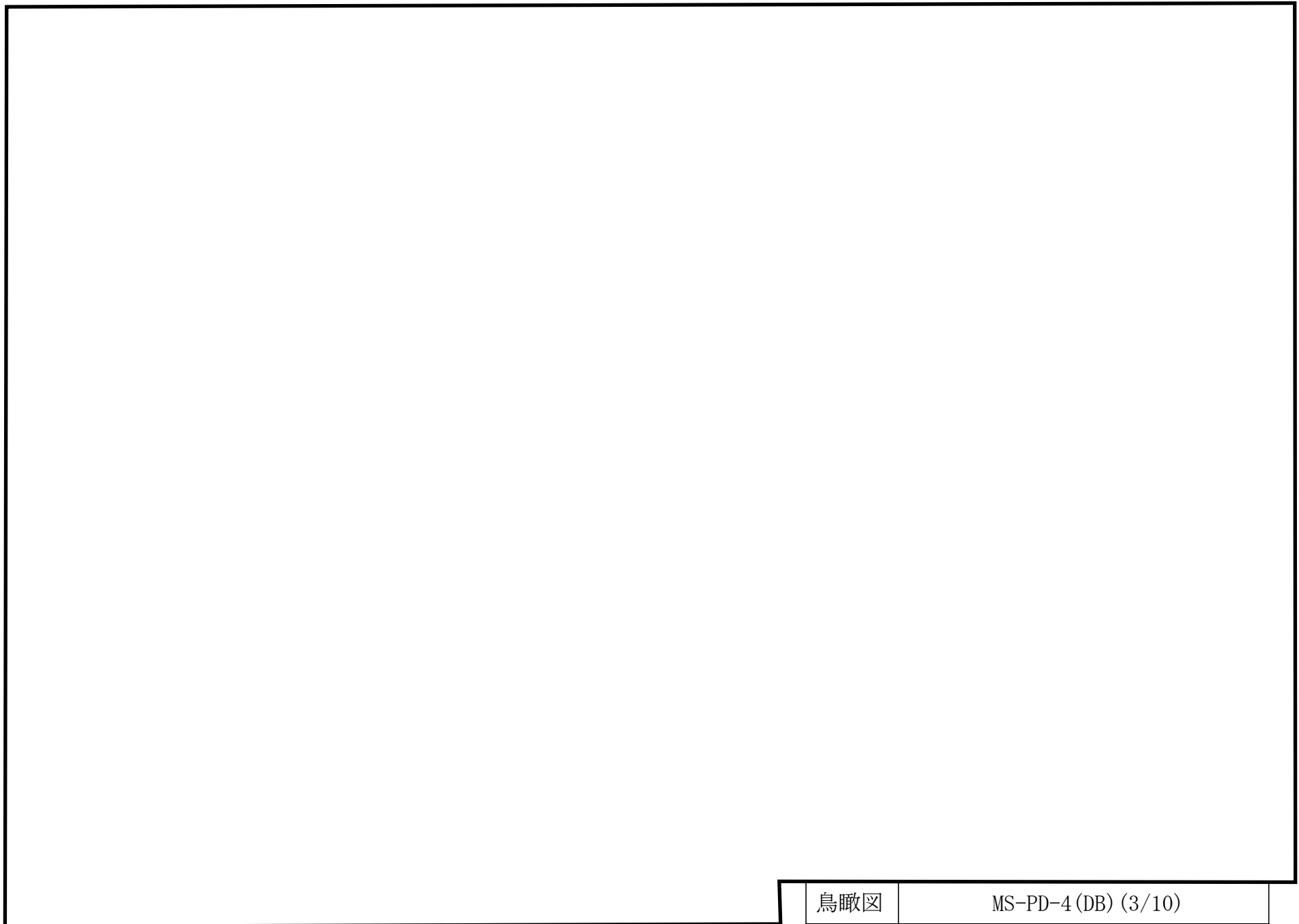
鳥瞰図

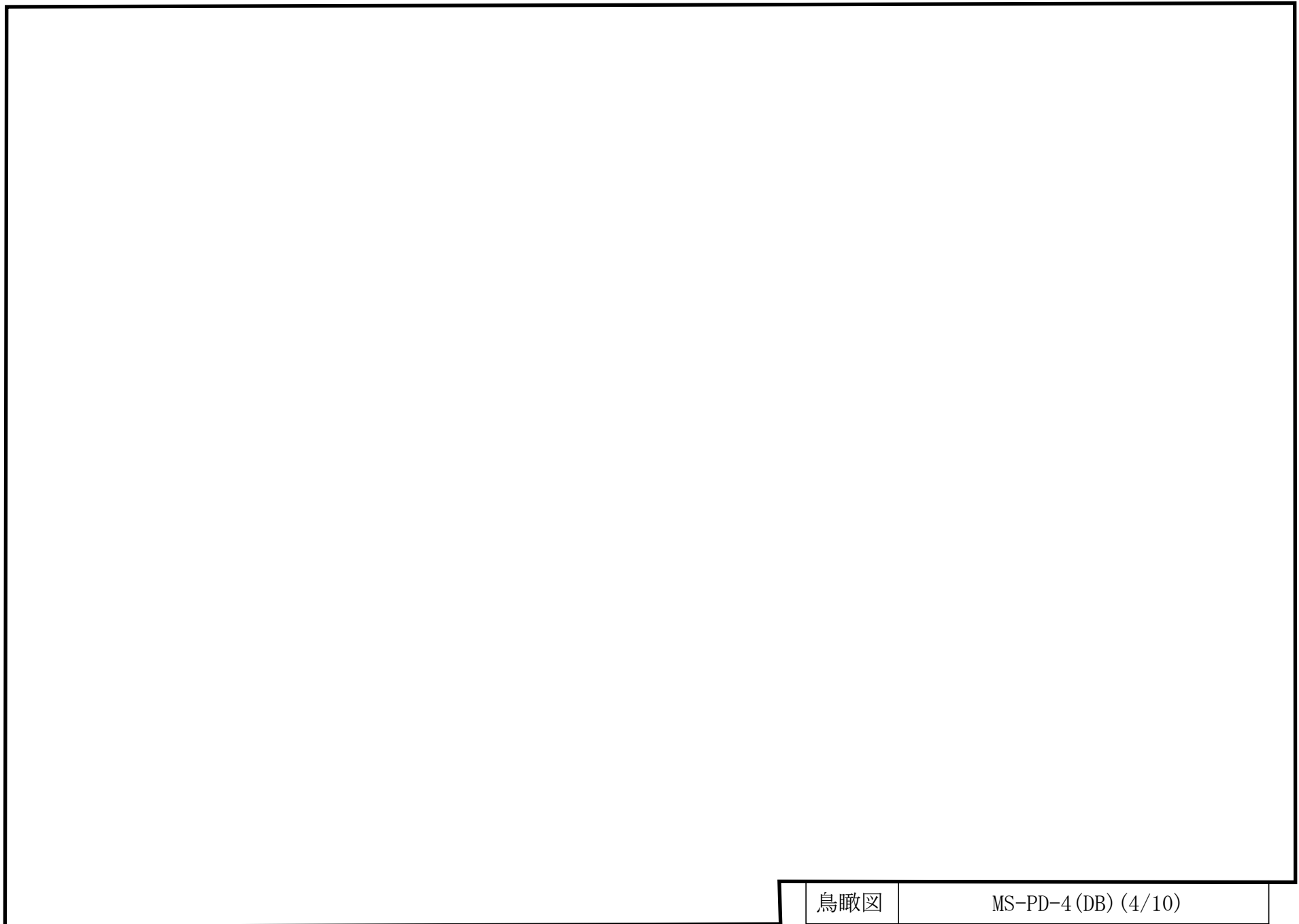
MS-PD-2 (SA) (5/6)

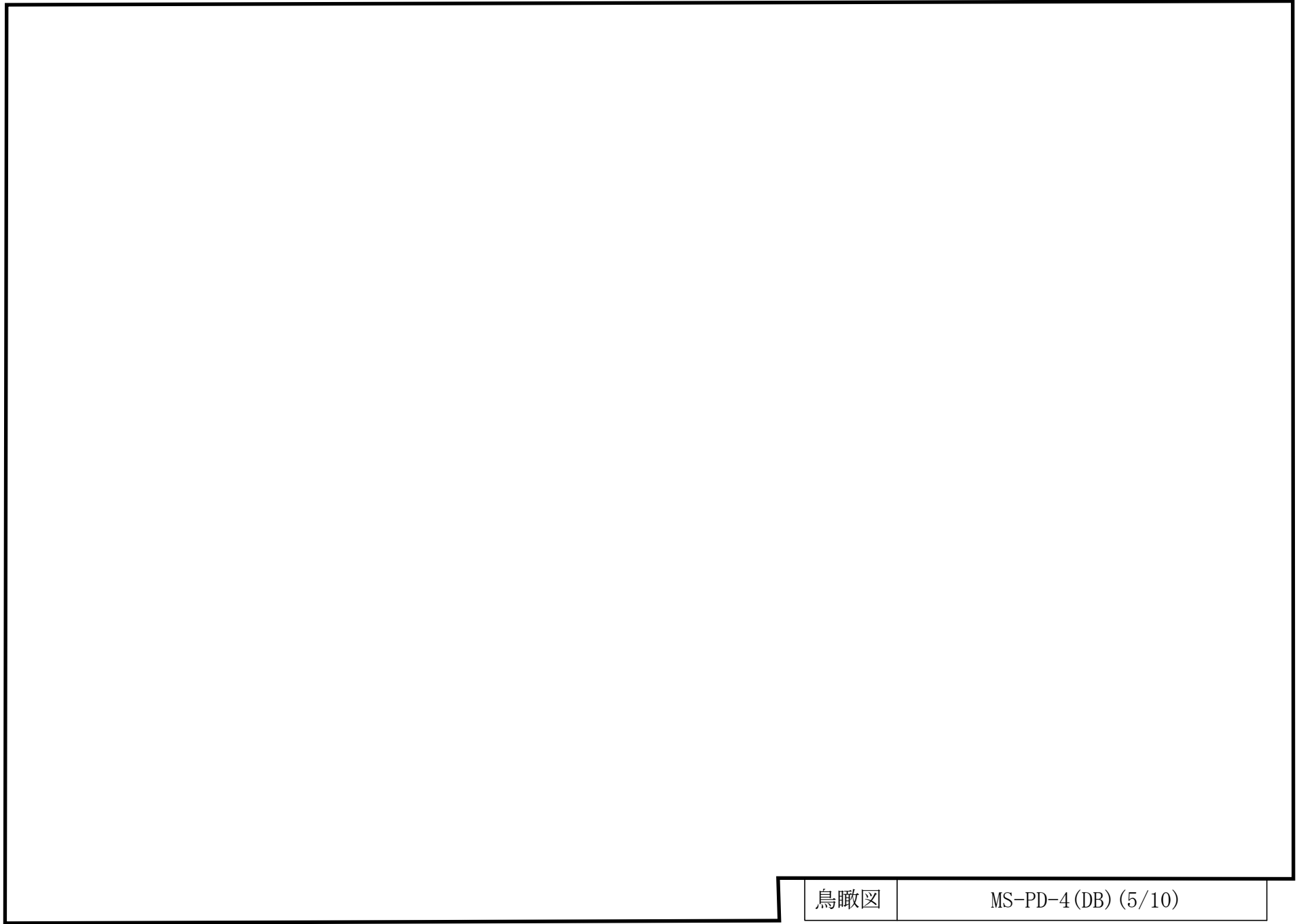






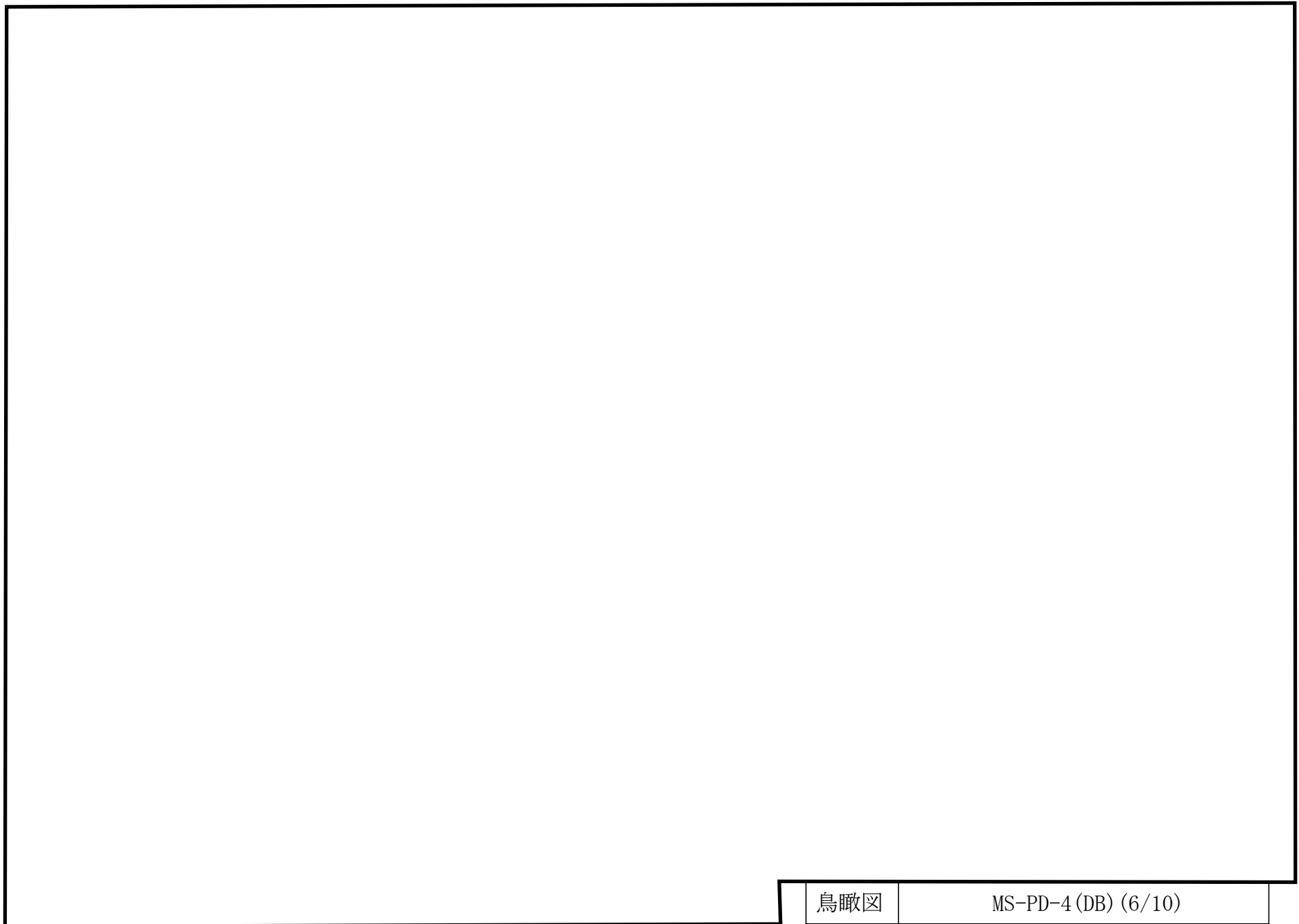


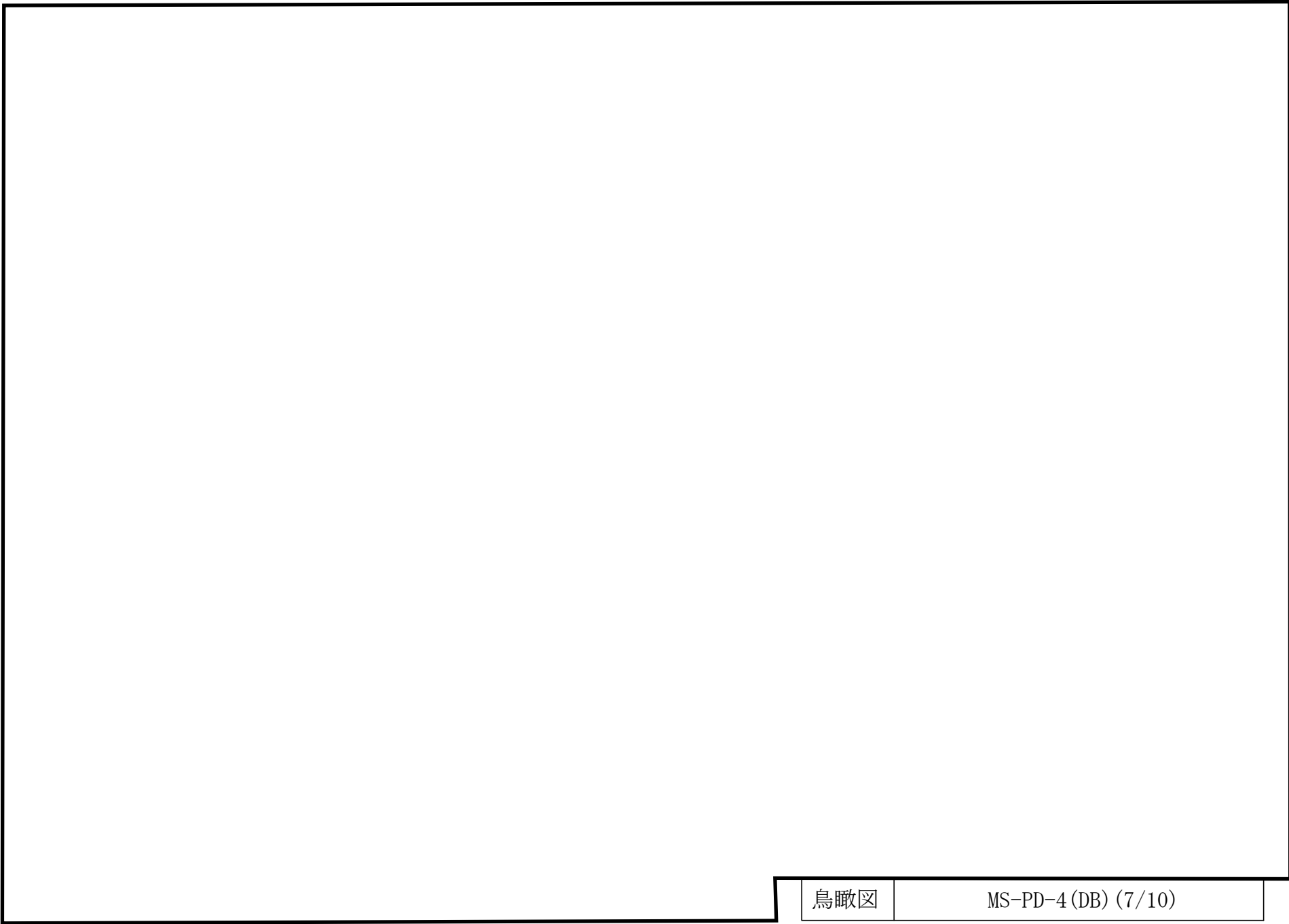




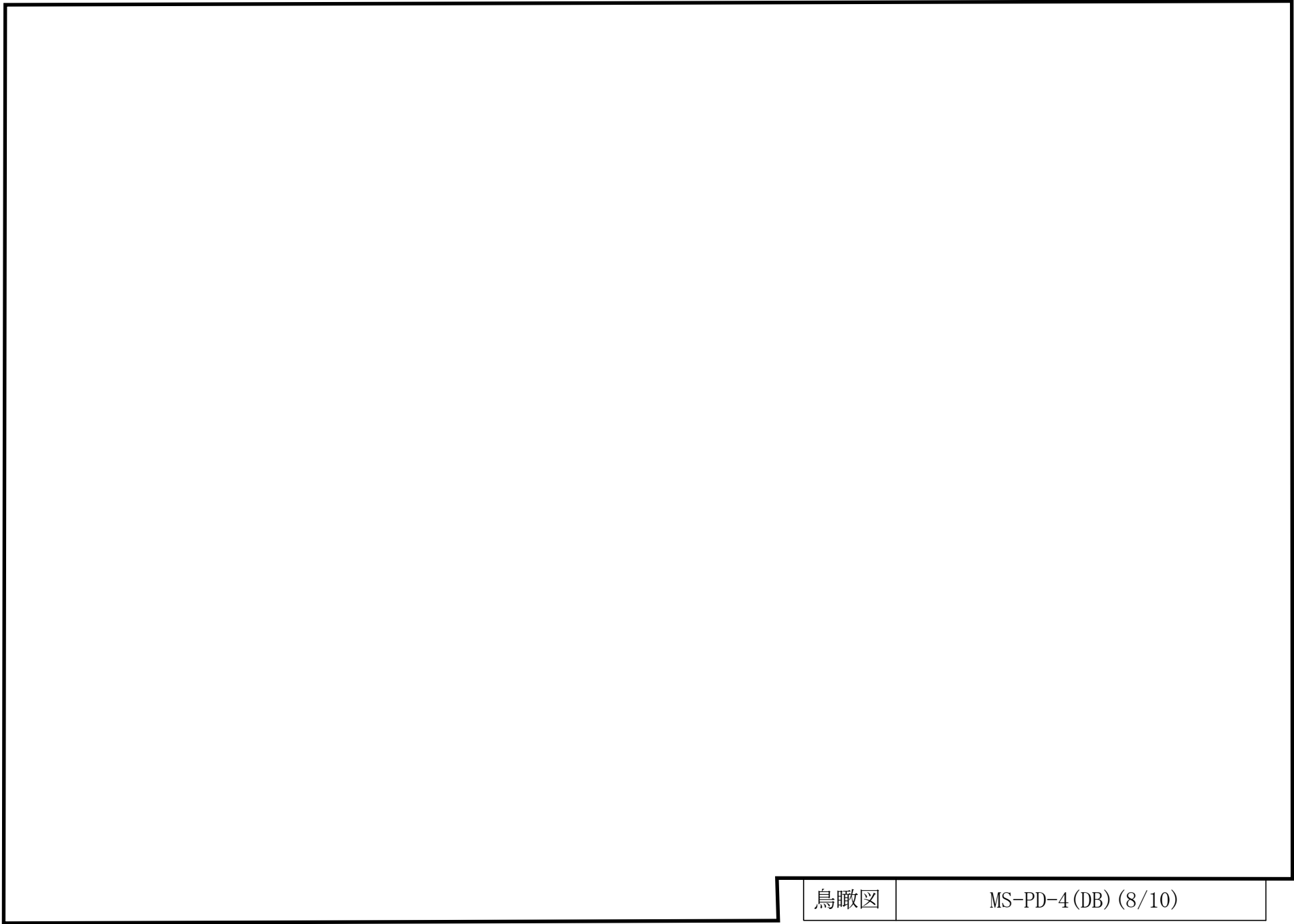
鳥瞰図

MS-PD-4 (DB) (5/10)



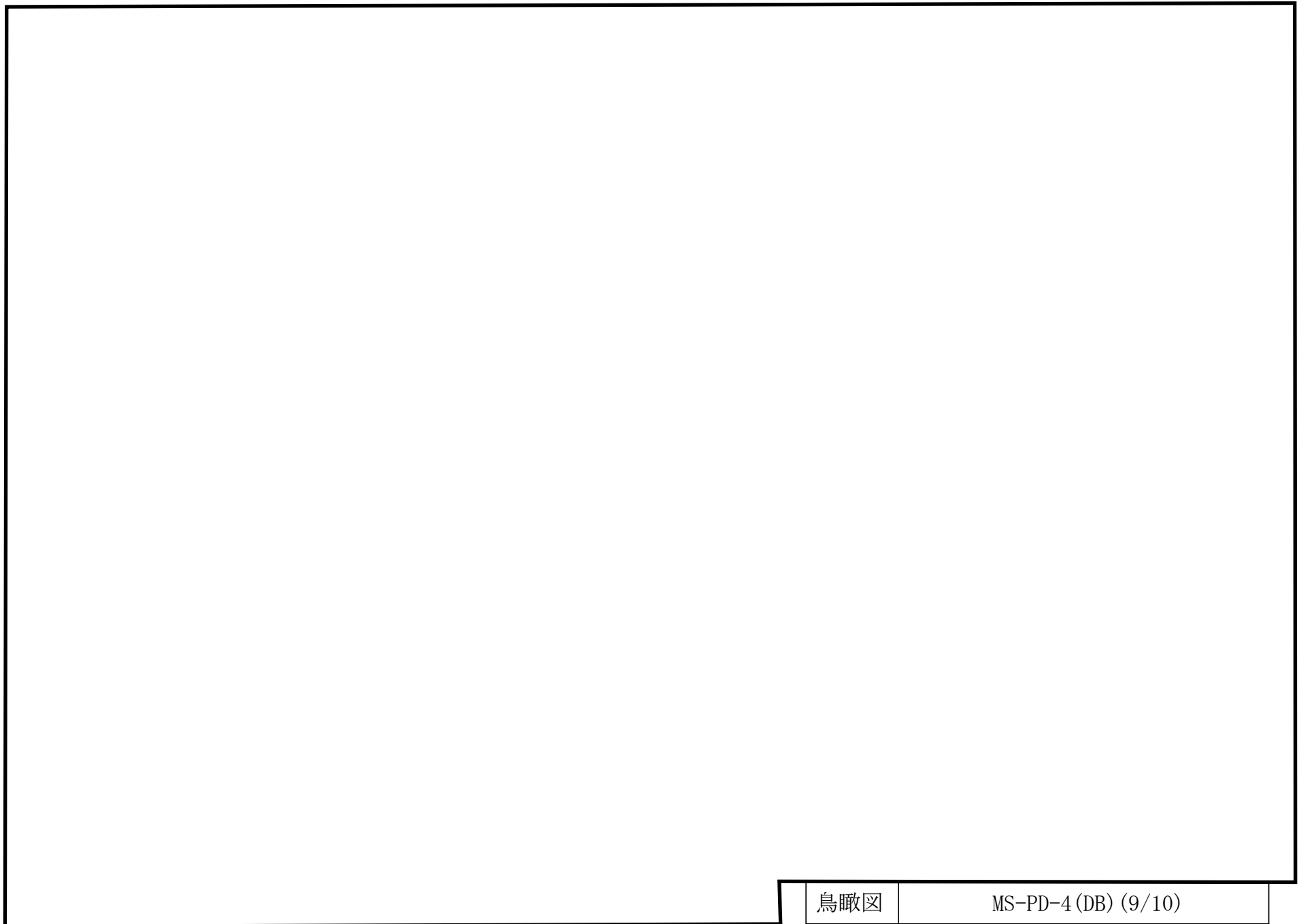


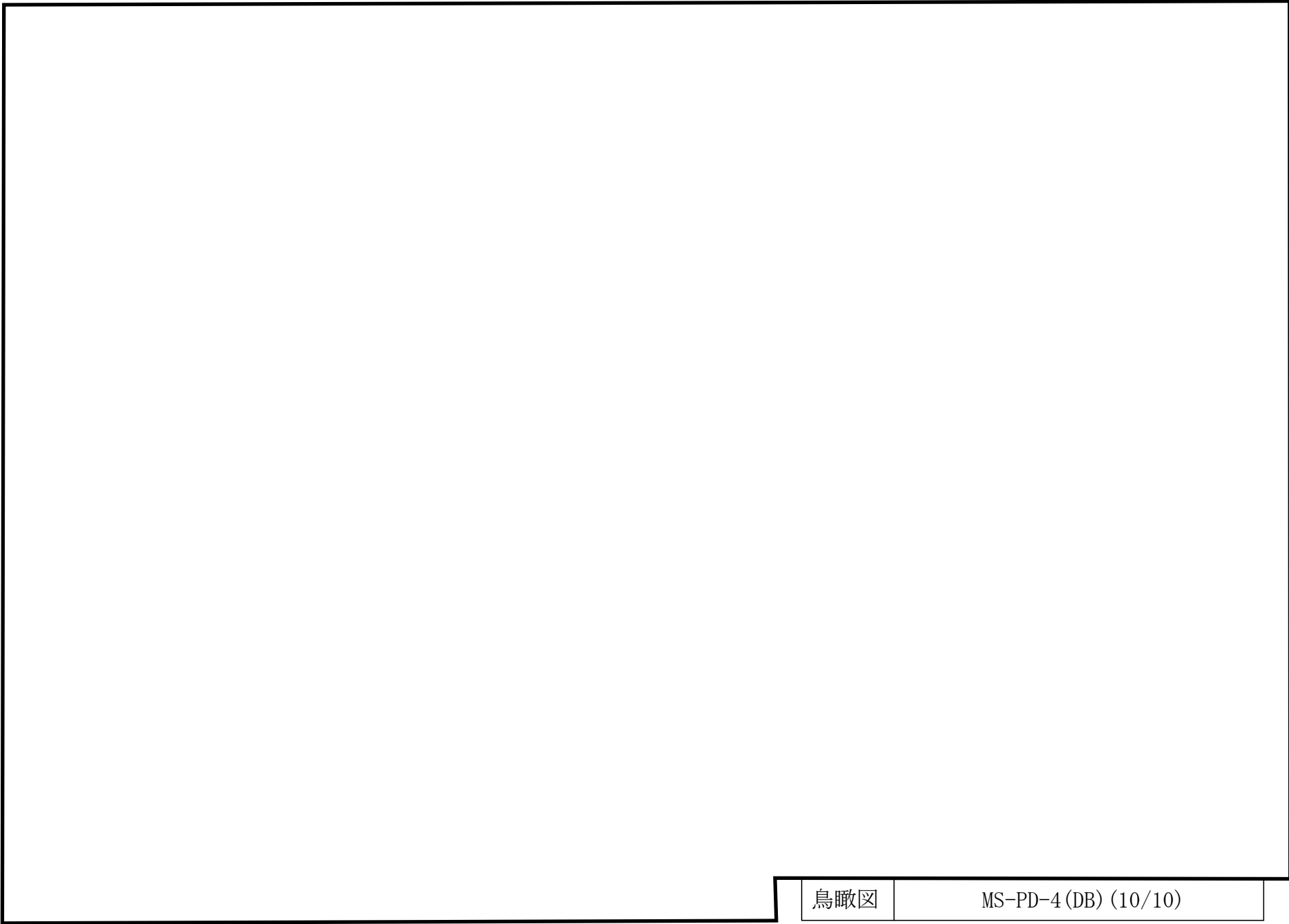
50

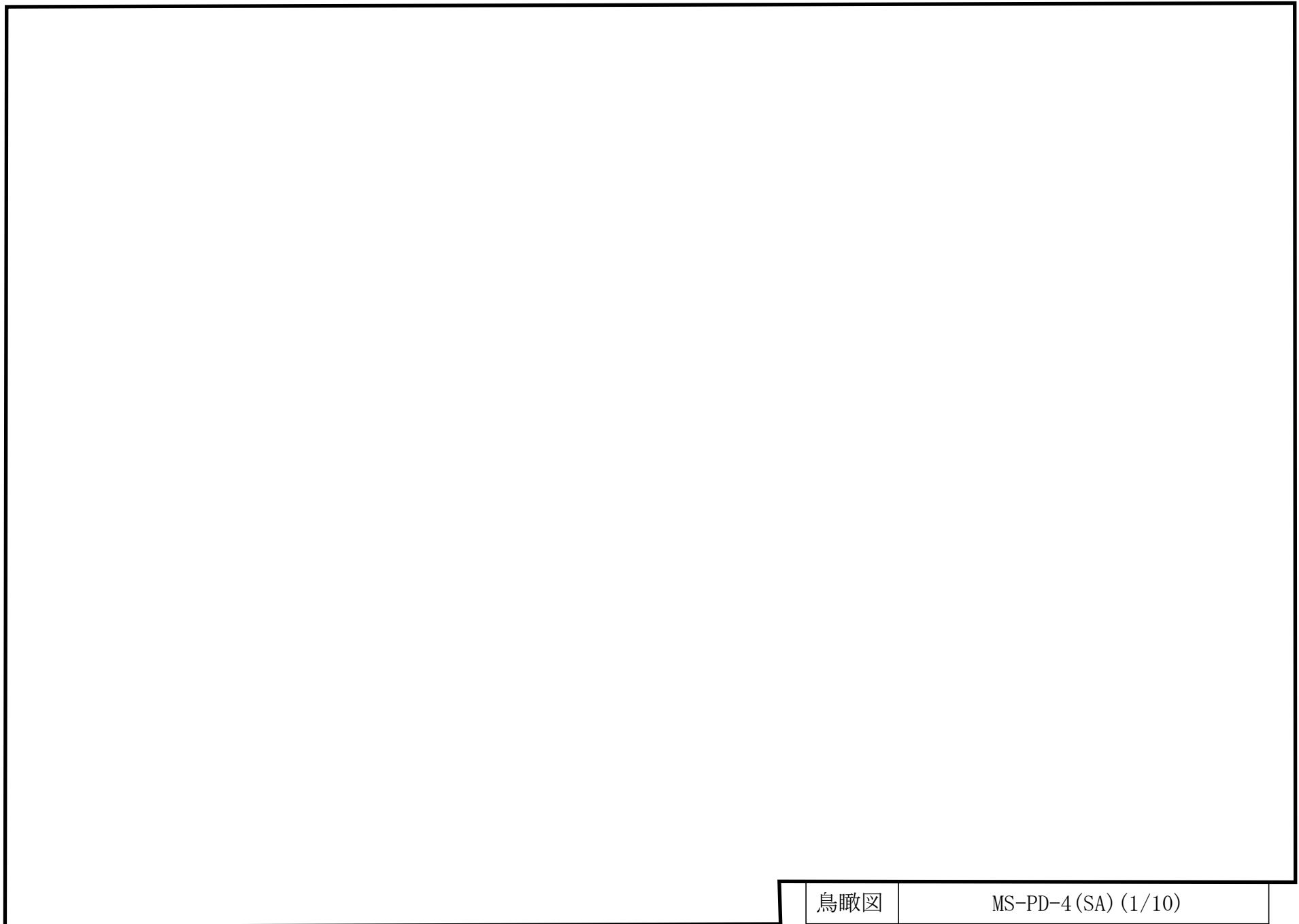


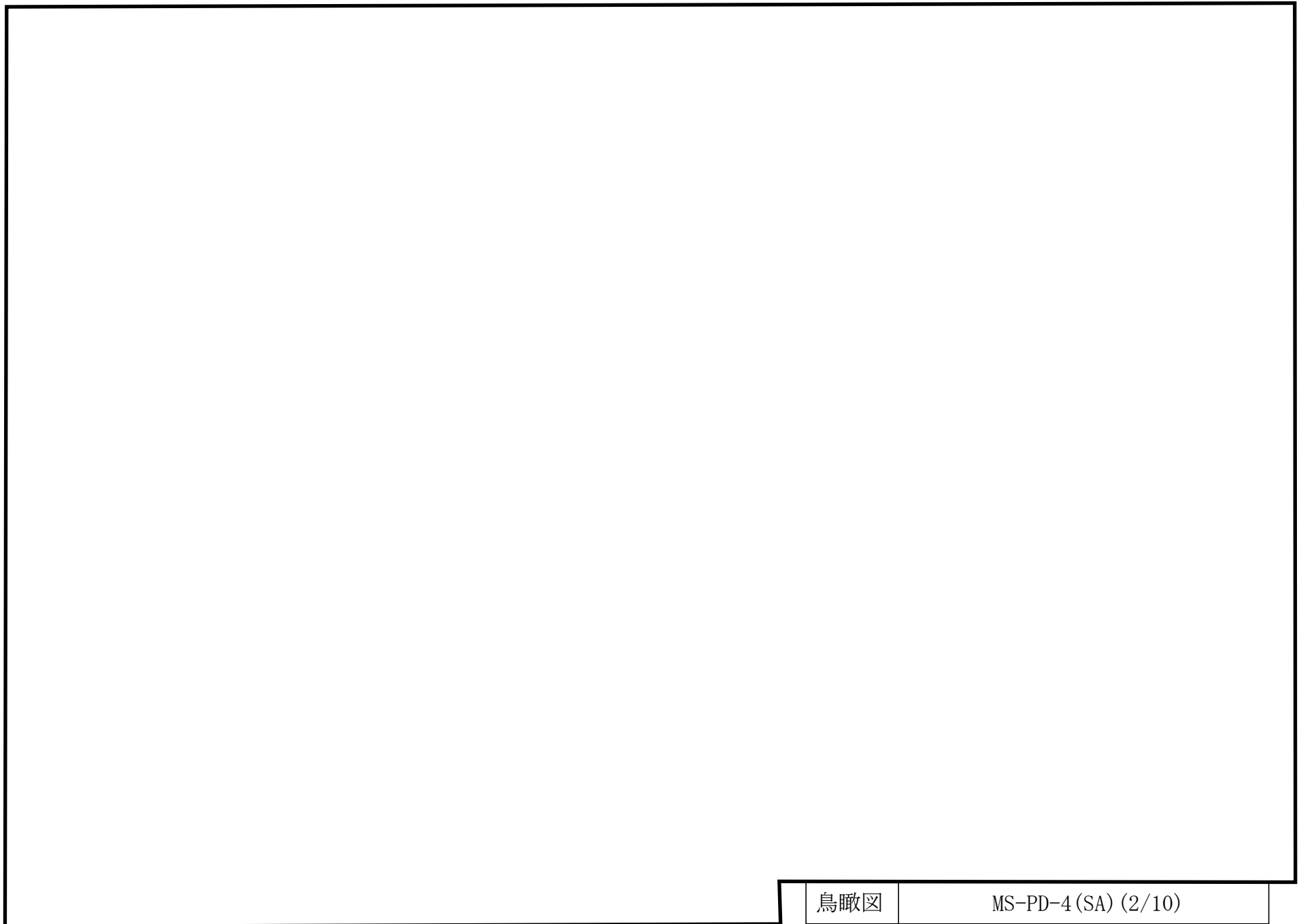
鳥瞰図

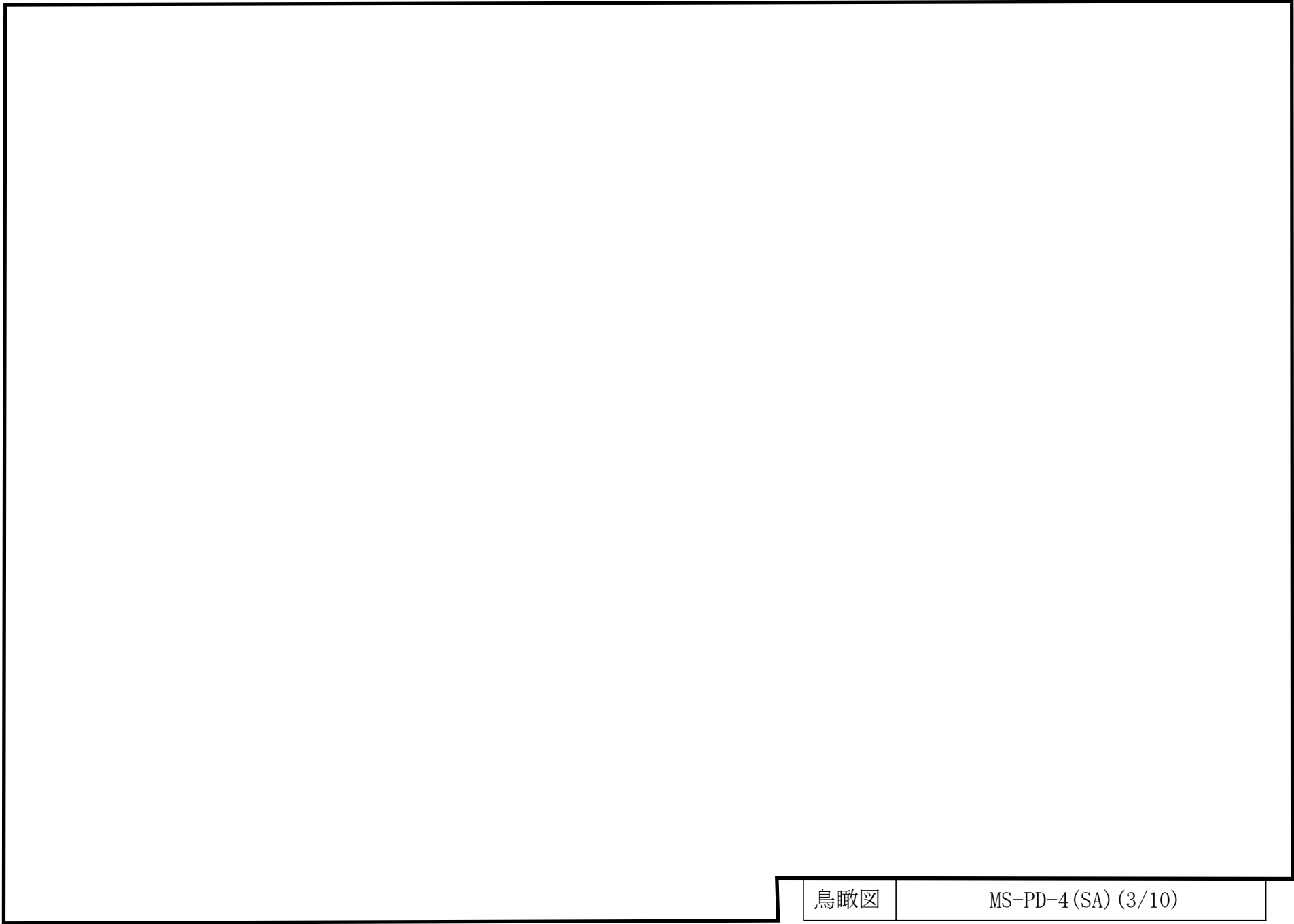
MS-PD-4 (DB) (8/10)

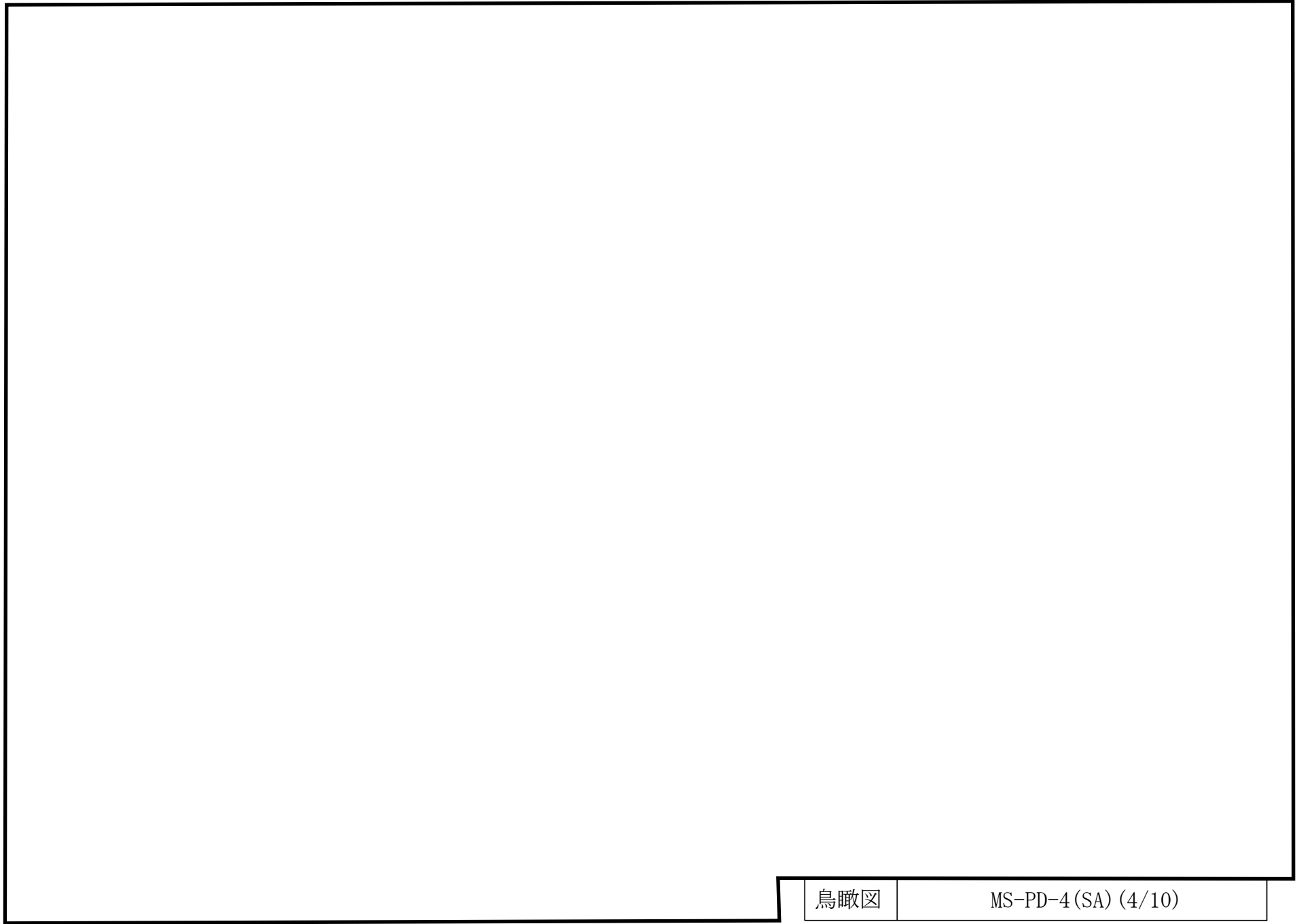


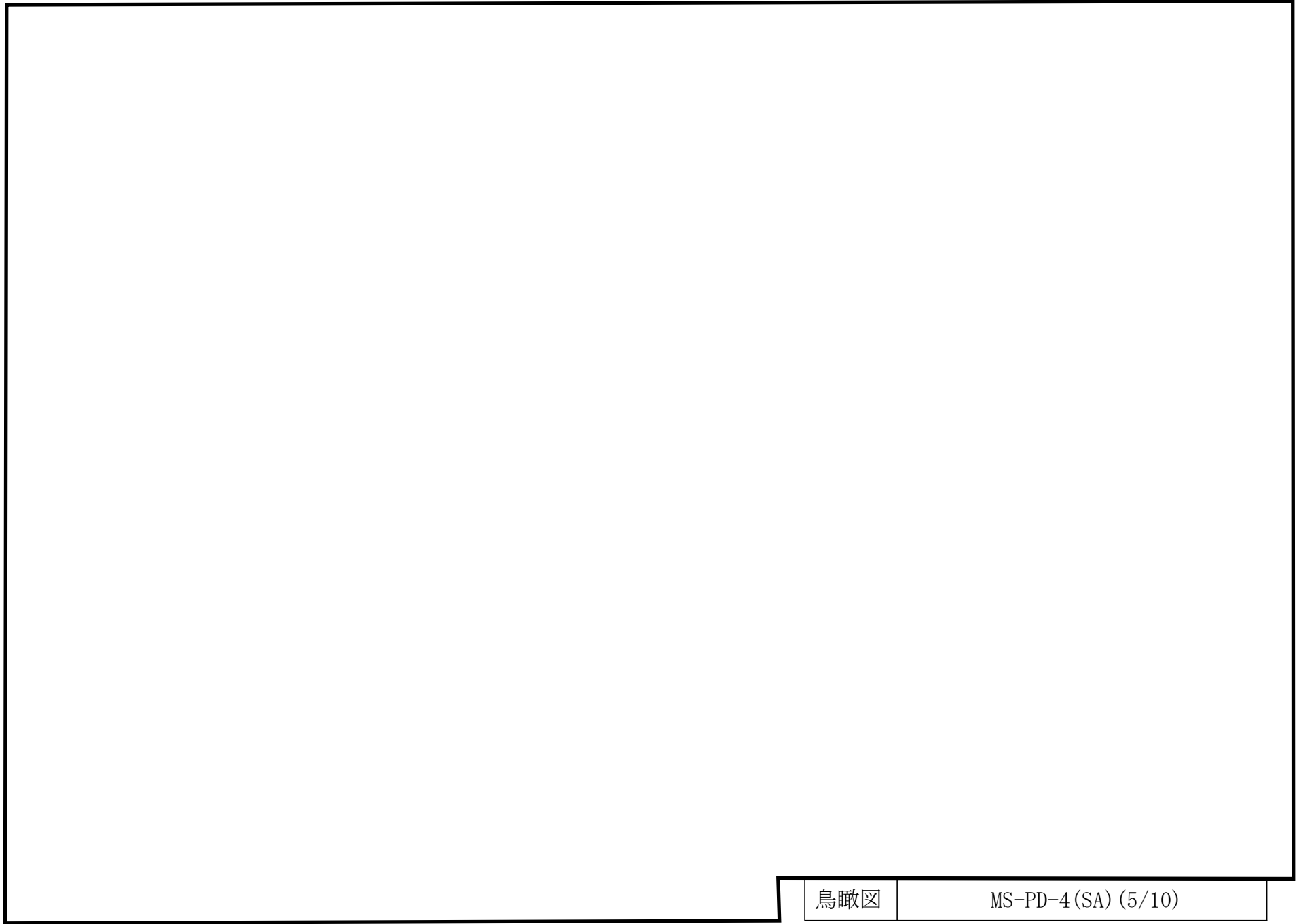


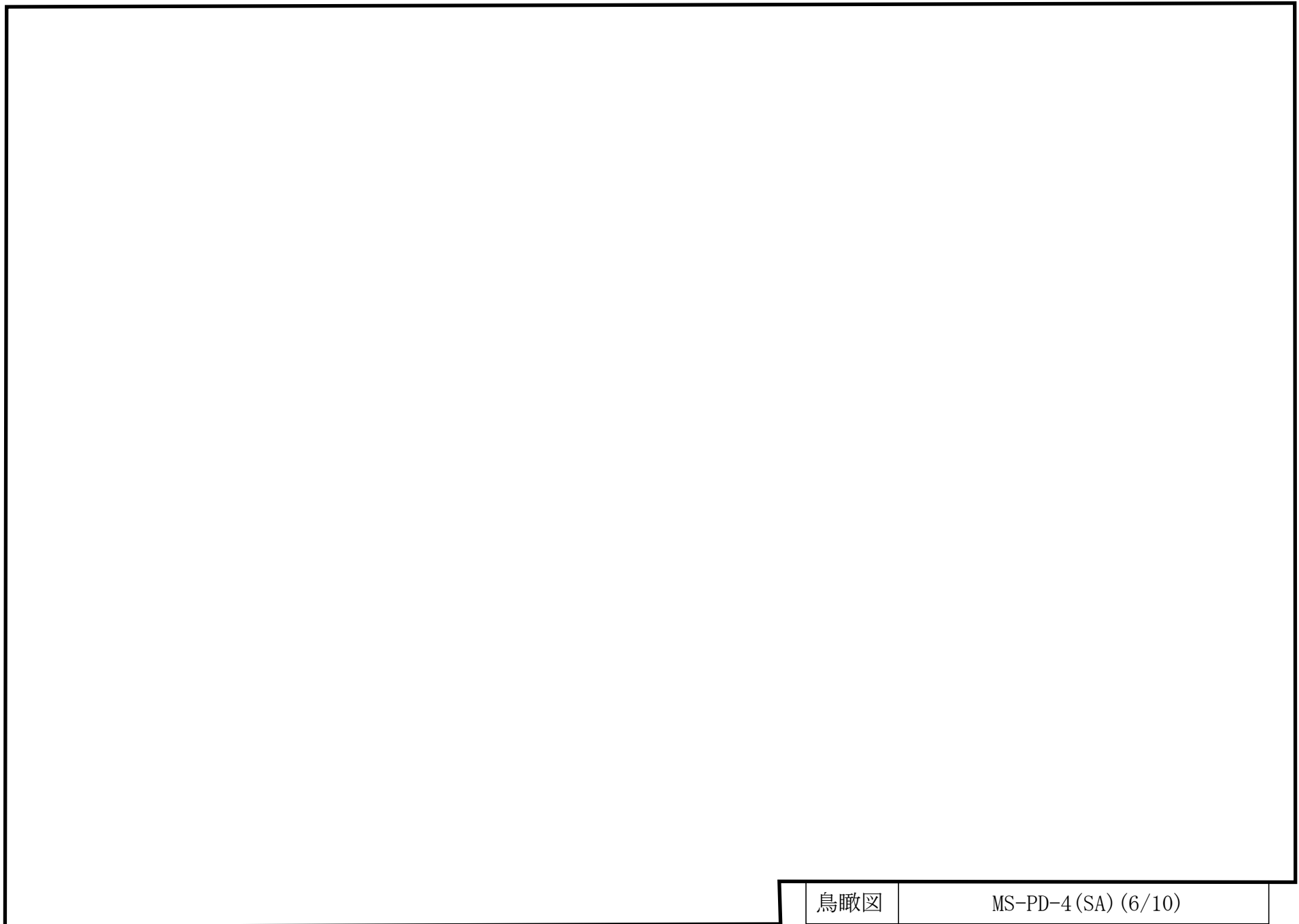


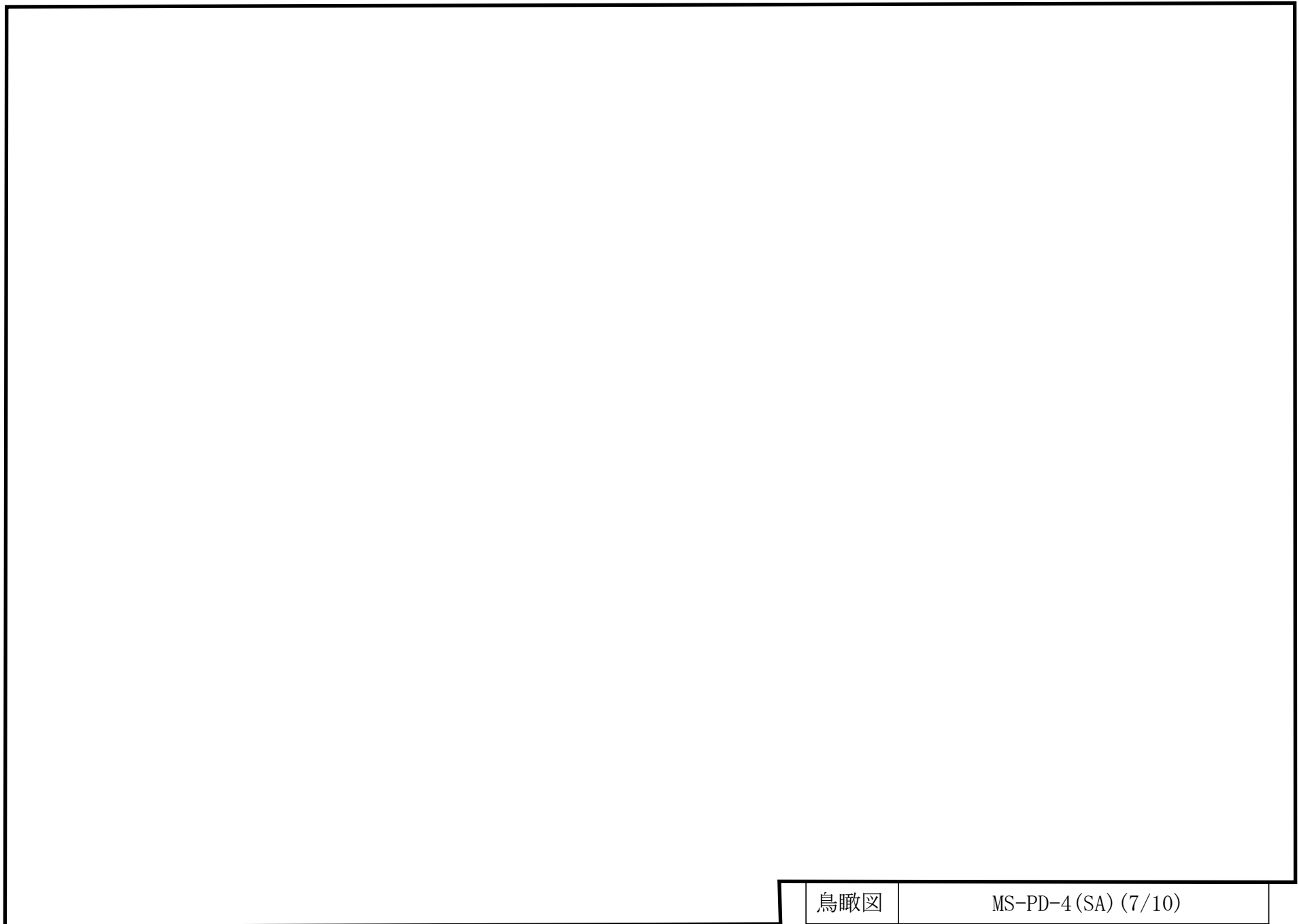


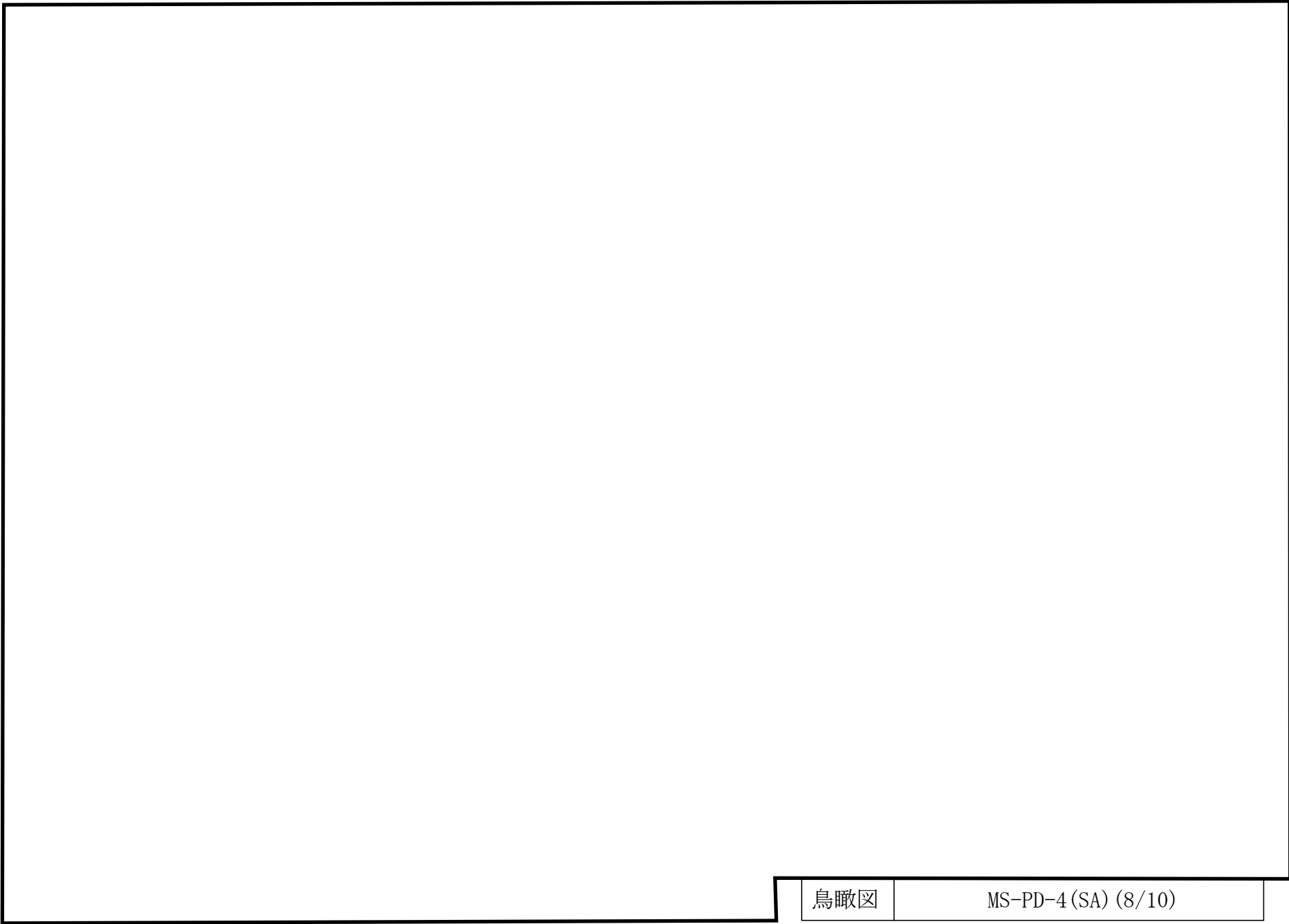


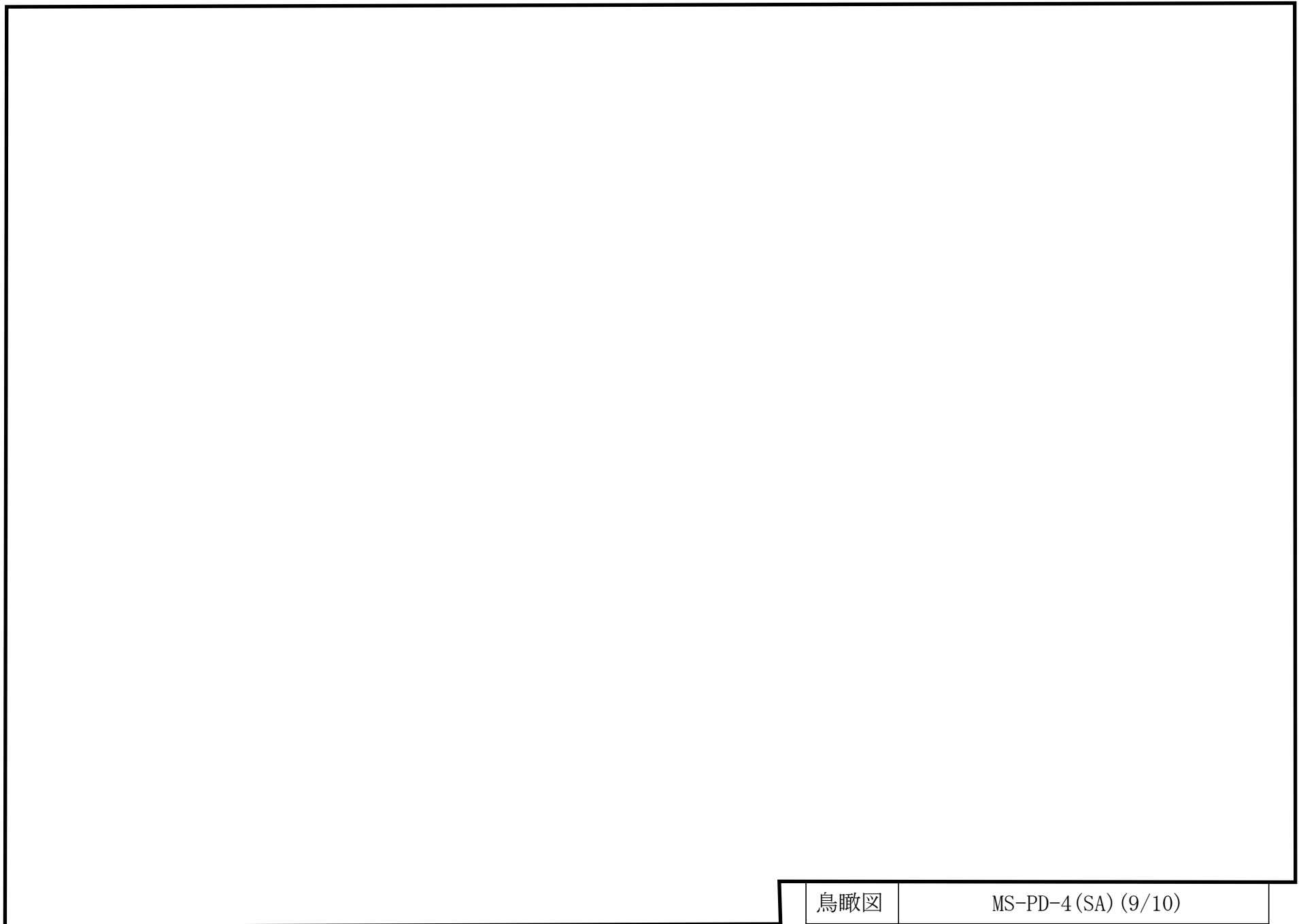


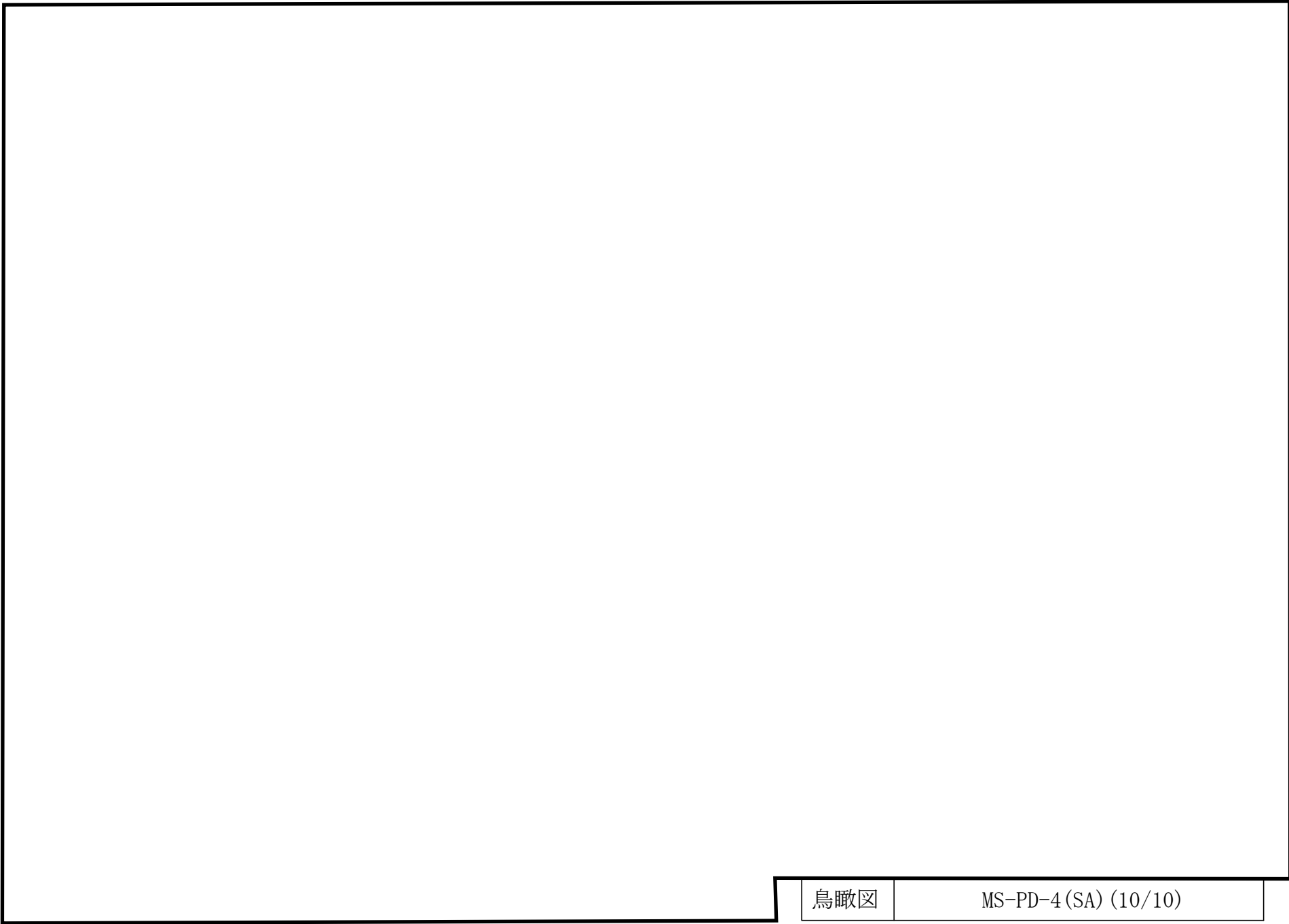


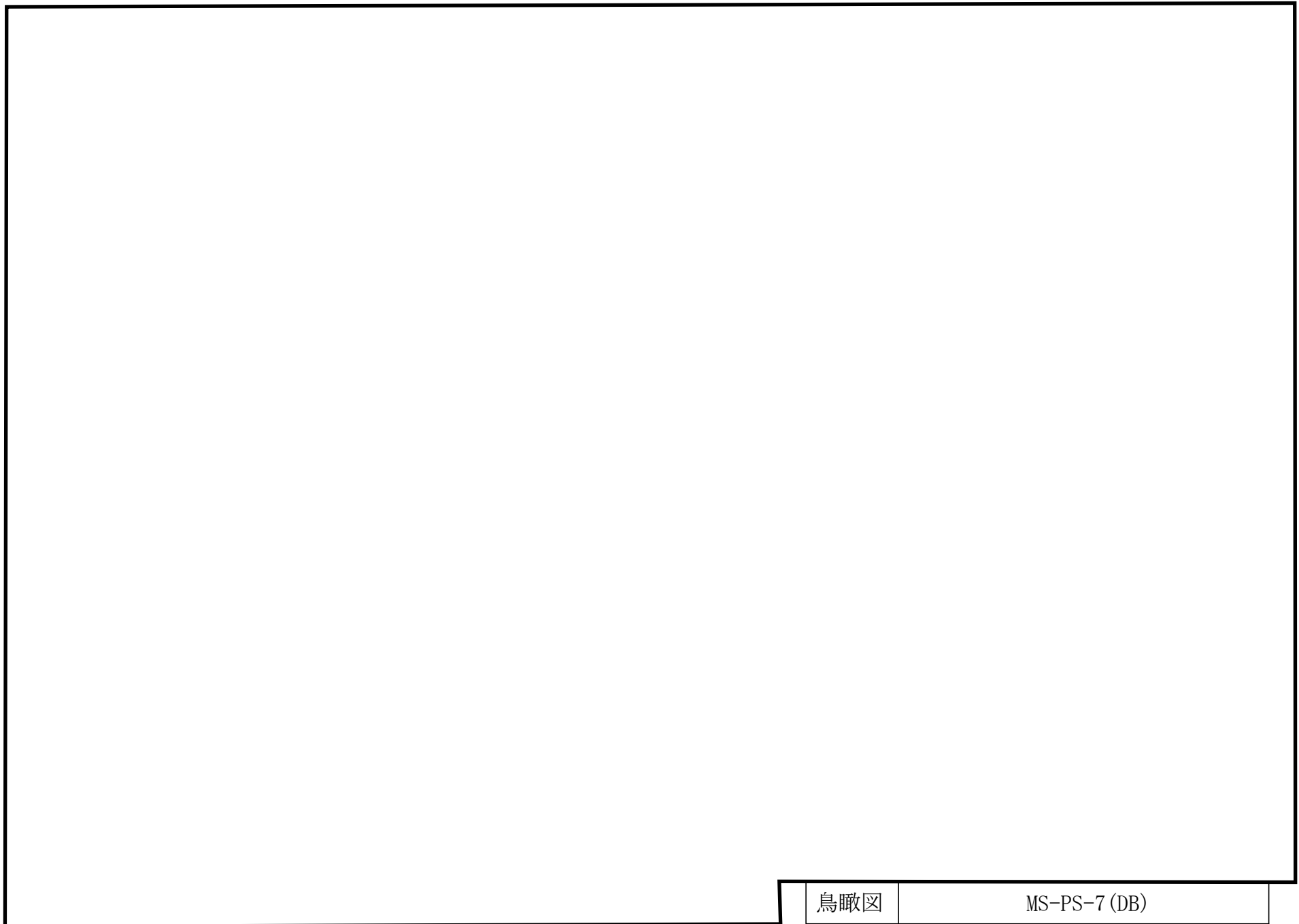






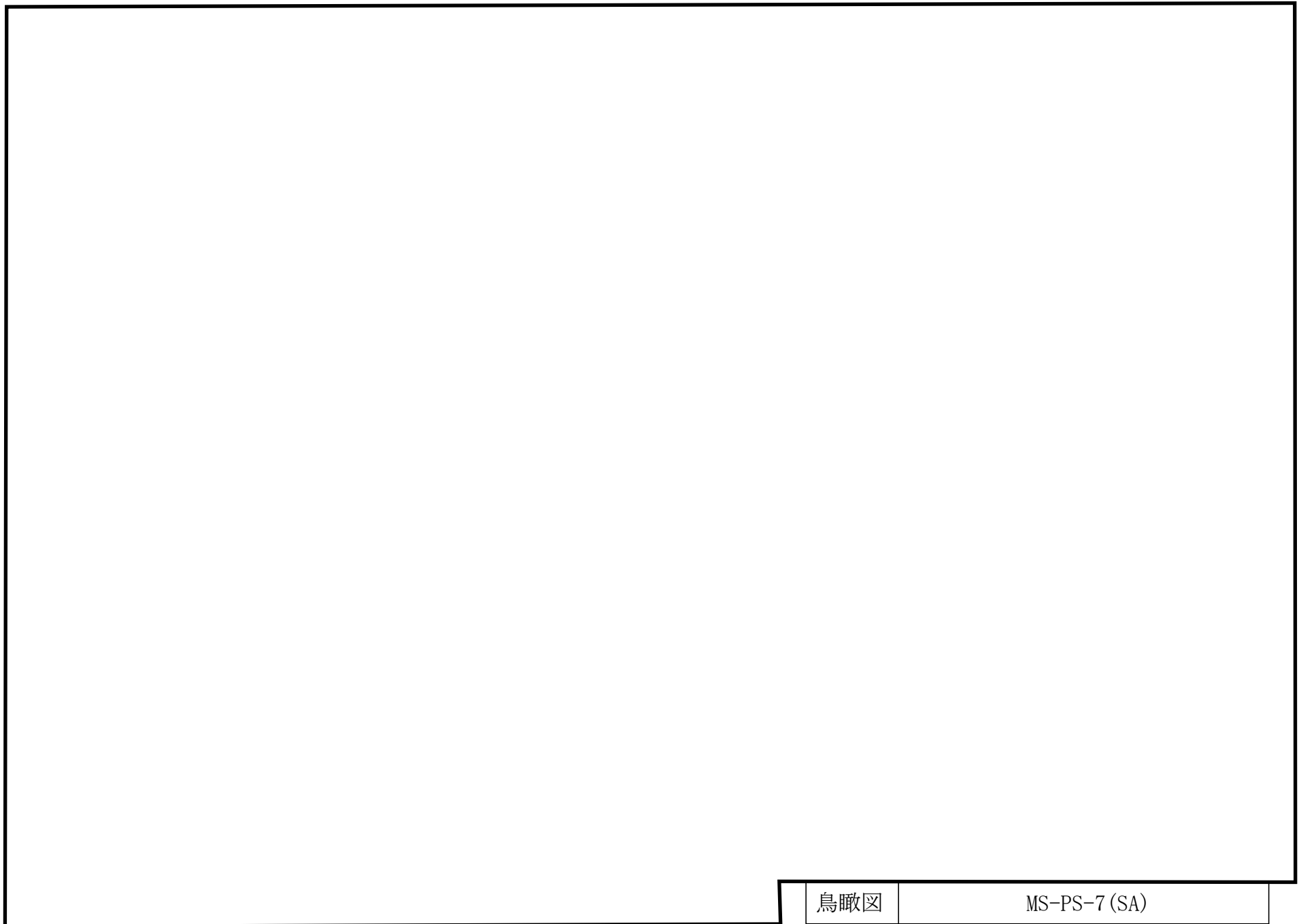






鳥瞰図

MS-PS-7 (DB)



鳥瞰図

MS-PS-7(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		—	$II_L + S_s$
						$I_L + S_s$		
						$IV_L(L) + S_d^{*6}$		V _A S
						$V_L(L) + S_d^{*6}$		
$V_L(LL) + S_s^{*6}$								
$V_L + S_s^{*8}$								

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 (LL) + 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 (LL) + 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
412						
4141						
** 417 **						
** 417 **						
418						
** 425 **						
** 425 **						
** 430 **						
** 438N **						
** 438N **						
** 438N **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R0

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
	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							

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	Y	Z	X	Y	Z
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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
212						
** 215 **						
** 220 **						
** 222 **						
** 222 **						
224						
2240						
228						
** 228 **						
** 235 **						
** 235 **						
** 240 **						
** 246N **						
** 246N **						
** 246N **						

S2 補 VI-2-5-3-1-2 R0

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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
** 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-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	2~9	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-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	2~9	267.4	15.1	STPT42	S	202000

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MS-PS-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	Y	Z	X	Y	Z
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
** 6 **						

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	—

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」に基づき策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」に基づき策定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	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				
MS-PD-2	ガンマ線遮蔽壁				
MS-PD-4	ガンマ線遮蔽壁				
MS-PS-7	原子炉建物				

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0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 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・C_I及び1.2・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。

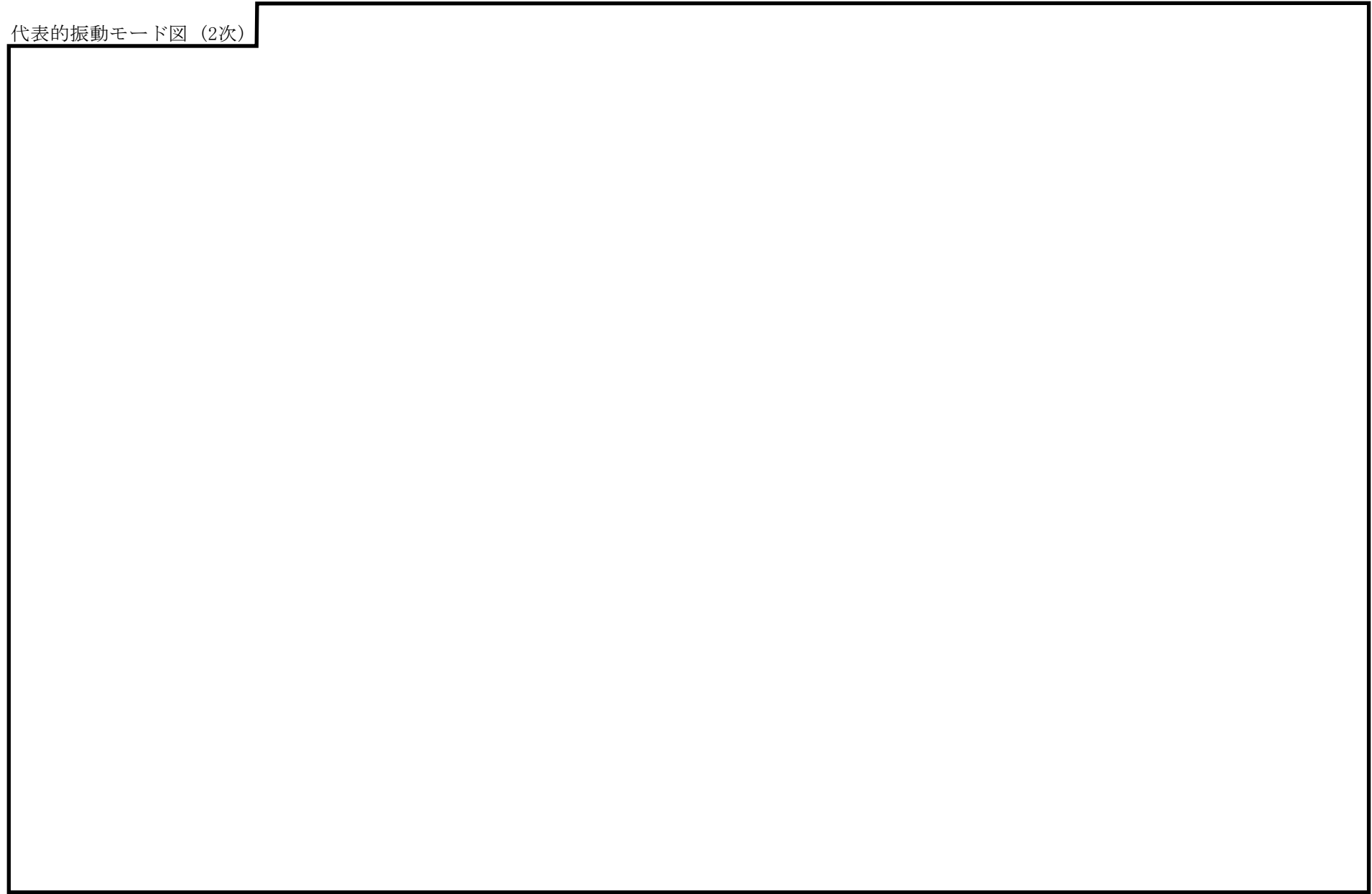
代表的振動モード図

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0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 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				
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0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 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。

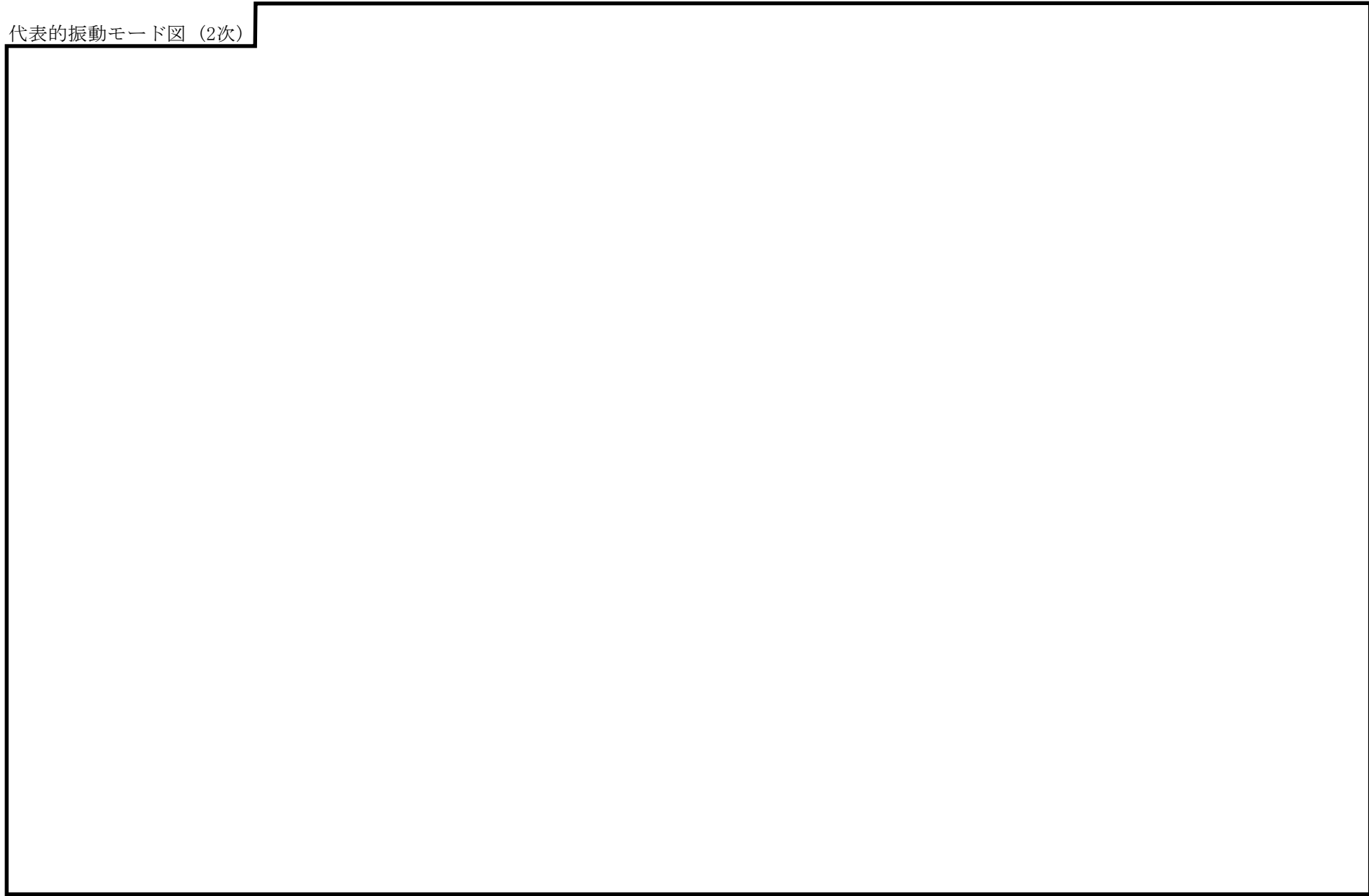
代表的振動モード図

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)

123

代表的振動モード図 (2次)



124

代表的振動モード図 (3次)

125

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MS-PS-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		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0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 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)

*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)

128

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

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-7	4	105	197	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	MS-PS-7	9	12	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

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	材質	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	274	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	材質	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

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	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	9.6	6.1	20.0	20.0	クーリング スプール	組合せ	242	305
RV202-1H	逃がし安全弁	α (S s) β (S s)	14.2	5.8	9.6	6.1	20.0	20.0	クーリング スプール	組合せ	207	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

α (S d)：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

β (S d)：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：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，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ことを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

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

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

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	4	105	197	1.87	○	9	12	394	32.83	—	○
2	MS-PS-9	3	100	197	1.97	—	7	12	394	32.83	—	—
3	MS-PS-10	11	94	197	2.09	—	9	11	394	35.81	—	—
4	MS-PS-12	11	95	197	2.07	—	9	11	394	35.81	—	—
5	MS-PS-15	9	93	197	2.11	—	9	12	394	32.83	—	—
6	MS-PS-17	3	100	197	1.97	—	7	12	394	32.83	—	—

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	4	130	363	2.79	—	9	28	394	14.07	—	—
6	MS-PS-9	3	123	363	2.95	—	7	29	394	13.58	—	—
7	MS-PS-10	11	95	363	3.82	—	9	22	394	17.90	—	—
8	MS-PS-12	11	96	363	3.78	—	9	22	394	17.90	—	—
9	MS-PS-15	9	119	363	3.05	—	9	28	394	14.07	—	—
10	MS-PS-17	3	123	363	2.95	—	7	29	394	13.58	—	—

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	13	81	363	4.48	—	10	21	394	18.76	—	—
6	MS-PS-7	4	130	363	2.79	—	9	28	394	14.07	—	—
7	MS-PS-8	13	81	363	4.48	—	9	22	394	17.90	—	—
8	MS-PS-9	3	123	363	2.95	—	7	29	394	13.58	—	—
9	MS-PS-10	11	95	363	3.82	—	9	22	394	17.90	—	—
10	MS-PS-11	9	120	363	3.02	—	9	30	394	13.13	—	—
11	MS-PS-12	11	96	363	3.78	—	9	22	394	17.90	—	—
12	MS-PS-13	9	120	363	3.02	—	9	30	394	13.13	—	—
13	MS-PS-14	13	81	363	4.48	—	10	21	394	18.76	—	—
14	MS-PS-15	9	119	363	3.05	—	9	28	394	14.07	—	—
15	MS-PS-16	13	81	363	4.48	—	9	22	394	17.90	—	—

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。

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	MS-PS-17	3	123	363	2.95	—	7	29	394	13.58	—	—

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	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	13	81	363	4.48	—	10	21	394	18.76	—	—
6	MS-PS-7	4	130	363	2.79	—	9	28	394	14.07	—	—
7	MS-PS-8	13	81	363	4.48	—	9	22	394	17.90	—	—
8	MS-PS-9	3	123	363	2.95	—	7	29	394	13.58	—	—
9	MS-PS-10	11	95	363	3.82	—	9	22	394	17.90	—	—
10	MS-PS-11	9	120	363	3.02	—	9	30	394	13.13	—	—
11	MS-PS-12	11	96	363	3.78	—	9	22	394	17.90	—	—
12	MS-PS-13	9	120	363	3.02	—	9	30	394	13.13	—	—
13	MS-PS-14	13	81	363	4.48	—	10	21	394	18.76	—	—
14	MS-PS-15	9	119	363	3.05	—	9	28	394	14.07	—	—
15	MS-PS-16	13	81	363	4.48	—	9	22	394	17.90	—	—

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。

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	MS-PS-17	3	123	363	2.95	—	7	29	394	13.58	—	—

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-2-5-5 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-2-5-5-5 低圧原子炉代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-5-2 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。





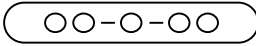
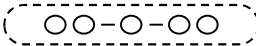

(3) 弁

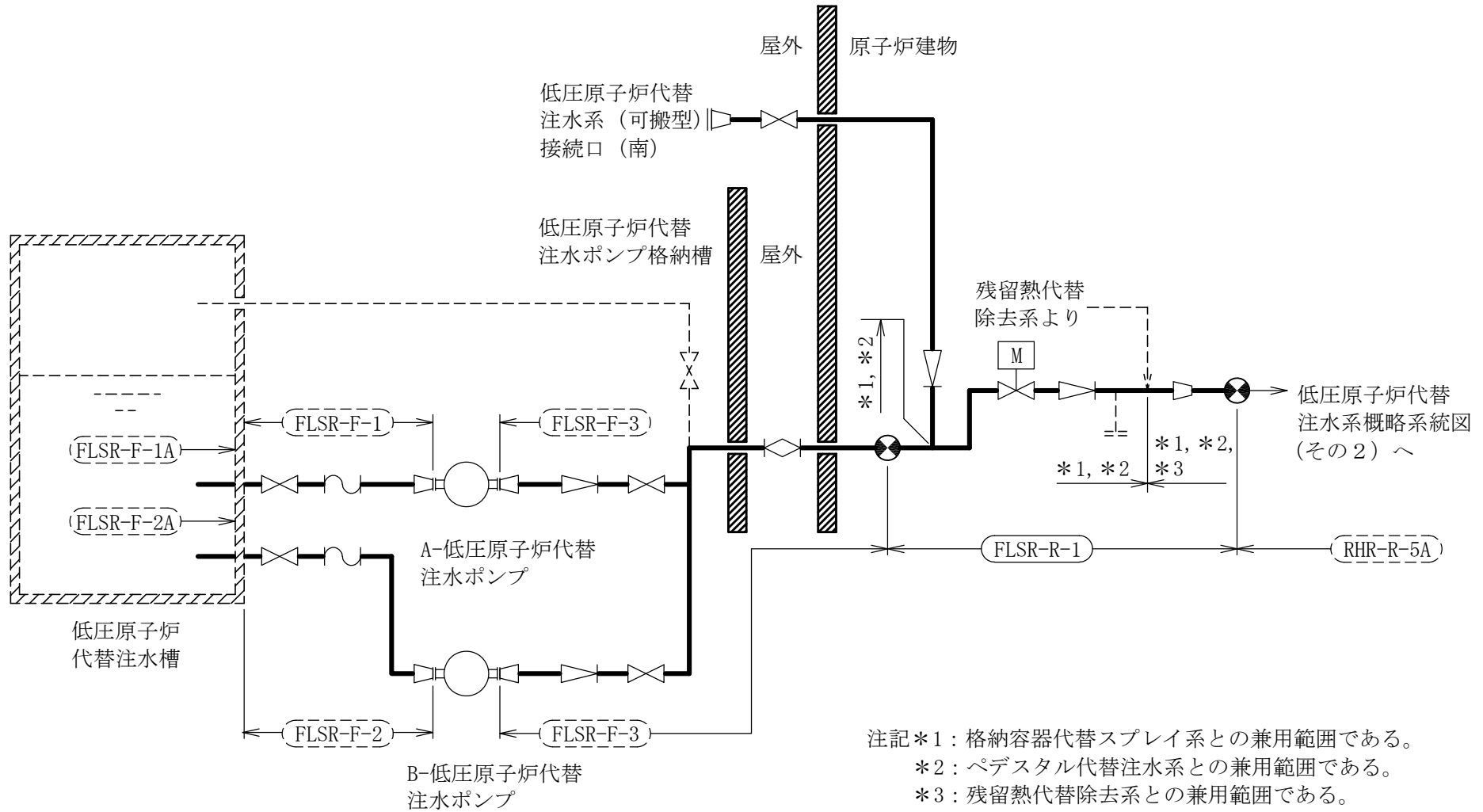
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

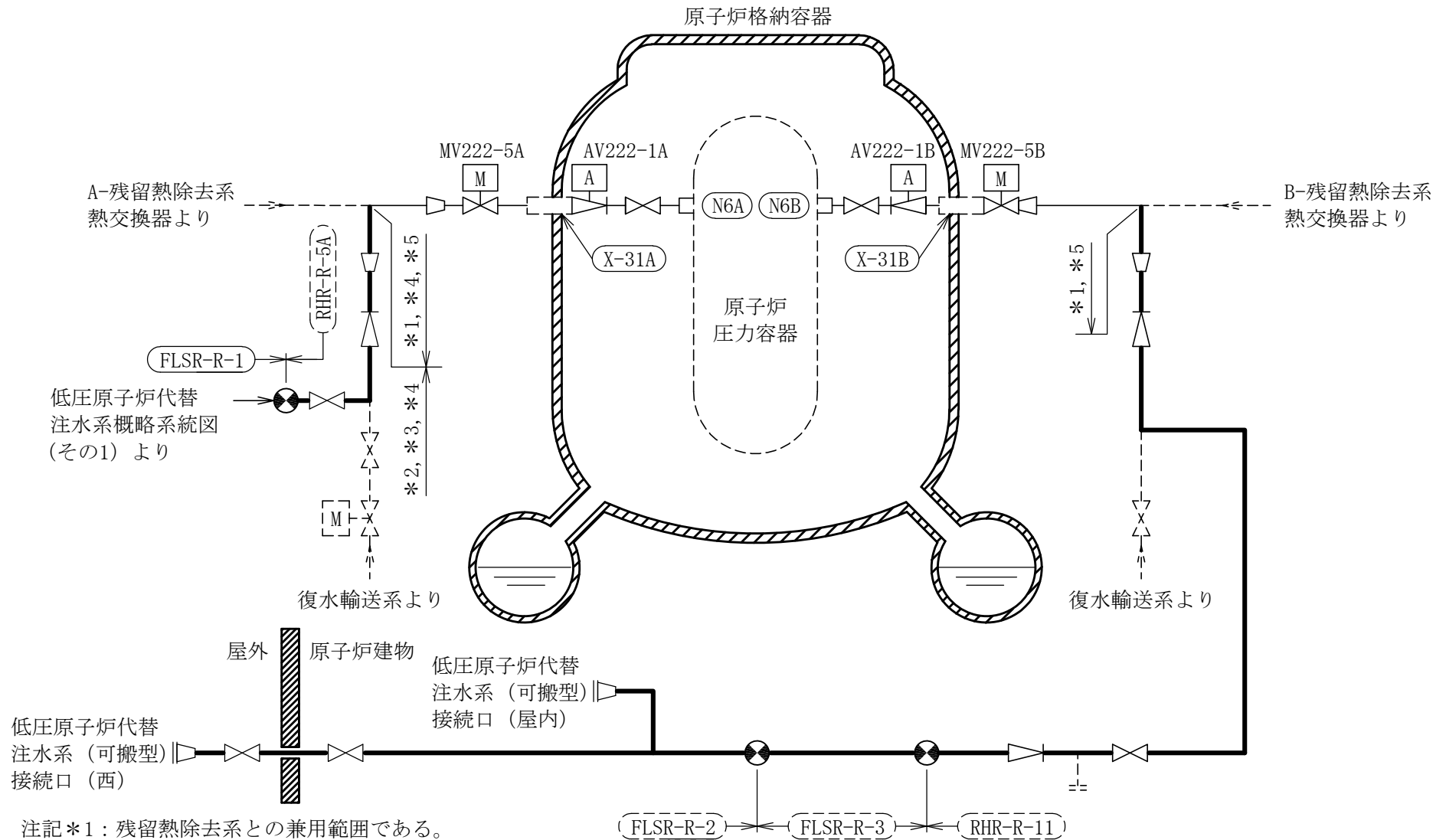
概略系統図記号凡例

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）





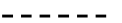


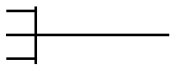
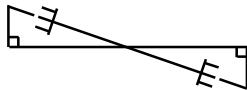
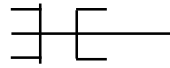
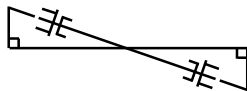

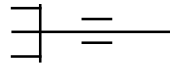
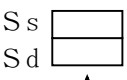

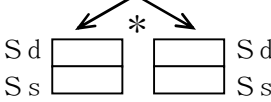
- 注記*1：残留熱除去系との兼用範囲である。
 *2：格納容器代替スプレイ系との兼用範囲である。
 *3：ペDESTAL代替注水系との兼用範囲である。
 *4：残留熱代替除去系との兼用範囲である。
 *5：計算結果は残留熱除去系に含めて示す。

[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

FLSR-R-1 (SA) (1/5)

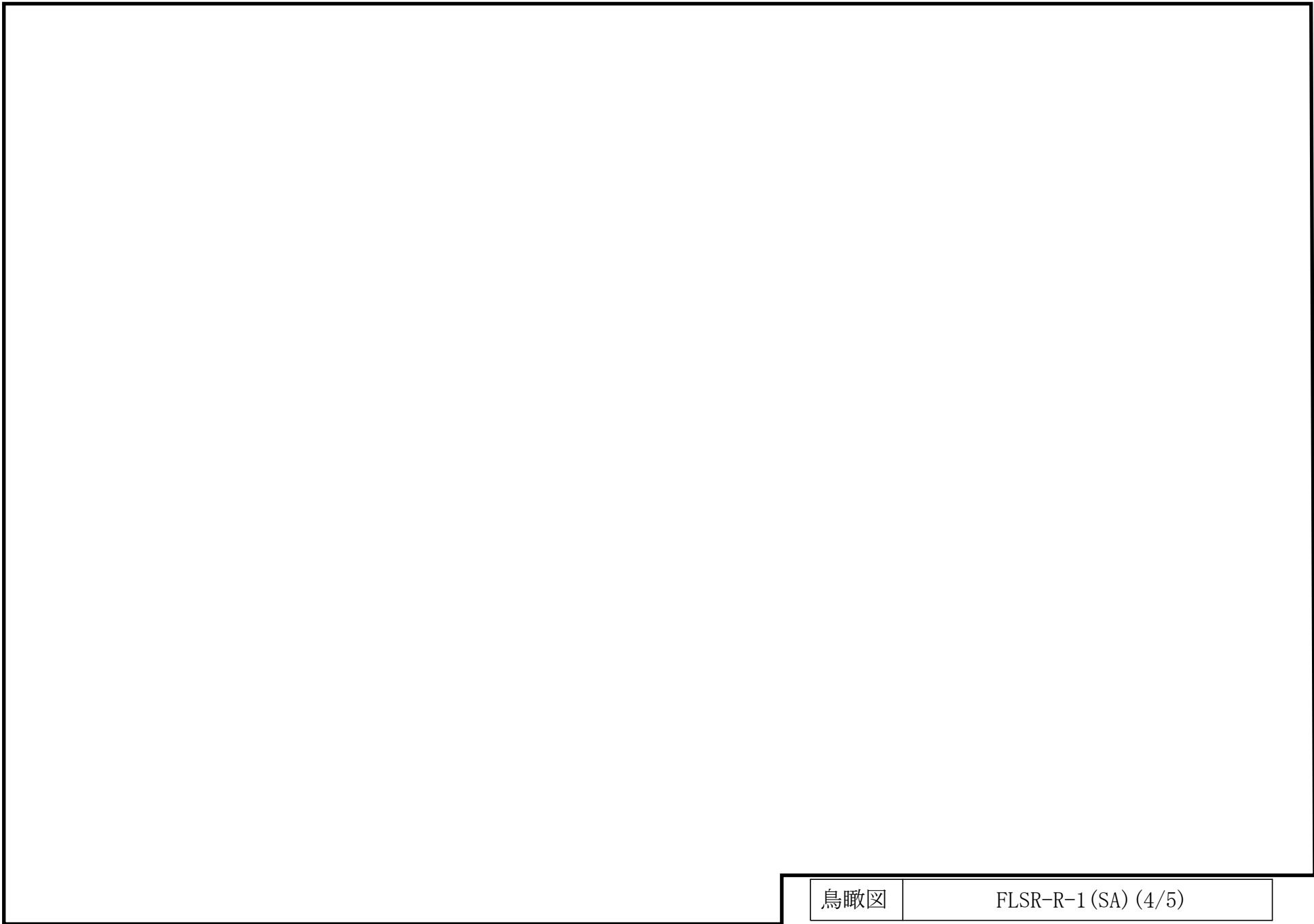
鳥瞰図

FLSR-R-1 (SA) (2/5)

∞

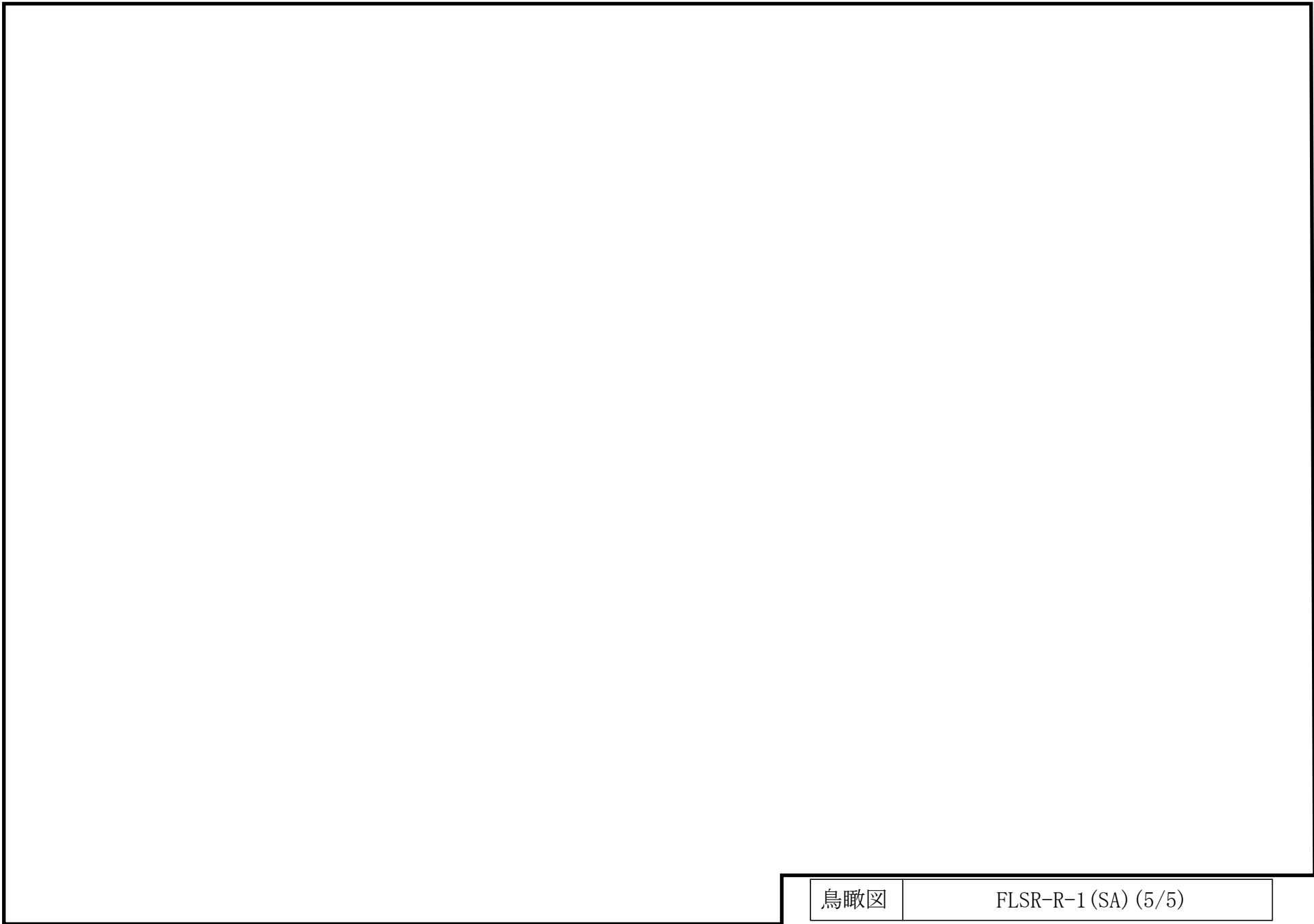
鳥瞰図

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
<input type="checkbox"/>	13F
<input type="checkbox"/>	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	Y	Z	X	Y	Z
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 R0

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	Y	Z	X	Y	Z
203						
206						
209						
213						
220						
228						
233						
241						
244						
247						

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」に基づき策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」に基づき策定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
FLSR-R-1	原子炉建物				

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0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s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

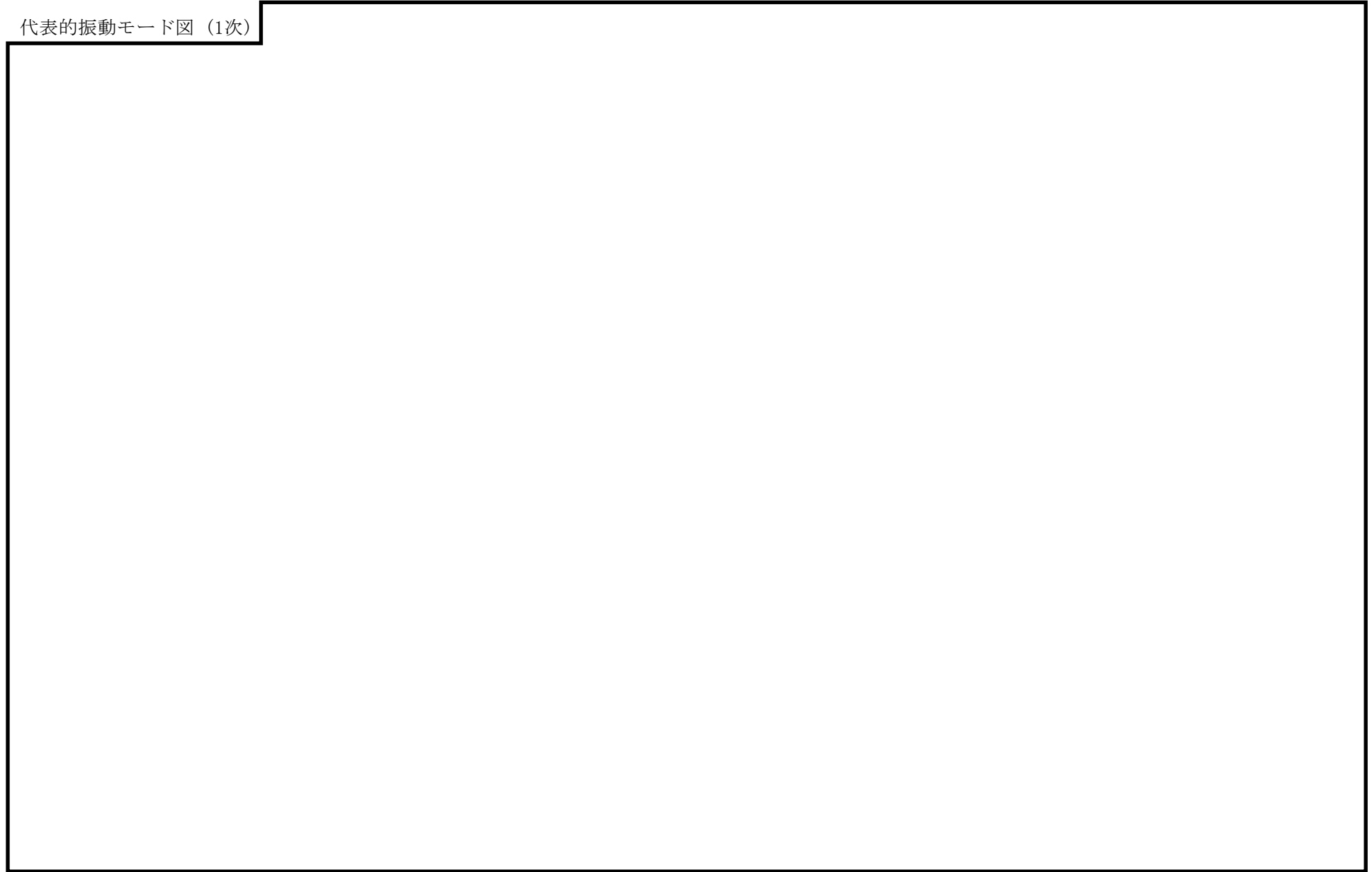
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

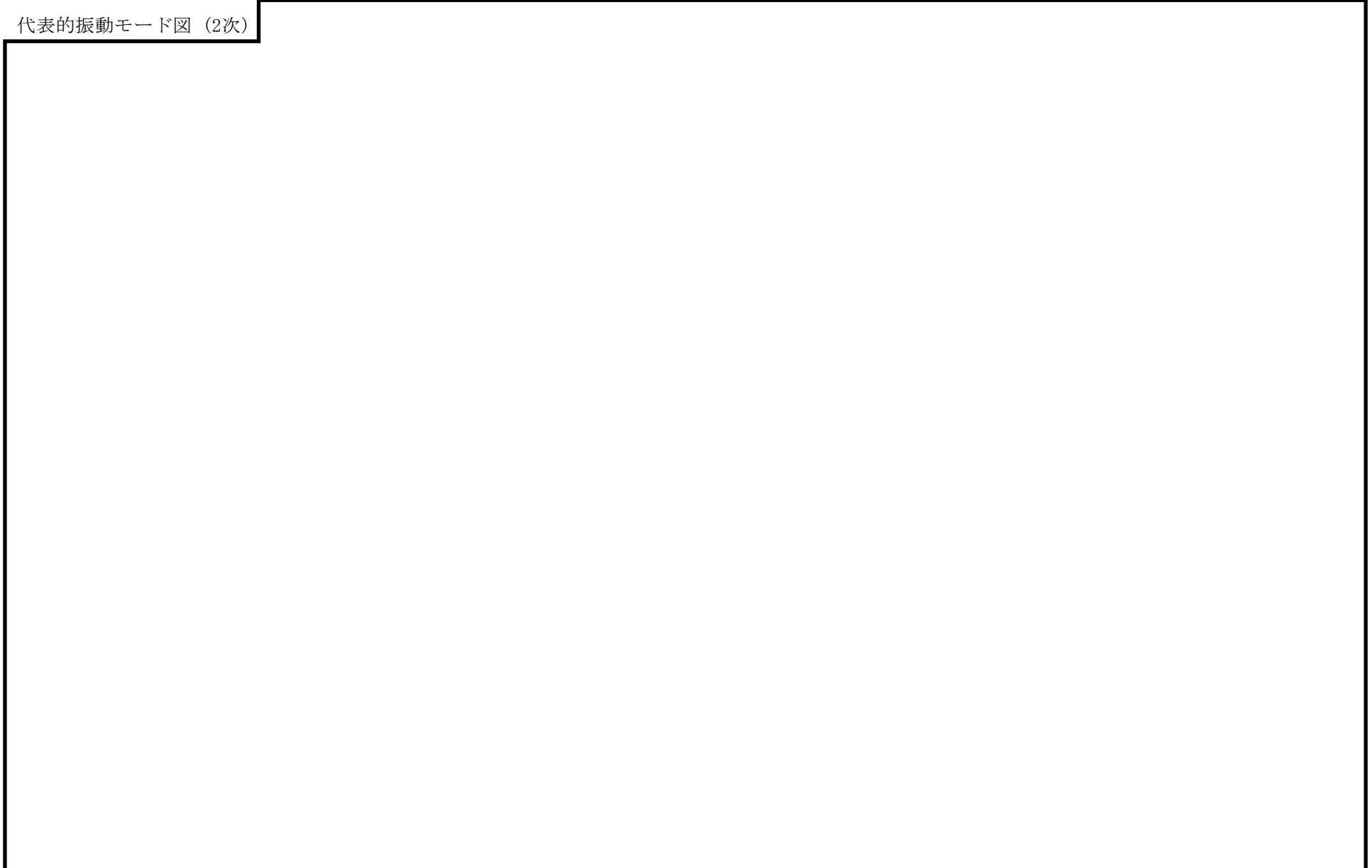
代表的振動モード図

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。

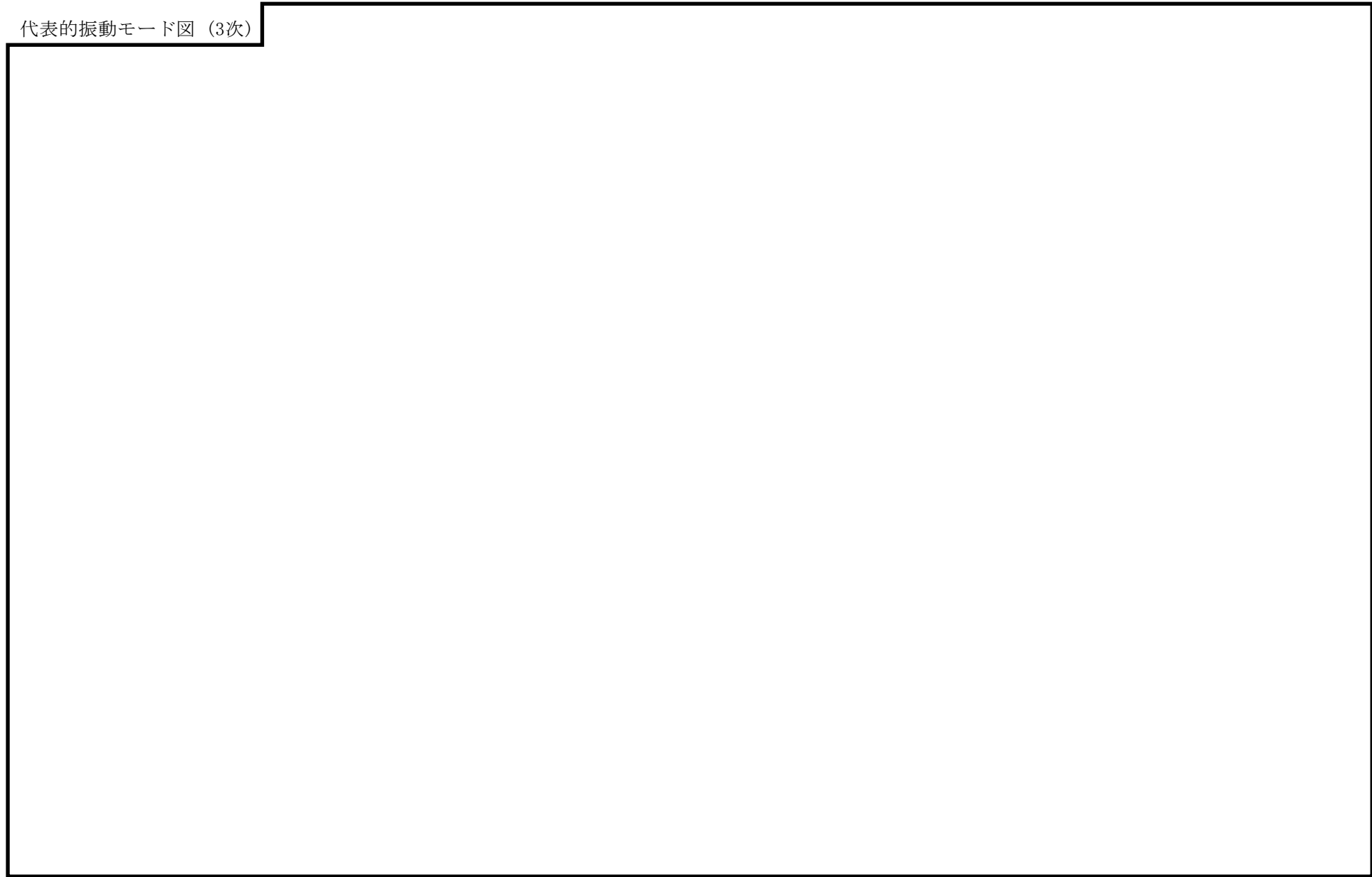
代表的振動モード図 (1次)



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	材質	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	材質	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-73	レストレイント	パイプバンド	STK400	100	44	14	0	—	—	—	圧縮	44	129
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

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	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

α (S d)：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

β (S d)：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：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，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ことを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

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	367	3.42	—	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	—	23N	34	376	11.05	—	—
7	FLSR-F-1A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
8	FLSR-F-2	2	26	431	16.57	—	23N	34	376	11.05	—	—
9	FLSR-F-2A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
10	FLSR-F-3	48	86	431	5.01	—	48	100	376	3.76	—	—

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	367	3.42	—	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	—	23N	34	376	11.05	—	—
7	FLSR-F-1A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
8	FLSR-F-2	2	26	431	16.57	—	23N	34	376	11.05	—	—
9	FLSR-F-2A	5	2	431	215.50	—	5	2	376	188.00	—	—
10	FLSR-F-3	48	86	431	5.01	—	48	100	376	3.76	—	—

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-2-5-7-1-3 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>The diagram illustrates the vertical assembly of the pump. At the top is the motor (原動機), which is secured to the pump (ポンプ) by motor mounting bolts (原動機取付ボルト). The pump is attached to the pump base (ポンプベース) using pump mounting bolts (ポンプ取付ボルト). The pump base is anchored to the foundation (基礎) with foundation bolts (基礎ボルト). Below the pump base is the column pipe (コラムパイプ), which 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 to the foundation with support foundation bolts (サポート基礎ボルト), which are noted as chemical anchors (ケミカルアンカ). The column pipe contains a rotor (ロータ) and is supported by a shaft support (軸受). Section lines A-A and B-B indicate the locations of the cross-sectional views shown to the left.</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

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
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	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	*2
ⅣAS				
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・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	*2

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 (RT) (MPa)
		最高使用温度					
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	—
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	—

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)
		最高使用温度					
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	—

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	0.113	-2.618	-2.618	—

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。

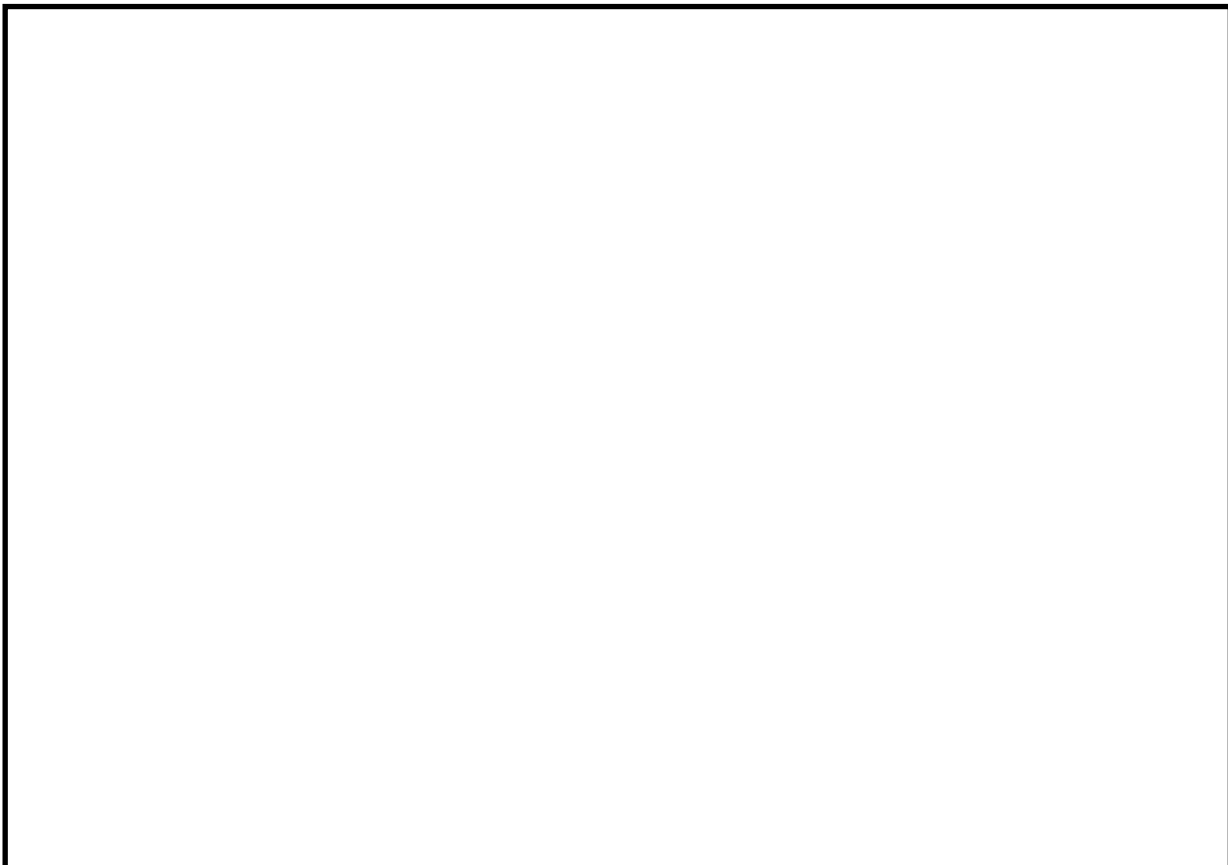


図 3-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.113s)

3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 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：0.113 ^{*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	0.113	6.19	6.74	—	6.19	6.74	—
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

*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：0.113 ^{*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	0.113	—	—	—	6.19	6.74	—
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

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	—
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*	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$M_{s C p j}$	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
$\sigma_{s b j}$	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。

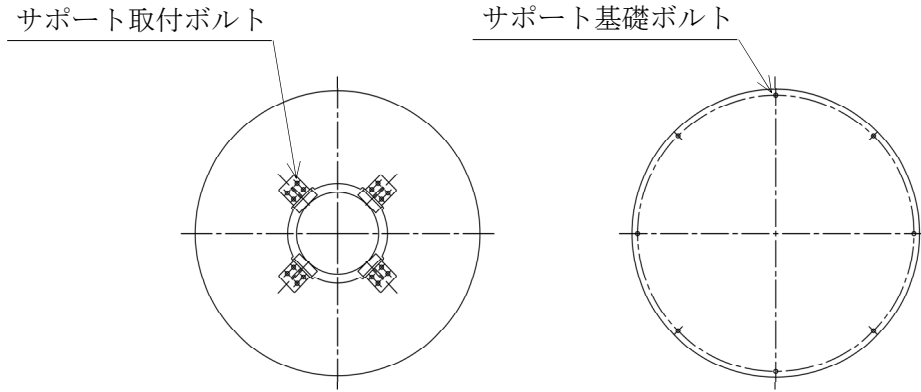


図 3-3 サポート部の応力計算モデル

(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

$$F_{sbj} =$$

$$\frac{\sqrt{M_{sj}^2 + (C_v \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2})^2} + M_{scpj} + (C_p - 1) \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{sfj} \cdot D_{sj}} \quad \dots\dots\dots (3.6.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{sbj} = \frac{F_{sbj}}{A_{sbj}} \quad \dots\dots\dots (3.6.2.2)$$

ここで，サポート部ボルトの軸断面積 A_{sbj} は次式により求める。

$$A_{sbj} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{sj}^2 \quad \dots\dots\dots (3.6.2.3)$$

(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【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	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	0.113	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 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)					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	205	246
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

(3) サポート部ボルト

部材	$m_{s j}$ (kg)	$D_{s j}$ (mm)	$d_{s j}$ (mm)	$A_{s b j}$ (mm ²)	$n_{s j}$	$n_{s f j}$	$S_{y j}$ (MPa)	$S_{u j}$ (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	205	246
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	205	246

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	$T_{H1}=0.113$
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	$\sigma_{b1}=79$	$f_{ts1}=153^*$	$\sigma_{b1}=79$	$f_{ts1}=184^*$
		せん断	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=29$	$f_{sb1}=142$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=66$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=142$
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	$\tau_{b4}=50$	$f_{sb4}=338$	$\tau_{b4}=50$	$f_{sb4}=338$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

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	$\sigma_{sb1}=32$	$f_{sts1}=123^*$	$\sigma_{sb1}=32$	$f_{sts1}=147^*$
		せん断	$\tau_{sb1}=37$	$f_{ssb1}=94$	$\tau_{sb1}=37$	$f_{ssb1}=113$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$
		せん断	$\tau_{sb2}=33$	$f_{ssb2}=118$	$\tau_{sb2}=33$	$f_{ssb2}=142$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{stsj}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj}-1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

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	$\sigma=53$	$S_a=240$
		基準地震動 S _s	$\sigma=53$	$S_a=240$

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 I（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			

(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			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			

(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	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(D B 拡張)	取水槽 EL 1.1*1	0.113	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 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

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)					8	8	—	198*1	504*1	—	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

(3) サポート部ボルト

部材	$m_{s j}$ (kg)	$D_{s j}$ (mm)	$d_{s j}$ (mm)	$A_{s b j}$ (mm ²)	$n_{s j}$	$n_{s f j}$	$S_{y j}$ (MPa)	$S_{u j}$ (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	$T_{H1}=0.113$
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	—	—	$\tau_{b4}=50$	$f_{sb4}=338$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

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	—	—	$\sigma_{sb1}=32$	$f_{sts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{sb1}=37$	$f_{ssb1}=113$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	—	—	$\sigma_{sb2}=-$	$f_{sts2}=-$
		せん断	—	—	$\tau_{sb2}=33$	$f_{ssb2}=142$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{stsj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj} - 1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

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	$\sigma = 53$	$S_a = 240$

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

(×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	1.40	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 I（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			

(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			
80			

(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

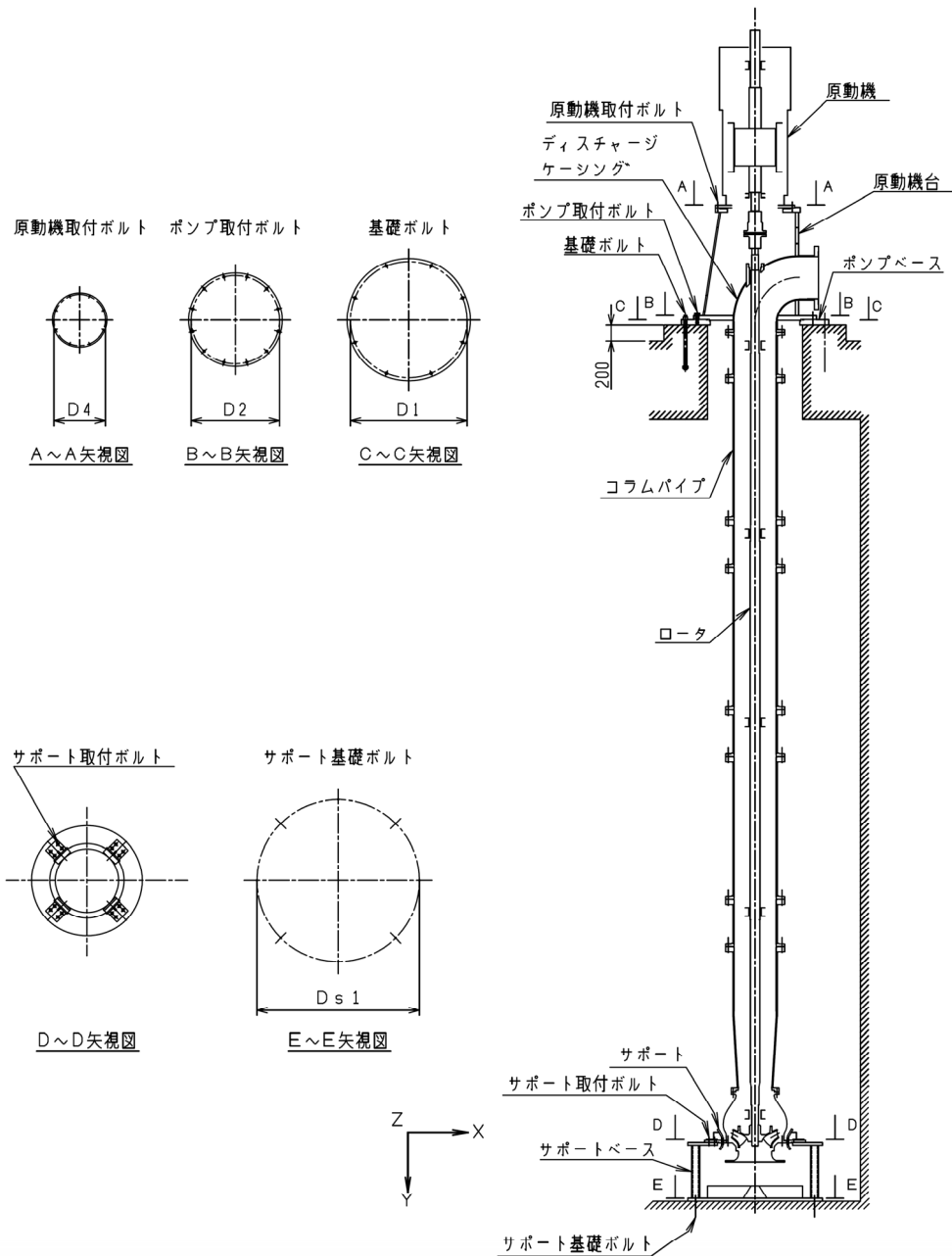
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(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	



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-2-6 計測制御系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-6-5 計測装置の耐震性についての計算書

VI-2-6-5-12 代替注水流量（常設）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 超音波パルス送受信器 (FE2B2-1)	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 構造計画	2
2.2.2 評価方針	4
2.2.3 適用規格・基準等	4
2.3 評価部位	4
2.4 機能維持評価	5
2.4.1 機能維持評価用加速度	5
2.4.2 機能確認済加速度	6
2.5 評価結果	7
2.5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	7

3. 流量変換器 (FX2B2-1)	9
3.1 概要	9
3.2 一般事項	9
3.2.1 構造計画	9
3.2.2 評価方針	11
3.2.3 適用規格・基準等	12
3.2.4 記号の説明	13
3.2.5 計算精度と数値の丸め方	14
3.3 評価部位	15
3.4 固有周期	16
3.4.1 固有周期の計算方法	16
3.4.2 固有周期の計算条件	17
3.4.3 固有周期の計算結果	17
3.5 構造強度評価	18
3.5.1 構造強度評価方法	18
3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	18
3.5.3 設計用地震力	22
3.5.4 計算方法	23
3.5.5 計算条件	25
3.5.6 応力の評価	26
3.6 機能維持評価	27
3.6.1 電氣的機能維持評価方法	27
3.7 評価結果	28
3.7.1 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、代替注水流量（常設）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。

代替注水流量（常設）は、超音波パルス送受信器及び流量変換器から構成される。代替注水流量（常設）の構造図を図1-1に示す。

「2. 超音波パルス送受信器（FE2B2-1）」においては、代替注水流量（常設）のうち超音波パルス送受信器が設計用地震力に対して十分な電気的機能を維持できることを説明する。電気的機能維持評価では、機能維持評価用加速度がすべて機能維持確認済加速度以下であることで評価する。

「3. 流量変換器（FX2B2-1）」においては、代替注水流量（常設）のうち流量変換器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。構造強度評価では、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について評価を実施する。電気的機能維持評価では、機能維持評価用加速度がすべて機能維持確認済加速度以下であることで評価する。

超音波パルス送受信器及び流量変換器は、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及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、超音波パルス送受信器は重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。流量変換器は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。

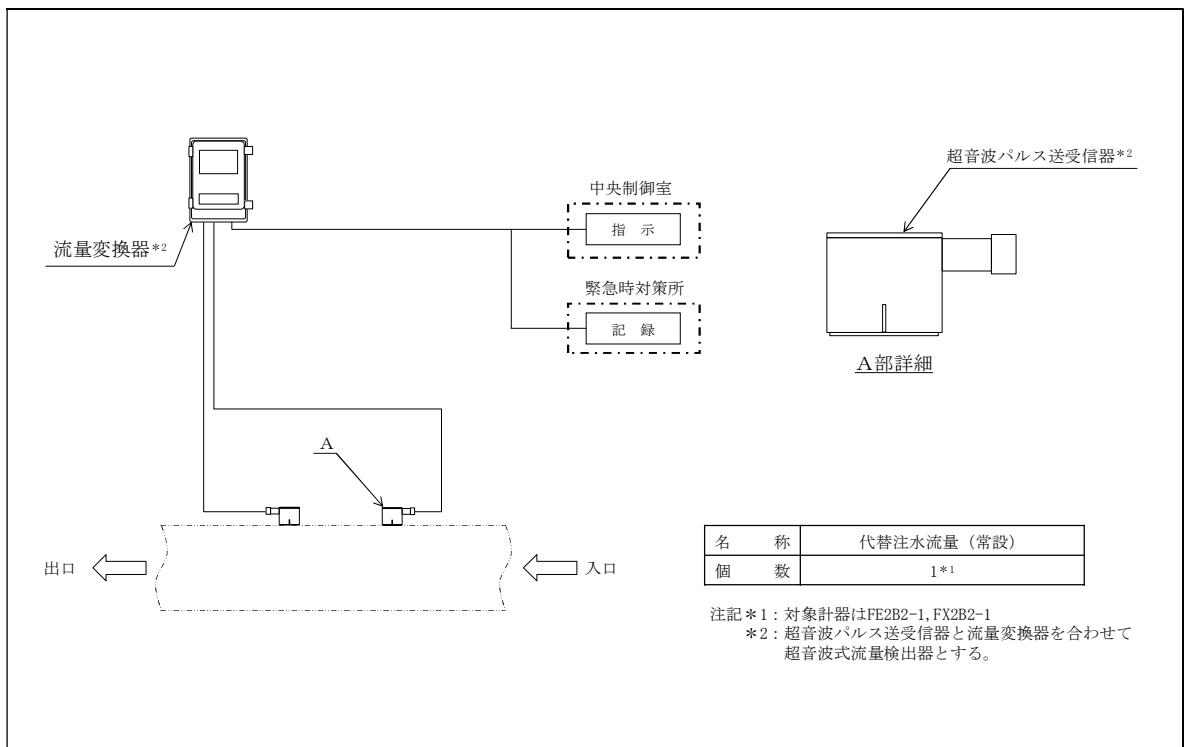


図1-1 代替注水流量（常設）の構造図

2. 超音波パルス送受信器 (FE2B2-1)

2.1 概要

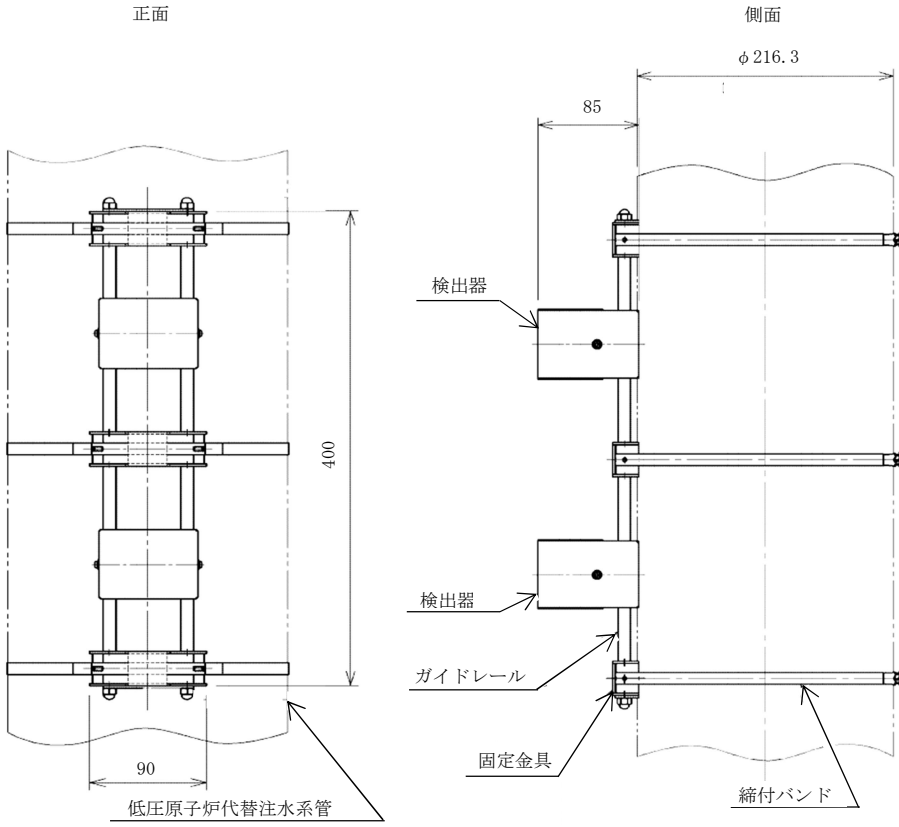
本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、超音波パルス送受信器が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を維持できることを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

超音波パルス送受信器の構造計画を表 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>検出器は、低圧原子炉代替注水系管にガイドレールと固定金具と共に締付バンドで固定する。</p>	<p>超音波式流量検出器</p>	 <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2.2 評価方針

超音波パルス送受信器の機能維持評価は、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、「2.4 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「2.5 評価結果」に示す。

超音波パルス送受信器の耐震評価フローを図2-1に示す。

なお、超音波パルス送受信器は、小型で軽量であることから十分に剛であるとみなせるため、固有周期の計算は省略し、設置位置の最大応答加速度を適用する。

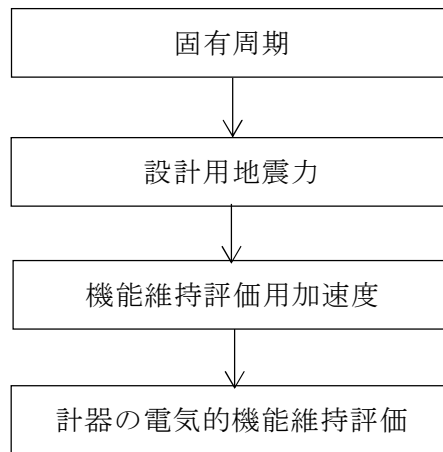


図2-1 超音波パルス送受信器の耐震評価フロー

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）

2.3 評価部位

超音波パルス送受信器は、低圧原子炉代替注水系管に締付バンドで固定されることから、低圧原子炉代替注水系管が支持している。低圧原子炉代替注水系管の構造強度評価は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）」にて実施しているため、本計算書では、低圧原子炉代替注水系管の地震応答解析結果を用いた超音波パルス送受信器の電氣的機能維持評価について示す。

2.4 機能維持評価

超音波パルス送受信器の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

2.4.1 機能維持評価用加速度

超音波パルス送受信器は低圧原子炉代替注水系管に締付バンドで固定されることから、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超音波パルス送受信器取付部の質点に生じる応答加速度のいずれか大きい値とする。機能維持評価用加速度を表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-2 機能維持評価用加速度（検出器取付箇所の配管に生じる応答加速度）

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持評価用加速度
超音波パルス 送受信器 (FE2B2-1)	低圧原子炉代替注水 系管 (FLSR-F-3) EL 8.5407	水平	4.00
		鉛直	3.00

表 2-3 機能維持評価用加速度（基準地震動 S_s により定まる応答加速度）

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持評価用加速度
超音波パルス 送受信器 (FE2B2-1)	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 8.2 (EL 14.7*)	水平	1.92
		鉛直	1.50

注記*：基準床レベルを示す。

2.4.2 機能確認済加速度

超音波パルス送受信器の機能確認済加速度には、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同型式の検出器単体のサインビート波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-4 に示す。

表 2-4 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
超音波パルス送受信器 (FE2B2-1)	水平	□
	鉛直	□

2.5 評価結果

2.5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

超音波パルス送受信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。機能維持評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 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。

【超音波パルス送受信器 (FE2B2-1) 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 電氣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
超音波パルス送受信器 (FE2B2-1)	水平方向	4.00	<input type="checkbox"/>
	鉛直方向	3.00	<input type="checkbox"/>

注記*：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超音波パルス送受信器取付部の質点に生じる応答加速度のいずれか大きい値とする。

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。

3. 流量変換器 (FX2B2-1)

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、流量変換器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。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

流量変換器の構造計画を表 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	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、計器取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。 計器スタンションは、基礎ボルトで壁に設置する。</p>	<p>超音波式流量検出器</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>正面</p> <p>(左右方向)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>側面</p> <p>(前後方向)</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3.2.2 評価方針

流量変換器の応力評価は、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、「3.2.1 構造計画」にて示す流量変換器の部位を踏まえ「3.3 評価部位」にて設定する箇所において、「3.4 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、「3.5 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、流量変換器の機能維持評価は、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、「3.6 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「3.7 評価結果」に示す。

流量変換器の耐震評価フローを図3-1に示す。

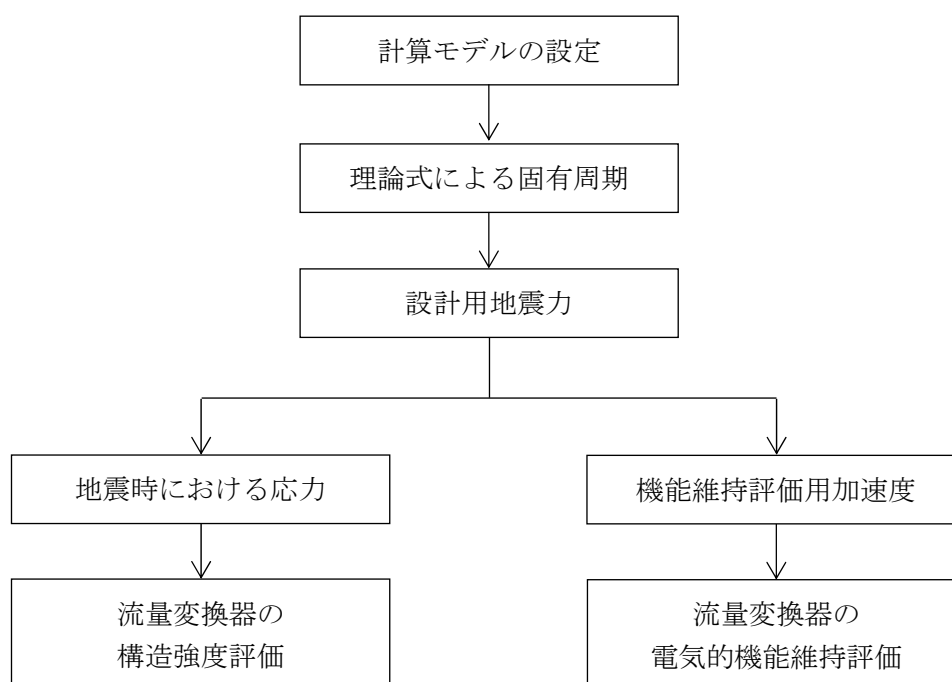


図3-1 流量変換器の耐震評価フロー

3.2.3 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。）

3.2.4 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
b	サポート鋼材断面幅 (Z方向)	mm
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
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	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	サポート鋼材断面高さ (Y方向)	mm
h_2	取付面から重心までの距離 (壁掛形)	mm
I_1	断面二次モーメント (水平方向)	
I_2	断面二次モーメント (鉛直方向)	
l_3	重心と下側ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
l_a	側面 (左右) ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
l_b	上下ボルト間の距離 (壁掛形)	mm
m	計器スタンションの質量	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 (前後方向転倒) (壁掛形)	—
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 (左右方向転倒) (壁掛形)	—
Q_b	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
T_V	鉛直方向固有周期	s
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

3.2.5 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 3-2 に示すとおりである。

表 3-2 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
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。

3.3 評価部位

流量変換器の耐震評価は、「3.5.1 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。

流量変換器の耐震評価部位については、表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4 固有周期

3.4.1 固有周期の計算方法

流量変換器の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 計器スタンションの質量は重心に集中するものとする。
- b. 計器スタンションの質量は上下のサポート鋼材それぞれ均等に加わるものとする。
- c. 計器スタンションは基礎ボルトで壁面に固定されており、固定端とする。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- e. 計器スタンションは、図 3-2 に示す側面端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

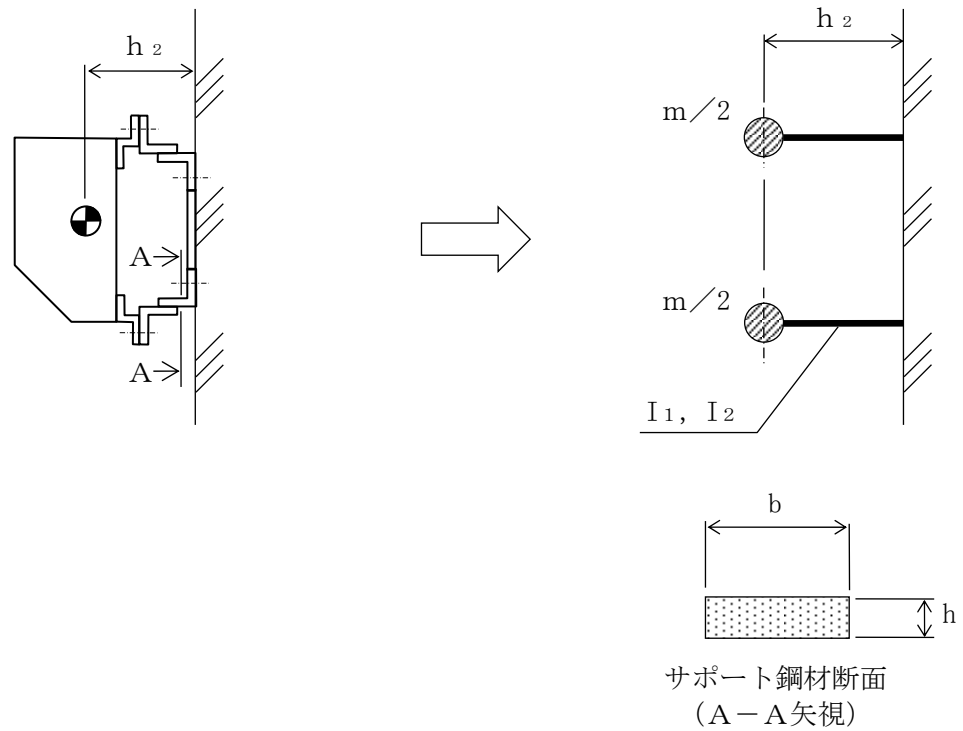


図 3-2 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(m/2)}{1000} \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I_1}\right)} \dots\dots\dots (3.4.1.1)$$

ここで、 I_1 は以下とする。

$$I_1 = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot h \dots\dots\dots (3.4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{(m/2)}{1000} \cdot \left(\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I_2}\right)} \dots\dots\dots (3.4.1.3)$$

ここで、 I_2 は以下とする。

$$I_2 = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \dots\dots\dots (3.4.1.4)$$

3.4.2 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【流量変換器 (FX2B2-1) の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

3.4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-3 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 3-3 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、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) 計器スタンションは基礎ボルトで壁面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、左右方向及び前後方向について検討する。
- (5) 計器スタンション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。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

流量変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 3-4 に示す。

3.5.2.2 許容応力

流量変換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-5 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

流量変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 3-6 に示す。

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
計測制御 系統施設	計測装置	流量変換器	常設耐震／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：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
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-7 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 3-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	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
流量変換器	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽 EL 8.2 (EL 14.7* ¹)			—	—	C _H = 2.31* ²	C _V = 1.80* 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）

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 応力の計算方法

3.5.4.1.1 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。

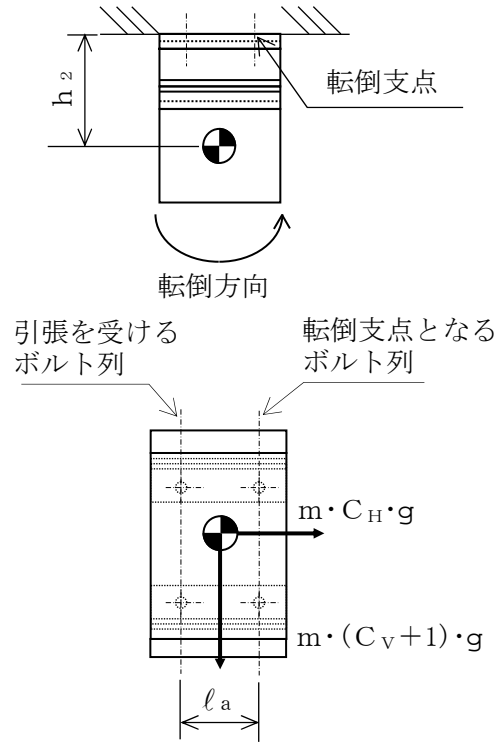


図3-3 計算モデル（左右方向転倒）

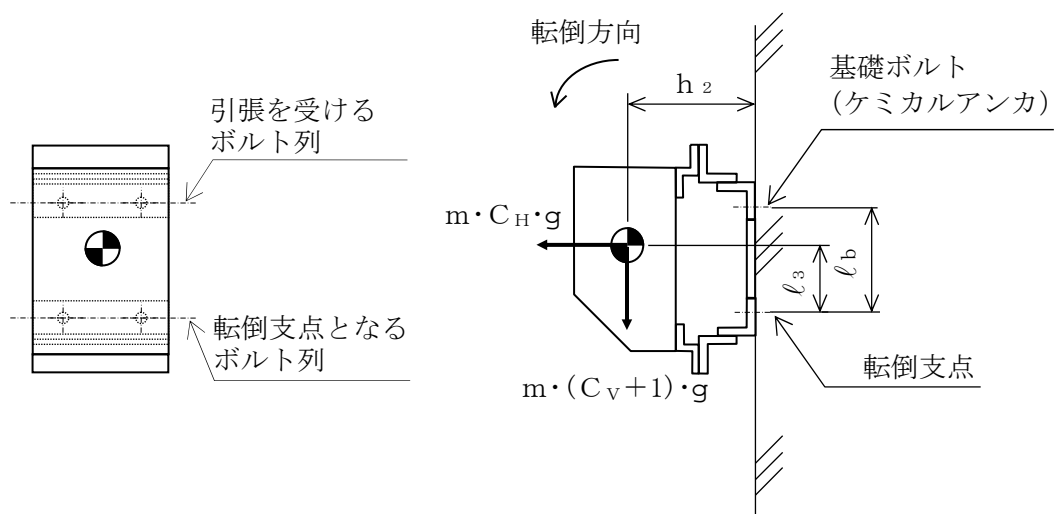


図3-4 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図3-3及び図3-4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

計算モデル図3-3の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot l_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図3-4の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot l_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.5)$$

ただし、 F_b が負のとき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、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.9)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 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【流量変換器 (FX2B2-1) 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。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

3.5.4.1.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (3.5.6.1.1)$$

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。

$\begin{array}{l} \text{許容引張応力} \\ f_{to} \end{array}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
$\begin{array}{l} \text{許容せん断応力} \\ f_{sb} \end{array}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.6 機能維持評価

3.6.1 電氣的機能維持評価方法

流量変換器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。

流量変換器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 3-8 に示す。

表 3-8 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
流量変換器 (FX2B2-1)	水平	
	鉛直	

3.7 評価結果

3.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

流量変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。

【流量変換器 (FX2B2-1) 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	
流量変換器 (FX2B2-1)	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 8.2 (EL 14.7*1)			—	—	C _H =2.31*2	C _V =1.80*2	50

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 ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		155	12 (M12)	113.1	4	241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)

29

部材	ℓ ₃ * (mm)	ℓ _a * (mm)	ℓ _b * (mm)	n _{fV} *	n _{fH} *	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	97	150	170	2	2	—	276	—	左右方向
	97	150	170	2	2				

注記*: 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。

E (MPa)	b (mm)	h (mm)	I ₁ (mm ⁴)	I ₂ (mm ⁴)
201000				

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	—		—	

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b=5$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=127$

すべて許容応力以下である。

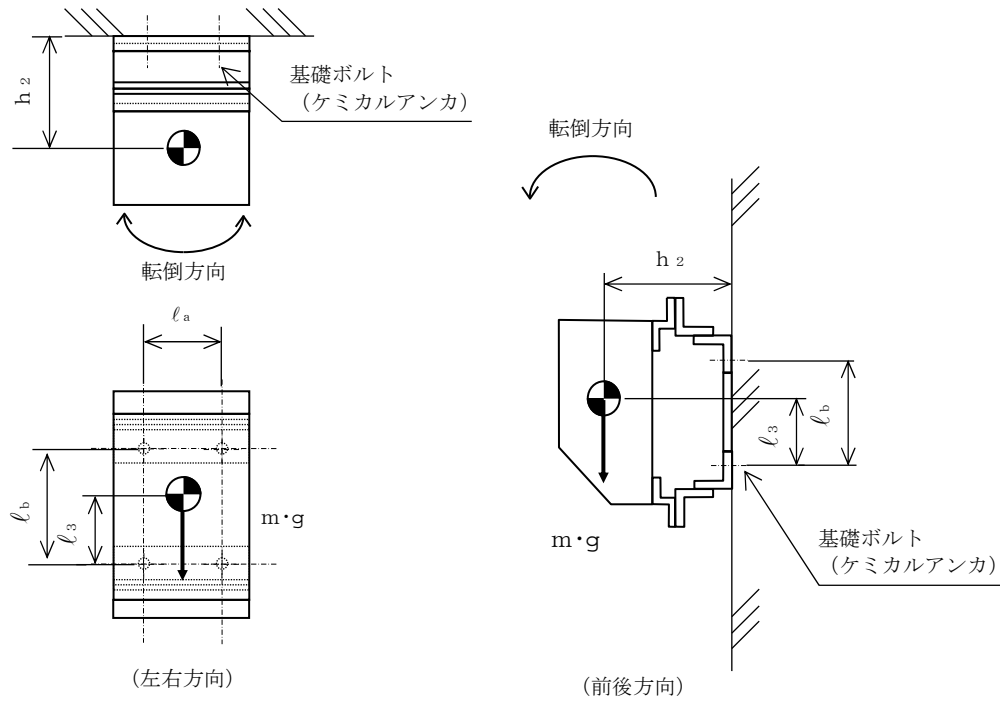
注記*： $f_{ts}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{to}-1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

30

1.4.3 電氣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
流量変換器 (FX2B2-1)	水平方向	1.92	
	鉛直方向	1.50	

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-2-6-5-36 低圧原子炉代替注水槽水位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 固有周期の確認	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. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

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槽水位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。

低圧原子炉代替注水槽水位は、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電気的機能維持評価を示す。

なお、低圧原子炉代替注水槽水位は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計装ラックであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラック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

低圧原子炉代替注水槽水位の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、取付板取付ボルトにより箱形計器ステーションに固定される。</p> <p>箱形計器ステーションは、チャンネルベースに箱形計器ステーション取付ボルトで固定され、チャンネルベースは、基礎ボルトで基礎に設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【低圧原子炉代替注水槽水位】</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

低圧原子炉代替注水槽水位が設置される箱形スタンションの固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期

(単位：s)

低圧原子炉代替注水槽水位 (LX2B2-1)	水平	
	鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

低圧原子炉代替注水槽水位の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラック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。

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

低圧原子炉代替注水槽水位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

低圧原子炉代替注水槽水位の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

低圧原子炉代替注水槽水位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。

4.3 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槽水位 (LX2B2-1) 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
計測制御 系統施設	計測装置	低圧原子炉代替注水槽水位	常設耐震／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：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 4-2 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
IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 4-3 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	50	241	394	—
取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

低圧原子炉代替注水槽水位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-7 計装ラック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。

箱形計器スタンションに設置される検出器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 5-1 に示す。

表 5-1 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
低圧原子炉代替注水槽水位 (LX2B2-1)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 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槽水位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、電気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

電気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槽水位 (LX2B2-1) 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	
低圧原子炉代替注水槽水位 (LX2B2-1)	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			—	—	C _H =1.52* ²	C _V =2.67* ²	50

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

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)		360	12 (M12)	113.1	4	241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)
取付ボルト (i=2)		285	10 (M10)	78.54	6	231 (16<径≦40mm)	394 (16<径≦40mm)

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)	100	130	2	—	276	—	短辺方向
	250	310	2				
取付ボルト (i=2)	110	140	2	—	276	—	短辺方向
	195	255	3				

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)	—		—	
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)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=10$	$f_{ts1}=165^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=3$	$f_{sb1}=127$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=159$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

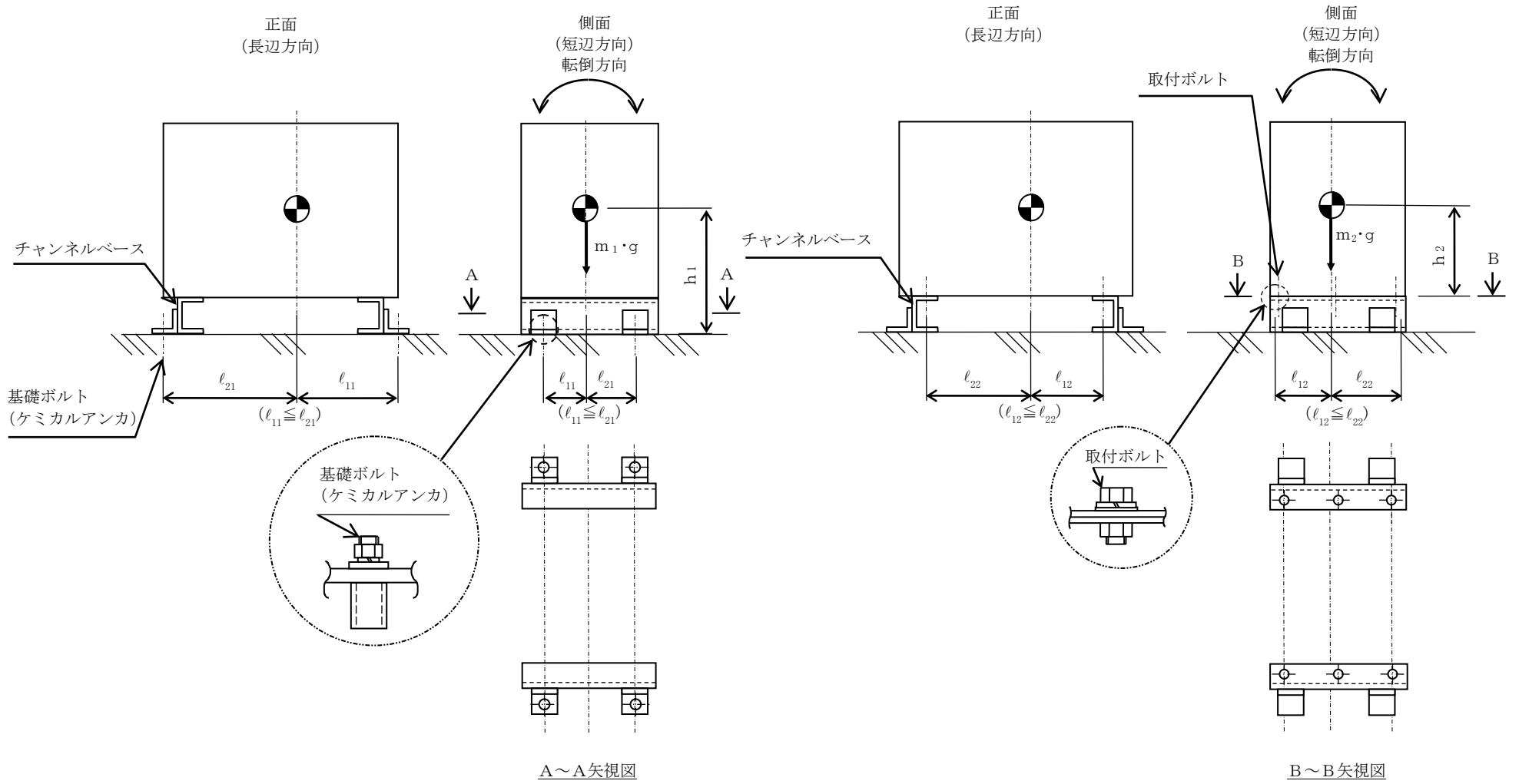
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
低圧原子炉代替注水槽水位 (LX2B2-1)	水平方向	2.13	
	鉛直方向	2.67	

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

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-2-6-5-47 スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書

目 次

1.	スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LX293-2A)	1
1.1	概要	1
1.2	一般事項	1
1.2.1	構造計画	1
1.3	固有周期	3
1.3.1	固有周期の確認	3
1.4	構造強度評価	4
1.4.1	構造強度評価方法	4
1.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	4
1.4.3	計算条件	4
1.5	機能維持評価	8
1.5.1	電氣的機能維持評価方法	8
1.6	評価結果	9
1.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	9

2. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LX293-2B)	12
2.1 概要	12
2.2 一般事項	12
2.2.1 構造計画	12
2.2.2 評価方針	14
2.2.3 適用規格・基準等	15
2.2.4 記号の説明	16
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	18
2.3 評価部位	19
2.4 固有周期	19
2.4.1 基本方針	19
2.4.2 固有周期の確認方法	19
2.4.3 固有周期の確認結果	19
2.5 構造強度評価	20
2.5.1 構造強度評価方法	20
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	20
2.5.3 設計用地震力	24
2.5.4 計算方法	25
2.5.5 計算条件	30
2.5.6 応力の評価	31
2.6 機能維持評価	33
2.6.1 電氣的機能維持評価方法	33
2.7 評価結果	34
2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	34

3.	スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LX293-2C, D)	38
3.1	概要	38
3.2	一般事項	38
3.2.1	構造計画	38
3.2.2	評価方針	40
3.2.3	適用規格・基準等	41
3.2.4	記号の説明	42
3.2.5	計算精度と数値の丸め方	43
3.3	評価部位	44
3.4	固有周期	44
3.4.1	基本方針	44
3.4.2	固有周期の確認方法	44
3.4.3	固有周期の確認結果	44
3.5	構造強度評価	45
3.5.1	構造強度評価方法	45
3.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	45
3.5.3	設計用地震力	49
3.5.4	計算方法	50
3.5.5	計算条件	53
3.5.6	応力の評価	53
3.6	機能維持評価	54
3.6.1	電氣的機能維持評価方法	54
3.7	評価結果	55
3.7.1	設計基準対象施設としての評価結果	55

4. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LS293-3A, B)	60
4.1 概要	60
4.2 一般事項	60
4.2.1 構造計画	60
4.2.2 評価方針	63
4.2.3 適用規格・基準等	64
4.2.4 記号の説明	65
4.2.5 計算精度と数値の丸め方	67
4.3 評価部位	68
4.4 固有周期	69
4.4.1 固有値解析方法	69
4.4.2 解析モデル及び諸元	69
4.4.3 固有値解析結果	71
4.5 構造強度評価	72
4.5.1 構造強度評価方法	72
4.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	72
4.5.3 設計用地震力	76
4.5.4 計算方法	77
4.5.5 計算条件	82
4.5.6 応力の評価	82
4.6 機能維持評価	83
4.6.1 電氣的機能維持評価方法	83
4.7 評価結果	84
4.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	84

5. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LS293-3C, D)	89
5.1 概要	89
5.2 一般事項	89
5.2.1 構造計画	89
5.2.2 評価方針	91
5.2.3 適用規格・基準等	92
5.2.4 記号の説明	93
5.2.5 計算精度と数値の丸め方	94
5.3 評価部位	95
5.4 固有周期	96
5.4.1 固有値解析方法	96
5.4.2 解析モデル及び諸元	96
5.4.3 固有値解析結果	97
5.5 構造強度評価	98
5.5.1 構造強度評価方法	98
5.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	98
5.5.3 設計用地震力	102
5.5.4 計算方法	103
5.5.5 計算条件	108
5.5.6 応力の評価	108
5.6 機能維持評価	109
5.6.1 電氣的機能維持評価方法	109
5.7 評価結果	110
5.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	110

1. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書（LX293-2A）

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、スクラム排水容器水位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。

スクラム排水容器水位は、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、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、スクラム排水容器水位は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計器スタンションであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンション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。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

スクラム排水容器水位の構造計画を表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	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、取付板取付ボルトにより計器ステーションに固定される。 計器ステーションは、基礎ボルトで床に設置する。</p>	<p>スクラム排水容器 水位検出器</p>	<p>【スクラム排水容器水位】</p> <p>(単位：mm)</p>

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の確認

スクラム排水容器水位の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 1-2 に示す。

表 1-2 固有周期 (単位 : s)

スクラム排水容器水位 (LX293-2A)	水平	
	鉛直	

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

スクラム排水容器水位の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンション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。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

スクラム排水容器水位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 1-3 に示す。

1.4.2.2 許容応力

スクラム排水容器水位の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 1-4 のとおりとする。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

スクラム排水容器水位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 1-5 に示す。

1.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【スクラム排水容器水位 (LX293-2A) 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 1-3 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
計測制御 系統施設	原子炉非常 停止信号	スクラム排水容器水位高	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 1-4 許容応力（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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 1-5 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記* : SS400 相当

1.5 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

スクラム排水容器水位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-8 計器スタンション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。

計器スタンションに設置される検出器の水平方向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、同形式の検出器単体のサインビート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。計器スタンションに設置される検出器の鉛直方向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、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 1-6 に示す。

表 1-6 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
スクラム排水容器水位 (LX293-2A)	水平	
	鉛直	

1.6 評価結果

1.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

スクラム排水容器水位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。

【スクラム排出水容器水位 (LX293-2A) 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	
スクラム排出水容器水位 (LX293-2A)	S	原子炉建物 EL 23.800* ¹			C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	50

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

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		898	12 (M12)	113.1	4	211 (40mm < 径 ≤ 100mm)	394 (40mm < 径 ≤ 100mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	50	150	2	211	253	側面方向	側面方向
	31	169	2				

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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				

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	SS41	引張	$\sigma_b = 13$	$f_{ts} = 126^*$	$\sigma_b = 21$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 97$	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 117$

すべて許容応力以下である。

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

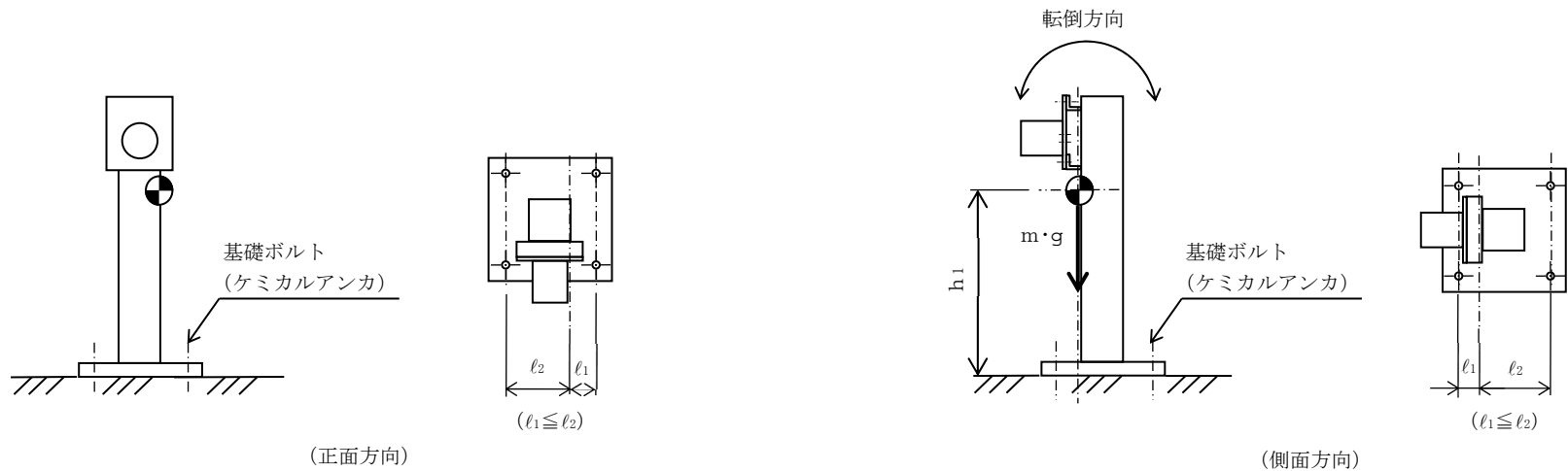
1.4.2 電気的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラム排水容器水位 (LX293-2A)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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



2. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LX293-2B)

2.1 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、スクラム排水容器水位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。

スクラム排水容器水位は、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。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

スクラム排水容器水位の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、取付板取付ボルトにより計器ステーションに固定される。</p> <p>計器ステーションは、床に基礎ボルトと埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>スクラム排水容器 水位検出器</p>	<p style="text-align: center;">スクラム排水容器水位 (LX293-2B)</p> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2.2 評価方針

スクラム排水容器水位の応力評価は、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」にて示すスクラム排水容器水位の部位を踏まえ「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。また、スクラム排水容器水位の機能維持評価は、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、「2.6 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「2.7 評価結果」に示す。

スクラム排水容器水位の耐震評価フローを図2-1に示す。

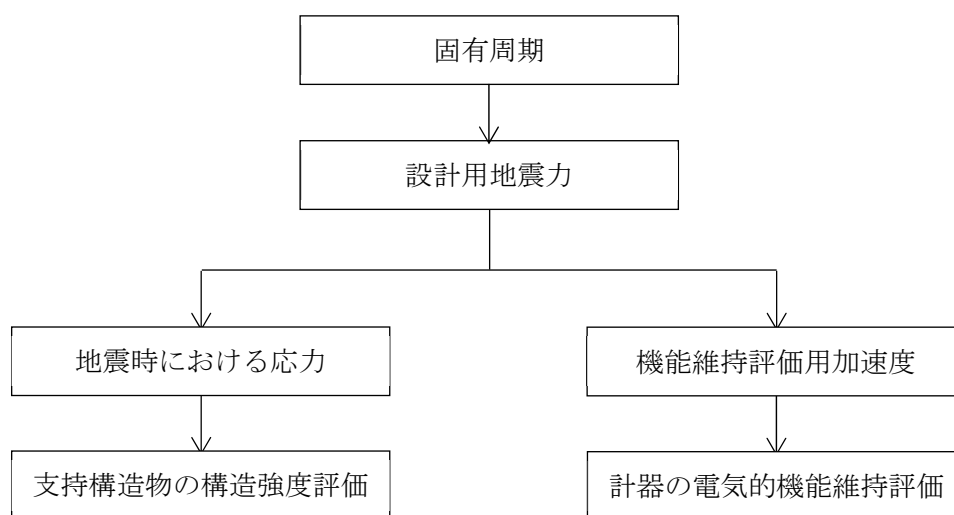


図2-1 スクラム排水容器水位の耐震評価フロー

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	溶接部の有効のど厚	mm
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _w	溶接部の有効断面積	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
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, 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 _{b1}	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり) (正面方向転倒)	N
F _{b2}	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり) (側面方向転倒)	N
F _w	溶接部に作用する引張力, 圧縮力	N
F _{w1}	溶接部に作用する引張力 (正面方向転倒)	N
F _{w2}	溶接部に作用する圧縮力 (正面方向転倒)	N
f _{sm}	せん断力のみを受ける溶接部の許容せん断応力	MPa
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	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l'	溶接長さ	mm
l ₁	重心とボルト, 溶接間の水平方向距離*	mm
l ₂	重心とボルトの水平方向距離*	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n _b	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, 溶接数	—
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
Q _w	溶接部に作用するせん断力	N
s	溶接脚長	mm

記号	記号の説明	単位
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°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_w	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

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。

2.3 評価部位

スクラム排水容器水位の耐震評価は、「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及び溶接部について実施する。

スクラム排水容器水位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

スクラム排水容器水位の固有周期は、構造が同等な計器スタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。

2.4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、固有周期を確認する。スクラム排水容器水位の外形図を表 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	0.05 以下
鉛直	0.05 以下

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは基礎ボルト及び溶接により床面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、計算モデルにおける水平方向及び鉛直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) 計器スタンション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

スクラム排水容器水位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 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

スクラム排水容器水位の許容応力は、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

スクラム排水容器水位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 2-6 に示す。

表 2-4 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
計測制御 系統施設	原子炉非常 停止信号	スクラム排水容器水位高	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 2-5 許容応力 (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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 (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				
基礎ボルト	SS41* (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
溶接部	SS41* (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

注記* : SS400 相当

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-7 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 2-7 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
原子炉建物 EL 23.800*1	0.05 以下	0.05 以下	$C_H=1.19^{*2}$	$C_V=1.10^{*2}$	$C_H=1.73^{*3}$	$C_V=2.07^{*3}$

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）

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。

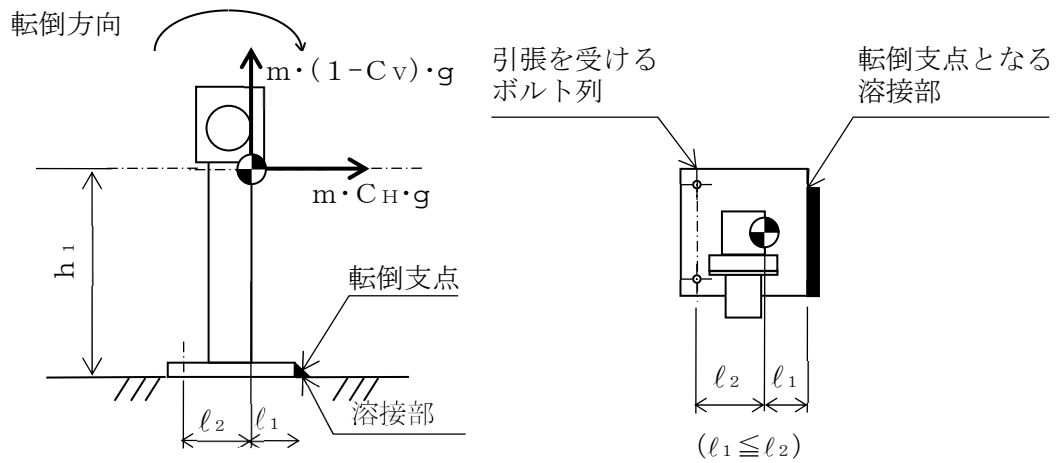


図2-2 計算モデル（基礎ボルト）（正面方向転倒）

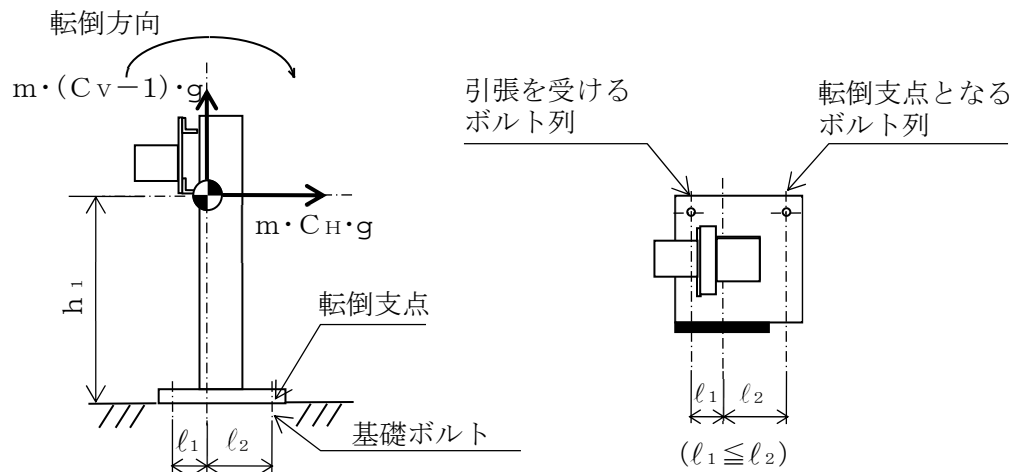


図2-3 計算モデル（基礎ボルト）（側面方向転倒）

(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で基礎ボルト及び溶接部を支点とする転倒を考え、これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

正面方向転倒の場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots (2.5.4.1.1.1)$$

側面方向転倒の場合の引張力

$$F_{b2} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots (2.5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots (2.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots (2.5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots (2.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、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

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots (2.5.4.1.1.6)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n_b \cdot A_b} \dots (2.5.4.1.1.7)$$

2.5.4.1.2 溶接部の計算方法

溶接部の応力は，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（圧縮力）とせん断力について計算する。

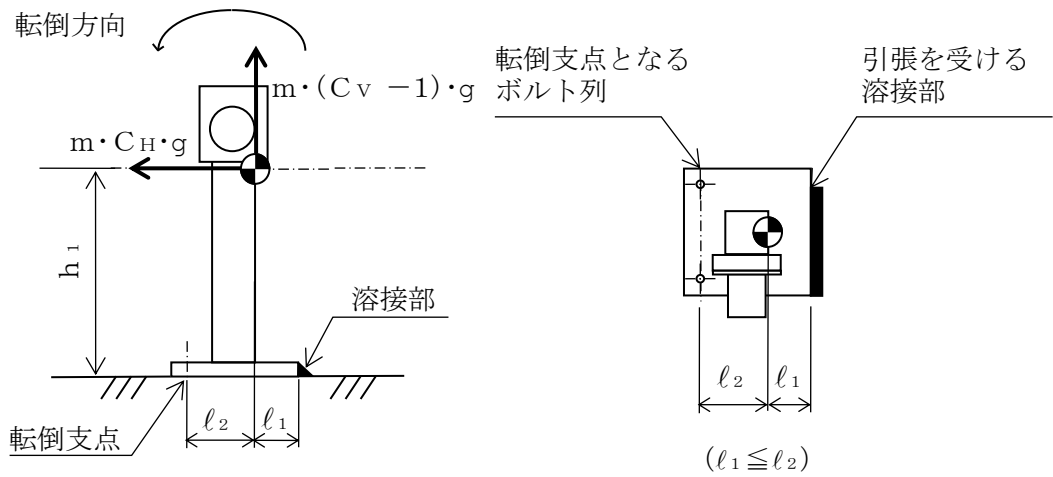


図2-4 計算モデル（溶接部）（正面方向転倒）（引張力）

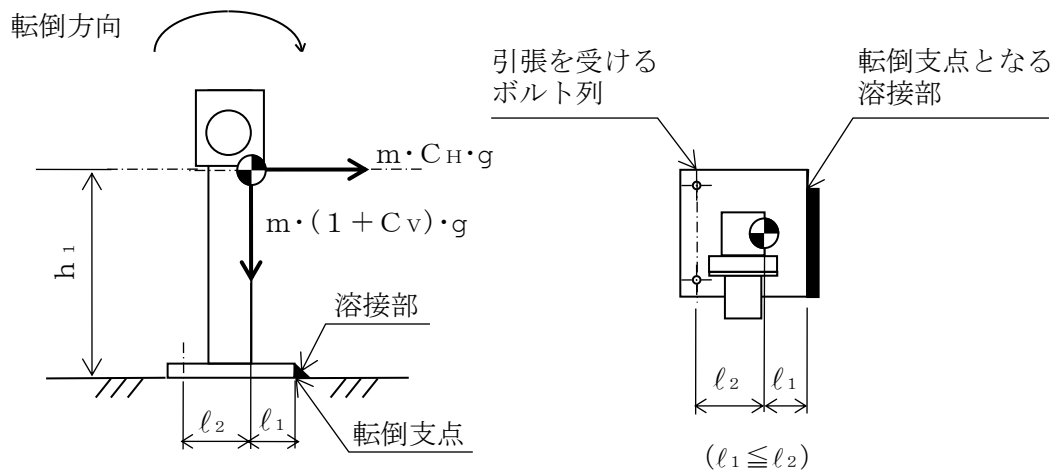


図2-5 計算モデル（溶接部）（正面方向転倒）（圧縮力）

(1) 引張応力 (圧縮応力)

溶接部に対する引張力 (圧縮力) は, 図2-4及び図2-5で基礎ボルト及び溶接部を支点とする転倒を考え, これを片側の溶接部で受けるものとして計算する。

引張力 (圧縮力)

正面方向転倒の場合の引張力

$$F_{w1} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{(l_1 + l_2)} \dots\dots (2.5.4.1.2.1)$$

正面方向転倒の場合の圧縮力

$$F_{w2} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g}{(l_1 + l_2)} + m \cdot (1 + C_V) \cdot g \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.2)$$

$$F_w = \text{Max} (F_{w1}, F_{w2}) \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.3)$$

引張応力 (圧縮応力)

$$\sigma_w = \frac{F_w}{A_w} \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.4)$$

ここで, 溶接部の有効断面積 A_w は次式により求める。

$$A_w = a \cdot l' \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.5)$$

ただし, 溶接部の有効のど厚 a は次式により求める。

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.6)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断力は、溶接部全数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_w = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.7)$$

せん断応力

$$\tau_w = \frac{Q_w}{A_w} \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.8)$$

(3) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_w)^2 + (\tau_w)^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.9)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルト及び溶接部の応力計算条件

基礎ボルト及び溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【スクラム排出水容器水位 (LX293-2B) 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 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.1.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.5.6.2 溶接部の応力評価

2.5.4.1.2項で求めた溶接部にかかる応力は、許容応力 f_{sm} 以下であること。ただし、 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

スクラム排水容器水位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。

計器スタンションに設置される検出器の水平方向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、同形式の検出器単体のサインビート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。計器スタンションに設置される検出器の鉛直方向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、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 2-8 に示す。

表 2-8 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
スクラム排水容器水位 (LX293-2B)	水平	
	鉛直	

2.7 評価結果

2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

スクラム排水容器水位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。

【スクラム排水容器水位 (LX293-2B) 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	
スクラム排水容器水位 (LX293-2B)	S	原子炉建物 EL 23.800* ¹	0.05 以下	0.05 以下	C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	50

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

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	s (mm)	a (mm)	ℓ' (mm)	A _b (mm ²)	A _w (mm ²)	n _b	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		898	12 (M12)	—	—	—	113.1	—	2	211 (40mm < 径 ≤ 100mm)	394 (40mm < 径 ≤ 100mm)
溶接部		898	—	6.3	4.4	210	—	926.1	—	241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	75	150	2	211	253	側面方向	側面方向
	31	169	1				
溶接部	75	150	1	241	276	正面方向	正面方向

注記*：基礎ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は側面方向転倒に対する評価時の要目を示す。

溶接部の機器要目は正面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 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				

1.3.2 溶接部に作用する力

(単位：N)

部材	F _w		Q _w	
	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
溶接部				

36

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルト及び溶接部の応力

(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
基礎ボルト	SS41	引張	$\sigma_b=26$	$f_{ts}=126^*$	$\sigma_b=41$	$f_{ts}=152^*$
		せん断	$\tau_b=3$	$f_{sb}=97$	$\tau_b=4$	$f_{sb}=117$
溶接部	SS41	引張	$\sigma_w=4$	$f_{sm}=139$	$\sigma_w=6$	$f_{sm}=159$
		せん断	$\tau_w=1$		$\tau_w=1$	
		組合せ	$\sigma=4$		$\sigma=6$	

すべて許容応力以下である。

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

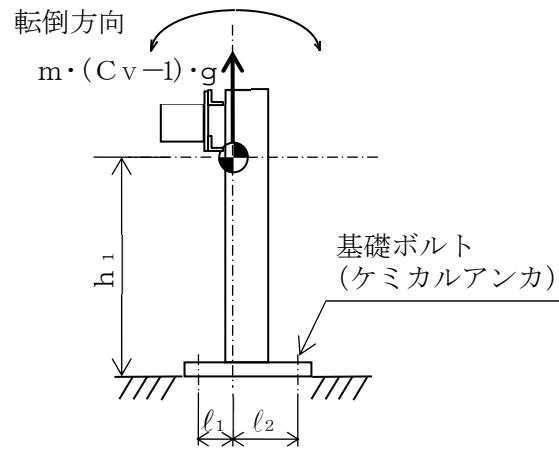
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

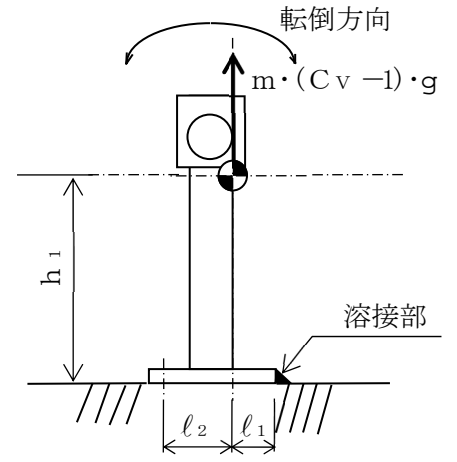
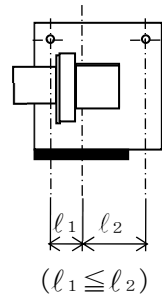
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラム排水容器水位 (LX293-2B)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

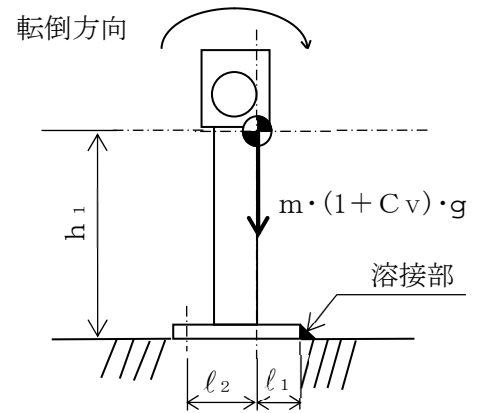
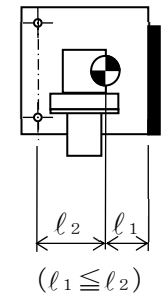
37



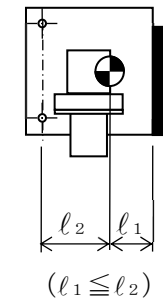
側面方向



正面方向



正面方向



3. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LX293-2C, D)

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、スクラム排水容器水位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。

スクラム排水容器水位は、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、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

スクラム排水容器水位の構造計画を表 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													
<p>検出器は，計器取付ボルトにより計器取付板に固定され，計器取付板は，取付板取付ボルトにより計器ステーションに固定される。</p> <p>計器ステーションは，溶接にて床に埋め込まれた埋込金物に設置する。</p>	<p>スクラム排水容器 水位検出器</p>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>スクラム排水容器水位 (LX293-2C)</th> <th>スクラム排水容器水位 (LX293-2D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>		スクラム排水容器水位 (LX293-2C)	スクラム排水容器水位 (LX293-2D)	たて			横			高さ		
	スクラム排水容器水位 (LX293-2C)	スクラム排水容器水位 (LX293-2D)												
たて														
横														
高さ														

3.2.2 評価方針

スクラム排水容器水位の応力評価は、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、「3.2.1 構造計画」にて示すスクラム排水容器水位の部位を踏まえ「3.3 評価部位」にて設定する箇所において、「3.4 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、「3.5 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、スクラム排水容器水位の機能維持評価は、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、「3.6 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「3.7 評価結果」に示す。

スクラム排水容器水位の耐震評価フローを図3-1に示す。

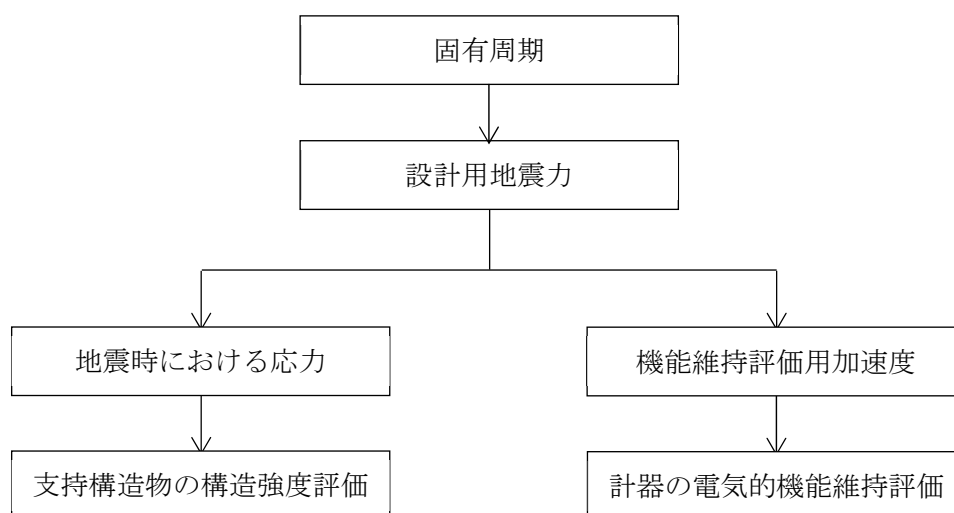


図3-1 スクラム排水容器水位の耐震評価フロー

3.2.3 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。)

3.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
A_{wx}	溶接部の F_x に対する有効断面積	mm ²
A_{wz}	溶接部の F_z に対する有効断面積	mm ²
b_1, b_2	溶接の有効長さ (Z方向)	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
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, SSB-3133.3に定める値	MPa
F_x	溶接部に作用する力 (X方向)	N
F_y	溶接部に作用する力 (Y方向) (引張力, 圧縮力)	N
F_{y1}	溶接部に作用する力 (Y方向) (引張力) (鉛直方向転倒)	N
F_{y2}	溶接部に作用する力 (Y方向) (圧縮力) (鉛直方向転倒)	N
F_z	溶接部に作用する力 (Z方向)	N
f_{sm}	せん断力のみを受ける溶接部の許容せん断応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_1, h_2	溶接の有効長さ (X方向)	mm
l	据付面から重心までの距離	mm
m	計器スタンションの質量	kg
s	溶接脚長	mm
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
Z_p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
Z_x	溶接全断面におけるX軸方向の断面係数	mm ³
Z_z	溶接全断面におけるZ軸方向の断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ_b	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_t	溶接部に生じる引張応力 (圧縮応力)	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

3.2.5 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 3-2 に示すとおりである。

表 3-2 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
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。

3.3 評価部位

スクラム排水容器水位の耐震評価は、「3.5.1 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溶接部について実施する。

スクラム排水容器水位の耐震評価部位については、表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4 固有周期

3.4.1 基本方針

スクラム排水容器水位の固有周期は、構造が同等な計器スタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。

3.4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、固有周期を確認する。スクラム排水容器水位の外形図を表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3-3 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 3-3 固有周期 (単位：s)

水平	0.05 以下
鉛直	0.05 以下

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは溶接により埋込金物に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、計算モデルにおける正面方向及び側面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) 計器スタンション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。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

スクラム排水容器水位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 3-4 に示す。

3.5.2.2 許容応力

スクラム排水容器水位の許容応力は、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。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

スクラム排水容器水位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 に示す。

表 3-4 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
計測制御 系統施設	原子炉非常 停止信号	スクラム排水容器水位高	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 3-5 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (溶接部)			
	一次応力			
	引張	せん断	圧縮	曲げ
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

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)
		周囲環境温度	50			
溶接部	SS41* (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

注記* : SS400 相当

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-7 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 3-7 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
原子炉建物 EL 23.800*1	0.05 以下	0.05 以下	$C_H=1.19^{*2}$	$C_V=1.10^{*2}$	$C_H=1.73^{*3}$	$C_V=2.07^{*3}$

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）

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 応力の計算方法

3.5.4.1.1 溶接部の計算方法

溶接部の応力は，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（圧縮）力と曲げ応力とせん断力と組合せ応力について計算する。

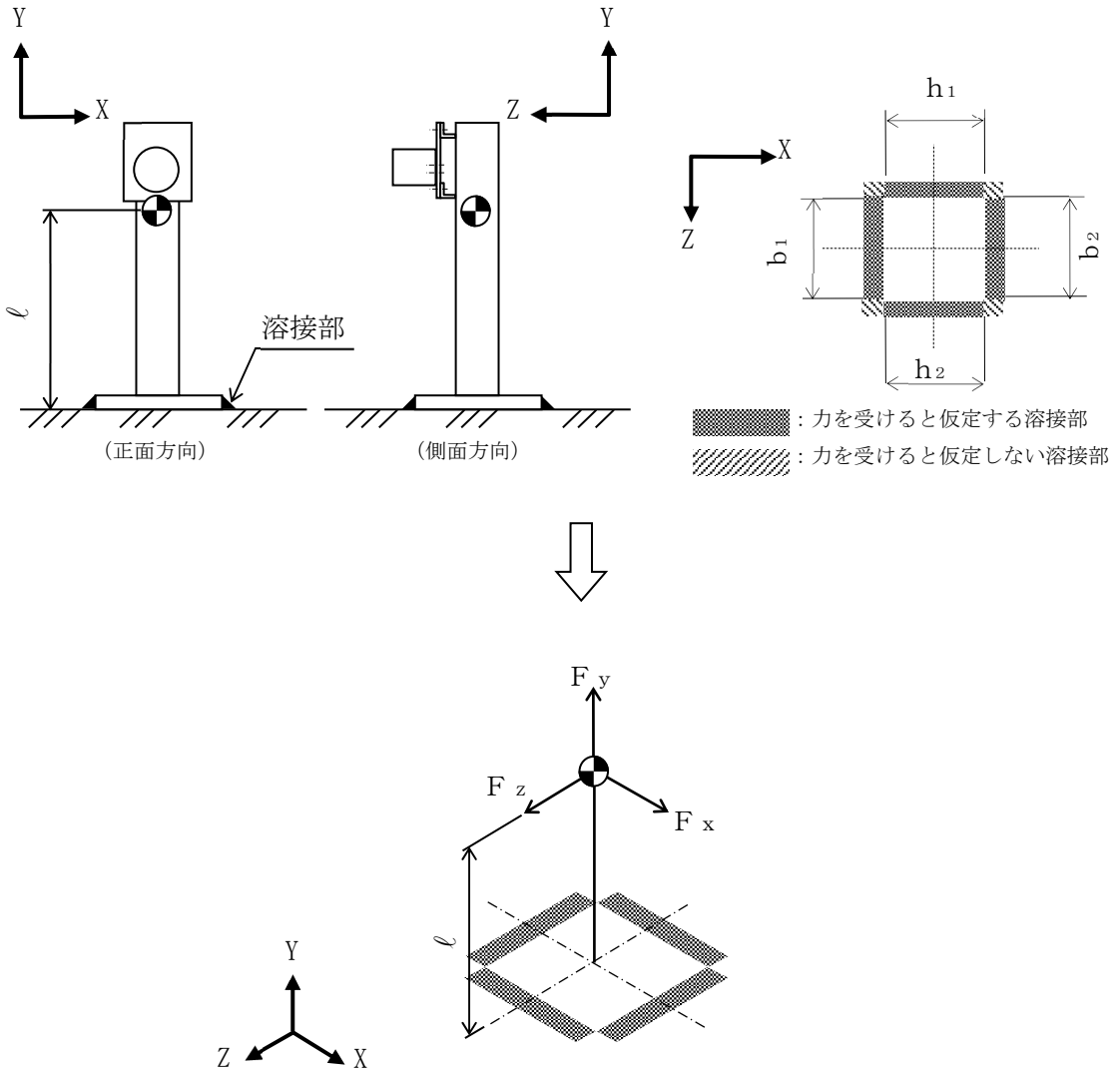


図 3-2 計算モデル（溶接部）

(1) 引張応力（圧縮応力）

溶接部に対する引張応力（圧縮応力）は、全溶接断面積で受けるものとして計算する。

鉛直方向反力（引張力）

$$F_{y1} = m \cdot (C_v - 1) \cdot g \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.1)$$

鉛直方向反力（圧縮力）

$$F_{y2} = m \cdot (1 + C_v) \cdot g \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.2)$$

引張力（圧縮力）

$$F_y = \text{Max} (F_{y1}, F_{y2}) \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.3)$$

引張応力（圧縮応力）

$$\sigma_t = \frac{F_y}{A_w} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.4)$$

ここで、引張力（圧縮力）を受ける溶接部の有効断面積 A_w は、次式により求める。

$$A_w = a \cdot (h_1 + h_2 + b_1 + b_2) \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.5)$$

ただし、 h_1 、 h_2 、 b_1 、 b_2 は各溶接部における溶接長さを示し、溶接部の有効のど厚 a は次式により求める。

$$a = 0.7 \cdot s \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.6)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断応力は、各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断力

$$F_x = m \cdot C_H \cdot g \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.7)$$

$$F_z = m \cdot C_H \cdot g \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau = \text{Max} \left(\frac{F_x}{A_{wx}}, \frac{F_z}{A_{wz}} \right) \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.9)$$

ここで、 A_{wx} 、 A_{wz} はせん断力を受ける各方向の有効断面積、 Z_p は溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wx} 、 A_{wz} は、次式により求める。

$$A_{wx} = a \cdot (h_1 + h_2) \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.10)$$

$$A_{wz} = a \cdot (b_1 + b_2) \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.11)$$

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは、図3-2でX軸方向、Z軸方向に対する曲げモーメントを最も外側の溶接部で受けるものとして計算する。

水平方向反力

$$F_x = F_z = m \cdot C_H \cdot g \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.12)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \text{Max} \left(\frac{F_x \cdot \ell}{Z_x}, \frac{F_z \cdot \ell}{Z_z} \right) \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.13)$$

Z_x 、 Z_z は溶接断面のX軸及びZ軸に関する断面係数を示す。

(4) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

組合せ応力

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \tau^2} \cdots \cdots \cdots (3.5.4.1.1.14)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【スクラム排水容器水位 (LX293-2C) の耐震性についての計算結果】、【スクラム排水容器水位 (LX293-2D) 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。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 溶接部の応力評価

3.5.4.1.1項で求めた溶接部に発生する応力は、許容せん断応力 f_{sm} 以下であること。

ただし、 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.6 機能維持評価

3.6.1 電氣的機能維持評価方法

スクラム排水容器水位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。

計器スタンションに設置される検出器の水平方向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、同形式の検出器単体のサインビート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。計器スタンションに設置される検出器の鉛直方向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、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 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
スクラム排水容器水位 (LX293-2C)	水平	
	鉛直	
スクラム排水容器水位 (LX293-2D)	水平	
	鉛直	

3.7 評価結果

3.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

スクラム排水容器水位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。

【スクラム排出水容器水位 (LX293-2C) 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 (℃)
			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	
スクラム排出水容器水位 (LX293-2C)	S	原子炉建物 EL 23.800*1	0.05 以下	0.05 以下	C _H =1.19*2	C _V =1.10*2	C _H =1.73*3	C _V =2.07*3	50

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

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	s (mm)	a (mm)	ℓ (mm)	A _w (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
溶接部		250	250	250	250	6.3	4.4	898	4.410×10 ³	241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)

部材	Z _x (mm ³)	Z _z (mm ³)	A _{wx} (mm ²)	A _{wz} (mm 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
溶接部					241	276	正面方向, 側面方向	正面方向, 側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位：N)

部材	F _y		F _x		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
溶接部						

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(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
溶接部	SS41	引張	$\sigma_t = 1$	$f_{sm} = 139$	$\sigma_t = 1$	$f_{sm} = 159$
		曲げ	$\sigma_b = 2$	$f_{sm} = 139$	$\sigma_b = 3$	$f_{sm} = 159$
		せん断	$\tau = 1$	$f_{sm} = 139$	$\tau = 1$	$f_{sm} = 159$
		組合せ	$\sigma_w = 2$	$f_{sm} = 139$	$\sigma_w = 3$	$f_{sm} = 159$

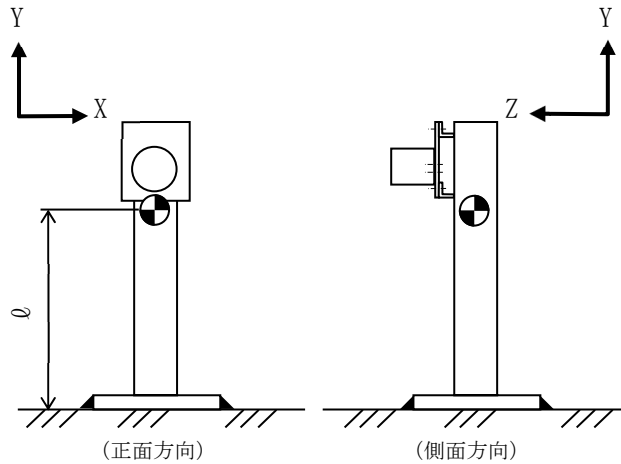
すべて許容応力以下である。

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
スクラム排水容器水位 (LX293-2C)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。



【スクラム排出水容器水位 (LX293-2D) 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	
スクラム排出水容器水位 (LX293-2D)	S	原子炉建物 EL 23.800*1	0.05 以下	0.05 以下	C _H =1.19*2	C _V =1.10*2	C _H =1.73*3	C _V =2.07*3	50

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

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	s (mm)	a (mm)	ℓ (mm)	A _w (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)
溶接部		250	250	250	250	6.3	4.4	898	4.410×10 ³	241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)

部材	Z _x (mm ³)	Z _z (mm ³)	A _{wx} (mm ²)	A _{wz} (mm 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
溶接部					241	276	正面方向, 側面方向	正面方向, 側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力

(単位：N)

部材	F _y		F _x		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
溶接部						

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力

(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
溶接部	SS41	引張	$\sigma_t = 1$	$f_{sm} = 139$	$\sigma_t = 1$	$f_{sm} = 159$
		曲げ	$\sigma_b = 2$	$f_{sm} = 139$	$\sigma_b = 3$	$f_{sm} = 159$
		せん断	$\tau = 1$	$f_{sm} = 139$	$\tau = 1$	$f_{sm} = 159$
		組合せ	$\sigma_w = 2$	$f_{sm} = 139$	$\sigma_w = 3$	$f_{sm} = 159$

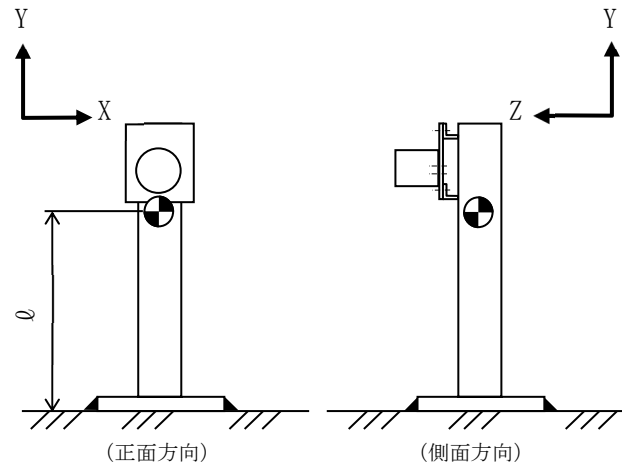
すべて許容応力以下である。

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
スクラム排水容器水位 (LX293-2D)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。



4. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LS293-3A, B)

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、スクラム排水容器水位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。

スクラム排水容器水位は、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

スクラム排水容器水位の構造計画を表 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	
<p>検出器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。</p> <p>サポート鋼材は、基礎ボルトにより天井及び壁に設置する。また、サポート鋼材は、天井に設置された埋込金物への溶接により設置する。</p>	<p>スクラム排水容器 水位検出器</p>	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>スクラム排水容器水位 (LS293-3A, B)</p>

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													
		<p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>(壁)</p> <p>サポート鋼材 (山形鋼) (Z形鋼)</p> <p>たて</p> <p>溶接</p> <p>埋込金物</p> <p>サポート鋼材 (角形鋼)</p> <p>(上面図)</p> <p>スクラム排水容器水位 (LS293-3A, B)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象計器</th> <th>たて</th> <th>横</th> <th>高さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LS293-3A</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>LS293-3B</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位 : mm)</p>	対象計器	たて	横	高さ	LS293-3A				LS293-3B			
対象計器	たて	横	高さ											
LS293-3A														
LS293-3B														

4.2.2 評価方針

スクラム排水容器水位の応力評価は、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」にて示すスクラム排水容器水位の部位を踏まえ「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、「4.5 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、スクラム排水容器水位の機能維持評価は、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。

スクラム排水容器水位の耐震評価フローを図4-1に示す。

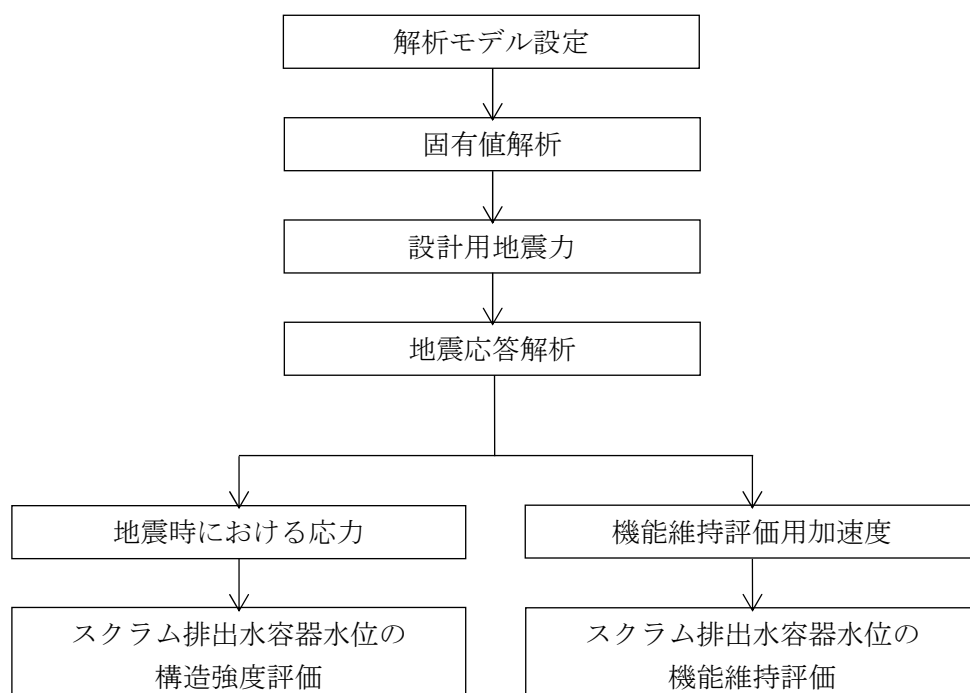


図4-1 スクラム排水容器水位の耐震評価フロー

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	溶接部の有効のど厚	mm
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _w	溶接部の有効断面積	mm ²
A _{wx}	溶接部の F _x に対する有効断面積	mm ²
A _{wz}	溶接部の F _z に対する有効断面積	mm ²
b ₁ , b ₂	溶接の有効長さ (x 方向)	mm
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
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 _b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F _x	サポート基礎部に作用する力 (x 方向)	N
F _y	サポート基礎部に作用する力 (y 方向)	N
F _z	サポート基礎部に作用する力 (z 方向)	N
f _{sm}	溶接部の許容せん断応力	MPa
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 , h ₂ , h ₃ , h ₄	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
M _x	サポート基礎部に作用するモーメント (x 軸周り)	N・mm
M _y	サポート基礎部に作用するモーメント (y 軸周り)	N・mm
M _z	サポート基礎部に作用するモーメント (z 軸周り)	N・mm
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
s	溶接脚長	mm
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
W	計器の荷重	N
Z _p	溶接全断面におけるねじり断面係数	mm ³
Z _x	溶接全断面における x 軸方向の断面係数	mm ³
Z _z	溶接全断面における z 軸方向の断面係数	mm ³

記号	記号の説明	単位
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_{wt}	溶接部に生じる引張応力（圧縮応力）	MPa
σ_{wb}	溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ_w	溶接部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	°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。

4.3 評価部位

スクラム排水容器水位の耐震評価は、「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部及び溶接部について実施する。スクラム排水容器水位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 固有値解析方法

スクラム排水容器水位の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) スクラム排水容器水位は、「4.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

4.4.2 解析モデル及び諸元

スクラム排水容器水位の解析モデルを図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【スクラム排水容器水位 (LS293-3A, B) 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) スクラム排水容器水位の計器の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) スクラム排水容器水位の計器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位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、溶接部は完全拘束とし、基礎ボルト部は並進方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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。

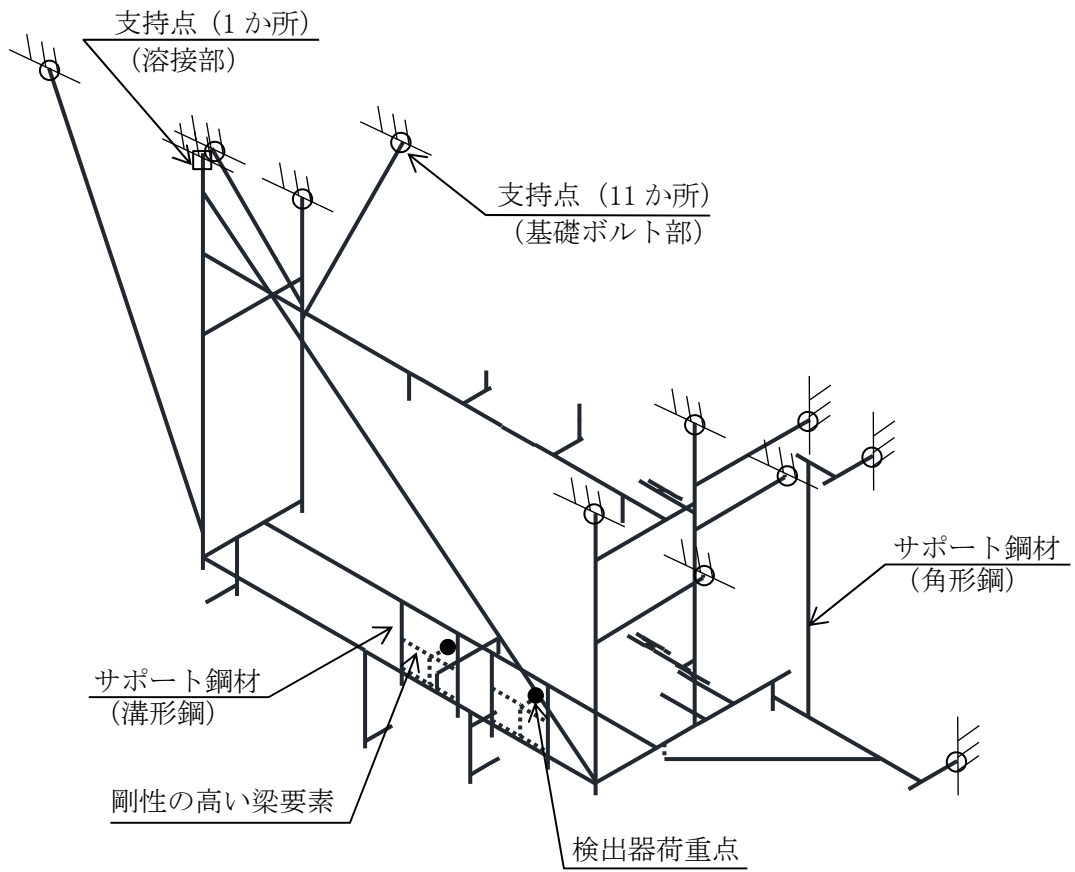


図 4-2 解析モデル (LS293-3A, B)

4.4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表 4-3, 振動モード図を図 4-3 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 4-3 固有値解析結果

機器番号	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	
LS293-3A, B	1次	水平		—	—	—

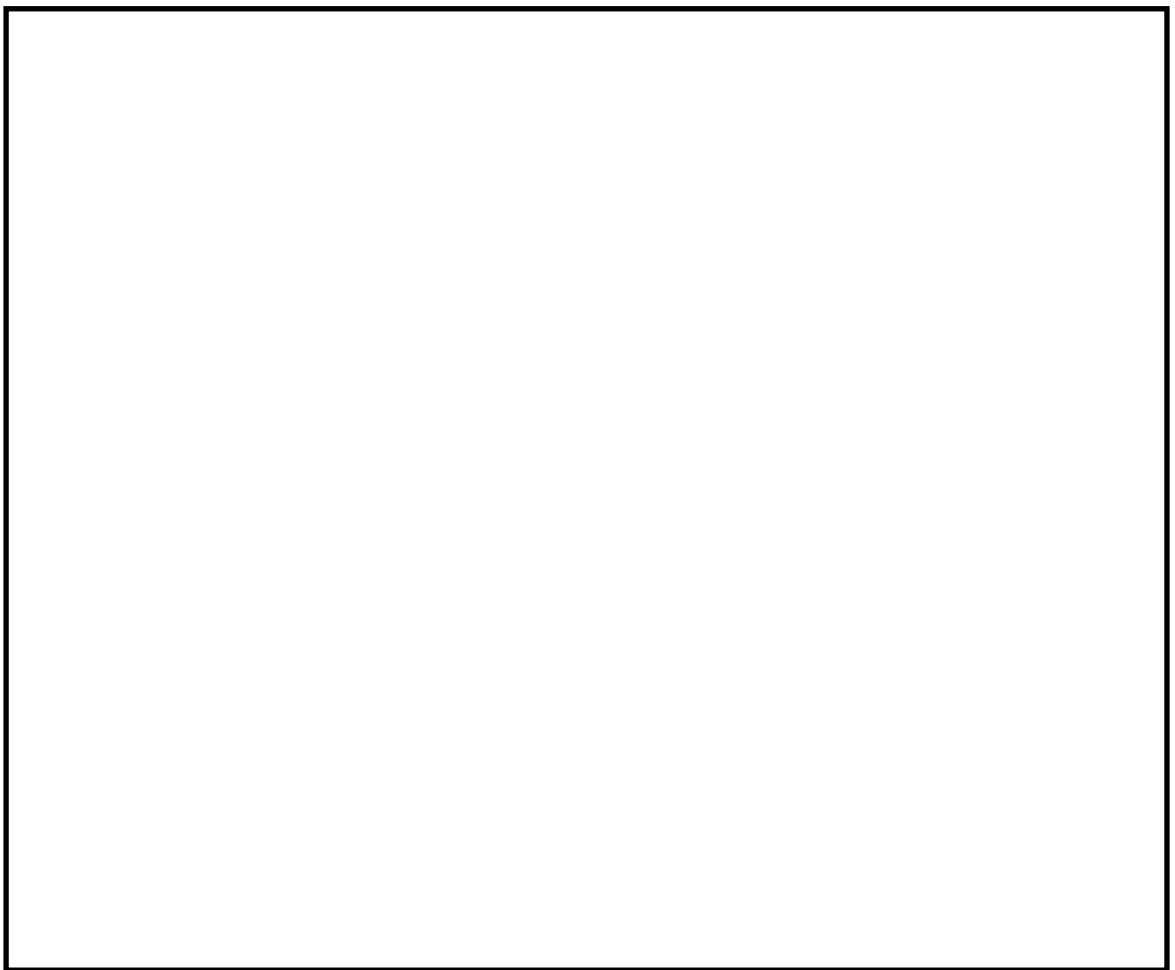


図 4-3 振動モード (LS293-3A, B) (1次モード 水平方向 s)

4.5 構造強度評価

4.5.1 構造強度評価方法

4.4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、スクラム排水容器水位に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。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。

4.5.2 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

スクラム排水容器水位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 4-4 に示す。

4.5.2.2 許容応力

スクラム排水容器水位の許容応力は、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

スクラム排水容器水位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。

表 4-4 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
計測制御 系統施設	原子炉非常 停止信号	スクラム排水容器水位高	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 4-5 許容応力（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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 (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				
基礎ボルト (LS293-3A, B)	SS41* (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
基礎ボルト (LS293-3A, B)	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—
溶接部 (LS293-3A, B)	SS41* (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

注記* : SS400 相当

4.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 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。

表 4-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	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
スクラム 排水容器 水位 (LS293-3A)	原子炉建物 EL 23.800 (EL 30.500* ¹)		0.05 以下	C _H = 1.92* ²	C _V = 1.25* ²	C _H = 2.33* ³	C _V = 2.31* ³
スクラム 排水容器 水位 (LS293-3B)	原子炉建物 EL 23.800 (EL 30.500* ¹)		0.05 以下	C _H = 1.92* ²	C _V = 1.25* ²	C _H = 2.33* ³	C _V = 2.31* 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）

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、三次元はりモデルによる個別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。

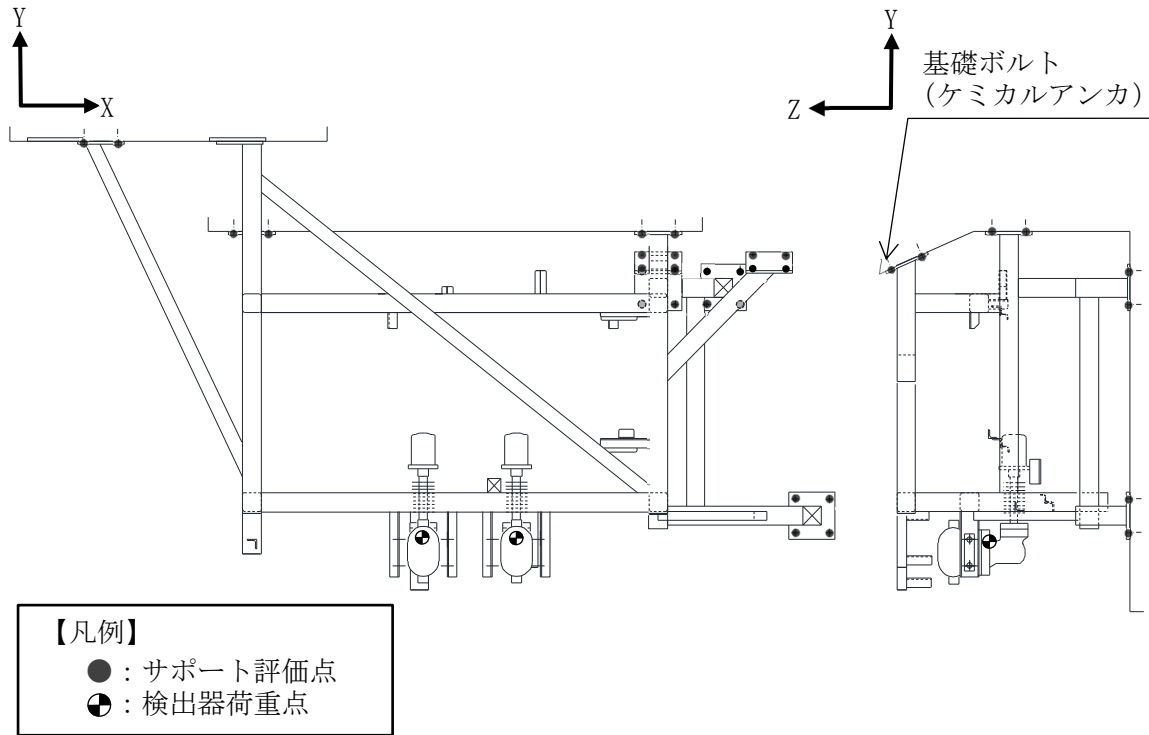


図 4-4 計算モデル (基礎ボルト) (LS293-3A, B)

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 4-8 及び表 4-9 に示す。

表 4-8 サポート発生反力 (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

対象機器	材質 ボルトサイズ	反力(N)	
		F _b	Q _b
LS293-3A, B	SS41 M12		
	SS400 M12		
	SS400 M16		

表4-9 サポート発生反力 (基準地震動 S_s)

対象機器	材質 ボルトサイズ	反力(N)	
		F _b	Q _b
LS293-3A, B	SS41 M12		
	SS400 M12		
	SS400 M16		

(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

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.1)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.2)$$

(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

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.3)$$

4.5.4.1.2 溶接部の応力

溶接部の応力は、三次元はりモデルによる個別解析から溶接部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

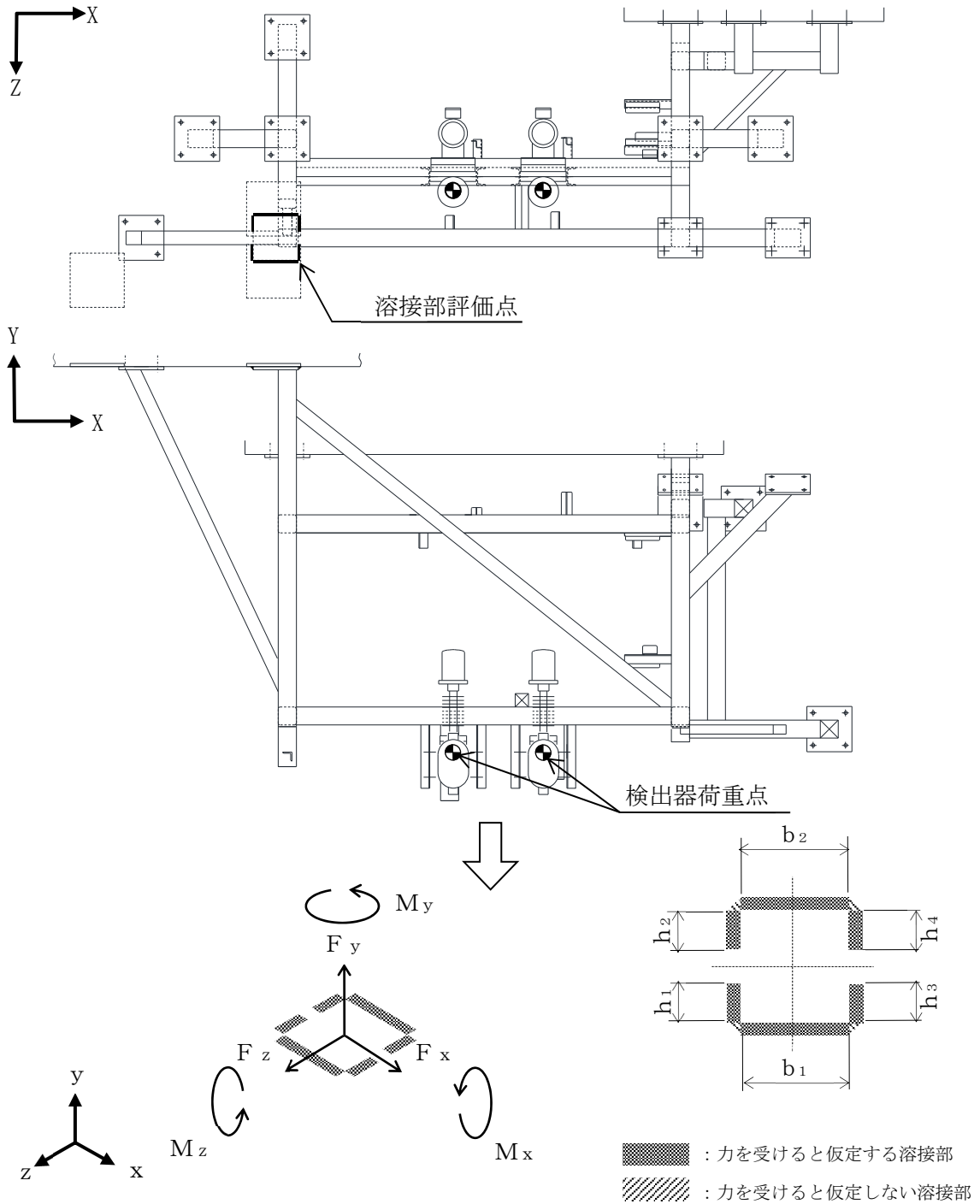


図 4-5 計算モデル（溶接部）（LS293-3A, B）

個別解析によって得られた溶接部の評価点の最大反力とモーメントを表 4-10, 表 4-11 に示す。

表4-10 サポート発生反力, モーメント (弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度)

対象機器	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
LS293-3A, B						

表4-11 サポート発生反力, モーメント (基準地震動 S_s)

対象機器	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
LS293-3A, B						

(1) 引張応力 (圧縮応力)

溶接部に対する引張応力 (圧縮応力) は、全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張応力 (圧縮応力)

$$\sigma_{wt} = \frac{|F_y|}{A_w} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.1)$$

ここで、引張力(圧縮力)を受ける溶接部の有効断面積 A_w は、次式により求める。

$$A_w = a \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + b_1 + b_2) \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.2)$$

ただし、 $h_1, h_2, h_3, h_4, b_1, b_2$ は各溶接部における溶接長さを示し、溶接部の有効のど厚 a は、次式により求める。

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断応力は、各方向の有効せん断面積で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{F_x}{A_{wx}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{A_{wz}} + \frac{M_y}{Z_p}\right)^2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.4)$$

ここで、 A_{wy}, A_{wz} はせん断力を受ける各方向の有効断面積、 Z_p は溶接断面におけるねじり断面係数を示す。

A_{wx}, A_{wz} は、次式により求める。

$$A_{wx} = a \cdot (b_1 + b_2) \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.5)$$

$$A_{wz} = a \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.6)$$

(3) 曲げ応力

溶接部に対する曲げモーメントは、図4-5で x 軸方向、 z 軸方向に対する曲げモーメントを最も外側の溶接部で受けるものとして計算する。

曲げ応力

$$\sigma_{wb} = \frac{M_x}{Z_x} + \frac{M_z}{Z_z} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.7)$$

ここで、 Z_x, Z_z は溶接断面の x 軸及び z 軸に関する断面係数を示す。

(4) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_{wt} + \sigma_{wb})^2 + \tau_w^2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.2.8)$$

4.5.5 計算条件

4.5.5.1 基礎ボルト及び溶接部の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【スクラム排水容器水位（LS293-3A, B）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 基礎ボルトの応力評価

4.5.4.1.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.5.6.1.1)$$

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。

	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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.5.6.2 溶接部の応力評価

4.5.4.1.2項で求めた溶接部に発生する応力は、許容応力 f_{sm} 以下であること。ただし、 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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.6 機能維持評価

4.6.1 電氣的機能維持評価方法

スクラム排水容器水位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。

スクラム排水容器水位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 4-12 に示す。

表 4-12 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
スクラム排水容器水位 (LS293-3A)	水平	
	鉛直	
スクラム排水容器水位 (LS293-3B)	水平	
	鉛直	

4.7 評価結果

4.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

スクラム排水容器水位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。

【スクラム排水容器水位（LS293-3A, B）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	
スクラム排水容器水位 (LS293-3A, B)	S	原子炉建物 EL 23.800 (EL 30.500*1)		0.05 以下	C _H =1.92*2	C _V =1.25*2	C _H =2.33*3	C _V =2.31*3	50

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

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 (SS41)				211 (40mm≦径<100mm)	394 (40mm≦径<100mm)	211	253
基礎ボルト (SS400)				241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)	241	276
基礎ボルト (SS400)				241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)	241	276

部材	W (N)	s (mm)	a (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	h ₄ (mm)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	A _w (mm ²)	A _{wx} (mm ²)	A _{wz} (mm ²)	Z _x (mm ³)	Z _z (mm ³)	Z _p (mm ³)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
溶接部																241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 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 (M12) (SS41)				
基礎ボルト (M12) (SS400)				
基礎ボルト (M16) (SS400)				

1.3.2 溶接部に作用する力

(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
溶接部						

1.3.3 溶接部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部材	M _x		M _y		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	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部						

1.4 結論

1.4.1 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 (M12)	SS41	引張	$\sigma_b=43$	$f_{ts}=126^*$	$\sigma_b=54$	$f_{ts}=152^*$
		せん断	$\tau_b=21$	$f_{sb}=97$	$\tau_b=26$	$f_{sb}=117$
基礎ボルト (M12)	SS400	引張	$\sigma_b=23$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=29$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_b=16$	$f_{sb}=111$	$\tau_b=20$	$f_{sb}=127$
基礎ボルト (M16)	SS400	引張	$\sigma_b=18$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=23$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_b=10$	$f_{sb}=111$	$\tau_b=13$	$f_{sb}=127$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 溶接部の応力

(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
溶接部	SS41	引張 (圧縮)	$\sigma_{wt}=2$	$f_{sm}=139$	$\sigma_{wt}=2$	$f_{sm}=159$
		せん断	$\tau_w=2$	$f_{sm}=139$	$\tau_w=3$	$f_{sm}=159$
		曲げ	$\sigma_{wb}=3$	$f_{sm}=139$	$\sigma_{wb}=3$	$f_{sm}=159$
		組合せ	$\sigma_w=4$	$f_{sm}=139$	$\sigma_w=5$	$f_{sm}=159$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

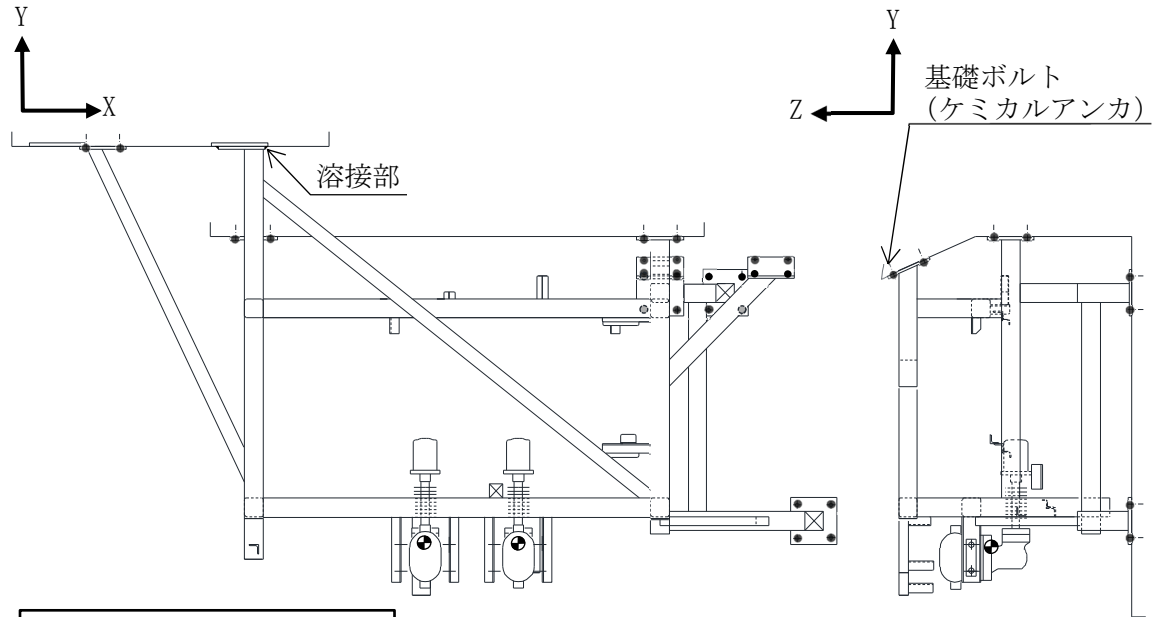
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラム排水容器水位 (LS293-3A)	水平方向	1.95	
	鉛直方向	1.94	
スクラム排水容器水位 (LS293-3B)	水平方向	1.95	
	鉛直方向	1.94	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (LS293-3A)
材質	—	—	SS41 SS400 STKR41 STKR400
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	201000 (SS41) 201000 (SS400) 201000 (STKR41) 201000 (STKR400)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	



【凡例】

- : サポート評価点
- ⊙ : 検出器荷重点

5. スクラム排水容器水位の耐震性についての計算書 (LS293-3C, D)

5.1 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、スクラム排水容器水位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。

スクラム排水容器水位は、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、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

5.2 一般事項

5.2.1 構造計画

スクラム排水容器水位の構造計画を表 5-1 に示す。

表 5-1 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>検出器は、サポート鋼材に計器取付ボルトにより固定する。</p> <p>サポート鋼材は、基礎ボルト及び壁に設置された埋込金物への溶接により壁に設置する。</p>	<p>スクラム排水容器 水位検出器</p>	<p style="text-align: center;">スクラム排水容器水位 (LS293-3C, D)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>対象計器</th> <th>たて</th> <th>横</th> <th>高さ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>LS293-3C</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>LS293-3D</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </tbody> </table>	対象計器	たて	横	高さ	LS293-3C				LS293-3D			
対象計器	たて	横	高さ											
LS293-3C														
LS293-3D														

5.2.2 評価方針

スクラム排水容器水位の応力評価は、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、「5.2.1 構造計画」にて示すスクラム排水容器水位の部位を踏まえ「5.3 評価部位」にて設定する箇所において、「5.4 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、「5.5 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、スクラム排水容器水位の機能維持評価は、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、「5.6 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「5.7 評価結果」に示す。

スクラム排水容器水位の耐震評価フローを図5-1に示す。

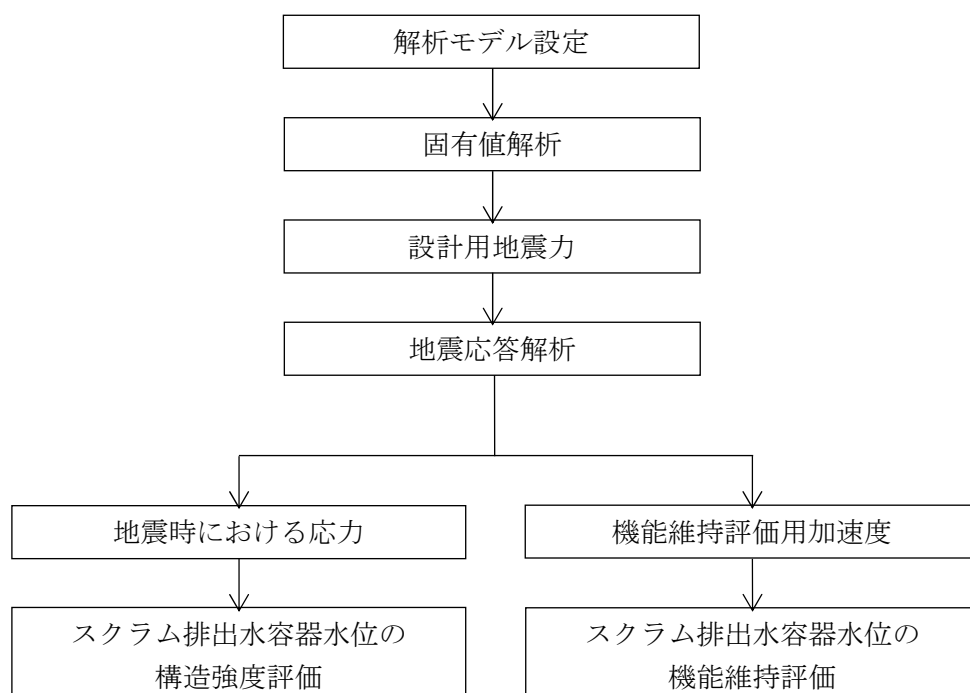


図5-1 スクラム排水容器水位の耐震評価フロー

5.2.3 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。)

5.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _w	溶接部の有効断面積	mm ²
b	溶接の有効長さ (z 方向)	mm
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
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 _b	基礎ボルト又は溶接部に作用する引張力	N
f _{s m}	溶接部の許容せん断応力	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 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	溶接の有効長さ (y 方向)	mm
Q _b	基礎ボルト又は溶接部に作用するせん断力	N
s	溶接脚長	mm
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
W	計器の荷重	N
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 _{w t}	溶接部に生じる引張応力 (圧縮応力)	MPa
σ _w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ _w	溶接部に生じるせん断応力	MPa

5.2.5 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5-2に示すとおりである。

表5-2 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。

5.3 評価部位

スクラム排水容器水位の耐震評価は、「5.5.1 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部及び溶接部について実施する。スクラム排水容器水位の耐震評価部位については、表 5-1 の概略構造図に示す。

5.4 固有周期

5.4.1 固有値解析方法

スクラム排水容器水位の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) スクラム排水容器水位は、「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

5.4.2 解析モデル及び諸元

スクラム排水容器水位の解析モデルを図5-2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【スクラム排水容器水位 (LS293-3C, D) 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) スクラム排水容器水位の計器の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) スクラム排水容器水位の計器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位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、溶接部は完全拘束とし、基礎ボルト部は並進方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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。

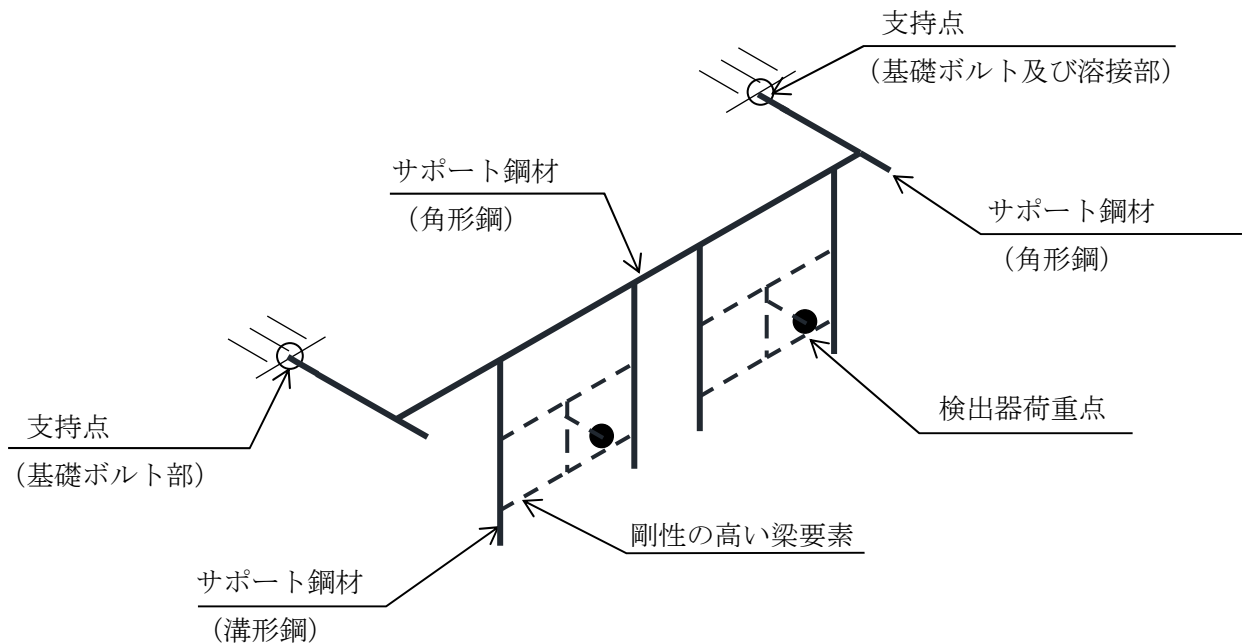


図5-2 解析モデル (LS293-3C, D)

5.4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表 5-3, 振動モード図を図 5-3 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 5-3 固有値解析結果

機器番号	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	
LS293-3C, D	1次	鉛直		—	—	—

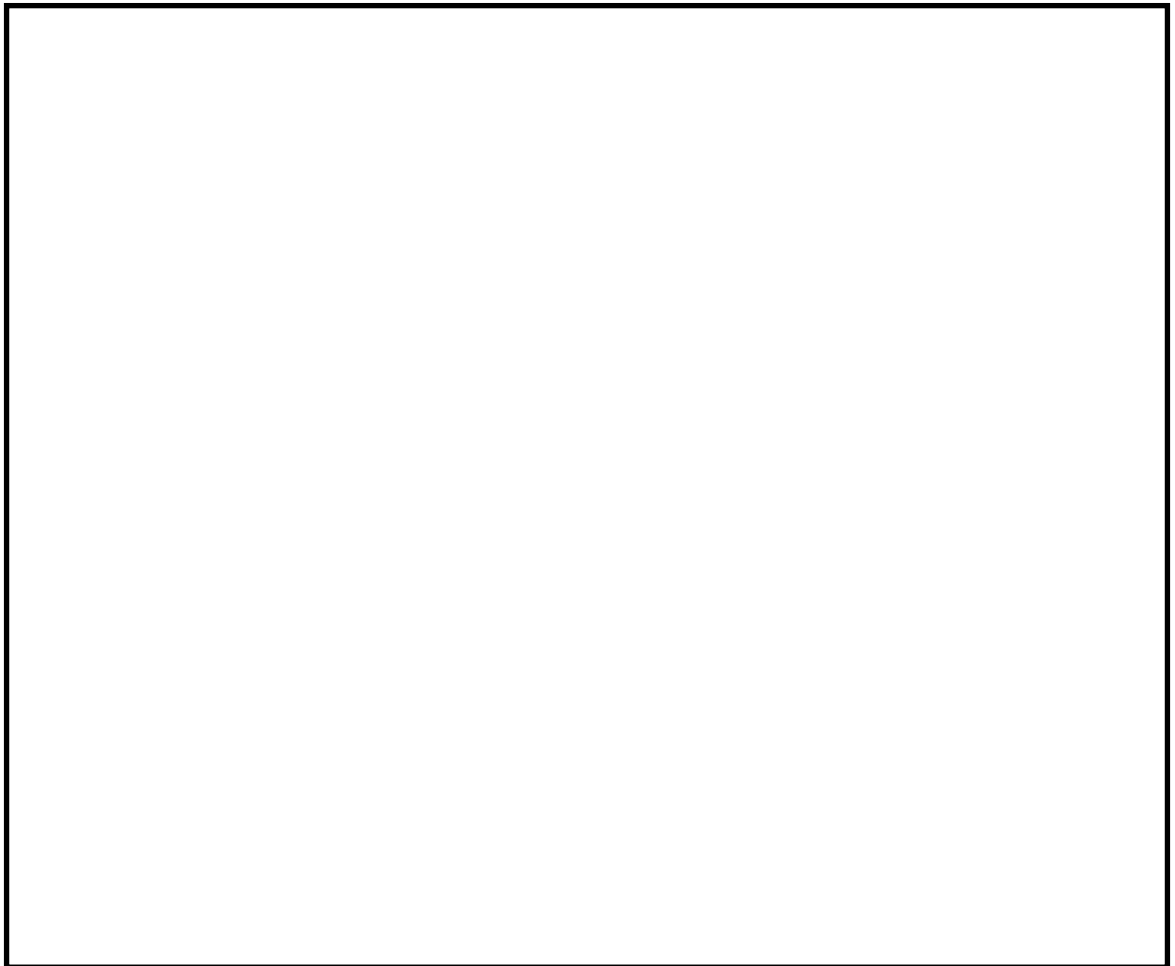


図 5-3 振動モード (LS293-3C, D) (1次モード 鉛直方向 s)

5.5 構造強度評価

5.5.1 構造強度評価方法

5.4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、スクラム排水容器水位に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。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。

5.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

スクラム排水容器水位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 5-4 に示す。

5.5.2.2 許容応力

スクラム排水容器水位の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-5 のとおりとする。

5.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

スクラム排水容器水位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 5-6 に示す。

表 5-4 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
計測制御 系統施設	原子炉非常 停止信号	スクラム排水容器水位高	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 5-5 許容応力 (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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 5-6 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)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (LS293-3C, D)	SS41* (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—
溶接部 (LS293-3C, D)	SS41* (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

注記* : SS400 相当

5.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 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 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	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
スクラム 排水容器 水位 (LS293-3C)	原子炉建物 EL 23.800 (EL 30.500* ¹)	0.05 以下		C _H = 1.92* ²	C _V = 1.25* ²	C _H = 2.33* ³	C _V = 2.31* ³
スクラム 排水容器 水位 (LS293-3D)	原子炉建物 EL 23.800 (EL 30.500* ¹)	0.05 以下		C _H = 1.92* ²	C _V = 1.25* ²	C _H = 2.33* ³	C _V = 2.31* 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）

5.5.4 計算方法

5.5.4.1 応力の計算方法

5.5.4.1.1 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個別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。

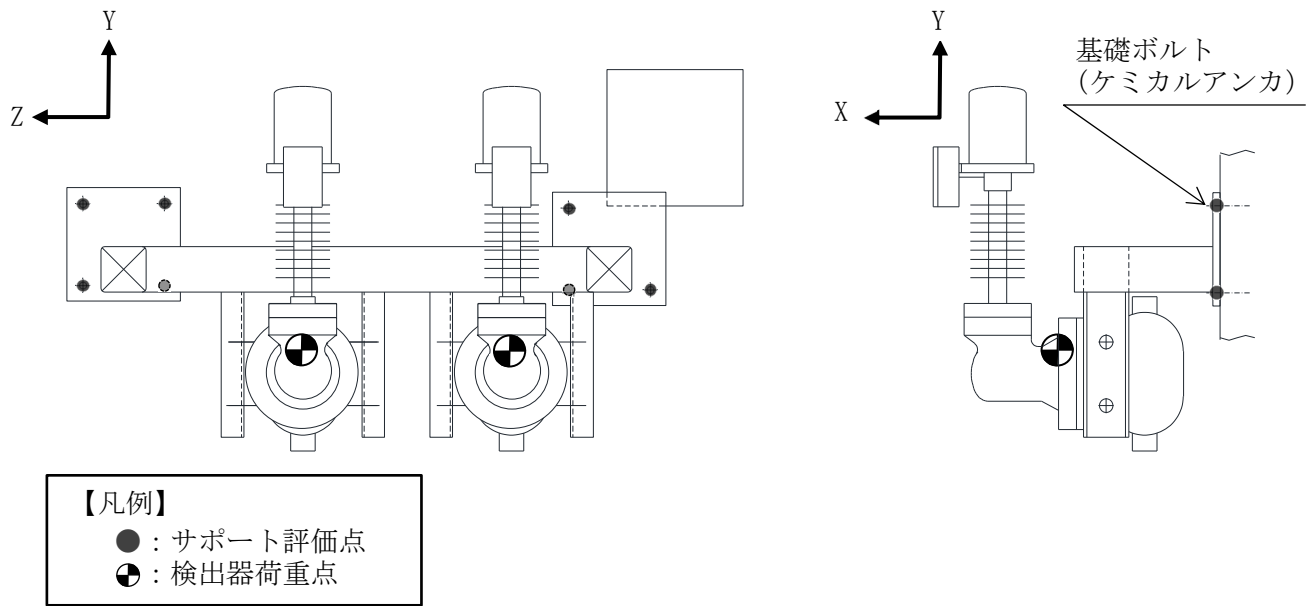


図5-4 計算モデル（基礎ボルト）（LS293-3C, D）

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 5-8 及び表 5-9 に示す。

表5-8 サポート発生反力（弾性設計用地震動 S d 又は静的震度）

対象機器	材質 ボルトサイズ	反力(N)	
		F _b	Q _b
LS293-3C, D	SS41 M12		

表5-9 サポート発生反力（基準地震動 S s）

対象機器	材質 ボルトサイズ	反力(N)	
		F _b	Q _b
LS293-3C, D	SS41 M12		

(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

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.4.1.1.1)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.5.4.1.1.2)$$

(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

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.5.4.1.1.3)$$

5.5.4.1.2 溶接部の応力

溶接部の応力は、三次元はりモデルによる個別解析から溶接部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

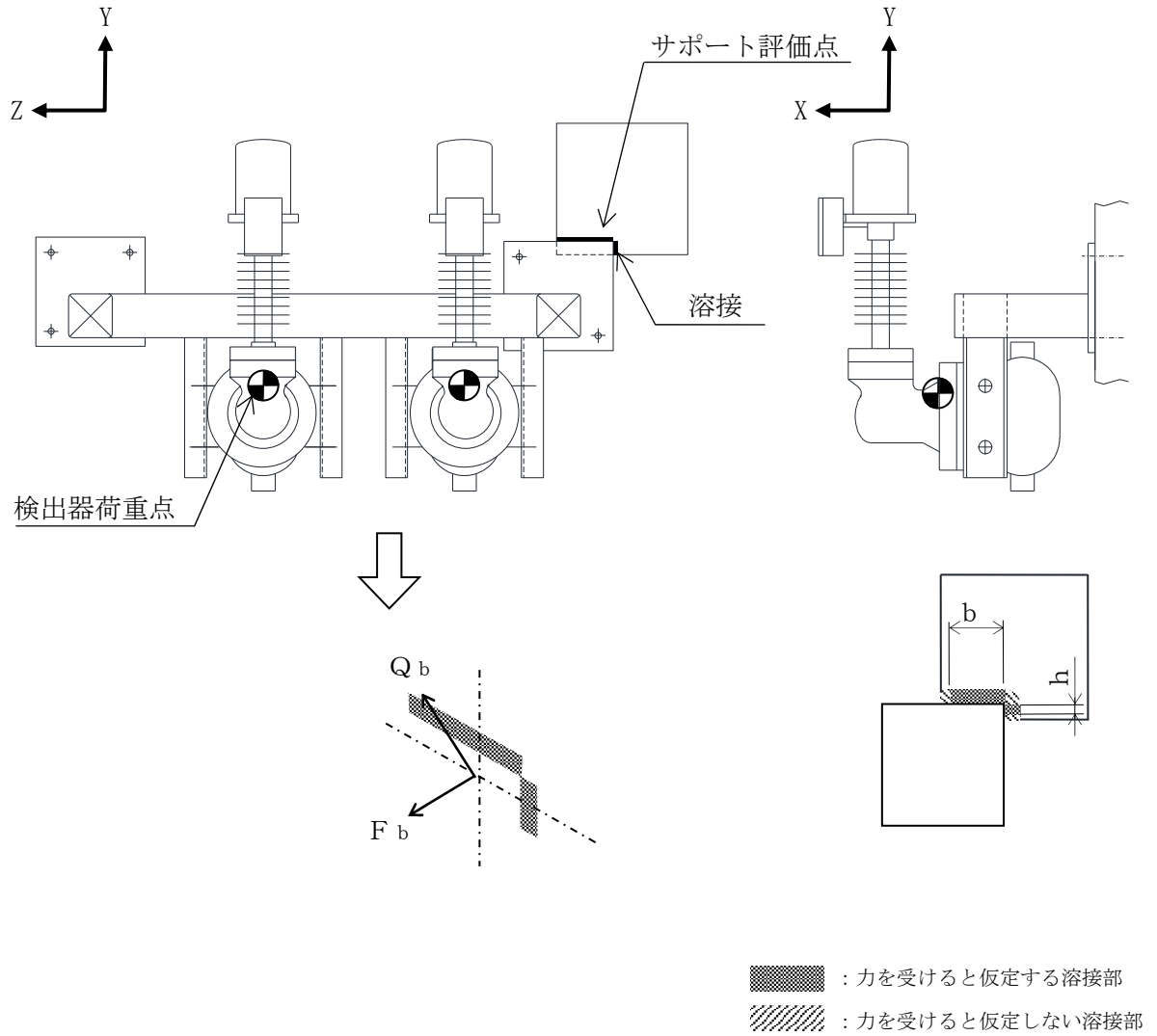


図 5-5 計算モデル（溶接部）（LS293-3C, D）

個別解析によって得られた溶接部の評価点の最大反力を表 5-10 及び表 5-11 に示す。

表5-10 サポート発生反力（弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度）

対象機器	反力(N)	
	F_b	Q_b
LS293-3C, D		

表5-11 サポート発生反力（基準地震動 S_s ）

対象機器	反力(N)	
	F_b	Q_b
LS293-3C, D		

(1) 引張応力（圧縮応力）

溶接部に対する引張応力（圧縮応力）は，溶接部の有効断面積で受けるものとして計算する。

引張応力（圧縮応力）

$$\sigma_{wt} = \frac{|F_b|}{A_w} \dots\dots\dots (5.5.4.1.2.1)$$

ここで，引張力（圧縮力）を受ける溶接部の有効断面積 A_w は，次式により求める。

$$A_w = a \cdot (h + b) \dots\dots\dots (5.5.4.1.2.2)$$

ただし， h ， b は各溶接部における溶接長さを示し，溶接部の有効のど厚 a は，次式により求める。

$$a = 0.7 \cdot s \dots\dots\dots (5.5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

溶接部に対するせん断応力は，溶接部の有効断面積 A_w で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau_w = \frac{Q_b}{A_w} \dots\dots\dots (5.5.4.1.2.4)$$

(3) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は，各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_{wt})^2 + \tau_w^2} \dots\dots\dots (5.5.4.1.2.5)$$

5.5.5 計算条件

5.5.5.1 基礎ボルト及び溶接部の応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【スクラム排水容器水位 (LS293-3C, D) 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。

5.5.6 応力の評価

5.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.5.4.1.1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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.5.6.1.1)$$

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。

	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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.5.6.2 溶接部の応力評価

5.5.4.1.2項で求めた溶接部に発生する応力は、許容応力 f_{sm} 以下であること。ただし、 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 機能維持評価

5.6.1 電氣的機能維持評価方法

スクラム排水容器水位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。

スクラム排水容器水位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 5-12 に示す。

表 5-12 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
スクラム排水容器水位 (LS293-3C)	水平	
	鉛直	
スクラム排水容器水位 (LS293-3D)	水平	
	鉛直	

5.7 評価結果

5.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

スクラム排水容器水位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。

【スクラム排水容器水位 (LS293-3C, D) 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	
スクラム排水容器水位 (LS293-3C, D)	S	原子炉建物 EL 23.800 (EL 30.500* ¹)	0.05 以下		C _H =1.92* ²	C _V =1.25* ²	C _H =2.33* ³	C _V =2.31* ³	50

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

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				211 (40mm ≦ 径 < 100mm)	394 (40mm ≦ 径 < 100mm)	211	253

部材	W (N)	s (mm)	a (mm)	h (mm)	b (mm)	A _w (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
溶接部							241 (径 ≦ 16mm)	394 (径 ≦ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 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				

1.3.2 溶接部に作用する力

(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
溶接部				

1.4 結論

1.4.1 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	SS41	引張	$\sigma_b=101$	$f_{ts}=126^*$	$\sigma_b=134$	$f_{ts}=152^*$
		せん断	$\tau_b=15$	$f_{sb}=97$	$\tau_b=21$	$f_{sb}=117$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 溶接部の応力

(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
溶接部	SS41	引張 (圧縮)	$\sigma_{wt}=4$	$f_{sm}=139$	$\sigma_{wt}=6$	$f_{sm}=159$
		せん断	$\tau_w=2$	$f_{sm}=139$	$\tau_w=2$	$f_{sm}=159$
		組合せ	$\sigma_w=5$	$f_{sm}=139$	$\sigma_w=6$	$f_{sm}=159$

すべて許容応力以下である。

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

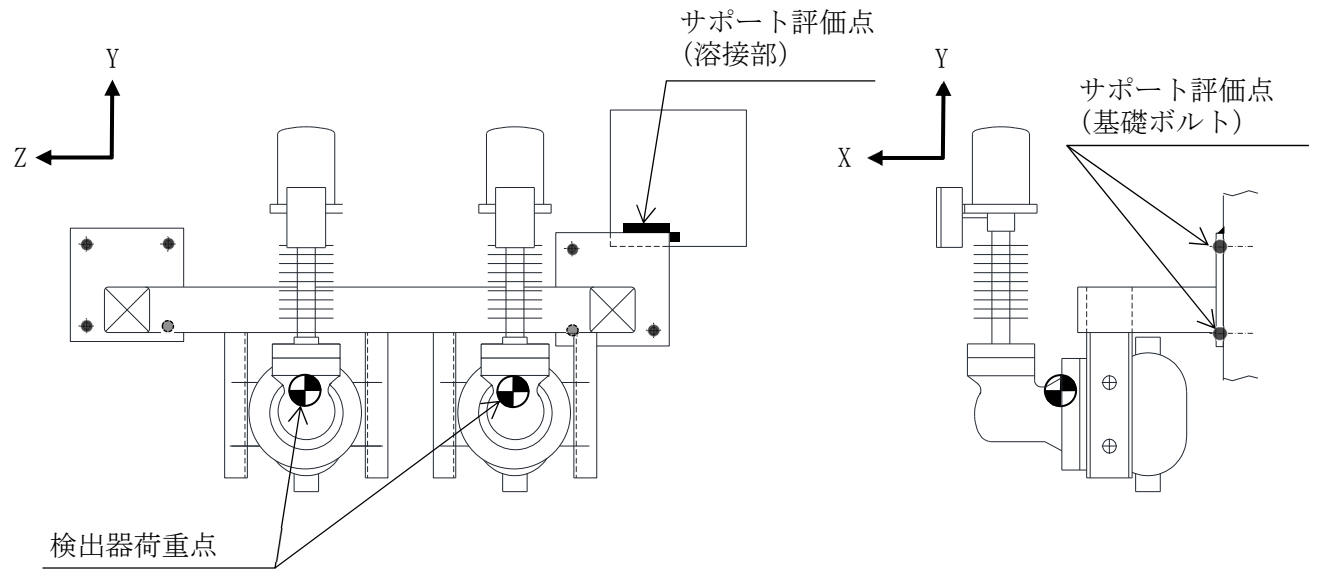
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
スクラム排水水容器水位 (LS293-3C)	水平方向	1.95	
	鉛直方向	1.94	
スクラム排水水容器水位 (LS293-3D)	水平方向	1.95	
	鉛直方向	1.94	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (LS293-3C)
材質	—	—	SS41 STKR41
質量	m	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	201000 (SS41) 201000 (STKR41)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	
節点数	—	個	



VI-2-6-5-49 主蒸気管トンネル温度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	9
2.3 適用規格・基準等	10
2.4 記号の説明	11
2.5 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 固有周期	14
4.1 固有値解析方法	14
4.2 解析モデル及び諸元	14
4.3 固有値解析結果	18
5. 構造強度評価	25
5.1 構造強度評価方法	25
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	25
5.3 設計用地震力	29
5.4 計算方法	31
5.5 計算条件	39
5.6 応力の評価	39
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	42
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	42

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、主蒸気管トンネル温度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。

主蒸気管トンネル温度は、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

主蒸気管トンネル温度の構造計画を表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>検出器は、計器取付ボルトによりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより天井に設置する。</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 検出器</p>	<p style="text-align: center;">主蒸気管トンネル温度 (TE202-4A, B, C, D)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>対象機器</th> <th>TE202-4A</th> <th>TE202-4B</th> <th>TE202-4C</th> <th>TE202-4D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>縦</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>	対象機器	TE202-4A	TE202-4B	TE202-4C	TE202-4D	縦					横					高さ				
対象機器	TE202-4A	TE202-4B	TE202-4C	TE202-4D																		
縦																						
横																						
高さ																						

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>検出器は、計器取付ボルトによりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁に設置する。</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 検出器</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 (TE202-5A, B, C, D, TE202-7A, B, C, D)</p>

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																																												
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>対象機器</th> <th>TE202-5A</th> <th>TE202-5B</th> <th>TE202-5C</th> <th>TE202-5D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>縦</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>対象機器</th> <th>TE202-7A</th> <th>TE202-7B</th> <th>TE202-7C</th> <th>TE202-7D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>縦</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				対象機器	TE202-5A	TE202-5B	TE202-5C	TE202-5D	縦					横					高さ					対象機器	TE202-7A	TE202-7B	TE202-7C	TE202-7D	縦					横					高さ				
対象機器	TE202-5A	TE202-5B	TE202-5C	TE202-5D																																									
縦																																													
横																																													
高さ																																													
対象機器	TE202-7A	TE202-7B	TE202-7C	TE202-7D																																									
縦																																													
横																																													
高さ																																													

(単位：mm)

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>検出器は、計器取付ボルトによりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより天井に設置する。</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 検出器</p>	<p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>(天井)</p> <p>サポート鋼材 (山形鋼)</p> <p>検出器</p> <p>計器取付 ボルト</p> <p>主蒸気管トンネル温度 (TE202-6A)</p> <p>(単位: mm)</p>

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>検出器は、計器取付ボルトによりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより天井に設置する。</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 検出器</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 (TE202-6B)</p> <p>(単位：mm)</p>

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>検出器は，計器取付ボルトによりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は，基礎ボルトにより天井に設置する。</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 検出器</p>	<p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>(天井)</p> <p>サポート鋼材 (山形鋼)</p> <p>検出器</p> <p>計器取付 ボルト</p> <p>主蒸気管トンネル温度 (TE202-6C)</p> <p>(単位: mm)</p>

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>検出器は、計器取付ボルトによりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより天井に設置する。</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 検出器</p>	<p>主蒸気管トンネル温度 (TE202-6D)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

主蒸気管トンネル温度の応力評価は、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」にて示す主蒸気管トンネル温度の部位を踏まえ「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、主蒸気管トンネル温度の機能維持評価は、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。

主蒸気管トンネル温度の耐震評価フローを図2-1に示す。

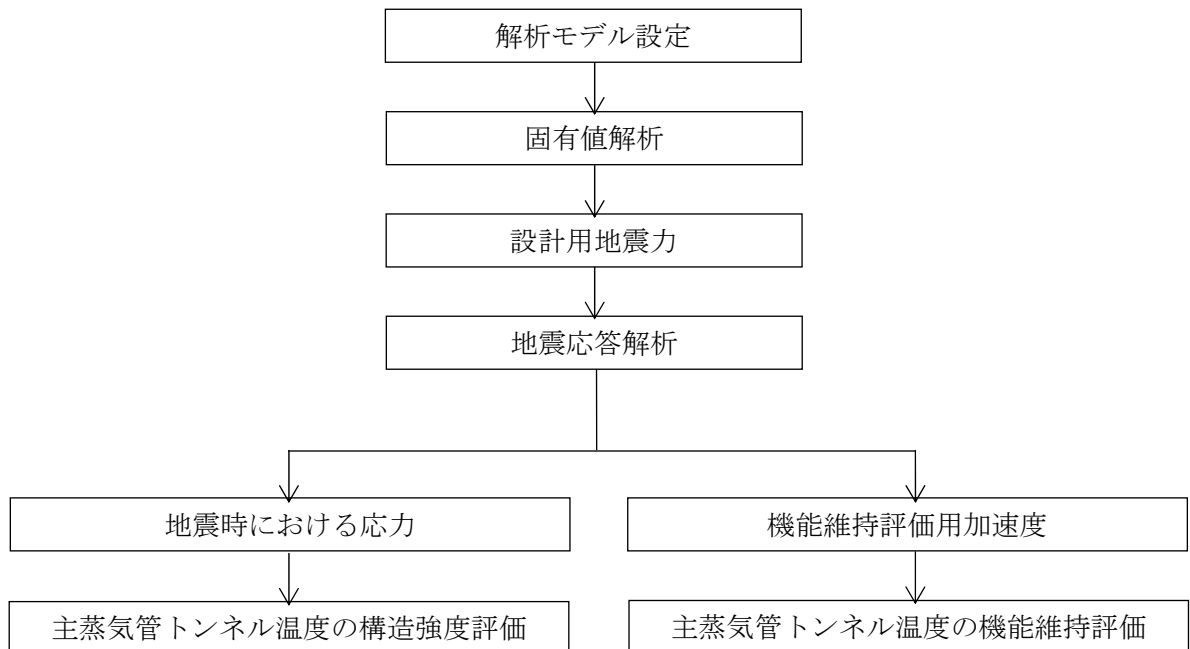


図2-1 主蒸気管トンネル温度の耐震評価フロー

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
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
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 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 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
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力 (1本当たり)	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 (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
W	検出器の荷重	N
W ₁	検出器の荷重	N
W ₂	電線管類の荷重	N
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

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

主蒸気管トンネル温度の耐震評価は、「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部について実施する。主蒸気管トンネル温度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

主蒸気管トンネル温度の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 主蒸気管トンネル温度は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

主蒸気管トンネル温度の解析モデルを図 4-1, 図 4-2, 図 4-3, 図 4-4, 図 4-5 及び図 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【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4A) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4B) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4C) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4D) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5A) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5B) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5C) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5D) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6A) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6B) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6C) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6D) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7A) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7B) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7C) の耐震性についての計算結果】, 【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7D) 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) 主蒸気管トンネル温度の検出器及び電線管類の質量は, それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 主蒸気管トンネル温度の検出器及び電線管類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位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は, 基礎部の並進方向を固定する。なお, 基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は, 公称値を使用する。
- (5) 解析コードは, 「NSAFE」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。

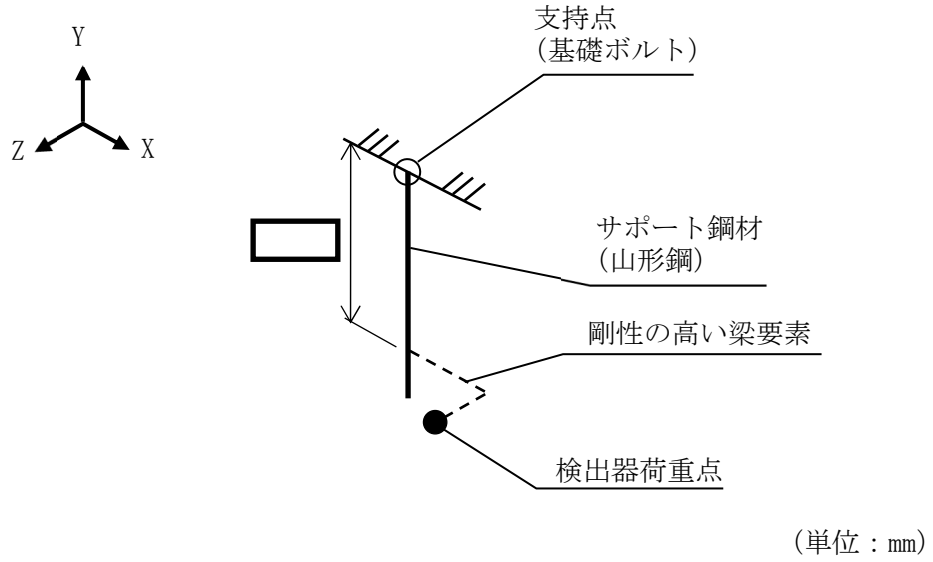


図 4-1 解析モデル (TE202-4A, B, C, D)

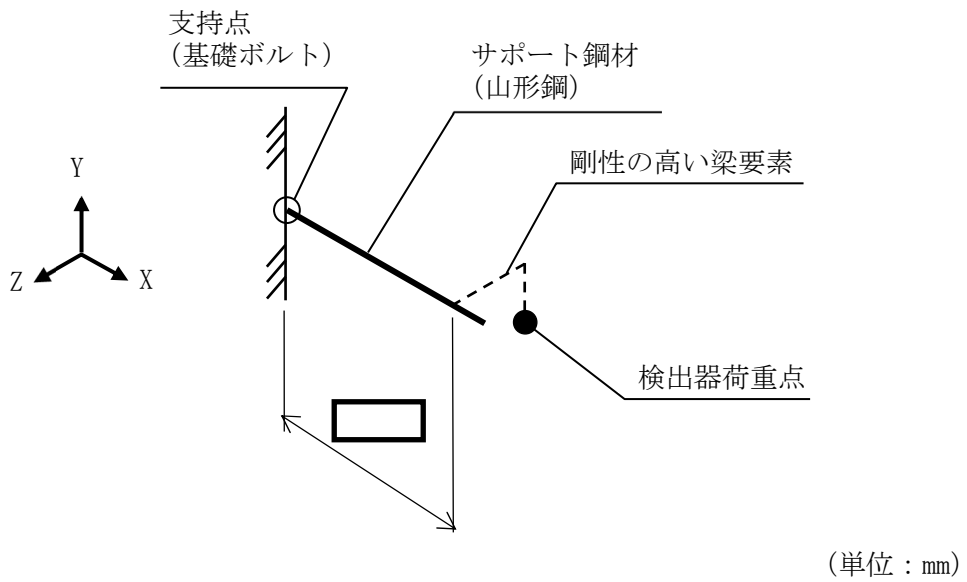


図 4-2 解析モデル (TE202-5A, B, C, D, TE202-7A, B, C, D)

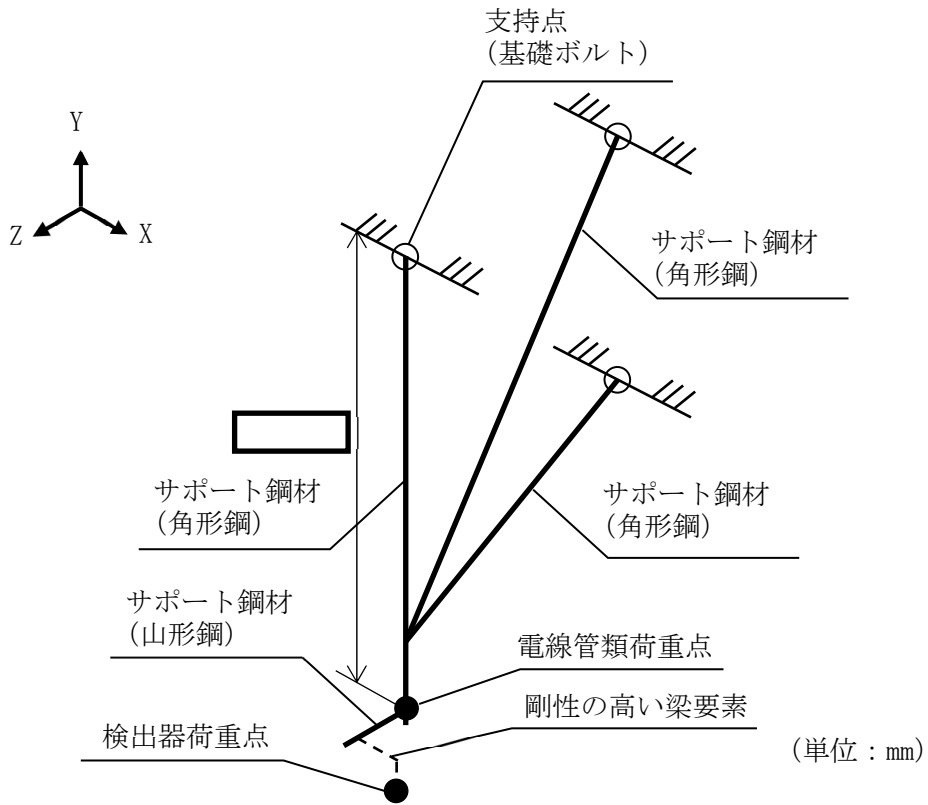


図4-3 解析モデル (TE202-6A)

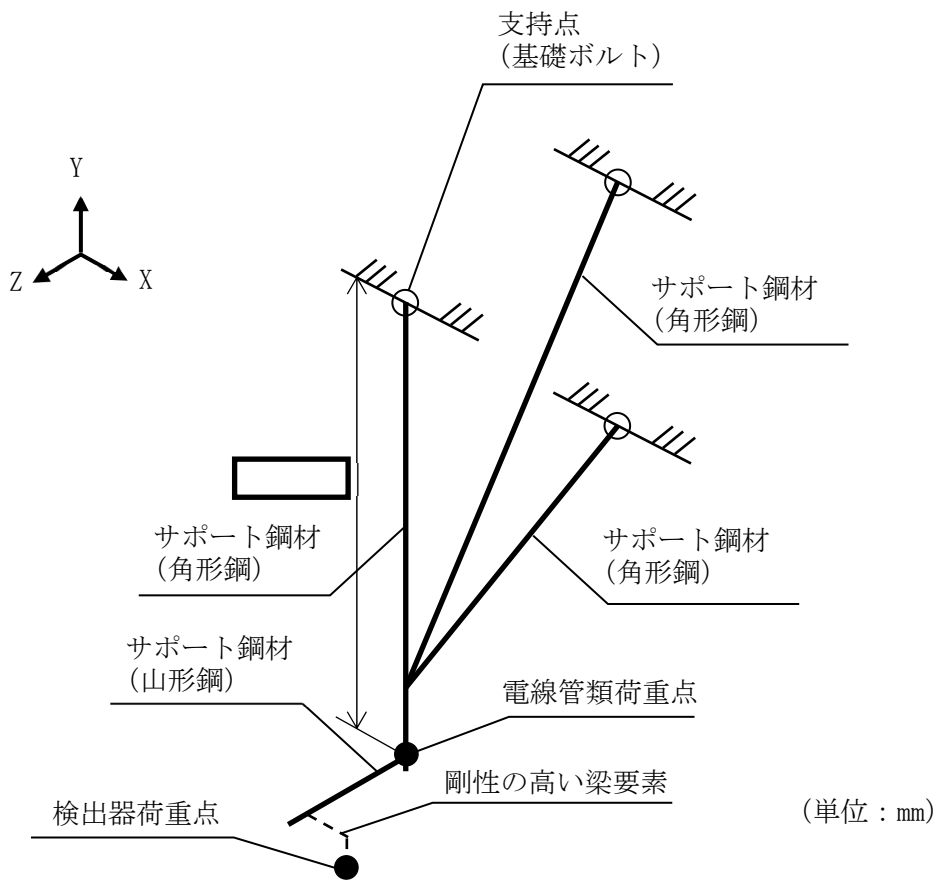


図4-4 解析モデル (TE202-6B)

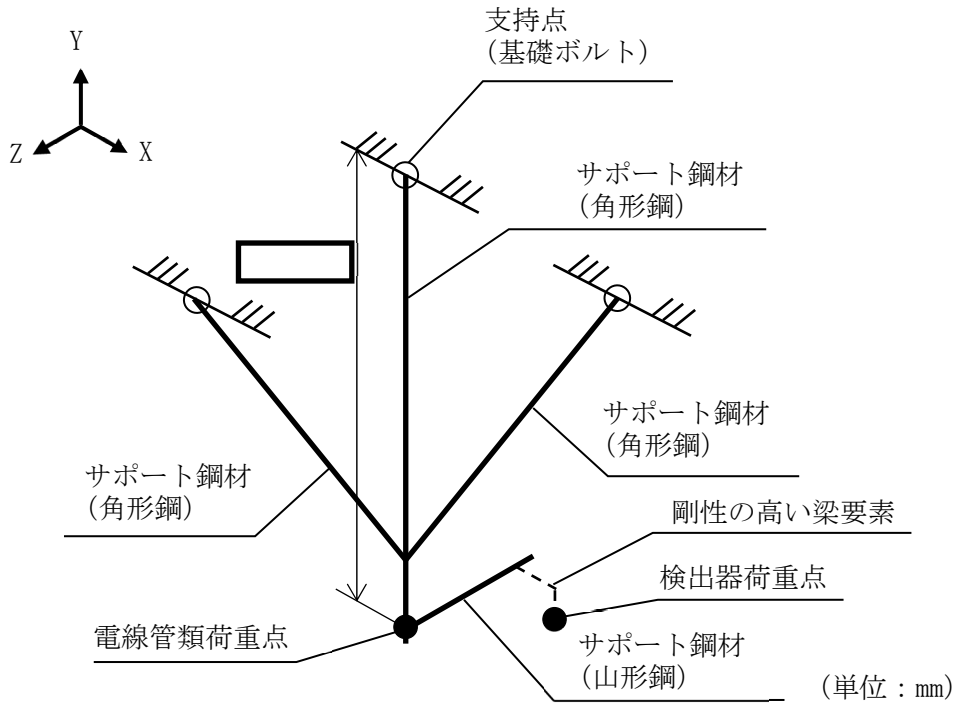


図4-5 解析モデル (TE202-6C)

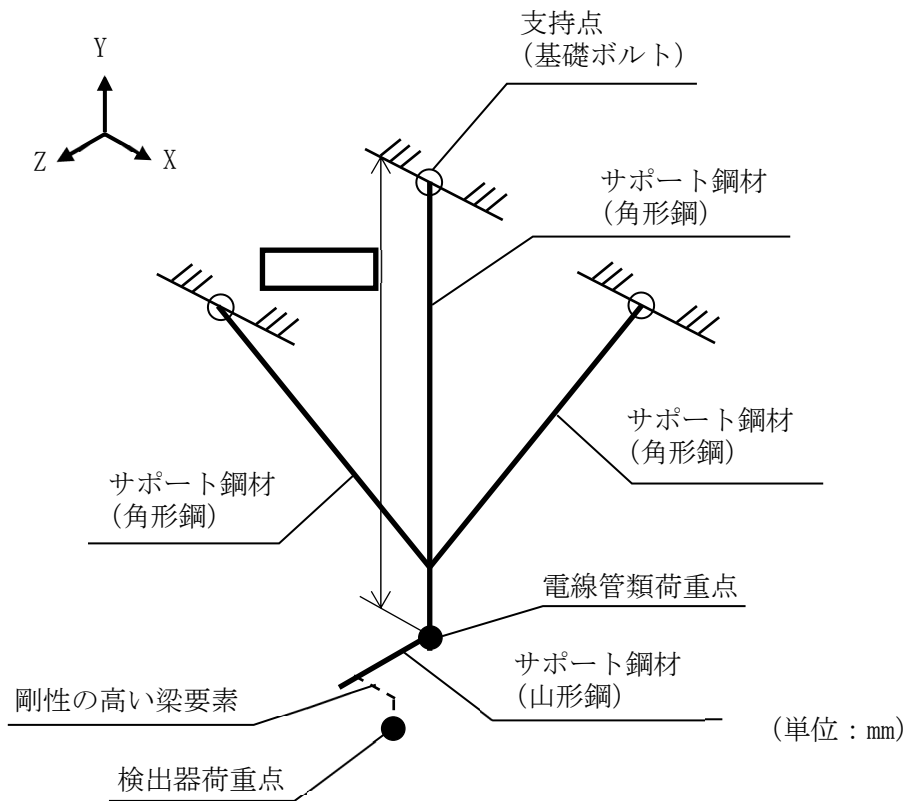


図4-6 解析モデル (TE202-6D)

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1, 振動モード図を図 4-7, 図 4-8, 図 4-9, 図 4-10, 図 4-11 及び図 4-12 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 4-1 固有値解析結果

機器番号	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	
TE202-4A	1 次	水平		—	—	—
TE202-4B	1 次	水平		—	—	—
TE202-4C	1 次	水平		—	—	—
TE202-4D	1 次	水平		—	—	—
TE202-5A	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-5B	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-5C	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-5D	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-6A	1 次	水平		—	—	—
TE202-6B	1 次	水平		—	—	—
TE202-6C	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-6D	1 次	水平		—	—	—
TE202-7A	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-7B	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-7C	1 次	鉛直		—	—	—
TE202-7D	1 次	鉛直		—	—	—

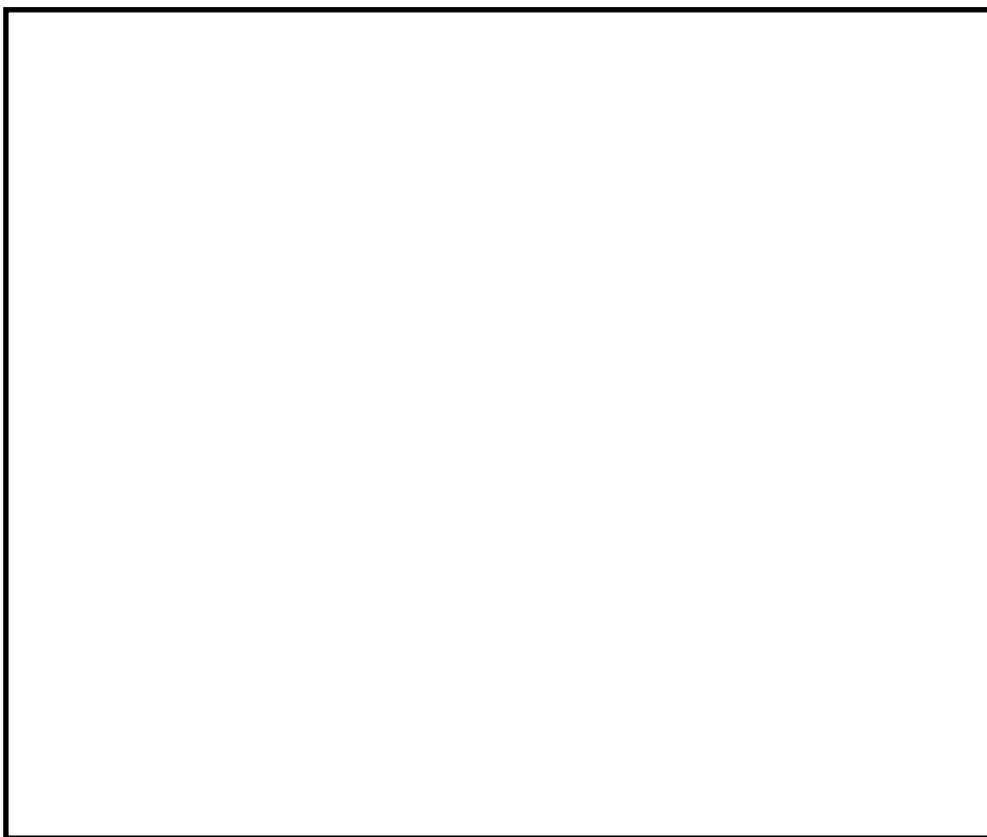



図 4-7 振動モード (TE202-4A, B, C, D) (1 次モード 水平方向 )



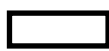

図 4-8 振動モード (TE202-5A, B, C, D, TE202-7A, B, C, D) (1 次モード 鉛直方向 



図 4-9 振動モード (TE202-6A) (1 次モード 水平方向 )

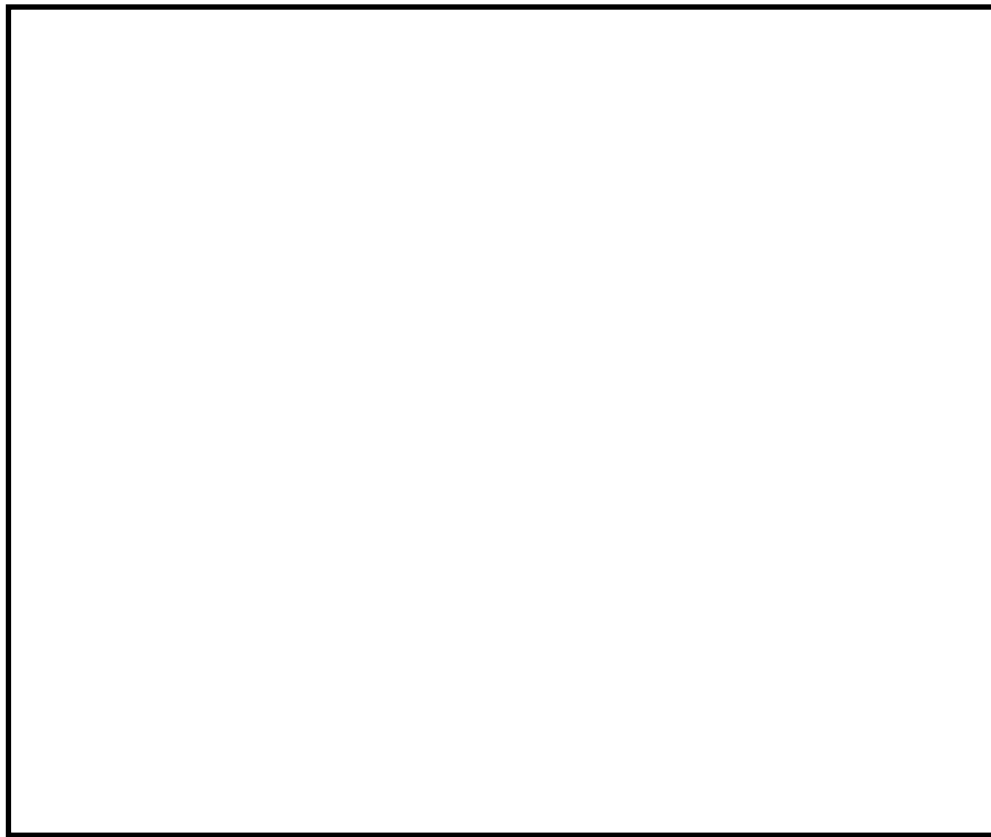



図 4-10 振動モード (TE202-6B) (1 次モード 水平方向 )

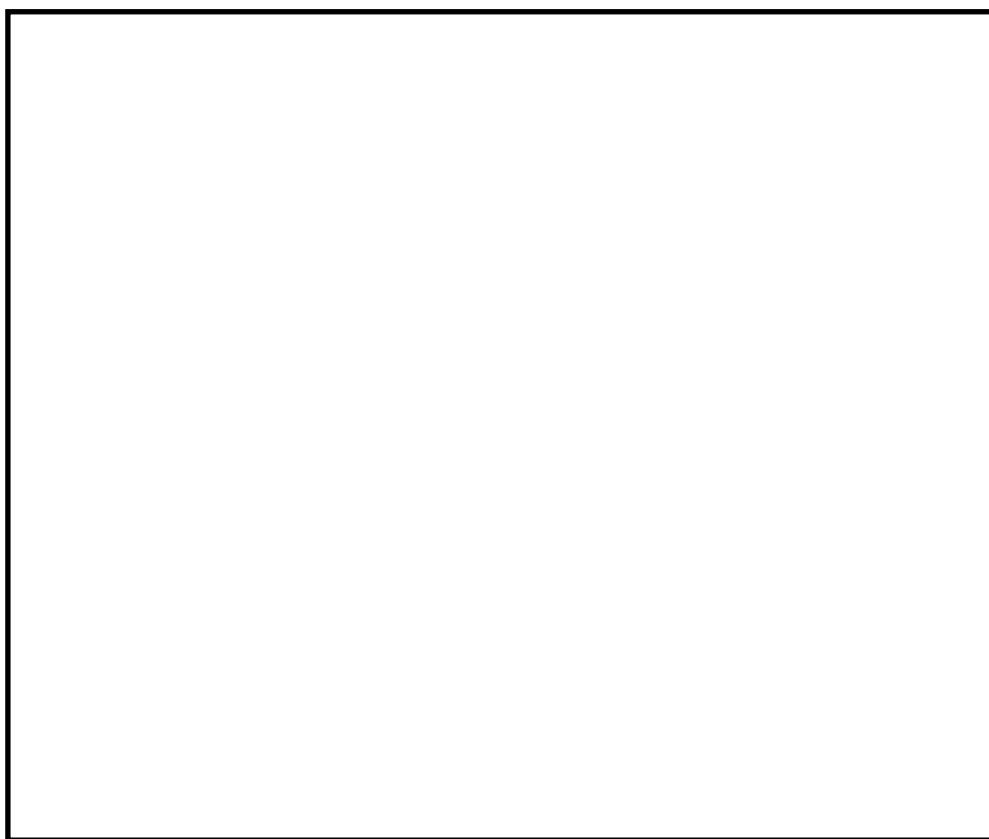



図 4-11 振動モード (TE202-6C) (1 次モード 鉛直方向 )

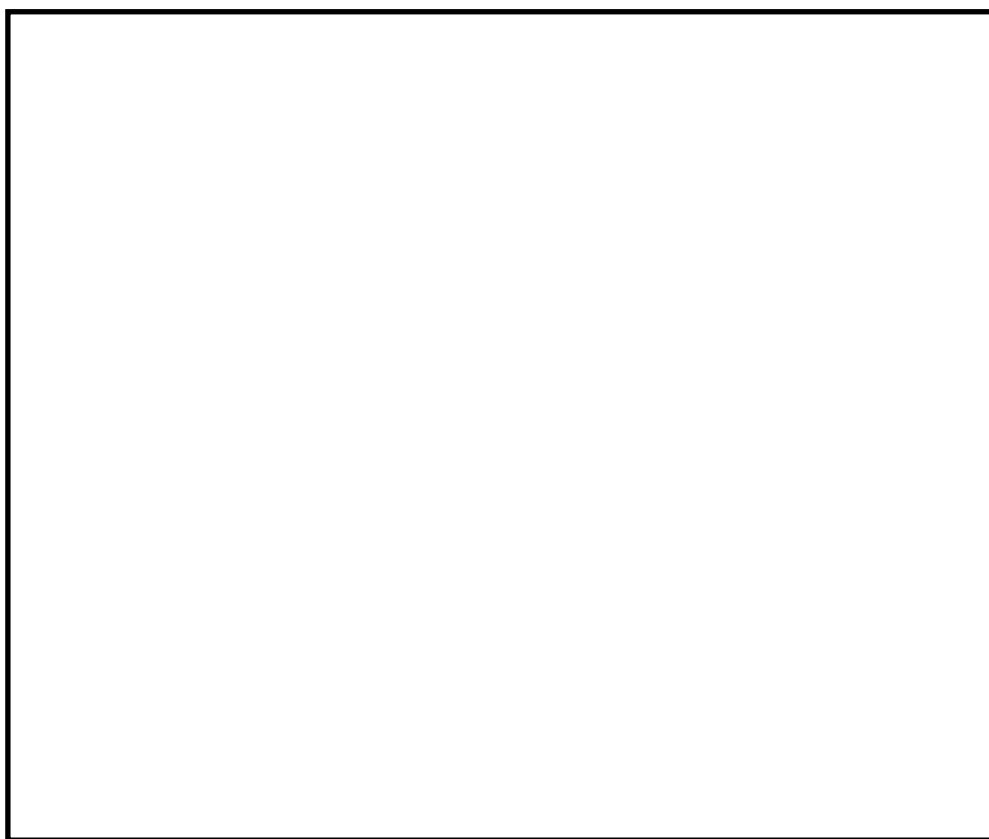


図 4-12 振動モード (TE202-6D) (1 次モード 水平方向 )

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、主蒸気管トンネル温度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。

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

主蒸気管トンネル温度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 に示す。

5.2.2 許容応力

主蒸気管トンネル温度の許容応力は、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

主蒸気管トンネル温度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 5-3 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
計測制御 系統施設	工学的安全 施設等の起 動信号	主蒸気隔離弁	主蒸気管ト ネル温度高	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 許容応力（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
ⅢA S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣA S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 (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				
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	60	208	389	—
基礎ボルト	SS400 相当 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	60	208	389	—
基礎ボルト	SS400 (径≤16mm)	周囲環境温度	60	237	389	—

注記* : SS400 相当

5.3 設計用地震力

耐震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 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	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
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-4A)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)		0.05 以下	$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-4B)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)		0.05 以下	$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-4C)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)		0.05 以下	$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-4D)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)		0.05 以下	$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-5A)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-5B)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-5C)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-5D)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		$C_H=$ 1.19^{*2}	$C_V=$ 1.10^{*2}	$C_H=$ 1.73^{*3}	$C_V=$ 2.07^{*3}

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	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
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-6A)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)		0.05 以下	C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*3
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-6B)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)		0.05 以下	C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*3
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-6C)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*3
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-6D)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)		0.05 以下	C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*3
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-7A)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*3
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-7B)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*3
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-7C)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*3
主蒸気管 トンネル温度 (TE202-7D)	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		C _H = 1.19*2	C _V = 1.10*2	C _H = 1.73*3	C _V = 2.07*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）

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる個別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。

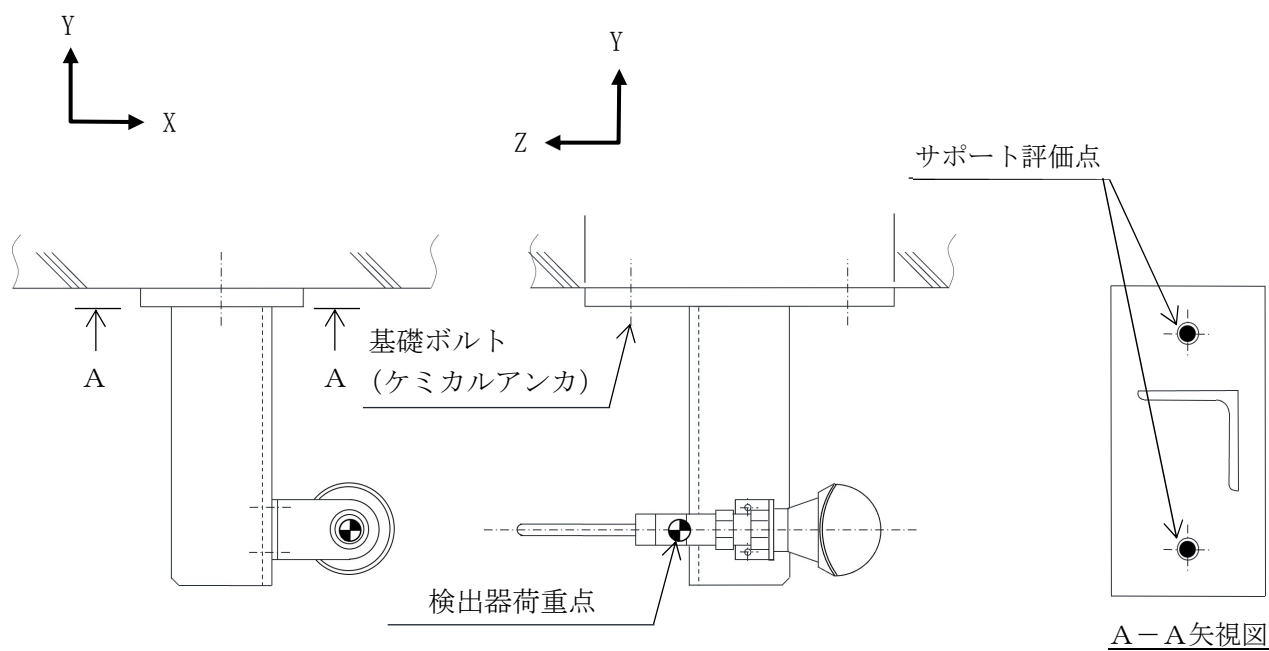


図5-1 計算モデル (TE202-4A, B, C, D)

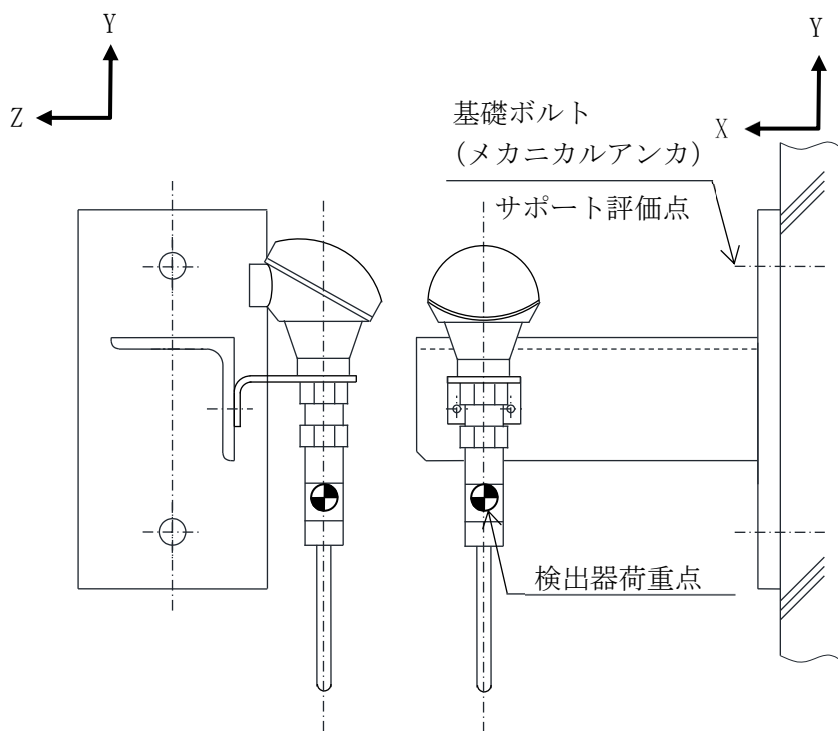


図 5-2 計算モデル (TE202-5A, B, C, D, TE202-7A, B, C, D)

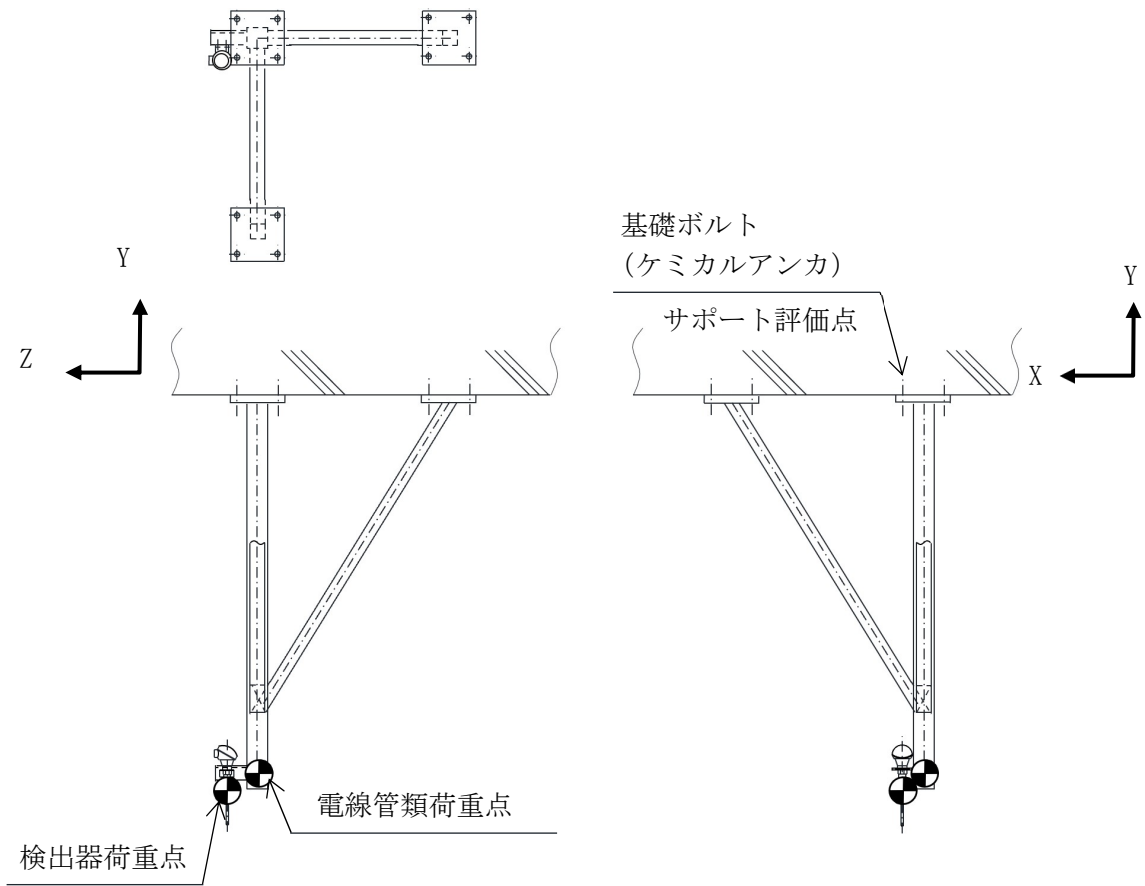


図 5-3 計算モデル (TE202-6A)

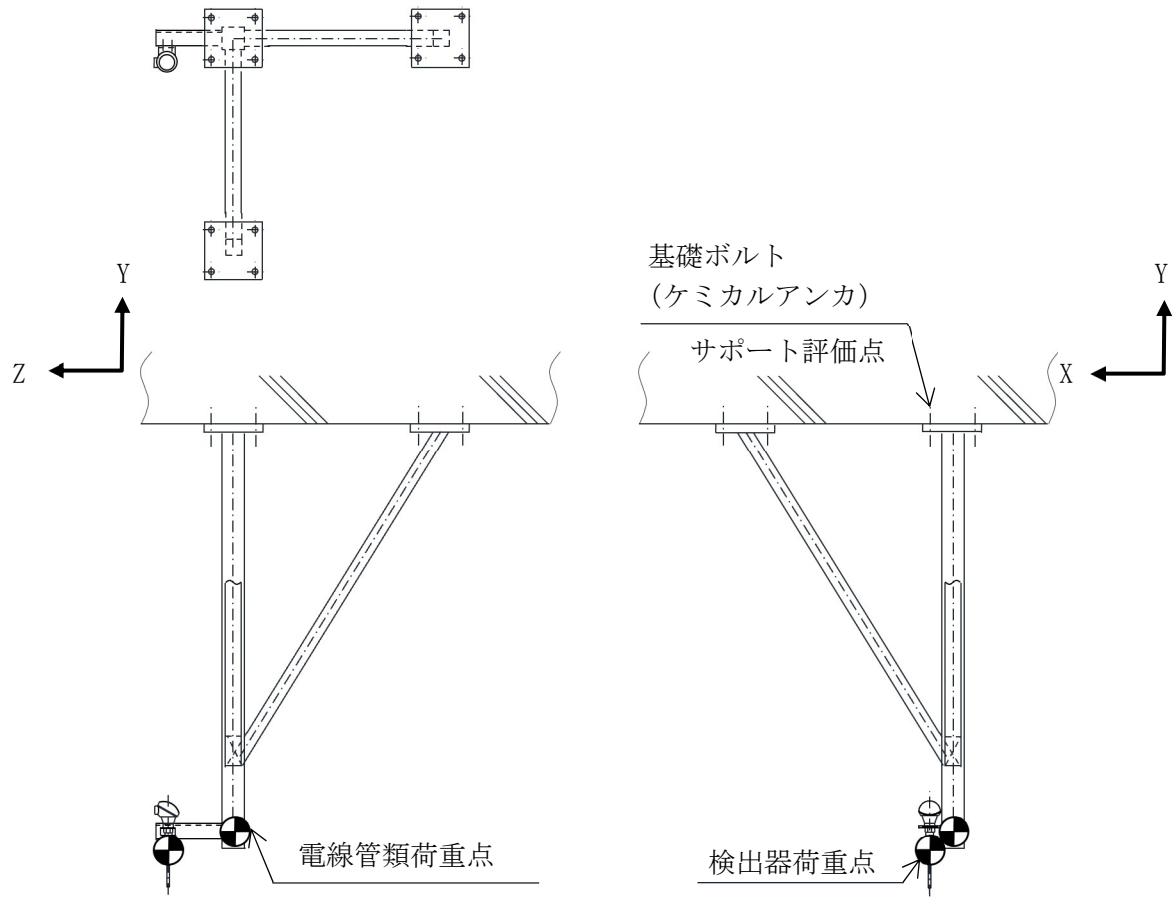


図 5-4 計算モデル (TE202-6B)

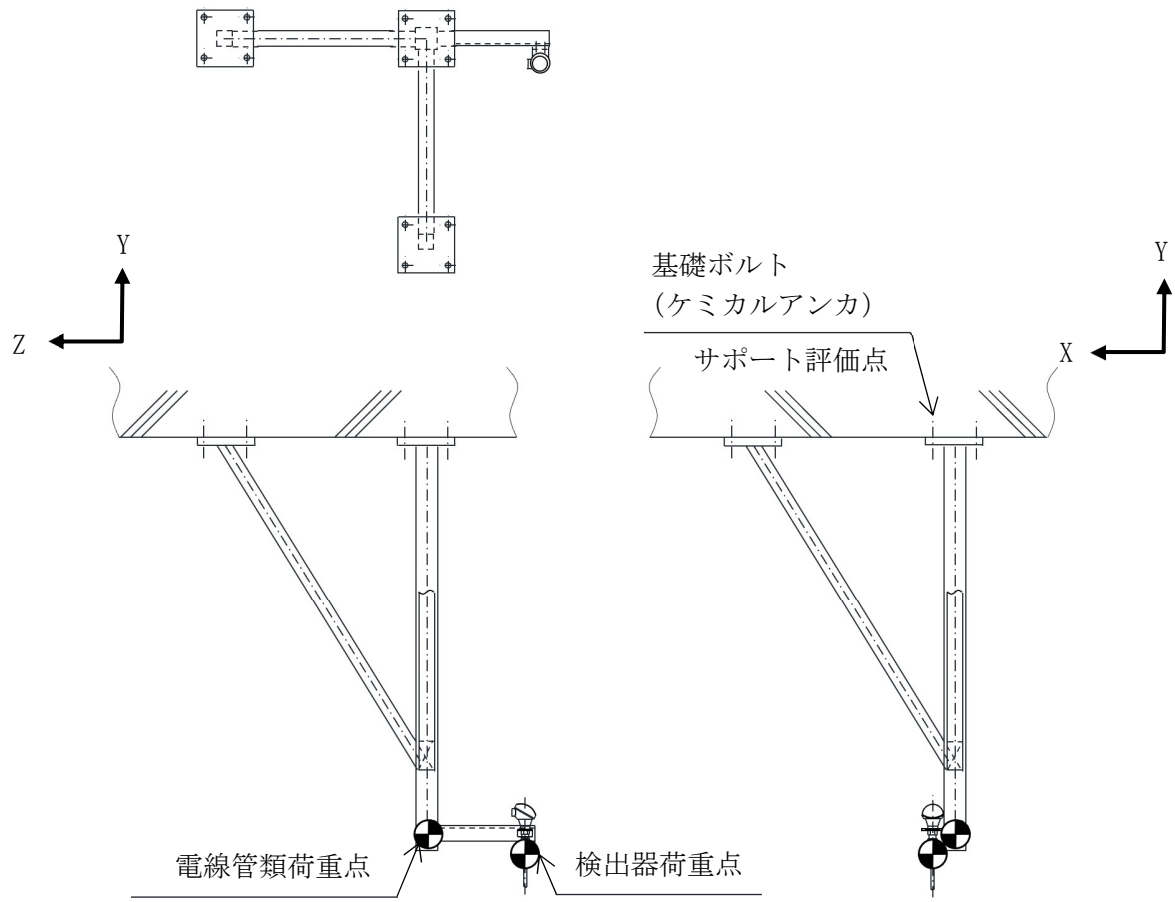


図 5-5 計算モデル (TE202-6C)

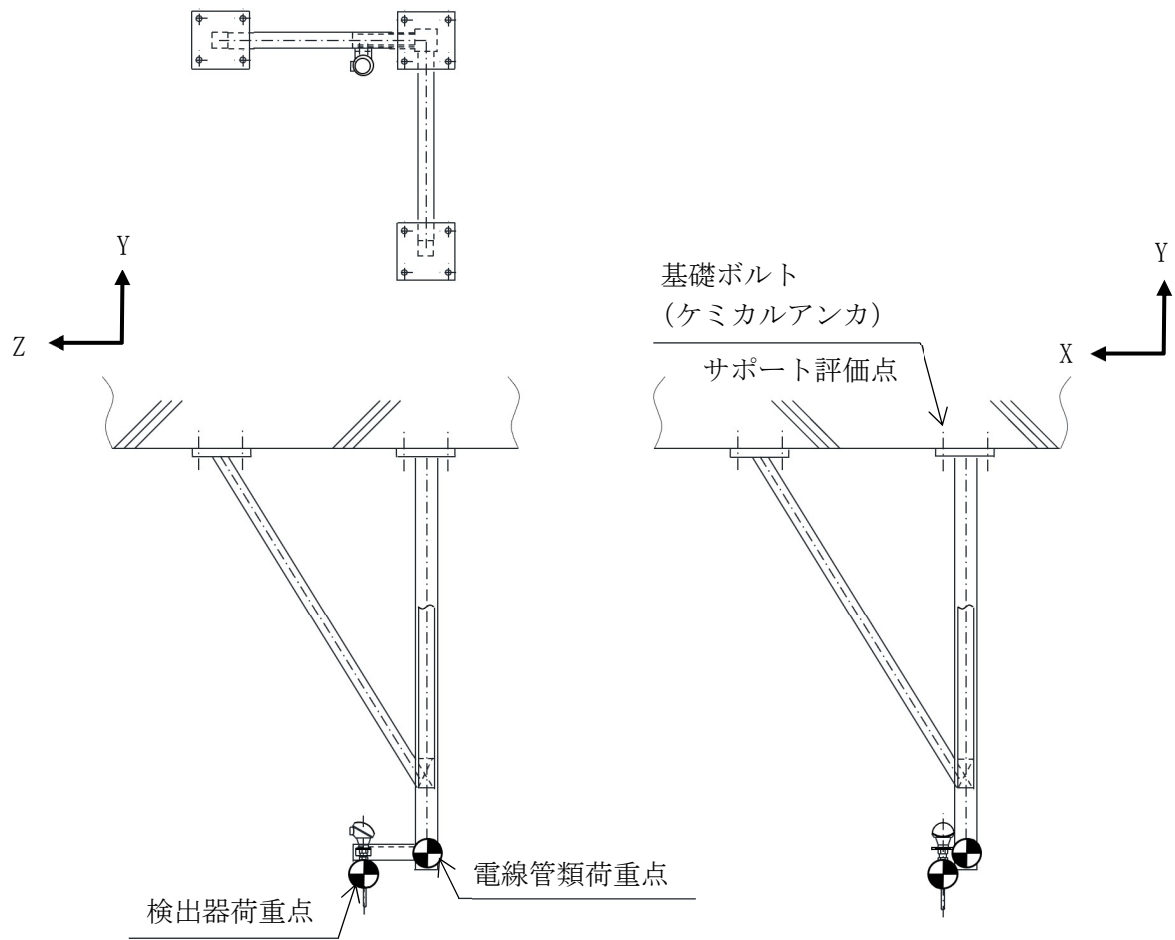


図 5-6 計算モデル (TE202-6D)

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 5-5 に示す。

表5-5 サポート発生反力

対象機器	反力(N) (弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度)		反力(N) (基準地震動 S _s)	
	F _b	Q _b	F _b	Q _b
TE202-4A				
TE202-4B				
TE202-4C				
TE202-4D				
TE202-5A				
TE202-5B				
TE202-5C				
TE202-5D				
TE202-6A				
TE202-6B				
TE202-6C				
TE202-6D				
TE202-7A				
TE202-7B				
TE202-7C				
TE202-7D				

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本あたり）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本あたり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断応力

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

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4A) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4B) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4C) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4D) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5A) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5B) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5C) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5D) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6A) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6B) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6C) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6D) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7A) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7B) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7C) の耐震性についての計算結果】、【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7D) 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。

	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. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

主蒸気管トンネル温度の電気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。

主蒸気管トンネル温度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、当該器具と類似の器具単体の正弦波加振試験において、電気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
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4A)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4B)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4C)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4D)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5A)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5B)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5C)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5D)	水平	
	鉛直	

表 6-1 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
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6A)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6B)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6C)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6D)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7A)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7B)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7C)	水平	
	鉛直	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7D)	水平	
	鉛直	

S2 補 VI-2-6-5-49 R0

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気管トンネル温度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。

【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4A) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4A)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)		0.05 以下	C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	SS41	引張	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

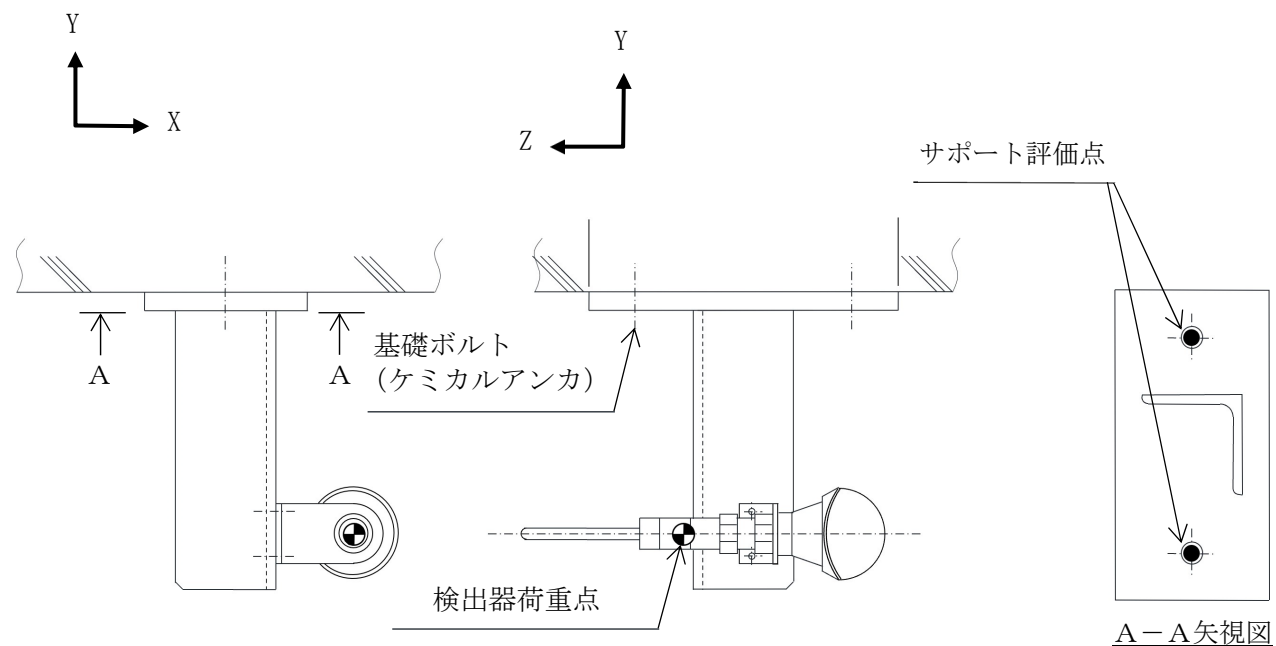
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4A)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-4A)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4B) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4B)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)		0.05 以下	C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	SS41	引張	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

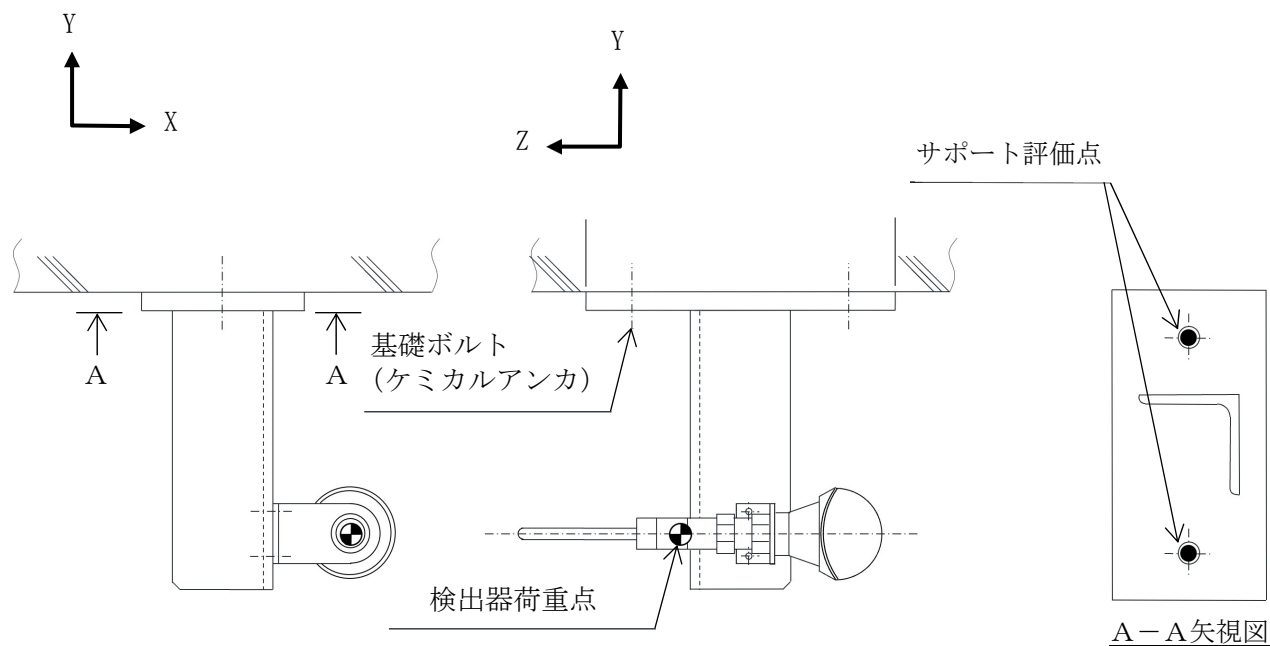
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4B)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-4B)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4C) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4C)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)		0.05 以下	C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	SS41	引張	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

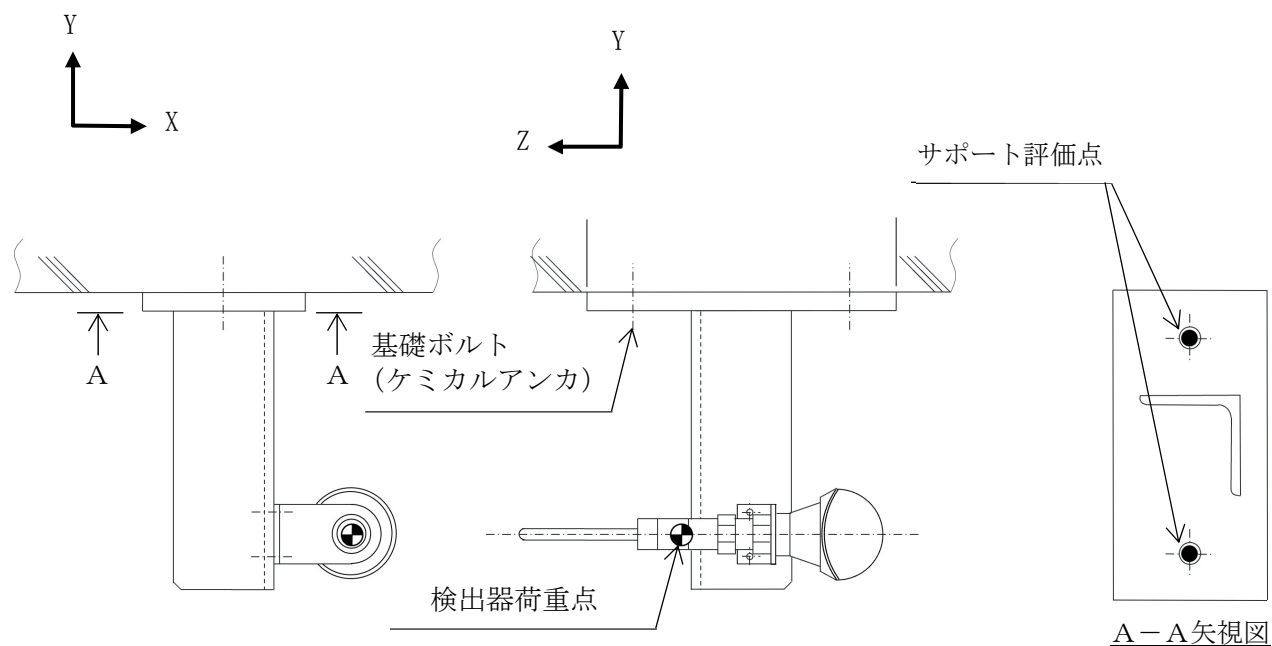
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4C)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-4C)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-4D) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4D)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)		0.05 以下	C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	SS41	引張	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

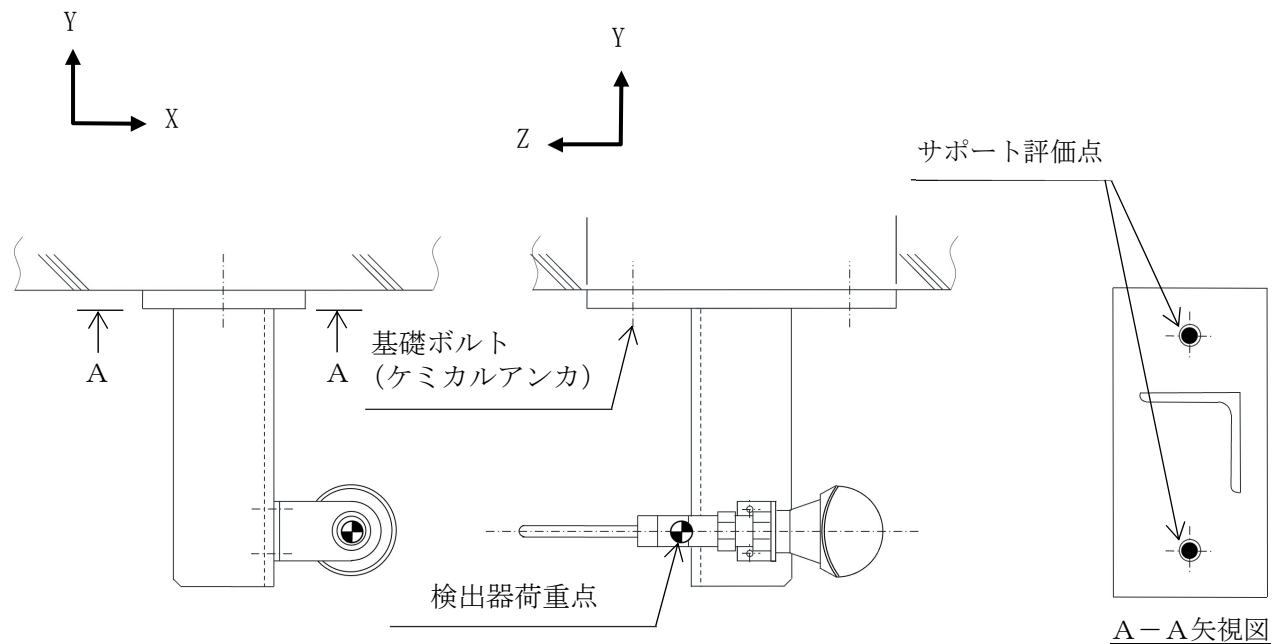
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-4D)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-4D)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5A) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5A)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

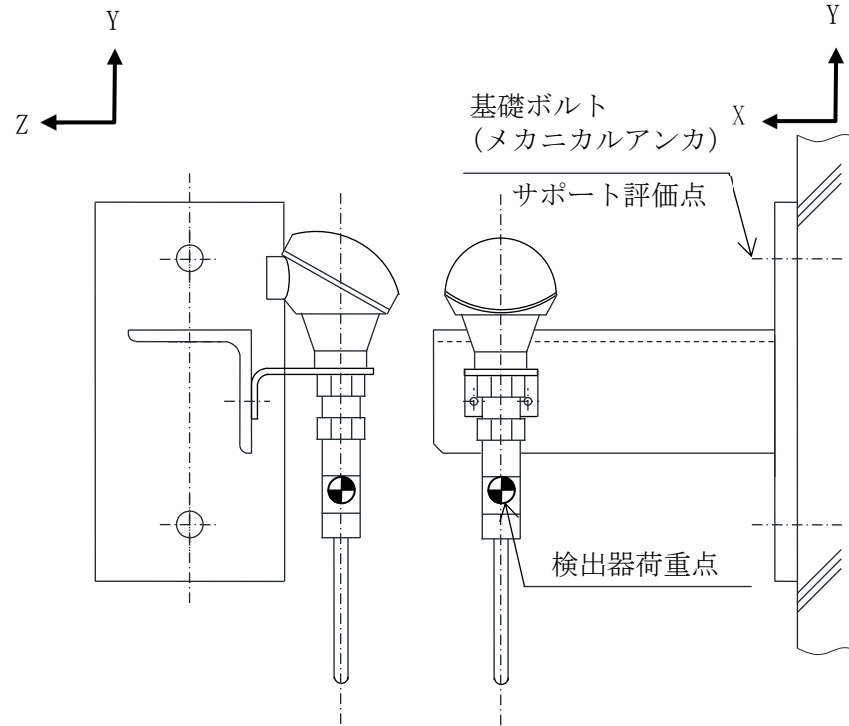
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5A)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-5A)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5B) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5B)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

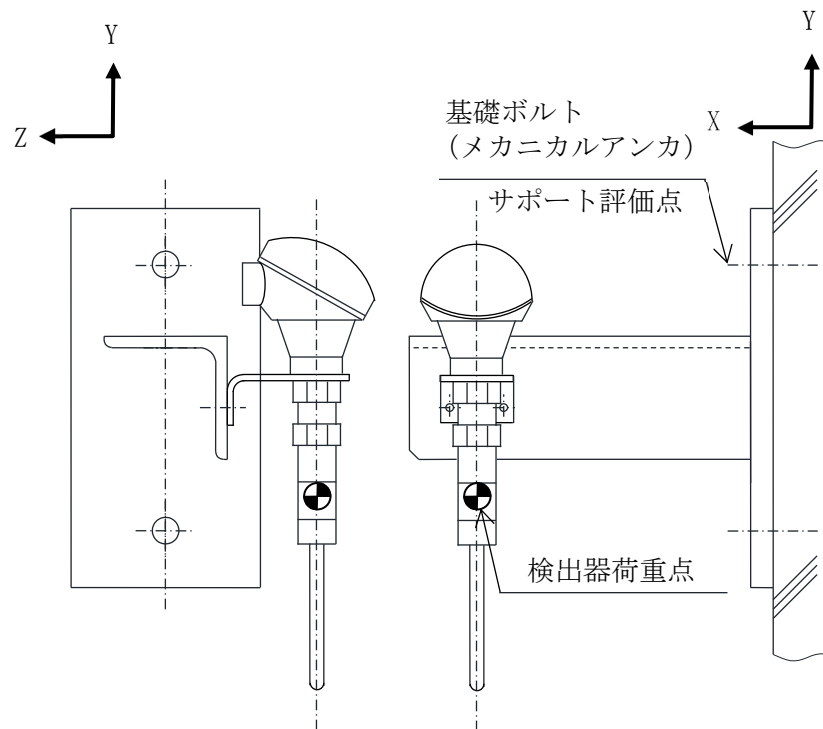
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5B)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-5B)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5C) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5C)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800*1)	0.05 以下		$C_H=1.19^{*2}$	$C_V=1.10^{*2}$	$C_H=1.73^{*3}$	$C_V=2.07^{*3}$	60

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

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				208 (40mm<径≤100mm)	389 (40mm<径≤100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

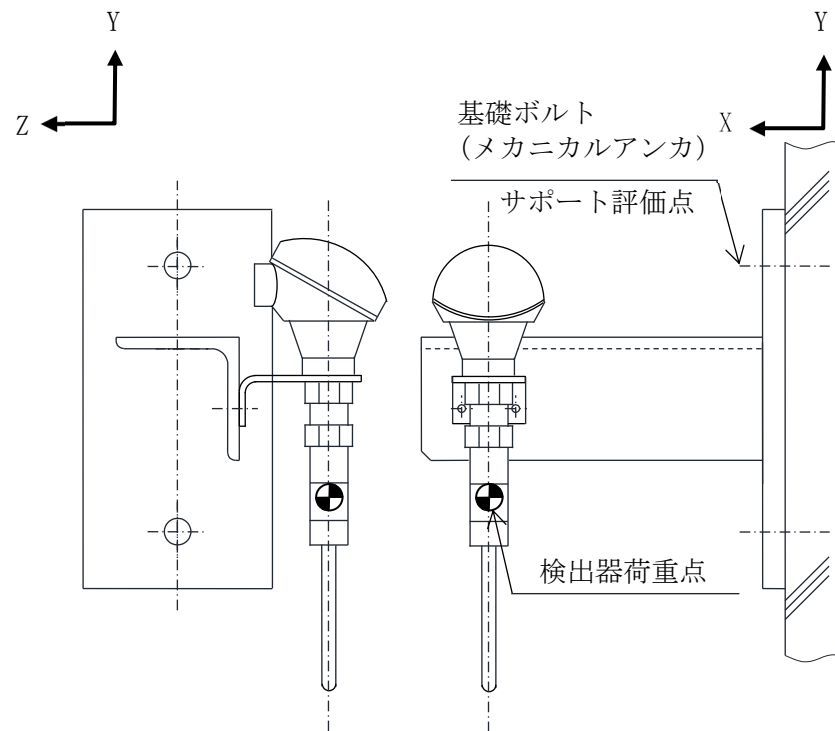
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5C)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-5C)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-5D) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5D)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

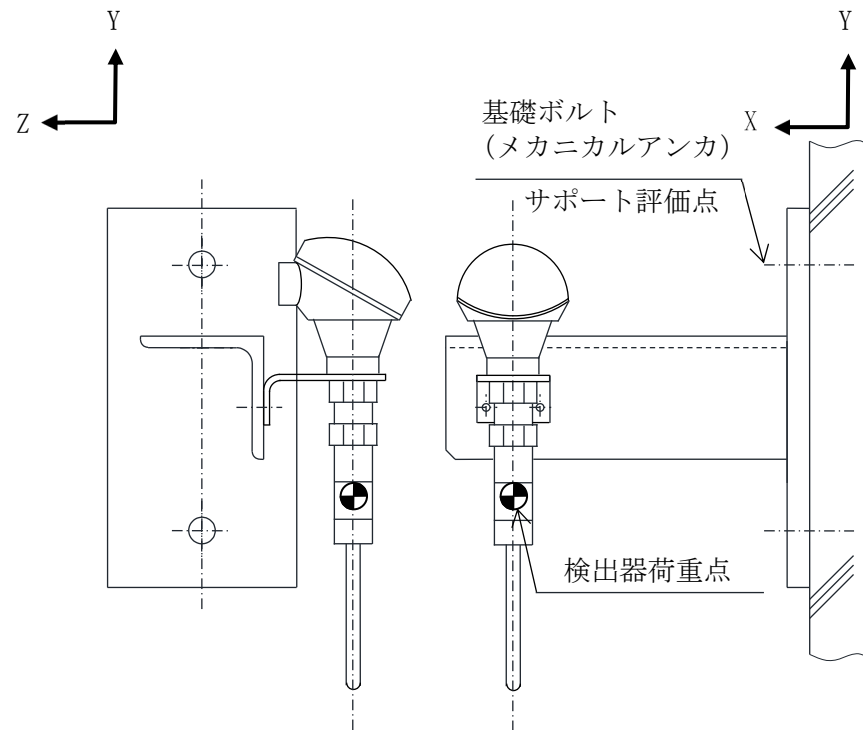
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-5D)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-5D)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6A) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6A)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)		0.05 以下	$C_H=1.19^{*2}$	$C_V=1.10^{*2}$	$C_H=1.73^{*3}$	$C_V=2.07^{*3}$	60

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

部材	W_1 (N)	W_2 (N)	d (mm)	A_b (mm ²)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
基礎ボルト					237 (径 \leq 16mm)	389 (径 \leq 16mm)	237	272

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 142^*$	$\sigma_b = 12$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 109$	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

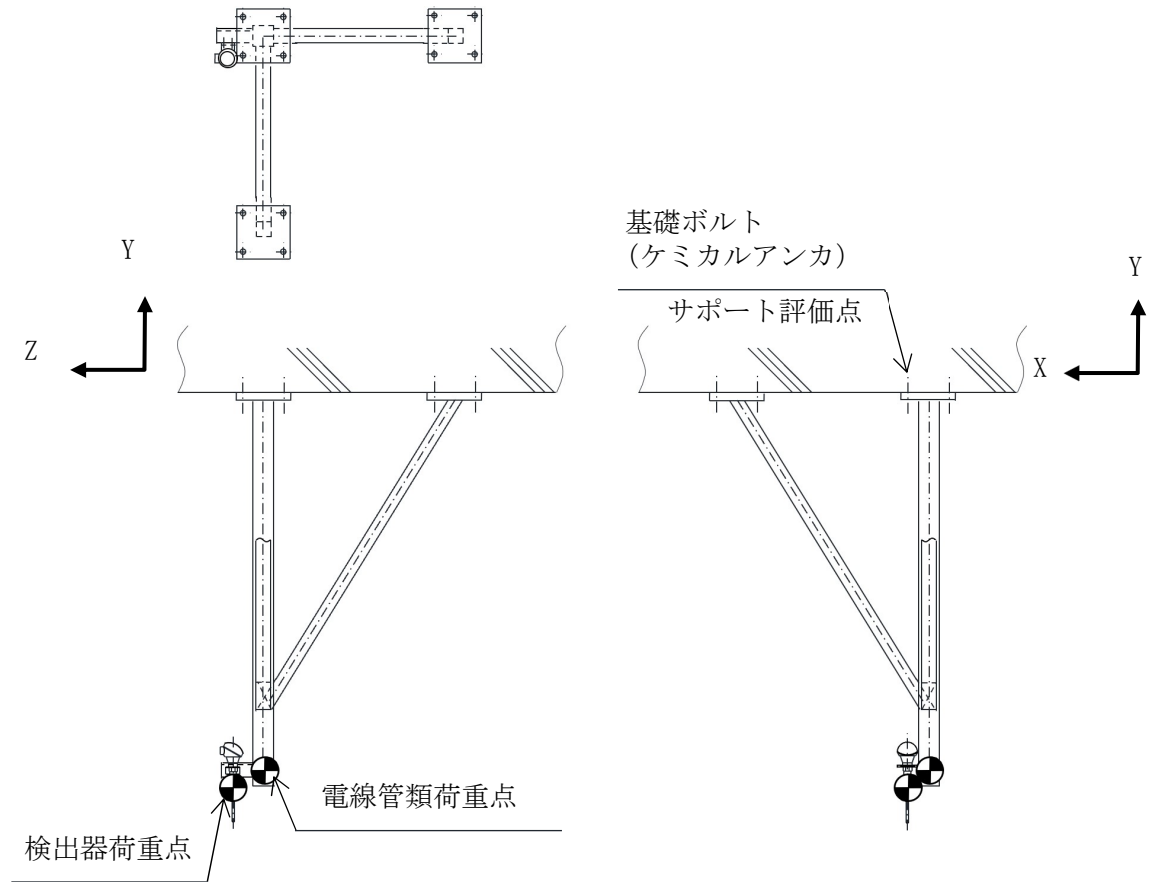
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6A)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-6A)
材質	—	—	STKR400
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6B) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6B)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)		0.05 以下	$C_H=1.19^{*2}$	$C_V=1.10^{*2}$	$C_H=1.73^{*3}$	$C_V=2.07^{*3}$	60

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

部材	W_1 (N)	W_2 (N)	d (mm)	A_b (mm ²)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
基礎ボルト					237 (径 ≤ 16mm)	389 (径 ≤ 16mm)	237	272

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 142^*$	$\sigma_b = 12$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 109$	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

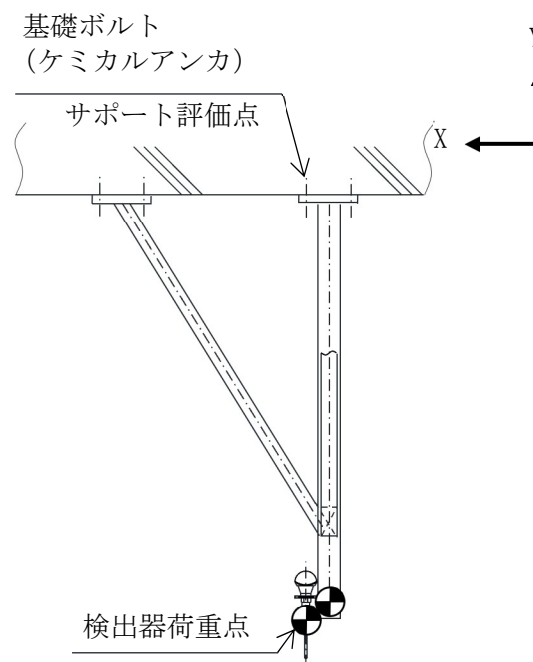
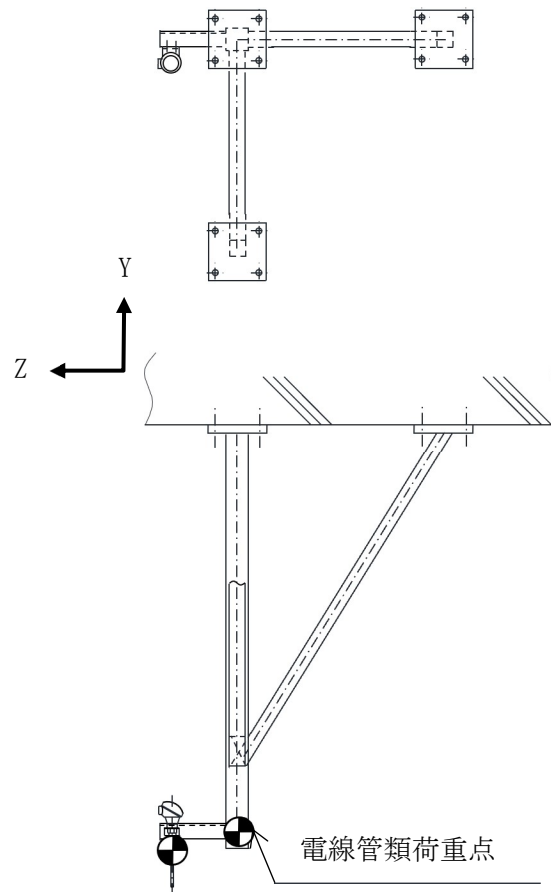
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6B)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-6B)
材質	—	—	STKR400
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6C) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6C)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト					237 (径 ≤ 16mm)	389 (径 ≤ 16mm)	237	272

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 142^*$	$\sigma_b = 13$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 109$	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

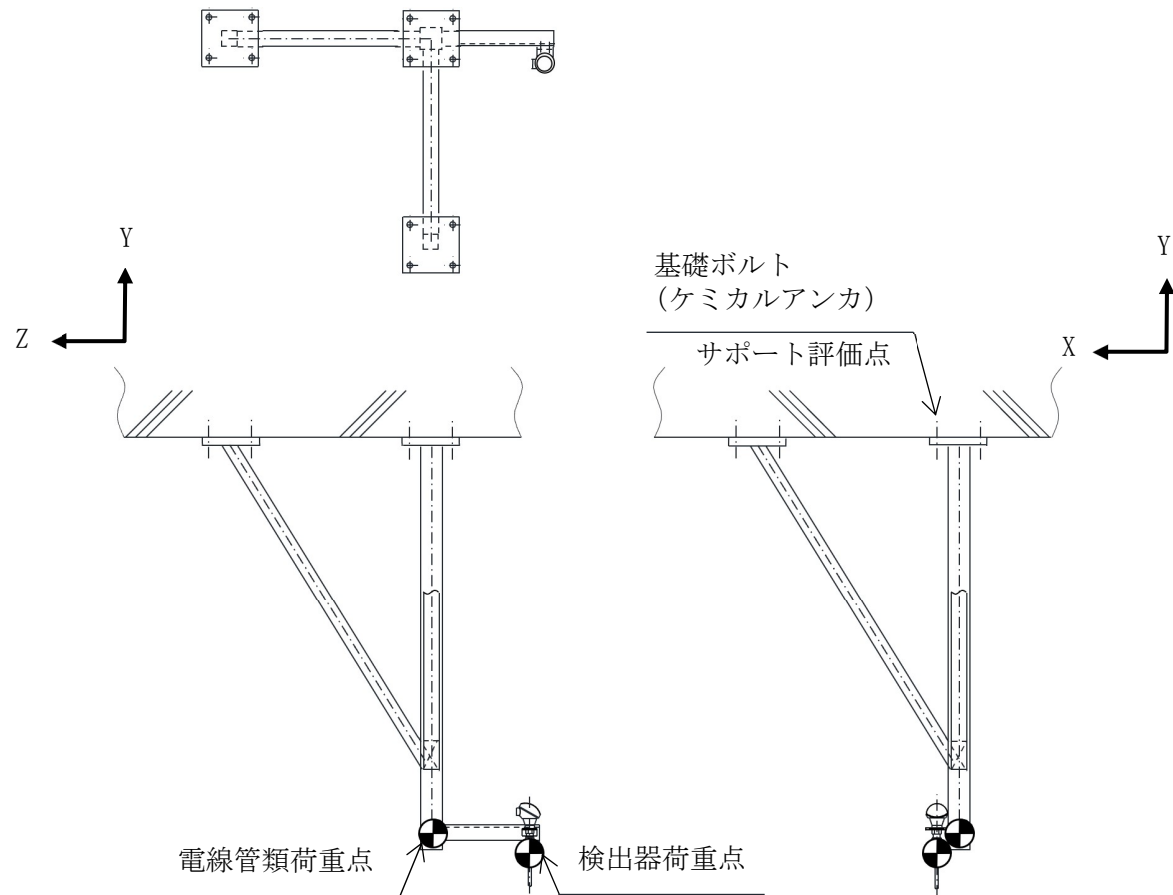
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6C)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-6C)
材質	—	—	STKR400
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-6D) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6D)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)		0.05 以下	C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト					237 (径 ≤ 16mm)	389 (径 ≤ 16mm)	237	272

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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	$\sigma_b = 9$	$f_{ts} = 142^*$	$\sigma_b = 13$	$f_{ts} = 163^*$
		せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 109$	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 125$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

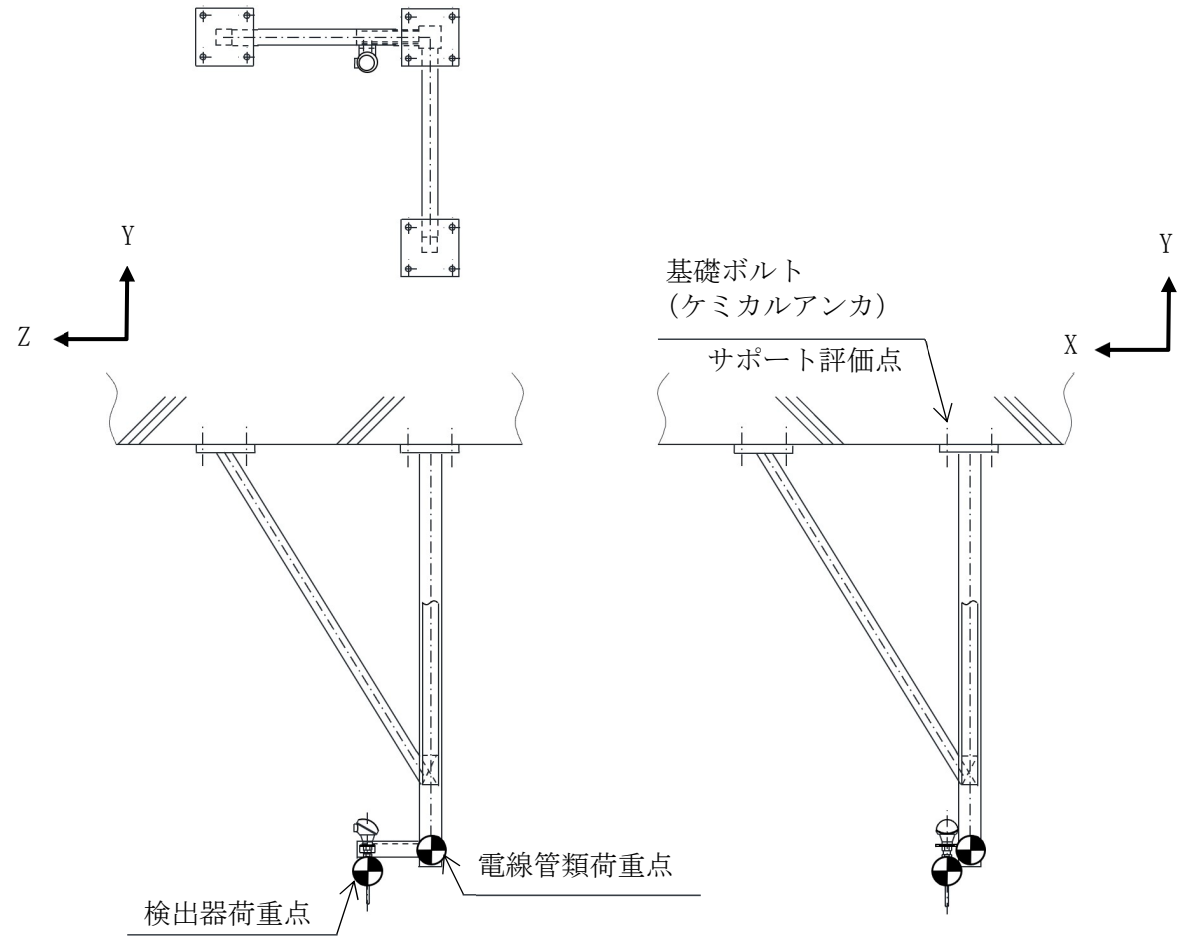
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-6D)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-6D)
材質	—	—	STKR400
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7A) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7A)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

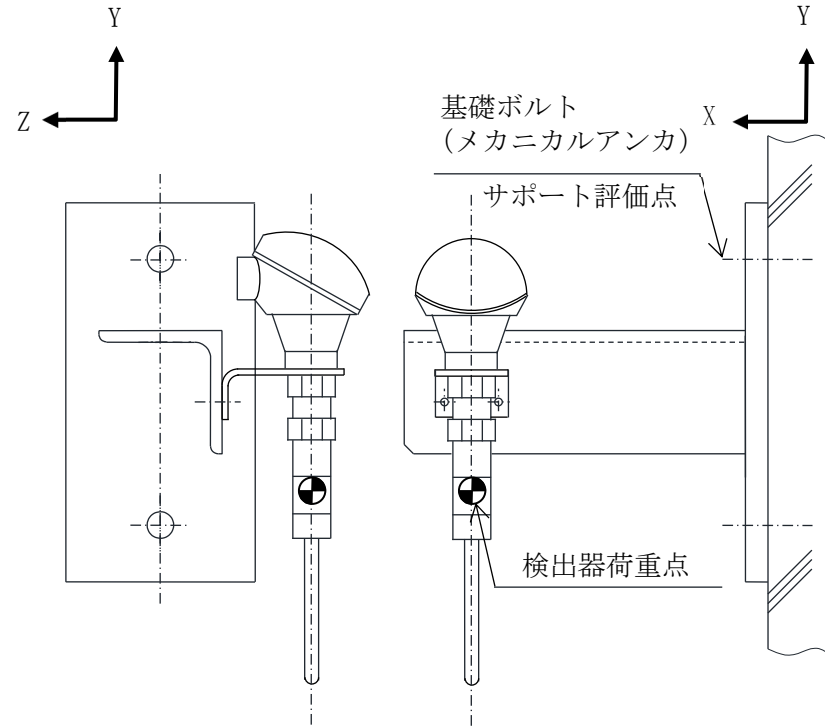
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7A)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-7A)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7B) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7B)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm<径≤100mm)	389 (40mm<径≤100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

8

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

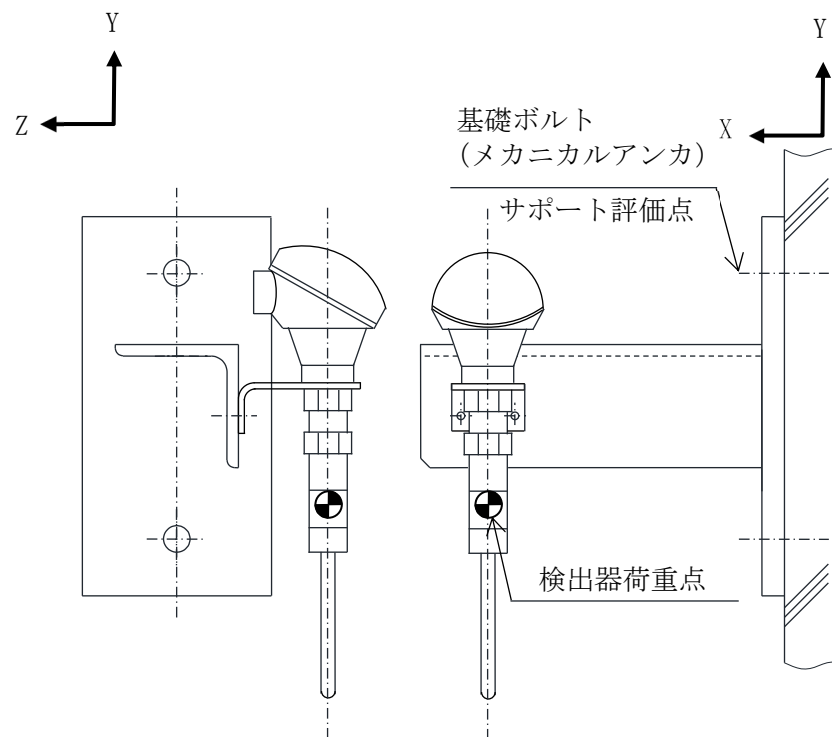
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7B)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-7B)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7C) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7C)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

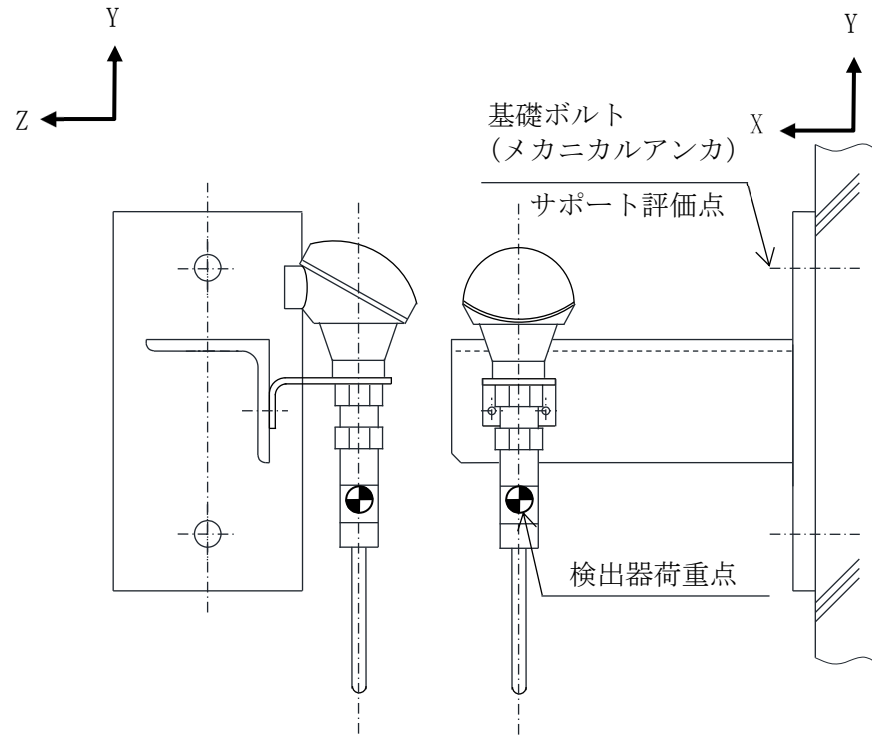
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7C)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-7C)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



【主蒸気管トンネル温度 (TE202-7D) 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	
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7D)	S	原子炉建物 EL 19.500 (EL 23.800* ¹)	0.05 以下		C _H =1.19* ²	C _V =1.10* ²	C _H =1.73* ³	C _V =2.07* ³	60

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

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				208 (40mm < 径 ≤ 100mm)	389 (40mm < 径 ≤ 100mm)	208	249

1.3 計算数値

1.3.1 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 結論

1.4.1 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 相当	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=124^*$	$\sigma_b=2$	$f_{ts}=149^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=96$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=115$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

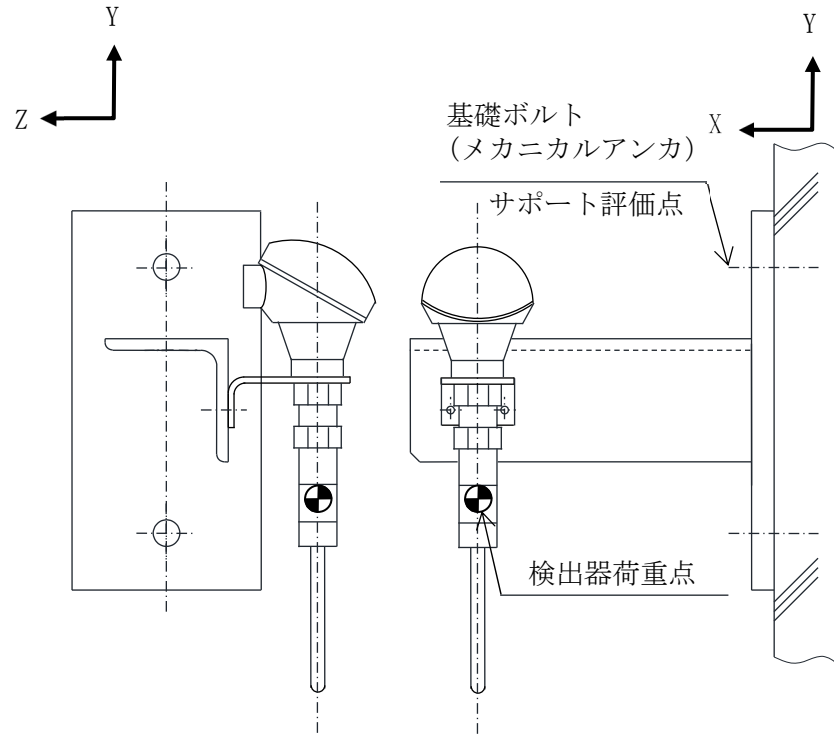
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
主蒸気管トンネル温度 (TE202-7D)	水平方向	1.44	
	鉛直方向	1.73	

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。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値 (TE202-7D)
材質	—	—	SS41
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	60
縦弾性係数	E	MPa	200600
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



VI-2-6-7 その他の計測制御系統施設の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-1 その他の計測装置の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-1-4 スクラバ容器温度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	3
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 機能維持評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、スクラバ容器温度が設計用地震力に対して十分な電気的機能を維持できることを説明するものである。

スクラバ容器温度は、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電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

スクラバ容器温度の構造計画を表 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>検出器は、スクラバ容器に直接取り付けられた熱電対座にボルトを用いて固定する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

スクラバ容器温度の機能維持評価は、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. 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「5. 評価結果」に示す。

スクラバ容器温度の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

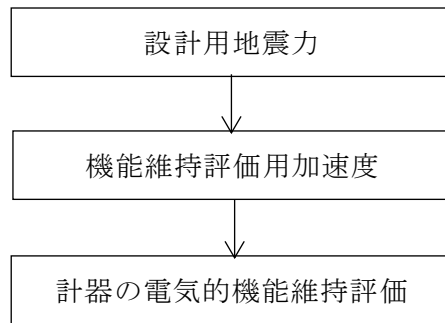


図 2-1 スクラバ容器温度の耐震評価フロー

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)

3. 評価部位

スクラバ容器温度は、スクラバ容器に直接取り付けられた熱電対座に挿入され固定されることから、スクラバ容器が支持している。スクラバ容器の構造強度評価はVI-2-9-4-7-1-2「第1ベントフィルタ スクラバ容器の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、スクラバ容器の地震応答解析結果を用いたスクラバ容器温度の電氣的機能維持評価について示す。

4. 機能維持評価

スクラバ容器温度の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価用加速度

スクラバ容器温度はスクラバ容器に直接取り付けられた熱電対座に挿入され固定されることから、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とする。機能維持評価用加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能維持評価用加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持評価用加速度
スクラバ容器温度	第1ベントフィルタ格納槽 EL 2.7*	水平	2.40
		鉛直	3.98

注記*：基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

スクラバ容器温度の機能確認済加速度には、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 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
スクラバ容器温度	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

スクラバ容器温度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。機能維持評価用加速度は機能確認済加速度以下であり、設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 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。

【スクラバ容器温度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 電氣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
スクラバ容器温度	水平方向	2.40	<input type="text"/>
	鉛直方向	3.98	<input type="text"/>

注記*：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。

VI-2-6-7-1-6 低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力の
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 固有周期の確認	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. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

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出口圧力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。

低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力は、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電氣的機能維持評価を示す。

なお、低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形計器スタンションであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンション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

低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力の構造計画を表 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>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、取付板取付ボルトにより計器スターションに固定される。</p> <p>計器スターションは、基礎ボルトで基礎に設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>【低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力】</p> <p>平面</p> <p>正面横</p> <p>側面たて</p> <p>計器スターション</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>取付板取付ボルト</p> <p>計器取付板</p> <p>床</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">機器名称</th> <th style="width: 35%;">低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1A)</th> <th style="width: 35%;">低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td style="border: 2px solid black;"></td> <td style="border: 2px solid black;"></td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>	機器名称	低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1A)	低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1B)	たて			横			高さ		
機器名称	低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1A)	低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1B)												
たて														
横														
高さ														

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期

(単位 : s)

低圧原子炉代替注水ポンプ 出口圧力 (PX2B2-1A)	水平	
	鉛直	
低圧原子炉代替注水ポンプ 出口圧力 (PX2B2-1B)	水平	
	鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンション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。

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

低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力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

低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 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出口圧力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。

4.3 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出口圧力 (PX2B2-1A) の耐震性についての計算結果】、【低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1B) 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
計測制御 系統施設	計測装置	低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力	常設耐震／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：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 4-2 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
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 4-3 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)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力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-8 計器スタンション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。

計器スタンションに設置される検出器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 5-1 に示す。

表 5-1 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
低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1A)	水平	
	鉛直	
低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1B)	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 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出口圧力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。

【低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1A) 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	
低圧原子炉代替注水ポンプ 出口圧力 (PX2B2-1A)	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			—	—	C _H =1.52* ²	C _V =2.67* ²	50

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

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		668	12 (M12)	113.1	4	241 (径≦16mm)	394 (径≦16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	50	150	2	—	276	—	側面方向
	27	173	2				

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は側面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	—		—	

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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 11$	$f_{ts} = 165^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 127$

すべて許容応力以下である。

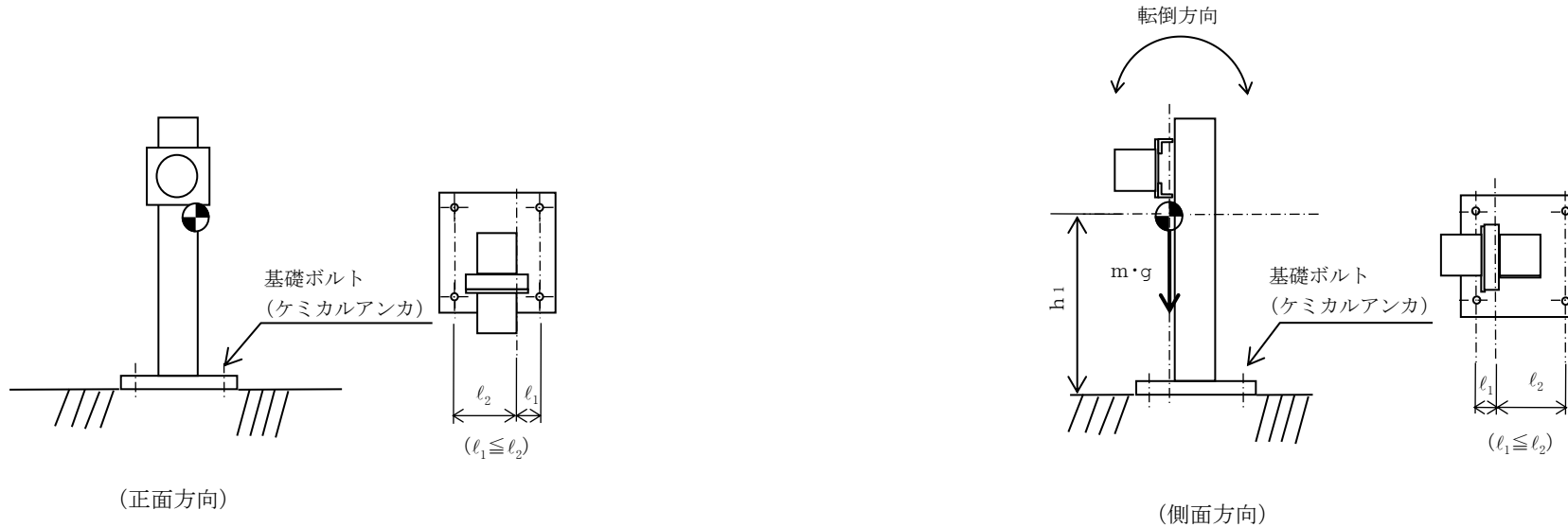
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

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
低圧原子炉代替注水ポンプ 出口圧力 (PX2B2-1A)	水平方向	2.13	
	鉛直方向	2.67	

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
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。



【低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1B) 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	
低圧原子炉代替注水ポンプ出口圧力 (PX2B2-1B)	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			—	—	C _H =1.52*2	C _V =2.67*2	50

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

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		668	12 (M12)	113.1	4	241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f *	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	50	150	2	—	276	—	側面方向
	27	173	2				

注記*: 各ボルトの機器要目における上段は正面方向転倒に対する評価時の要目を示し、

下段は側面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	—		—	

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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 11$	$f_{ts} = 165^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 127$

すべて許容応力以下である。

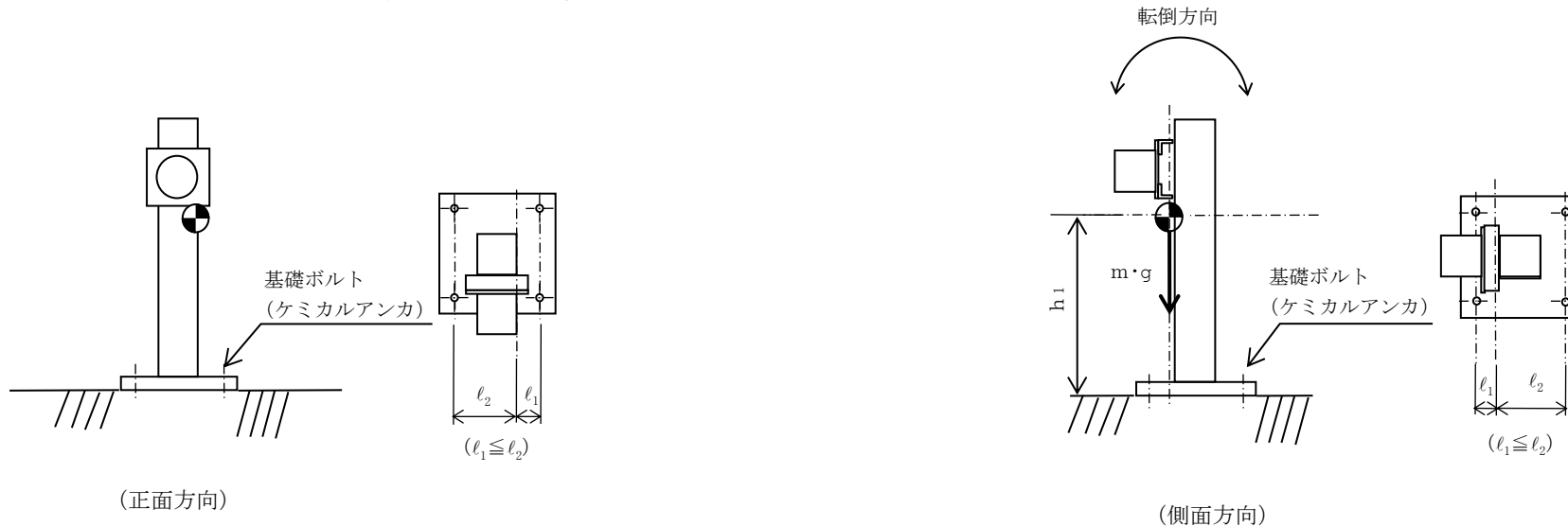
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

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
低圧原子炉代替注水ポンプ 出口圧力 (PX2B2-1B)	水平方向	2.13	
	鉛直方向	2.67	

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
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-2-6-7-3 通信連絡設備の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-3-1 衛星電話設備（固定型）の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-3-1-5 緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの
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	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	8
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	17
5.6 応力の評価	18
6. 機能維持評価	19
6.1 電氣的機能維持評価方法	19
7. 評価結果	20
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	20

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、緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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。

緊急時対策所 衛星電話設備用ラックは、設計基準対象施設においてはC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、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

緊急時対策所 衛星電話設備用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>緊急時対策所 衛星電話 設備用ラックは、基礎ボ ルトにて基礎に設置す る。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み 合わせた自立開放型の ラック)</p>	<p>【緊急時対策所 衛星電話設備用ラック】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>正面</p> <p>緊急時対策所 衛星電話設備用ラック</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>900</p> <p>(長辺方向)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>側面</p> <p>1802.3</p> <p>床</p> <p>800</p> <p>(短辺方向)</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

緊急時対策所 衛星電話設備用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」にて示す緊急時対策所 衛星電話設備用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で実施する。また、緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの機能維持評価は、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。

緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

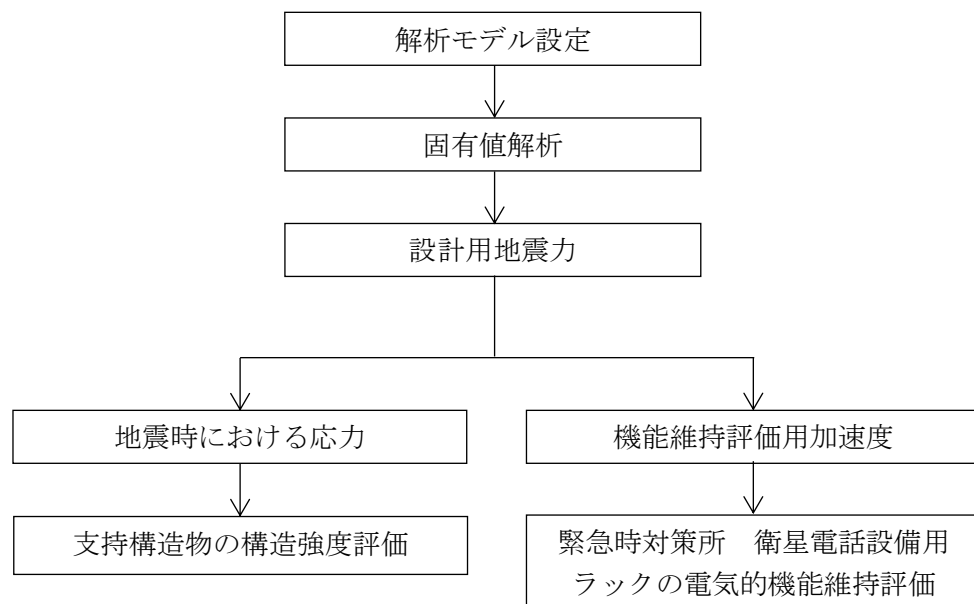


図 2-1 緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの耐震評価フロー

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	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本あたり)	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	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	質量	kg
n	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ボルトの本数	—
Q_b	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

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	℃	—	—	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

緊急時対策所 衛星電話設備用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基礎ボルトについて実施する。

緊急時対策所 衛星電話設備用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. 固有周期

4.1 固有値解析方法

緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 緊急時対策所 衛星電話設備用ラックは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデル及びシェルモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの解析モデルを図 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【緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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) 緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの鋼板及びウェブはシェル要素でモデル化し、フレーム及びフランジははり要素でモデル化する。
- (2) 緊急時対策所 衛星電話設備用ラックのラック内機器質量は、各鋼板に密度として付与する。
- (3) 拘束条件は、基礎部の並進方向と、ボルト軸直角 2 方向の回転方向を拘束する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (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。

要素数：2623
節点数：2533

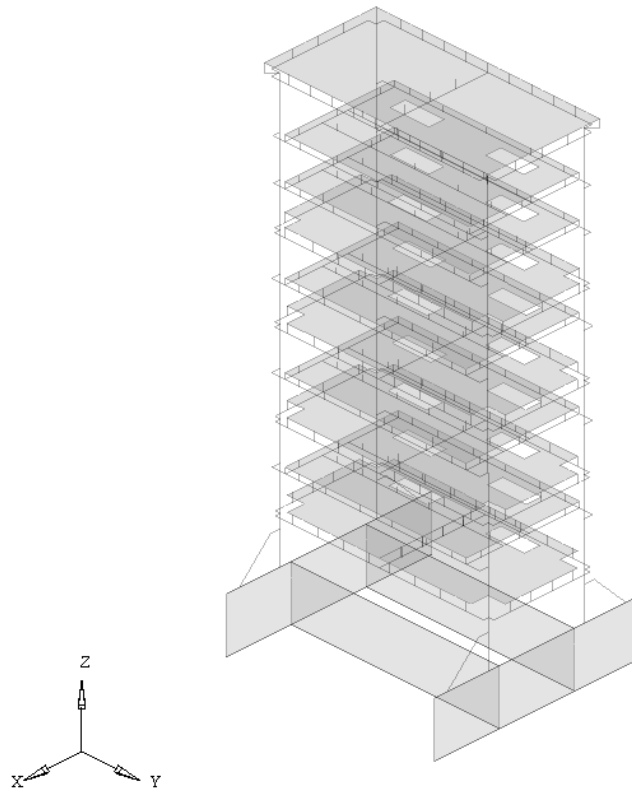


図4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表 4-1、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 4-1 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		—	—	—

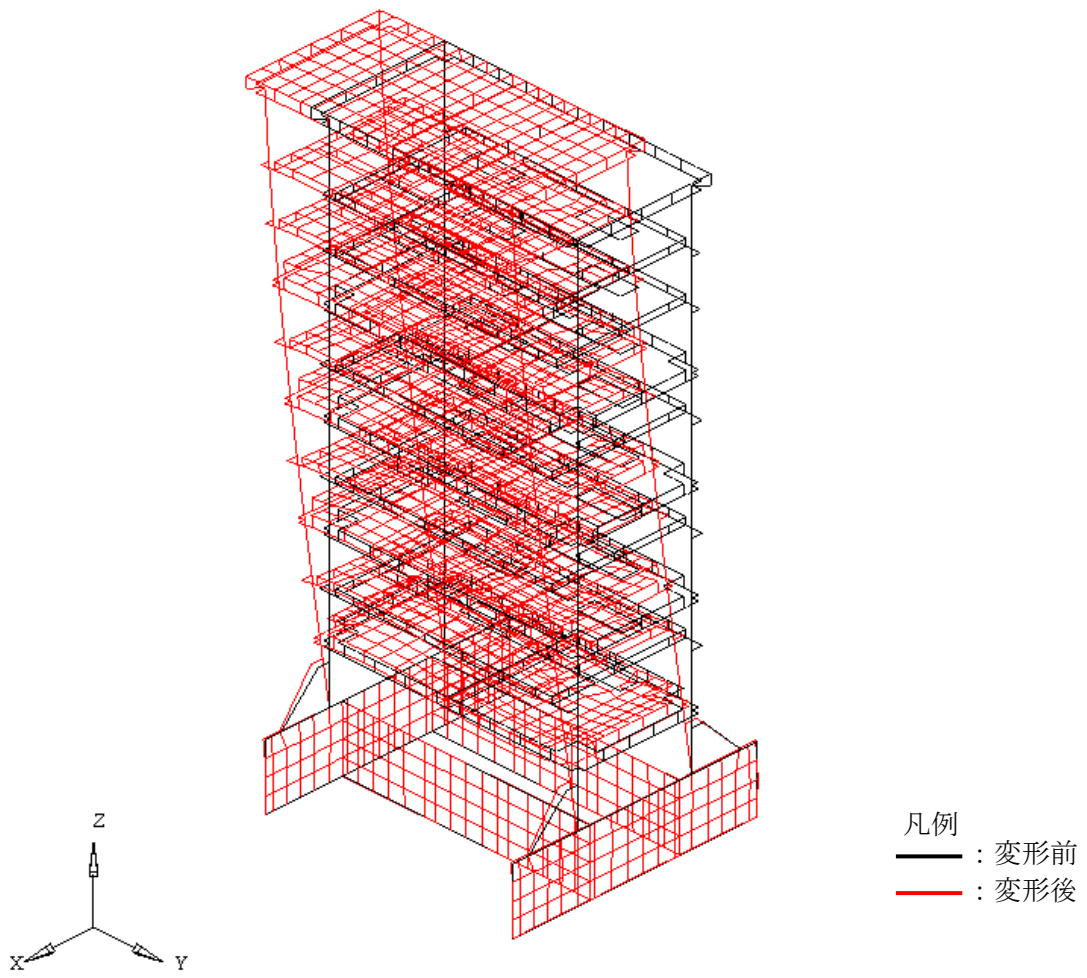


図 4-2 振動モード (1 次モード 水平方向 s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 緊急時対策所 衛星電話設備用ラックの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は緊急時対策所 衛星電話設備用ラックに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 緊急時対策所 衛星電話設備用ラックは基礎ボルトで基礎に固定されており、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) 緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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

緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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

緊急時対策所 衛星電話設備用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 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	緊急時対策所 衛星電話設備用ラック	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)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

5.3 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 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 50.25 ^{*1}	□	□	—	—	C _H =2.21 ^{*2}	C _V =1.38 ^{*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）

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。

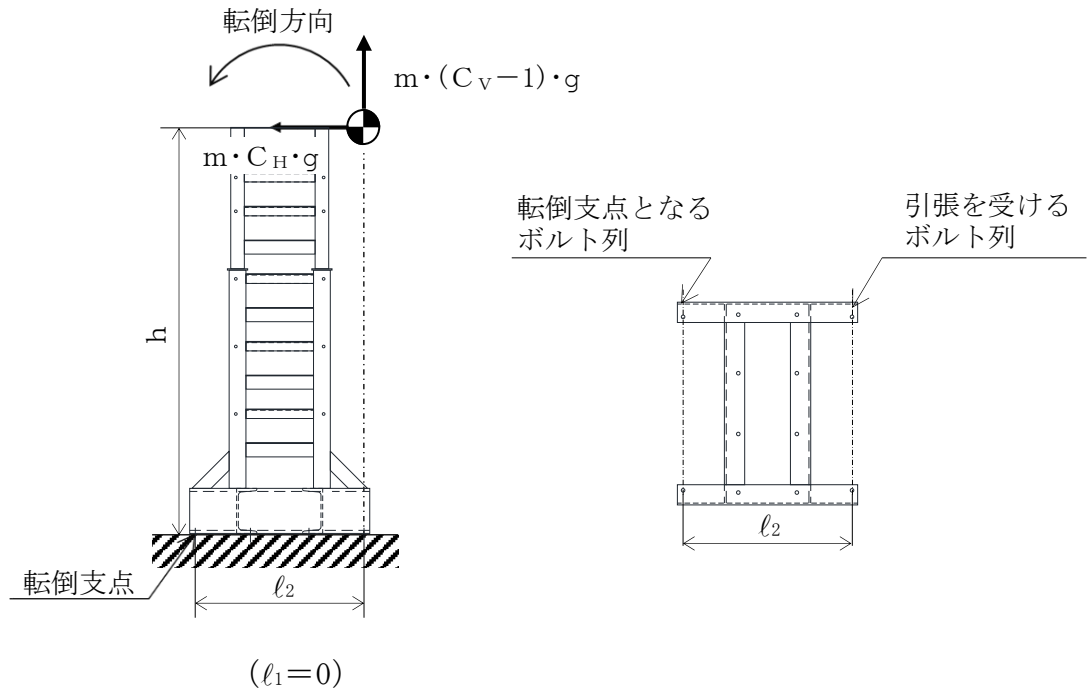


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

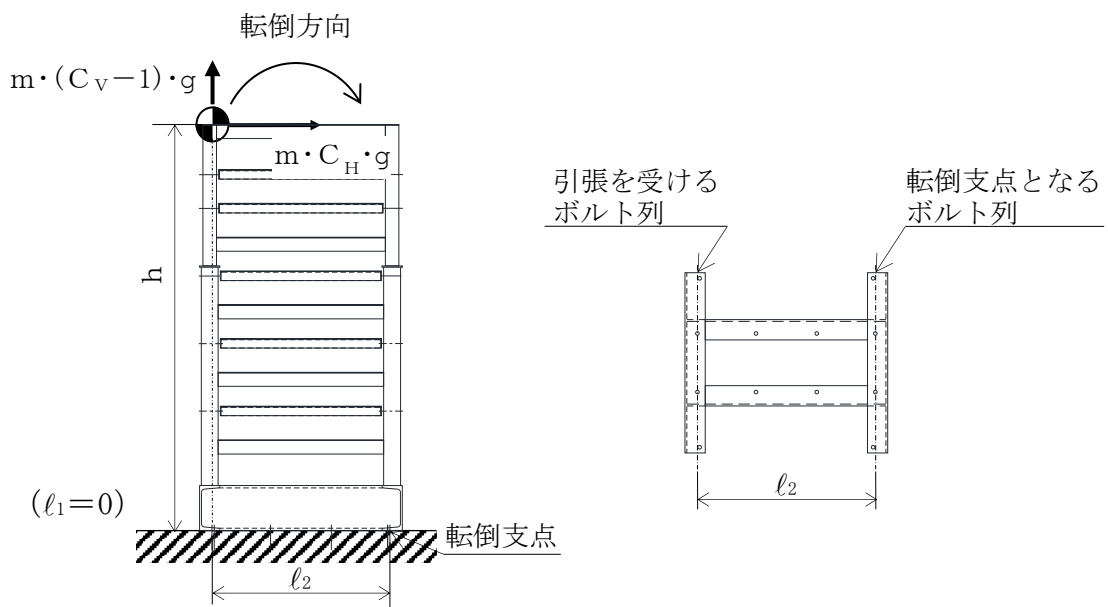


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(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

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h + m \cdot g \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(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

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

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【緊急時対策所 衛星電話設備用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 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_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。

	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

緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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。

緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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、同形式の器具単体のサインビート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

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
緊急時対策所 衛星電話設備用ラック	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所 衛星電話設備用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、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。

【緊急時対策所 衛星電話設備用ラック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	
緊急時対策所 衛星電話設備用ラック	常設/防止 常設/緩和	緊急時対策所 EL 50.25* ¹	□	□	—	—	C _H =2.21* ²	C _V =1.38* ²	50

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	□	1802.3* ¹	16 (M16)	201.1	12	211 (40mm<径≤100mm)	394 (40mm<径≤100mm)

部材	ℓ ₁ * ² (mm)	ℓ ₂ * ² (mm)	n _f * 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	0* ¹	750* ¹	2	—	253	—	短辺方向
	0* ¹	790* ¹	2				

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		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 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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 4$	$f_{sb} = 117$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

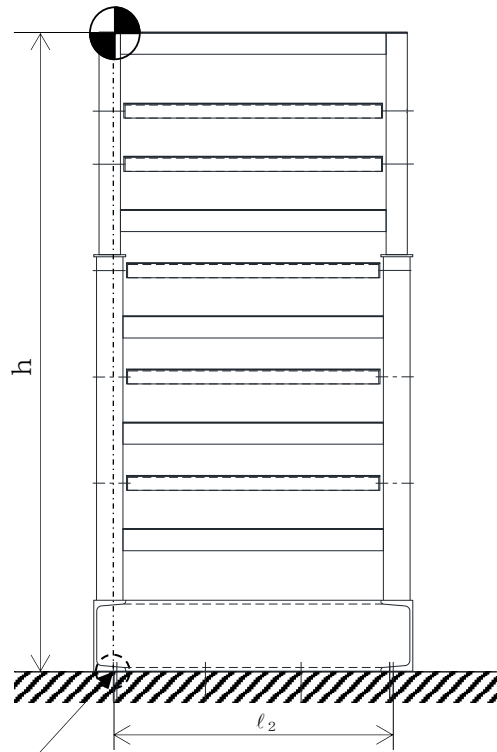
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
緊急時対策所 衛星電話設備用ラック	水平方向	1.83	
	鉛直方向	1.16	

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。

1.5 その他の機器要目

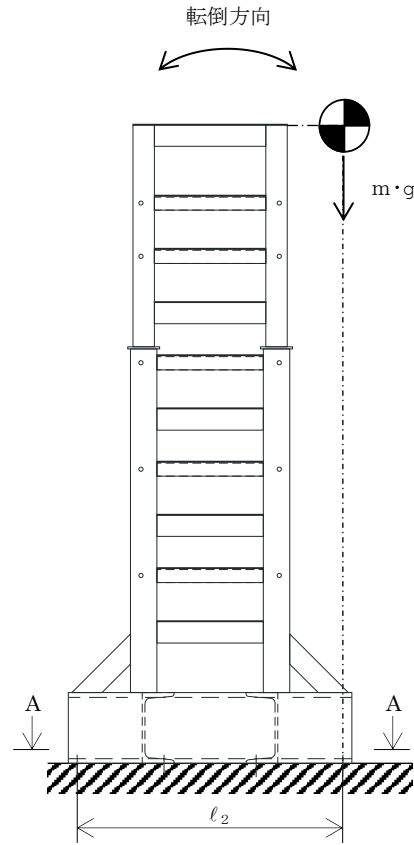
項目		記号	単位	入力値
材質(SS400)	縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
	ポアソン比	ν	—	0.3
材質(STKR400)	縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
	ポアソン比	ν	—	0.3
温度条件 (周囲環境温度)		T	°C	50
質量		m	kg	<input type="text"/>
要素数		—	個	2623
節点数		—	個	2533

正面
(長辺方向)



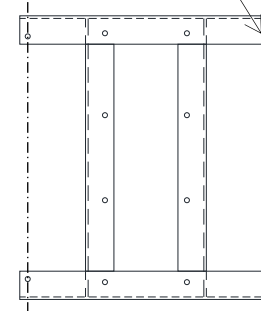
($l_1=0$)

側面
(短辺方向)

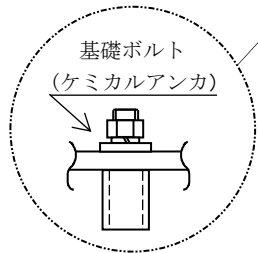


($l_1=0$)

基礎ボルト
(ケミカルアンカ)



A~A 矢視図



VI-2-6-7-3-2 無線通信設備（固定型）の耐震性についての計算書

VI-2-6-7-3-2-5 緊急時対策所 無線通信設備用ラックの
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	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 固有値解析方法	7
4.2 解析モデル及び諸元	7
4.3 固有値解析結果	8
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	17
5.6 応力の評価	18
6. 機能維持評価	19
6.1 電氣的機能維持評価方法	19
7. 評価結果	20
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	20

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、緊急時対策所 無線通信設備用ラック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。

緊急時対策所 無線通信設備用ラックは、設計基準対象施設においてはC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、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

緊急時対策所 無線通信設備用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>緊急時対策所 無線通信設備用ラックは、基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立開放型のラック)</p>	<p>【緊急時対策所 無線通信設備用ラック】</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>正面</p> <p>(長辺方向)</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>側面</p> <p>(短辺方向)</p> </div> </div> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

緊急時対策所 無線通信設備用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」にて示す緊急時対策所 無線通信設備用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で実施する。また、緊急時対策所 無線通信設備用ラックの機能維持評価は、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。

緊急時対策所 無線通信設備用ラックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

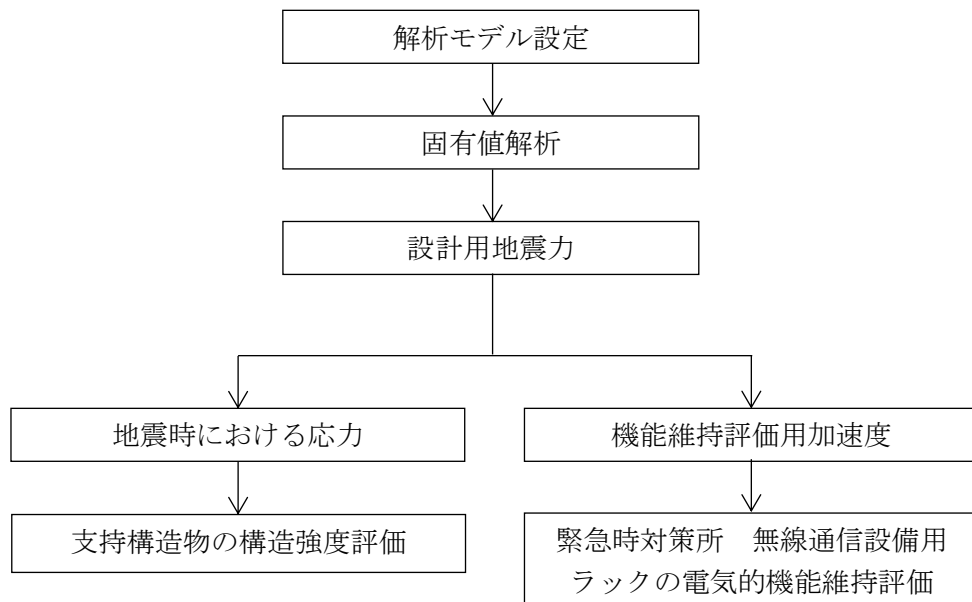


図 2-1 緊急時対策所 無線通信設備用ラックの耐震評価フロー

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	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本あたり)	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	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	質量	kg
n	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ボルトの本数	—
Q_b	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

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	℃	—	—	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

緊急時対策所 無線通信設備用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基礎ボルトについて実施する。

緊急時対策所 無線通信設備用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. 固有周期

4.1 固有値解析方法

緊急時対策所 無線通信設備用ラックの固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 緊急時対策所 無線通信設備用ラックは、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデル及びシェルモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

緊急時対策所 無線通信設備用ラックの解析モデルを図 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【緊急時対策所 無線通信設備用ラック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) 緊急時対策所 無線通信設備用ラックの鋼板及びウェブはシェル要素でモデル化し、フレーム及びフランジははり要素でモデル化する。
- (2) 緊急時対策所 無線通信設備用ラックのラック内機器質量は、各鋼板に密度として付与する。
- (3) 拘束条件は、基礎部の並進方向と、ボルト軸直角 2 方向の回転方向を拘束する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (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。

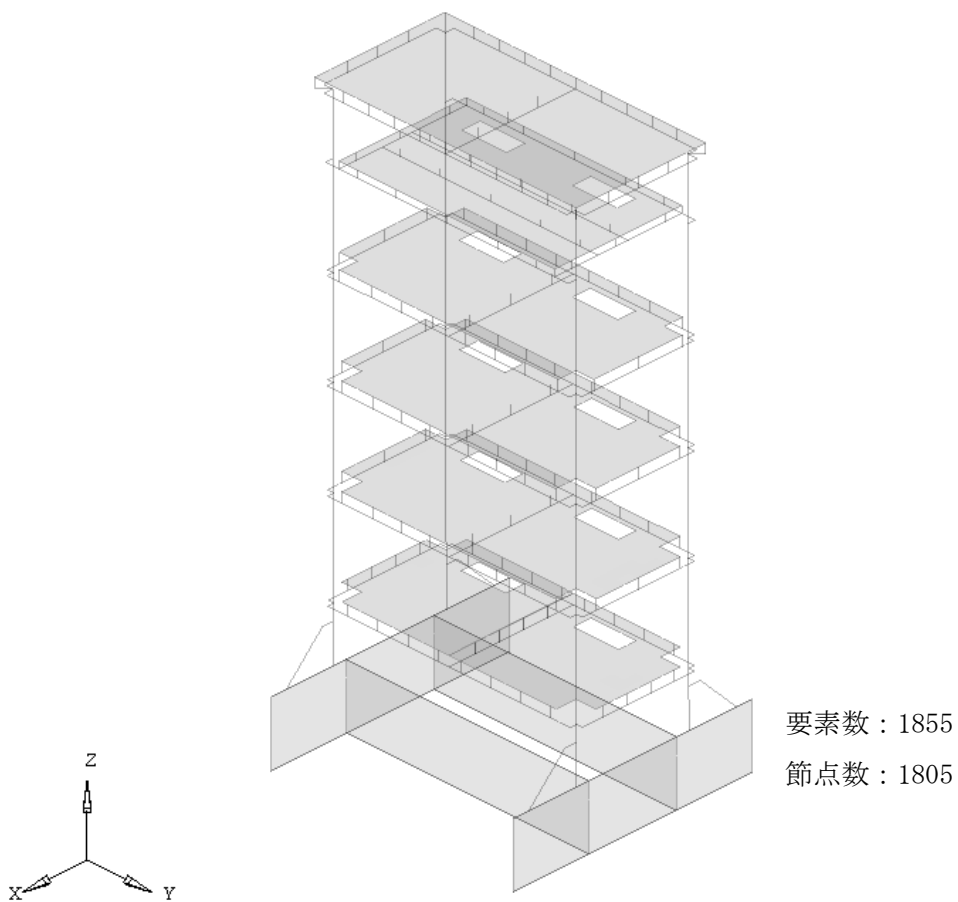


図4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表4-1，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4-1 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		—	—	—

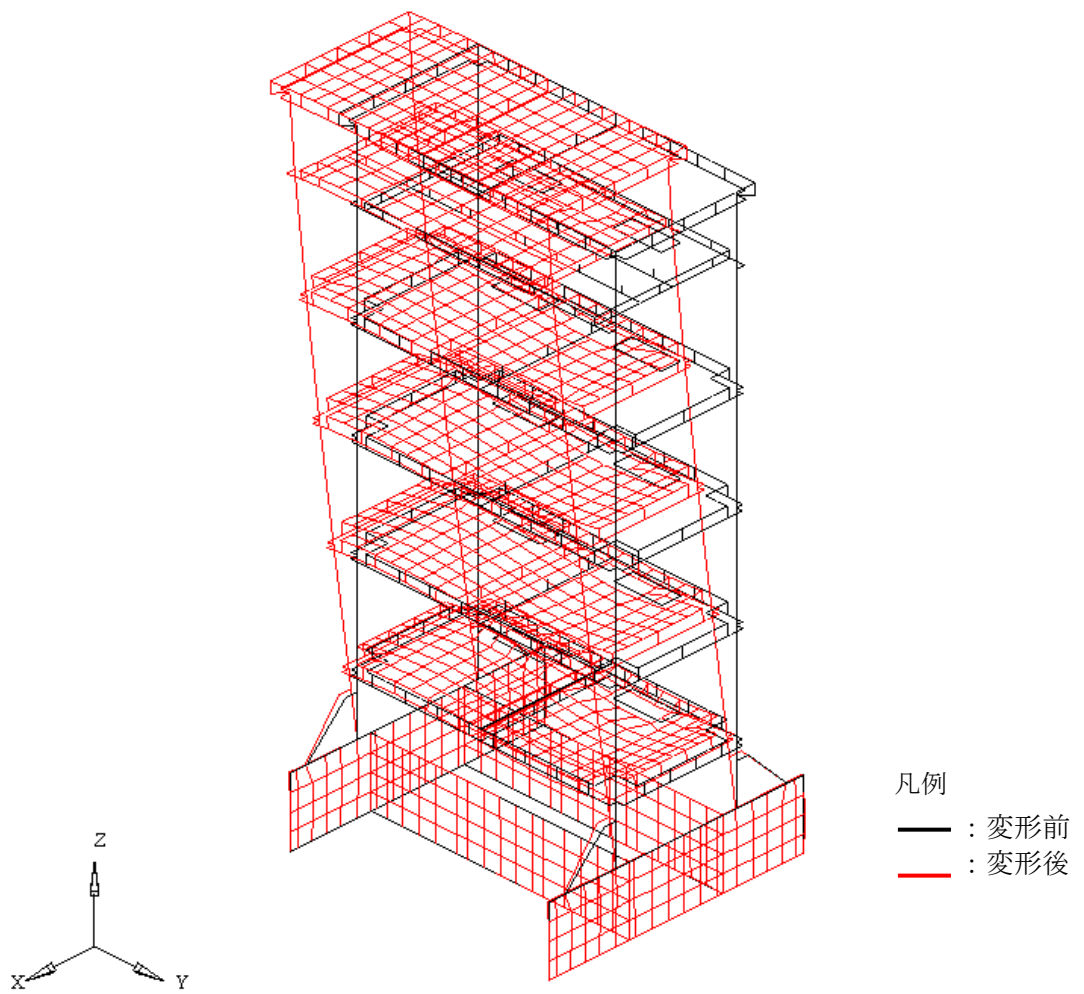


図 4-2 振動モード (1 次モード 水平方向 s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 緊急時対策所 無線通信設備用ラックの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は緊急時対策所 無線通信設備用ラックに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 緊急時対策所 無線通信設備用ラックは基礎ボルトで基礎に固定されており、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) 緊急時対策所 無線通信設備用ラック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

緊急時対策所 無線通信設備用ラック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

緊急時対策所 無線通信設備用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 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所 無線通信設備用ラック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
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	緊急時対策所 無線通信設備用ラック	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)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

5.3 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 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 50.25 ^{*1}			—	—	C _H =2.21 ^{*2}	C _V =1.38 ^{*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）

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。

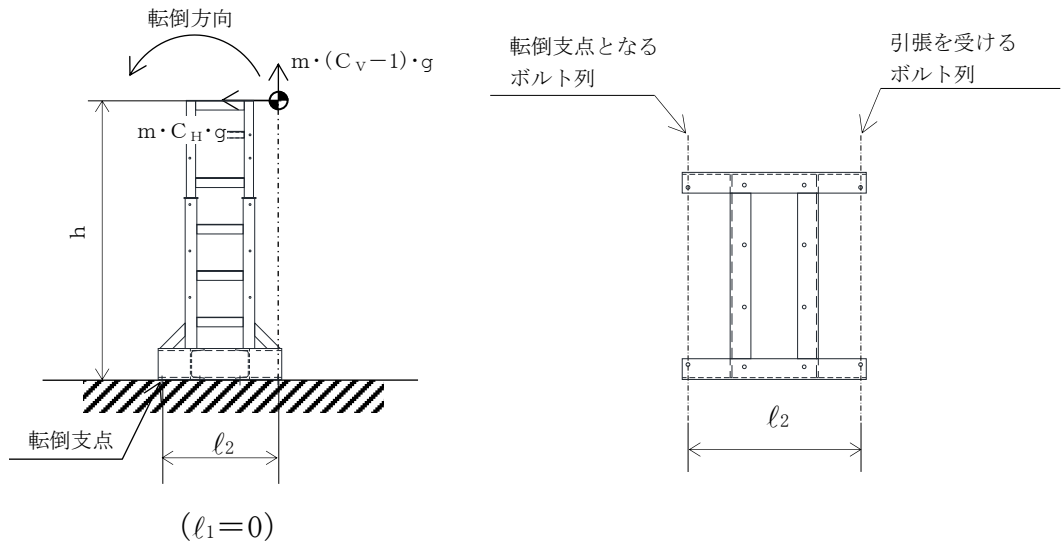


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

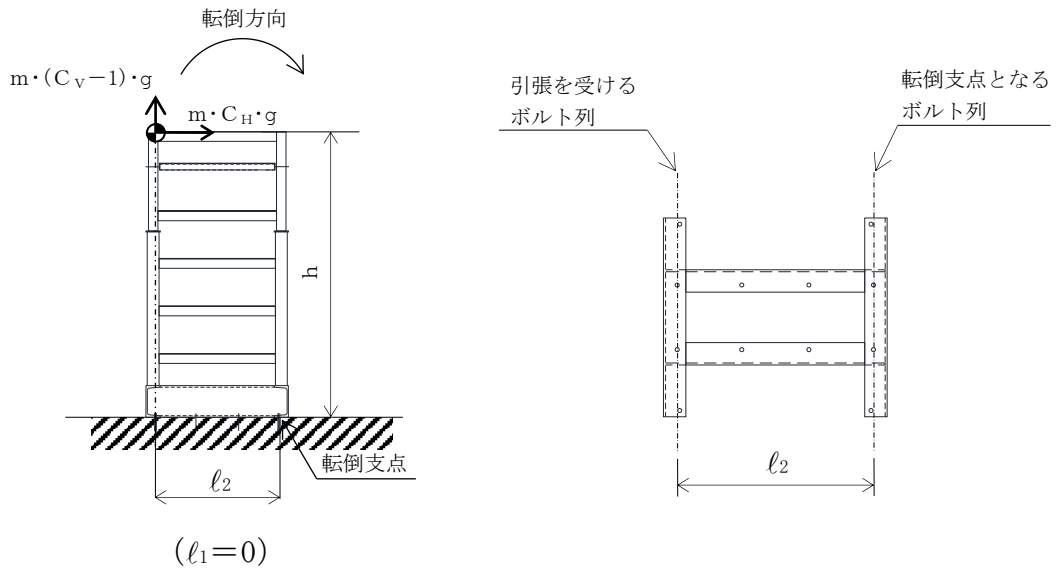


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(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

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h + m \cdot g \cdot (C_V - 1) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(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

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

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【緊急時対策所 無線通信設備用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 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_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。

	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

緊急時対策所 無線通信設備用ラック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。

緊急時対策所 無線通信設備用ラック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、同形式の器具単体のサインビート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

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
緊急時対策所 無線通信設備用ラック	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所 無線通信設備用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、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。

【緊急時対策所 無線通信設備用ラック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	
緊急時対策所 無線通信設備用ラック	常設/防止 常設/緩和	緊急時対策所 EL 50.25* ¹	□	□	—	—	C _H =2.21* ²	C _V =1.38* ²	50

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	□	1802.3* ¹	16 (M16)	201.1	12	211 (40mm<径≤100mm)	394 (40mm<径≤100mm)

部材	ℓ ₁ * ² (mm)	ℓ ₂ * ² (mm)	n _f * 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	0* ¹	750* ¹	2	—	253	—	短辺方向
	0* ¹	790* ¹	2				

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		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 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	SS400	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 117$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

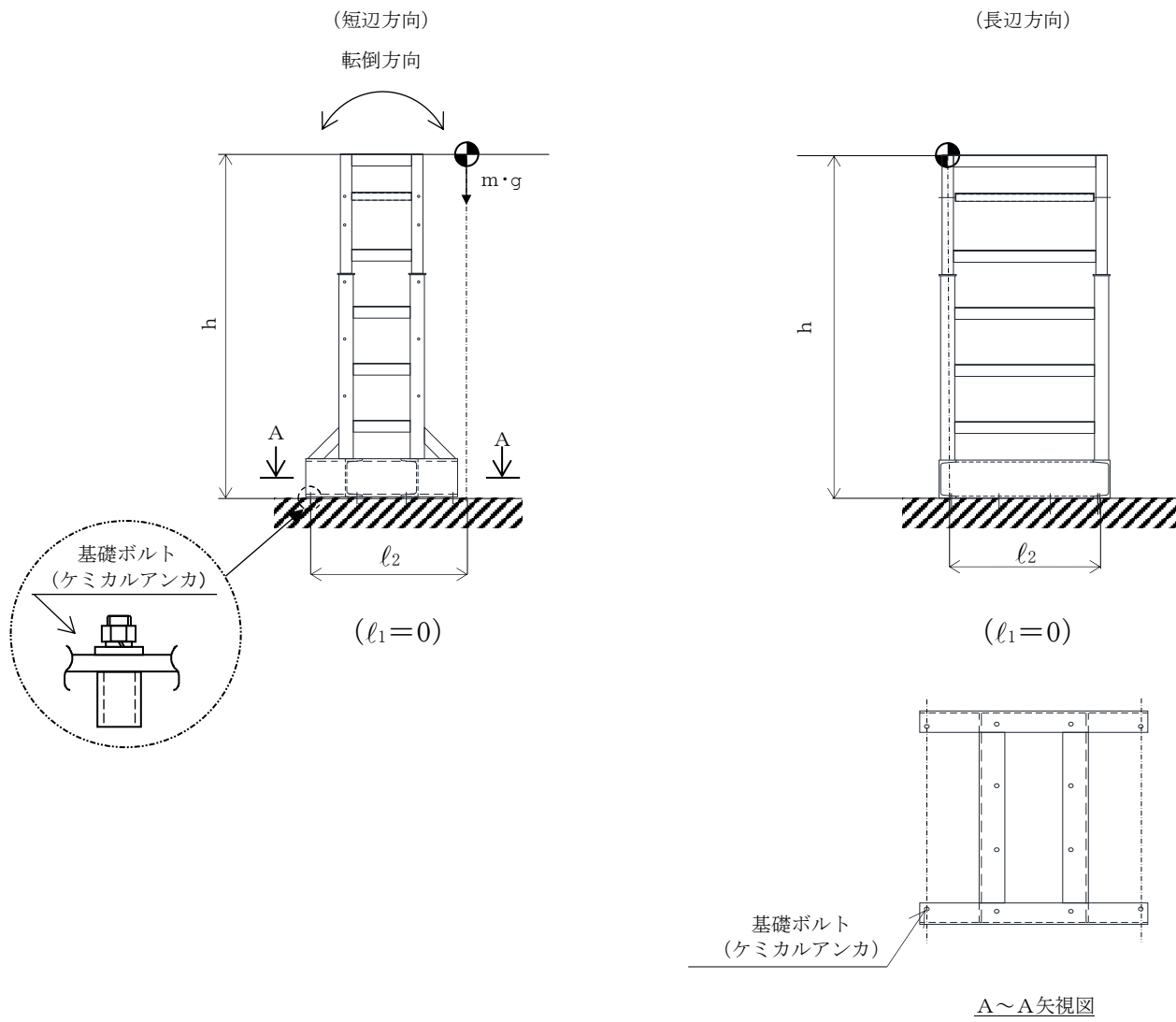
($\times 9.8 \text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
緊急時対策所 無線通信設備用ラック	水平方向	1.83	
	鉛直方向	1.16	

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。

1.5 その他の機器要目

項目		記号	単位	入力値
材質(SS400)	縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
	ポアソン比	ν	—	0.3
材質(STKR400)	縦弾性係数	E	MPa	2.01×10^5
	ポアソン比	ν	—	0.3
温度条件 (周囲環境温度)		T	°C	50
質量		m	kg	<input type="text"/>
要素数		—	個	1855
節点数		—	個	1805



VI-2-6-7-3-3 統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備
の耐震性についての計算書

VI-2-8 放射線管理施設の耐震性に関する説明書

VI-2-8-2 放射線管理用計測装置の耐震性についての計算書

VI-2-9 原子炉格納施設の耐震性に関する説明書

VI-2-9-2 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

VI-2-9-2-9 サプレッションチェンバアクセスハッチの
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	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3 設計用地震力	22
5.4 計算方法	24
5.5 計算条件	30
5.6 応力の評価	30
6. 評価結果	31
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	31
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	38
7. 参照図書	43

図 表 目 次

図 2-1	アクセスハッチの耐震評価フロー	3
図 3-1	アクセスハッチの形状及び主要寸法	8
図 4-1	固有周期の計算モデル（外荷重による変形モデル）	9
図 4-2	解析モデル（外荷重による変形を求めるモデル）	11
図 5-1	アクセスハッチの応力評価点	25
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	7
表 3-1	使用材料表	8
表 4-1	機器諸元	10
表 4-2	固有周期の計算に用いる計算条件	12
表 4-3	固有周期（設計基準対象施設）	13
表 4-4	固有周期（重大事故等対処設備）	13
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）	15
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）	16
表 5-3	許容応力（クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器）	17
表 5-4	許容応力（クラスMC支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）	18
表 5-5	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	19
表 5-6	使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）	19
表 5-7	設計用地震力（設計基準対象施設）	22
表 5-8	設計用地震力（重大事故等対処設備）	23
表 5-9	応力評価点	24
表 5-10	応力評価点 P 5 に作用する荷重	28
表 6-1	許容応力状態Ⅲ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _d *）	32
表 6-2(1)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P + M + S _s ）	34
表 6-2(2)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果（D + P _L + M _L + S _d *）	36
表 6-3(1)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d ）	39
表 6-3(2)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果（D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s ）	41

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」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、サプレッションチェンバアクセスハッチ（以下「アクセスハッチ」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。

アクセスハッチは、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

アクセスハッチの構造計画を表 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>アクセスハッチは、サブプレッションチェンバに支持される。</p> <p>アクセスハッチに作用する水平及び鉛直方向荷重は、サブプレッションチェンバ及びサブプレッションチェンバサポートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>アクセスハッチは、内径 \square mm、板厚 \square mm のスリーブ、板厚 \square mm のふた板、フランジ及び板厚 \square mm の補強リブにより構成される鋼製構造物である。</p>	

(単位：mm)

2.2 評価方針

アクセスハッチの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」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」にて示すアクセスハッチの部位を踏まえ「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。

アクセスハッチの耐震評価フローを図2-1に示す。

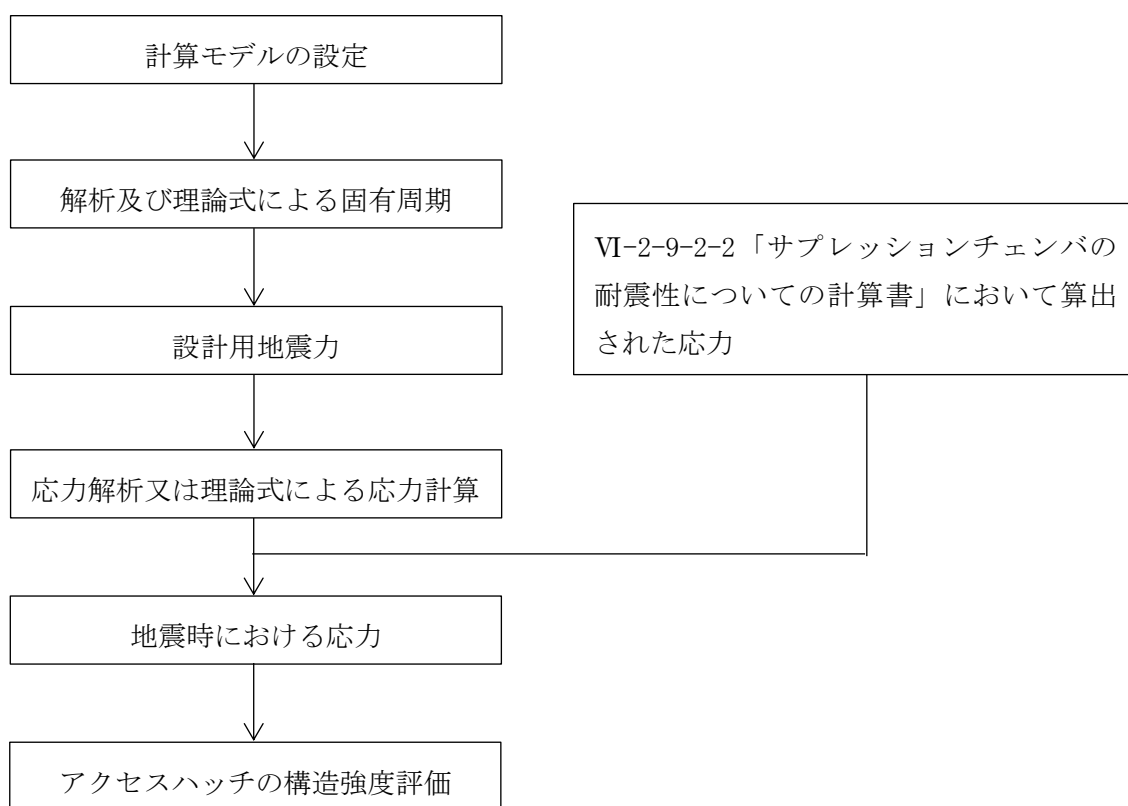


図2-1 アクセスハッチの耐震評価フロー

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
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D ₁	アクセスハッチの内径	mm
D ₂	ボルト円の直径	mm
D ₃	フランジの直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F _X	荷重 (スリーブ軸方向)	N
F _Y	荷重 (サプレッションチェンバ胴軸方向)	N
F _Z	荷重 (サプレッションチェンバ胴周方向)	N
K _C	ばね定数 (サプレッションチェンバ胴周方向)	N/mm
K _L	ばね定数 (サプレッションチェンバ胴軸方向)	N/mm
K _R	ばね定数 (スリーブ軸方向)	N/mm
l ₁	アクセスハッチの長さ	mm
l ₂	補強リブの長さ	mm
l ₃	補強リブの長さ	mm
m	質量	kg
P _{D i}	内圧	kPa
P _{D i 1}	内圧 (最高使用圧力)	kPa
P _{D i 2}	内圧 (冷却材喪失事故後の最大内圧)	kPa
P _{D o}	外圧	kPa
R	半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表3に定める値	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	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 (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 ₁	スリーブの厚さ	mm
t ₂	サプレッションチェンバ胴の厚さ	mm
t ₃	ふた板の厚さ	mm
t ₄	補強リブの厚さ	mm
T	温度	℃
T _C	固有周期 (サプレッションチェンバ胴周方向)	s
T _L	固有周期 (サプレッションチェンバ胴軸方向)	s
T _R	固有周期 (スリーブ軸方向)	s
T _{S A L}	温度 (S A後長期温度)	℃

記号	記号の説明	単位
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
W	死荷重	N
Z	断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_l	スリーブの軸方向応力	MPa
σ_t	スリーブの周方向応力	MPa
τ	スリーブのせん断応力	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 2-2 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
ばね定数	N/mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
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	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
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

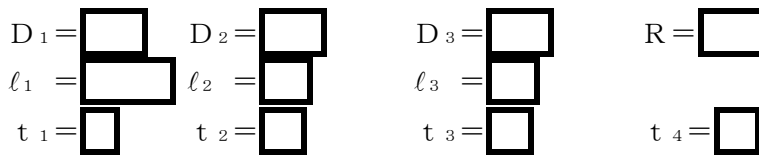
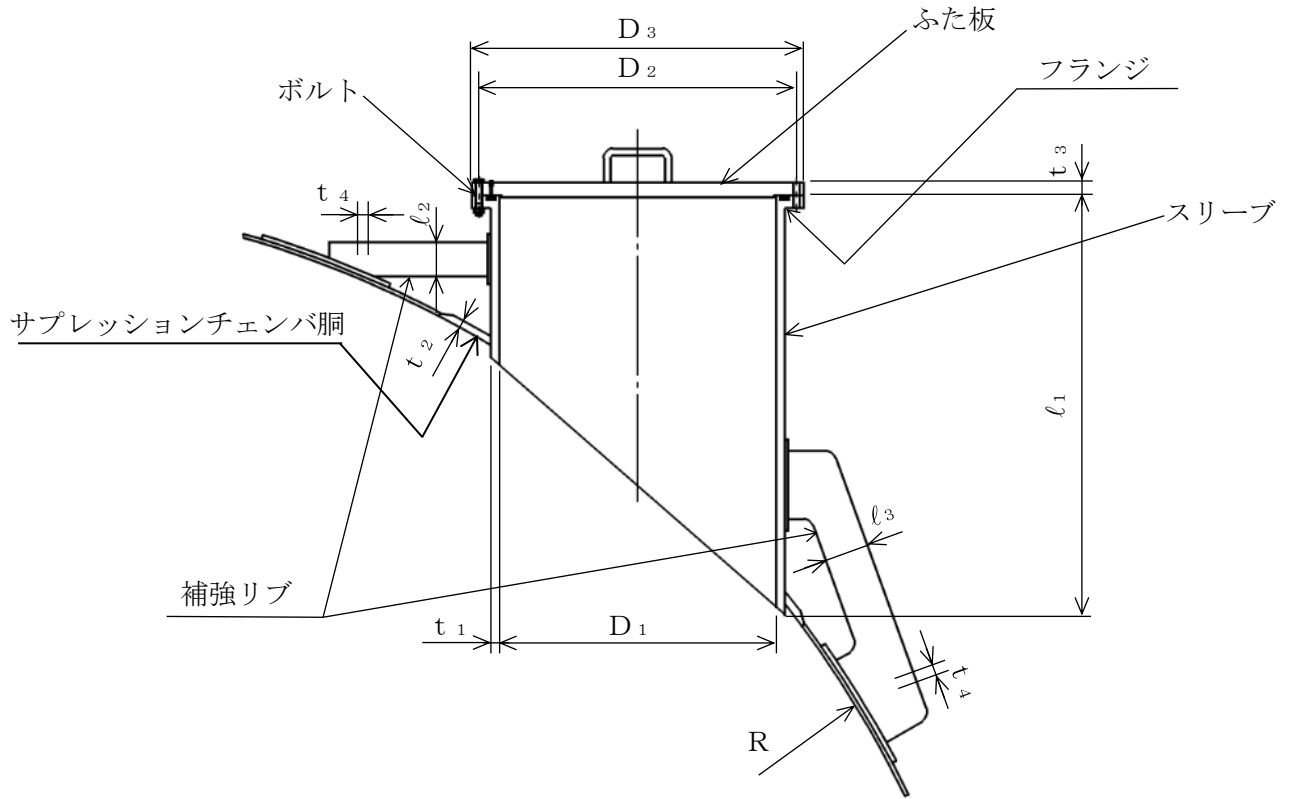
注記*1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*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：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，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

アクセスハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。



(単位：mm)

図 3-1 アクセスハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ふた板	SGV49	SGV480 相当
フランジ	SGV49	SGV480 相当
ボルト	SNCM439	
スリーブ	SGV49	SGV480 相当
サブプレッションチェンバ胴	SPV50	SPV490 相当
補強リブ	SPV490	

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

アクセスハッチの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 固有周期の計算モデル

- a. 図4-1のような荷重-変位関係からばね定数を算出し、ハッチ全体を集中質量として扱う場合の固有周期を算出する。
- b. アクセスハッチは、サプレッションチェンバ胴に取り付けられており、地震時の振れ止めとしてスリーブ-サプレッションチェンバ胴間に補強リブを設置している。アクセスハッチより加わる荷重（以下「外荷重」という。）によってアクセスハッチ、補強リブ及びアクセスハッチ取付部の各々に生じる変形を考える。変形モードは外荷重がスリーブ先端に作用した場合の軸方向荷重又は曲げモーメントによる変形を考慮する。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

アクセスハッチは、図4-1に示すように、外荷重によってアクセスハッチ、補強リブ及びアクセスハッチ取付部の各々に生じる変形及び集中質量を考慮する。

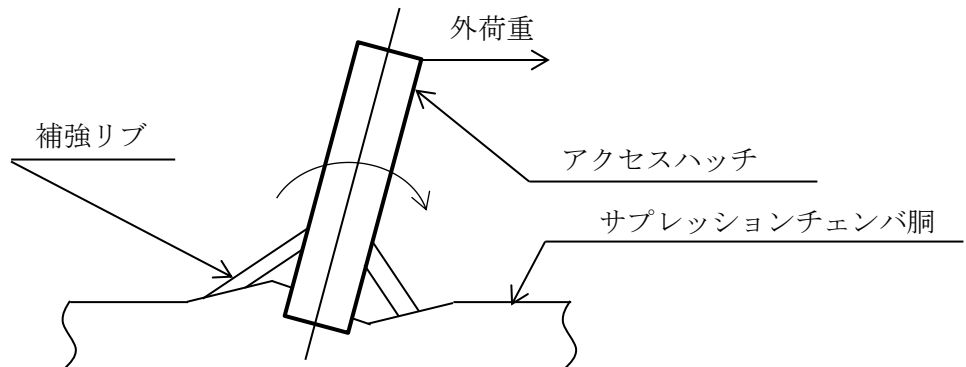


図4-1 固有周期の計算モデル（外荷重による変形モデル）

(2) 外荷重による変形を求める解析モデル

外荷重によってアクセスハッチ、補強リブ及びアクセスハッチ取付部に生じる変形を精緻に評価するため、以下に示す有限要素解析手法を適用する。

- a. サプレッションチェンバ及びアクセスハッチの解析モデルは、3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルは、構造及び荷重の伝達経路を考慮し、サプレッションチェンバを構成する16セグメントの円筒胴のうち、アクセスハッチが設置されるサプレッションチェンバ胴の1セグメントの範囲についてモデル化する。解析モデルを図4-2に、機器の諸元を表4-1示す。
- b. アクセスハッチの外荷重として、スリーブ軸方向の並進荷重及びスリーブ軸直角方向の並進荷重（サプレッションチェンバ胴軸方向、サプレッションチェンバ胴周方向）をアクセスハッチ先端に単位荷重として負荷する。
- c. 拘束条件は、解析モデルのサプレッションチェンバ胴両端部を固定条件（並進3方向及び3軸回り回転を拘束）とする。
- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、各方向のばね定数を求める。
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。

表 4-1 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質	アクセスハッチ	—	—	SGV49* ¹
	サプレッションチェンバ胴	—	—	SPV50* ²
	補強リブ	—	—	SPV490
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	
節点数		—	—	

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

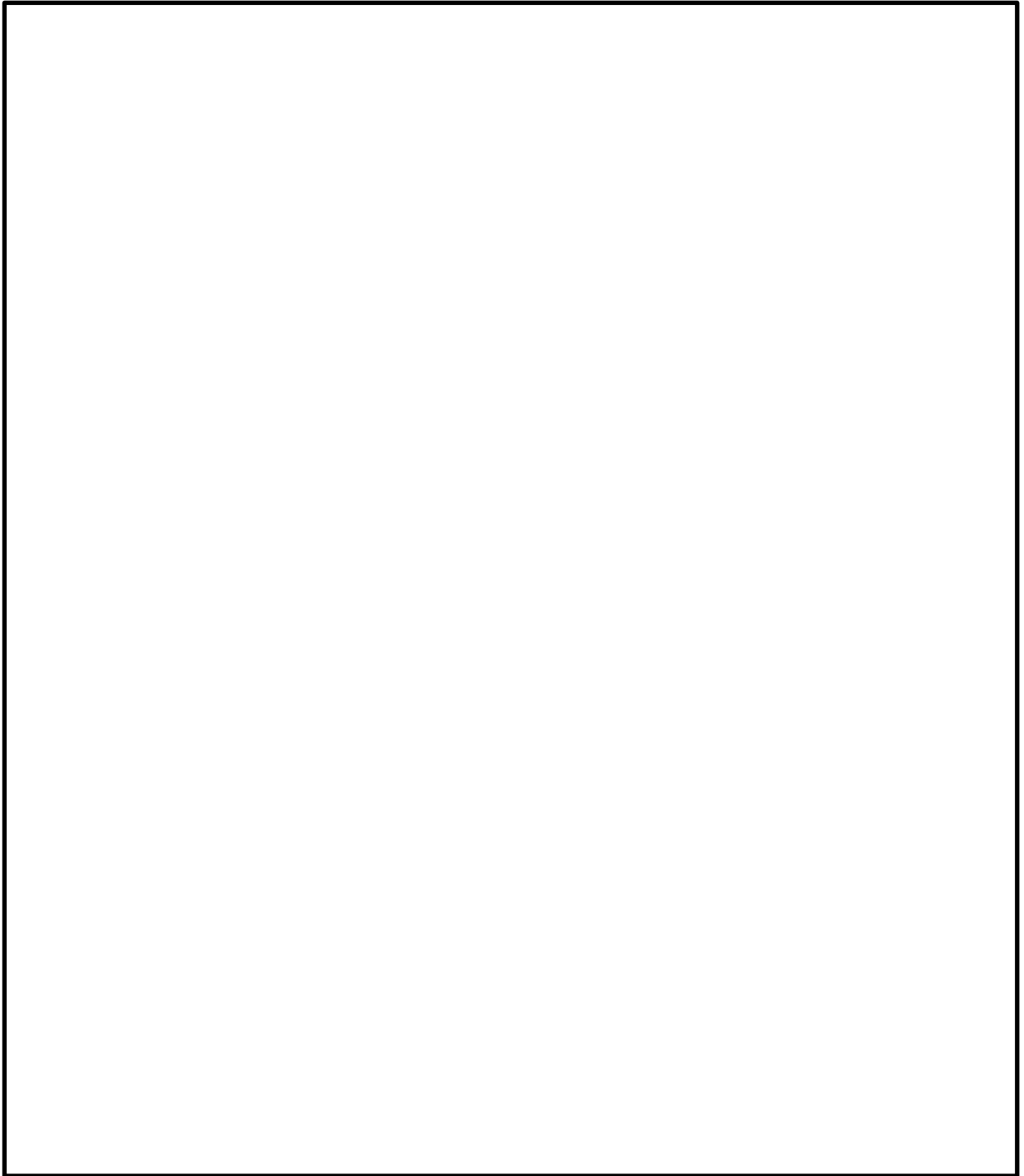


図 4-2 解析モデル (外荷重による変形を求めるモデル)

(3) 軸方向ばね定数

外荷重によってアクセスハッチ，補強リブ及びアクセスハッチ取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は，図 4-2 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸方向（鉛直方向）ばね定数を K_R とし，その値を表 4-2 に示す。

(4) 軸直角方向ばね定数

外荷重によってアクセスハッチ，補強リブ及びアクセスハッチ取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は，図 4-2 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴周方向）ばね定数を K_C ，スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴軸方向）ばね定数を K_L とし，その値を表 4-2 に示す。

(5) 軸方向の固有周期

スリーブ軸方向（鉛直方向）の固有周期は次式で求める。

$$T_R = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_R}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

(6) 軸直角方向の固有周期

軸直角方向の固有周期は次式で求める。

スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴周方向）

$$T_C = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_C}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴軸方向）

$$T_L = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_L}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

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を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に用いる計算条件

記号	単位	値
K_R	N/mm	
K_C	N/mm	
K_L	N/mm	
m	kg	

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期を表 4-3 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 4-3 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直*1	
水平*2	
水平*3	

注記*1：スリーブ軸方向（鉛直方向）を示す。

*2：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴周方向）を示す。

*3：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴軸方向）を示す。

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 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 4-4 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直*1	
水平*2	
水平*3	

注記*1：スリーブ軸方向（鉛直方向）を示す。

*2：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴周方向）を示す。

*3：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴軸方向）を示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) アクセスハッチはサプレッションチェンバに支持され、また地震時の振れ止めとしてスリーブ-サプレッションチェンバ胴間に補強リブが設置された構造であり、アクセスハッチの鉛直方向荷重及び水平方向荷重はサプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

アクセスハッチの耐震評価として、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」に示すサプレッションチェンバの地震応答解析で求めた加速度を用いて、構造強度評価を行う。応力の算出には、理論式及び3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を用いる。

- (2) 地震力は、アクセスハッチに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、「5.4 計算方法」に示す。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

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

アクセスハッチ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。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

アクセスハッチの許容応力は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に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アクセスハッチ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*1	荷重の組合せ*2		許容応力状態	
原子炉格納施設	原子炉格納容器	アクセスハッチ	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10) (11)* ³ (14) (16)	Ⅲ _A S	
						D + P + M + S _s	(12) (13)* ³ (15)	Ⅳ _A S
							D + P _L + M _L + S _d ** ⁴	(17)

注記*1：補強リブに対しては、クラスMC支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は、アクセスハッチに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*4：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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*2	荷重の組合せ*3		許容応力状態*4
原子炉格納施設	原子炉格納容器	アクセスハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *5	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

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：補強リブに対しては，重大事故等クラス2支持構造物（クラスMC支持構造物）の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*3：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*4：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*5：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 許容応力*1 (クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器)

応力分類 許容 応力状態	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 $0.6 \cdot S_u$ 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 $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値*2	$3 \cdot S$ *3	*4, *5 S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ, Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は 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、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値*2	S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S*6				

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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*3： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ, Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*6：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 許容応力（クラスMC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, *3 (ボルト等以外)				
	一次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$
V _A S*4					

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会2005改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：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。

*3：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。

*4：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-5 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)
アクセスハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	104	131	237	430	—
サプレッションチェンバ胴	SPV50*2	周囲環境温度	104	167	459	562	—
補強リブ	SPV490						

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-6 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)
アクセスハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	200*2	131	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	131	248	453	—
サプレッションチェンバ胴	SPV50*4	周囲環境温度	200*2	167	417	545	—
		周囲環境温度	70*3	167	478	581	—
補強リブ	SPV490	周囲環境温度	200*2	167	417	545	—
		周囲環境温度	70*3	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び水力学
的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（最高使用圧力） P_{Di1}	427 kPa
内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧） P_{Di2}	209 kPa
外圧 P_{Do}	14 kPa
温度（最高使用温度） T	104 °C

b. 死荷重

アクセスハッチの自重を死荷重とする。

死荷重 W N

設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバの水位は，H.W.L.（EL
 mm）に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位 EL mm

c. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体がクエンチャからサプレッションプール水中
に放出される際，サプレッションチェンバに対して，参照図書(1)に示す圧力振動荷重
が作用する。荷重の大きさは下記のとおりである。

最大正圧 kPa
最大負圧 kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度，死荷重及び水力学の動荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	380 kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	200 °C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	70 °C (SA後長々期)

b. 死荷重

アクセスハッチの自重を死荷重とする。

死荷重 W N

重大事故等対処設備の評価におけるサプレッションチェンバの水位は，以下のとおりとする。

水位 EL mm

c. チャギング荷重

サプレッションチェンバに対して，低流量蒸気凝縮時には，参照図書(1)に示すチャギング荷重が作用する。荷重の大きさは以下のとおりである。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-7 及び表 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、以下のよう
に設定する。

(1) 水平方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力と、
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」に示すサプレッションチ
ェンバの解析モデルによる地震応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく地
震力の大きい方の地震力を設定する。

(2) 鉛直方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力と、
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」に示すサプレッションチ
ェンバの解析モデルによる地震応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく地
震力の大きい方の地震力を設定する。

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)	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						

注記*1：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」に示すサプレッショ
ンチェンバの解析モデルによる地震応答解析により求めた応答加速度を基に設計震度を
設定する。

*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）に対するサプレッションチェンバ
の地震応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）に対するサプレッションチェンバの地震
応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく震度

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)	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						

注記*1：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」に示すサプレッションチェンバの解析モデルによる地震応答解析により求めた応答加速度を基に設計震度を設定する。

*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）に対するサプレッションチェンバの地震応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）に対するサプレッションチェンバの地震応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく震度

5.4 計算方法

アクセスハッチの応力評価点は、アクセスハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-9 及び図 5-1 に示し、応力の計算方法を以下に示す。

表 5-9 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	ふた板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ボルト
P 4	アクセスハッチスリーブ (P 4-A, P 4-B)
P 5	アクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ胴との 結合部 (P 5-A~P 5-C)
P 6	アクセスハッチスリーブと補強リブとの結合部
P 7	補強リブとサプレッションチェンバ胴との結合部
P 8	補強リブ

注記* : 応力評価点 P 1 ~ P 3 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価は行わない。

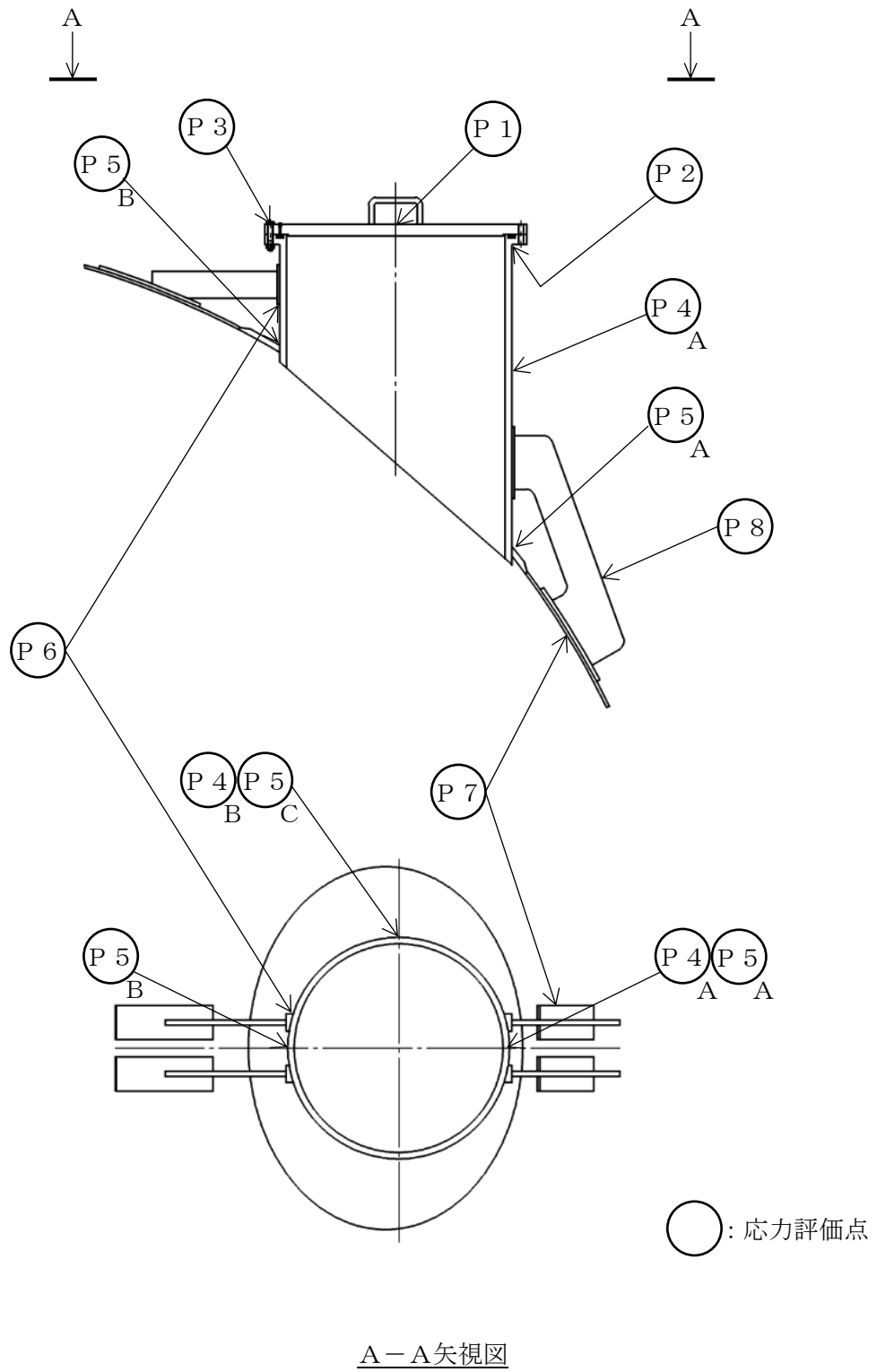


図 5-1 アクセスハッチの応力評価点

(1) 設計基準対象施設としての応力計算方法

a. アクセスハッチスリーブ (応力評価点 P 4)

応力評価点 P 4 の応力は、圧力による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。

(a) 圧力による応力

「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力の計算式を以下に示す。

内圧による周方向応力

$$\sigma_t = \frac{(P_{Di}/1000) \cdot D_1}{2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

内圧による軸方向応力

$$\sigma_l = \frac{(P_{Di}/1000) \cdot D_1}{4 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.2)$$

外圧による周方向応力

$$\sigma_t = -\frac{(P_{Do}/1000) \cdot (D_1 + 2 \cdot t_1)}{2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.3)$$

外圧による軸方向応力

$$\sigma_l = -\frac{(P_{Do}/1000) \cdot (D_1 + 2 \cdot t_1)}{4 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.4)$$

(b) アクセスハッチに作用する荷重による応力

アクセスハッチに作用する荷重による応力は、「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重 W 及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度 (C_H, C_V) を用いて、以下の計算式で計算する。

なお、水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

イ. 死荷重による応力

軸方向応力

$$\sigma_l = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (5.4.5)$$

ここで、

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \{(D_1 + 2 \cdot t_1)^2 - D_1^2\} \dots\dots\dots (5.4.6)$$

ロ. 水平地震荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_H}{A} \dots\dots\dots (5.4.7)$$

曲げ応力

$$\sigma_\ell = \pm \frac{W \cdot \ell_1 \cdot C_H}{Z} \dots\dots\dots (5.4.8)$$

ここで,

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\{(D_1 + 2 \cdot t_1)^4 - D_1^4\}}{D_1 + 2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.9)$$

ハ. 鉛直地震荷重による応力

軸方向応力

$$\sigma_\ell = \pm \frac{W \cdot C_V}{A} \dots\dots\dots (5.4.10)$$

b. アクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ胴との結合部（応力評価点 P 5）

応力評価点 P 5 は、サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。

(a) サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力

応力計算方法は、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」に示すとおりである。なお、水平 2 方向及び鉛直方向の設計震度による応力は、SRSS法により組み合わせる。

(b) アクセスハッチに作用する荷重による応力

応力計算方法は、「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重 W 及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度（ C_H 、 C_V ）を考慮し、図 4-2 に示す解析モデルにて応力を算出する。

応力評価点 P 5 に作用する荷重を表 5-10 に示す。なお、水平 2 方向及び鉛直方向の設計震度による応力は、SRSS法により組み合わせる。

表 5-10 応力評価点 P 5 に作用する荷重

荷重の種類*	死荷重	地震荷重
F_x	W	$W \cdot C_V$
F_y	—	$W \cdot C_H$
F_z	—	$W \cdot C_H$

注記*：図 4-2 に示す荷重の記号による。

アクセスハッチに作用する荷重による応力は、図 4-2 に示す解析モデルから得られる、単位荷重によりアクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ胴との結合部に生じる応力に、表 5-10 に示す荷重による荷重比を乗じて計算する。

- c. アクセスハッチスリーブと補強リブとの結合部（応力評価点P 6）

応力評価点P 6の応力は、圧力による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。

 - (a) 圧力による応力

「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力は、(5.4.1)式～(5.4.4)式により算出する。
 - (b) アクセスハッチに作用する荷重による応力

アクセスハッチに作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。

 - d. 補強リブとサプレッションチェンバ胴との結合部（応力評価点P 7）

応力評価点P 7は、サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。

 - (a) サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力

サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。
 - (b) アクセスハッチに作用する荷重による応力

アクセスハッチに作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。

 - e. 補強リブ（応力評価点P 8）

応力評価点P 8は、アクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。

 - (a) アクセスハッチに作用する荷重による応力

アクセスハッチに作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。
- (2) 重大事故等対処設備としての応力計算方法
- 重大事故等対処設備としての応力計算方法は設計基準対象施設と同じとする。

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が表 5-3 及び表 5-4 に示す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。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

アクセスハッチ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表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4-A	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	8	237	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	356	○	(14)	
			一次+二次応力	14	393	○	(14)	
	P 4-B	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	8	237	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	356	○	(14)	
			一次+二次応力	14	393	○	(14)	
	P 5-A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	86	505	○	(14)	
			一次+二次応力	149	501	○	(14)	
	P 5-B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	78	505	○	(14)	
			一次+二次応力	143	501	○	(14)	
	P 5-C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	75	505	○	(14)	
			一次+二次応力	143	501	○	(14)	

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	13	356	○	(14)	
			一次+二次応力	36	393	○	(14)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	86	505	○	(14)	
			一次+二次応力	227	501	○	(14)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	39	393	○	(14)	

表 6-2(1) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4-A	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	14	258	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	387	○	(15)	
			一次+二次応力	26	393	○	(15)	
	P 4-B	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	14	258	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	387	○	(15)	
			一次+二次応力	26	393	○	(15)	
	P 5-A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	505	○	(15)	
			一次+二次応力	308	501	○	(15)	
	P 5-B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	139	505	○	(15)	
			一次+二次応力	298	501	○	(15)	
	P 5-C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	132	505	○	(15)	
			一次+二次応力	296	501	○	(15)	

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	21	387	○	(15)	
			一次+二次応力	74	393	○	(15)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	505	○	(15)	
			一次+二次応力	480	501	○	(15)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	81	393	○	(15)	

表 6-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S_d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4 - A	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	9	258	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	387	○	(17)	
			一次+二次応力	14	393	○	(17)	
	P 4 - B	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	9	258	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	387	○	(17)	
			一次+二次応力	14	393	○	(17)	
	P 5 - A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	505	○	(17)	
			一次+二次応力	149	501	○	(17)	
	P 5 - B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	127	505	○	(17)	
			一次+二次応力	143	501	○	(17)	
	P 5 - C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	124	505	○	(17)	
			一次+二次応力	143	501	○	(17)	

表 6-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*) (その2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	16	387	○	(17)	
			一次+二次応力	36	393	○	(17)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	505	○	(17)	
			一次+二次応力	227	501	○	(17)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	39	393	○	(17)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

アクセスハッチ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

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-3(1) 許容応力状態V_ASに対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4 - A	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	13	253	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	14	393	○	(V (L) -1)	
	P 4 - B	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	13	253	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	14	393	○	(V (L) -1)	
	P 5 - A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	318	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	149	501	○	(V (L) -1)	
	P 5 - B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	310	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	143	501	○	(V (L) -1)	
	P 5 - C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	307	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	143	501	○	(V (L) -1)	

表 6-3(1) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	23	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	36	393	○	(V (L) -1)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	318	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	227	501	○	(V (L) -1)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	39	381	○	(V (L) -1)	

表 6-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4 - A	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	17	272	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	408	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	26	393	○	(V (L L) -1)	
	P 4 - B	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	17	272	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	408	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	26	393	○	(V (L L) -1)	
	P 5 - A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	262	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	308	501	○	(V (L L) -1)	
	P 5 - B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	245	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	298	501	○	(V (L L) -1)	
	P 5 - C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	238	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	296	501	○	(V (L L) -1)	

表 6-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	27	408	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	74	393	○	(V (L L) -1)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	262	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	480	501	○	(V (L L) -1)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	81	407	○	(V (L L) -1)	

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-13 「サプレッションチェンバの強度計算書」

VI-2-9-2-11 配管貫通部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	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	20
5.4 計算方法	21
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	36
7. 参照図書	41
8. 引用文献	41

図 表 目 次

図 2-1	配管貫通部の耐震評価フロー	3
図 3-1(1)	配管貫通部 X-81 の形状及び主要寸法	7
図 3-1(2)	配管貫通部 X-241 の形状及び主要寸法	8
図 5-1	配管貫通部の荷重作用方向	20
図 5-2(1)	配管貫通部 X-81 の応力評価点	22
図 5-2(2)	配管貫通部 X-241 の応力評価点	22
図 5-3	計算モデル	23
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	6
表 3-1(1)	配管貫通部 X-81 の主要寸法	7
表 3-1(2)	配管貫通部 X-241 の主要寸法	8
表 3-2	使用材料表	9
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）	12
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）	13
表 5-3	クラスMC 容器及び重大事故等クラス 2 容器の許容応力	14
表 5-4	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	15
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）	16
表 5-6	配管貫通部の設計荷重（設計基準対象施設）	19
表 5-7	配管貫通部の設計荷重（重大事故等対処設備）	19
表 5-8	応力評価点	21
表 5-9	単位軸方向荷重 P による応力 (X-81)	25
表 5-10	単位モーメント荷重 M_C による応力 (X-81)	25
表 5-11	単位モーメント荷重 M_L による応力 (X-81)	26
表 5-12	単位軸方向荷重 P による応力 (X-241)	26
表 5-13	単位モーメント荷重 M_C による応力 (X-241)	27
表 5-14	単位モーメント荷重 M_L による応力 (X-241)	27
表 6-1	許容応力状態Ⅲ _A S に対する評価結果 (D + P + M + S _d *)	30
表 6-2(1)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果 (D + P + M + S _s)	32
表 6-2(2)	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果 (D + P _L + M _L + S _d *)	34
表 6-3(1)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果 (D + P _{SAL} + M _{SAL} + S _d)	37
表 6-3(2)	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果 (D + P _{SALL} + M _{SALL} + S _s)	39

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」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、配管貫通部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。

表 2-1 に示す貫通部形式のうち、形式 1 は管口径が大きく反力の大きい配管類の貫通部に用いている。この形式の貫通部は、原子炉格納容器外側で原子炉建物にアンカされ、ベローズによって原子炉建物と原子炉格納容器の相対変位を吸収する構造となっている。このため、貫通部への反力は極めて小さい。したがって、貫通部の構造強度評価は省略する。

形式 2 及び形式 3 の貫通部は配管の反力が直接作用する。したがって、貫通部の構造強度評価を実施する。本計算書では、ドライウェル及びサプレッションチェンバそれぞれにおいて、口径が大きく、荷重の大きくなる X-81 及び X-241 を代表貫通部として構造強度評価を実施する。

小口径の配管は、貫通部に加わる反力は小さいため、貫通部の構造強度評価は省略する。

配管貫通部は、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。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による配管貫通部の評価は、昭和 59 年 9 月 17 日付け 59 資庁第 8283 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

配管貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

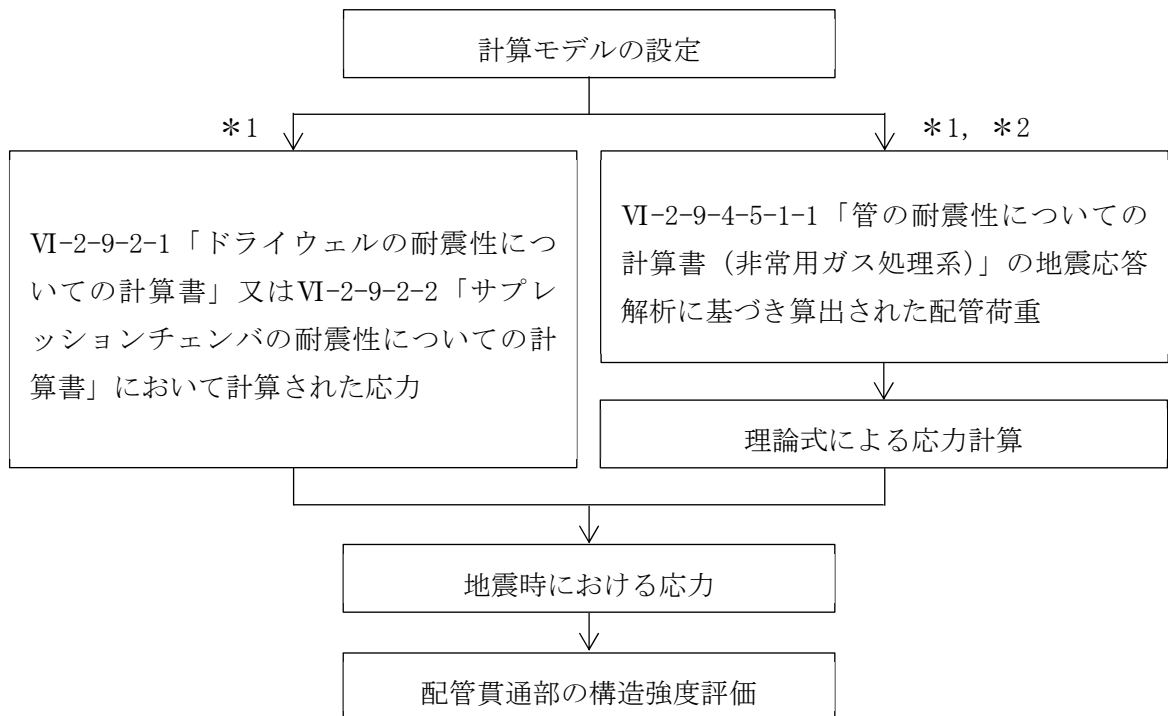
表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>配管貫通部は、原子炉格納容器（ドライウエル又はサプレッションチェンバ）に支持される。</p> <p>配管貫通部は、原子炉格納容器と一体構造となっており、ドライウエルの配管貫通部に加わる地震荷重はドライウエルより原子炉建物を介して、サプレッションチェンバの配管貫通部に加わる地震荷重はサプレッションチェンバを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>配管貫通部は、鋼製のスリーブが原子炉格納容器に溶接支持される構造である。</p> <p>形式1にベローズ、形式1と形式2に端板を備える。</p>	<p>The diagram illustrates the structural design of pipe penetrations through the reactor containment vessel. It includes a main cross-sectional view of the reactor building and three detailed views of different penetration types (Form 1, Form 2, and Form 3). Labels identify components such as the pipe penetration (X-241, X-81), the drywell containment vessel, the suppression chamber, and the reactor building foundation slab. Detailed views show the use of bellows, sleeves, and end plates to secure the penetrations.</p>

2.2 評価方針

配管貫通部の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」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」にて示す配管貫通部の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

配管貫通部の耐震評価フローを図2-1に示す。



注記*1：スリーブ取付部の耐震評価フローを示す。

*2：スリーブの耐震評価フローを示す。

図2-1 配管貫通部の耐震評価フロー

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
d ₁	配管貫通部 X-81 のスリーブ外径	mm
d ₂	配管貫通部 X-241 のスリーブ外径	mm
M _c	モーメント (周方向)	N・mm
M _L	モーメント (軸方向)	N・mm
P	軸力	N
R ₁	ドライウェル胴の半径	mm
R ₂	サプレッションチェンバの半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 3 に定める値	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	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 (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 ₁	配管貫通部 X-81 のスリーブ厚さ	mm
t ₂	配管貫通部 X-241 のスリーブ厚さ	mm
T ₁	ドライウェル胴の板厚	mm
T ₂	サプレッションチェンバの板厚	mm
T _{SAL}	温度 (S A後長期温度)	℃
T _{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	℃

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
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
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

代表とした配管貫通部 X-81 及び X-241 の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-2 に示す。

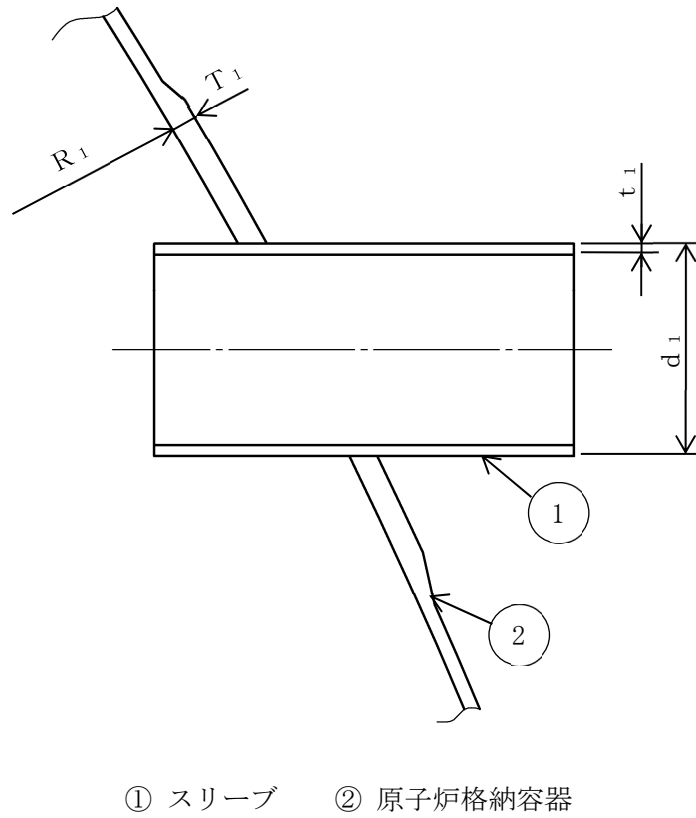
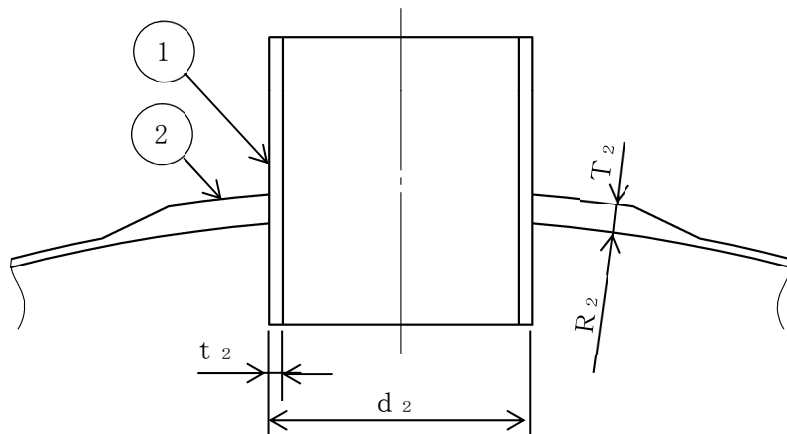


図 3-1(1) 配管貫通部 X-81 の形状及び主要寸法

表 3-1(1) 配管貫通部 X-81 の主要寸法 (単位: mm)

貫通部 番号	形式	d_1	t_1	T_1	R_1
X-81	3				



① スリーブ ② 原子炉格納容器

図 3-1(2) 配管貫通部 X-241 の形状及び主要寸法

表 3-1(2) 配管貫通部 X-241 の主要寸法 (単位: mm)

貫通部 番号	形式	d_2	t_2	T_2	R_2
X-241	3				

表 3-2 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
原子炉格納容器	SPV50	SPV490 相当
スリーブ	STS42	STS410 相当

4. 固有周期

配管貫通部の耐震評価は、ドライウエル又はサブプレッションチェンバに作用する荷重と配管荷重を用いて実施する。

ドライウエルに作用する荷重は、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて原子炉格納容器の固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いることから，本計算書では固有周期の計算は実施しない。

サブプレッションチェンバに作用する荷重は，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」にてサブプレッションチェンバ及びサブプレッションチェンバサポートの固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いることから，本計算書では固有周期の計算は実施しない。

配管荷重は，VI-2-9-4-5-1-1「管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」に示す管の固有周期に基づく地震応答解析で計算した荷重を用いて評価をするため，本計算書では配管貫通部の固有周期の計算は実施しない。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 配管貫通部は、スリーブが原子炉格納容器に支持された構造であり、ドライウエルの配管貫通部に加わる地震荷重はドライウエルより原子炉建物を介して、サプレッションチェンバの配管貫通部に加わる地震荷重はサプレッションチェンバを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

配管貫通部の耐震評価として、配管貫通部に作用する自重、圧力荷重、水力学的動荷重、VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」又は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」において計算された応力及びVI-2-9-4-5-1-1「管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」において計算された配管荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は、貫通部に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、「5.4.2 応力計算方法」に示す。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

配管貫通部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。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

配管貫通部の許容応力はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

配管貫通部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*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
						(14) (16)	
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	S	クラスMC容器	D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	S	クラスMC容器	D + P _L + M _L + S _d **2	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

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*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V _{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _{AS}

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：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力*1

応力分類 許容 応力状態	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1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2	3・S*3	*4, *5 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分は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、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S*6				

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：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*3：3・S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。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要。

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下とする。

*6：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

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	貫通部番号	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					
原子炉格納容器	X-81	SPV50 ^{*1}	周囲環境温度	171	167	429	550	—
原子炉格納容器	X-241	SPV50 ^{*1}	周囲環境温度	104	167	459	562	—
スリーブ	X-81	STS42 ^{*2}	周囲環境温度	171	114	211	404	—
スリーブ	X-241	STS42 ^{*2}	周囲環境温度	104	114	219	404	—

注記*1 : SPV490 相当

*2 : STS410 相当

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	貫通部番号	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					
原子炉格納容器	X-81	SPV50* ¹	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
			周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—
原子炉格納容器	X-241	SPV50* ¹	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
			周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—
スリーブ	X-81	STS42* ⁴	周囲環境温度	200* ²	114	207	404	—
			周囲環境温度	70* ³	114	229	407	—
スリーブ	X-241	STS42* ⁴	周囲環境温度	200* ²	114	207	404	—
			周囲環境温度	70* ³	114	229	407	—

注記*1：SPV490 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：STS410 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重，活荷重及び水力学的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧	ドライウエル（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327kPa
内圧	サプレッションチェンバ（冷却材喪失事故後の最大内圧）	209kPa
外圧	ドライウエル	14kPa
外圧	サプレッションチェンバ	14kPa
温度	ドライウエル（最高使用温度）	171℃
温度	サプレッションチェンバ（最高使用温度）	104℃

b. 死荷重

(a) ドライウエル

ドライウエルの自重による鉛直荷重は，VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(b) サプレッションチェンバ

サプレッションチェンバの自重による鉛直荷重は，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」に示すとおりである。

なお，設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバの水位は，H. W. L. (EL mm)に対する保守的な条件として，重大事故等対処設備の評価における水位を用い，以下のとおりとする。

水位 EL mm

c. 活荷重

活荷重は，VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

d. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時の荷重は，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」に示すとおりである。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度，死荷重及び水力学動的荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	380kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	200°C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	70°C (SA後長々期)

b. 死荷重

重大事故等対処設備としてのドライウェル又はサプレッションチェンバの死荷重は，設計基準対象施設としての荷重と同じであるため，「5.2.4 設計荷重」の(1)に示すとおりである。

c. チャギング荷重

チャギング荷重は，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」に示すとおりである。

(3) 配管荷重

図 3-1 の配管貫通部に作用する配管荷重による設計荷重を表 5-6 及び表 5-7 に示す。配管貫通部の荷重作用方向を図 5-1 に示す。

なお，表 5-6 及び表 5-7 の設計荷重は，VI-2-9-4-5-1-1「管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」に示す地震応答解析で計算した配管貫通部に生じる荷重を上回る荷重である。

表 5-6 配管貫通部の設計荷重 (設計基準対象施設)

貫通部番号	評価圧力 (kPa)		地震荷重	死荷重			地震荷重		
	内圧	外圧		軸力(N)	モーメント(N・mm)		軸力(N)	モーメント(N・mm)	
				P	Mc	ML	P	Mc	ML
X-81	327	14	地震荷重 S d *作用時						
			地震荷重 S s 作用時						
X-241	209	14	地震荷重 S d *作用時						
			地震荷重 S s 作用時						

表 5-7 配管貫通部の設計荷重 (重大事故等対処設備)

貫通部番号	評価圧力 (kPa)		地震荷重	死荷重			地震荷重		
	内圧	外圧		軸力(N)	モーメント(N・mm)		軸力(N)	モーメント(N・mm)	
				P	Mc	ML	P	Mc	ML
X-81	660	-	地震荷重 S d 作用時						
	380		地震荷重 S s 作用時						
X-241	660	-	地震荷重 S d 作用時						
	380		地震荷重 S s 作用時						

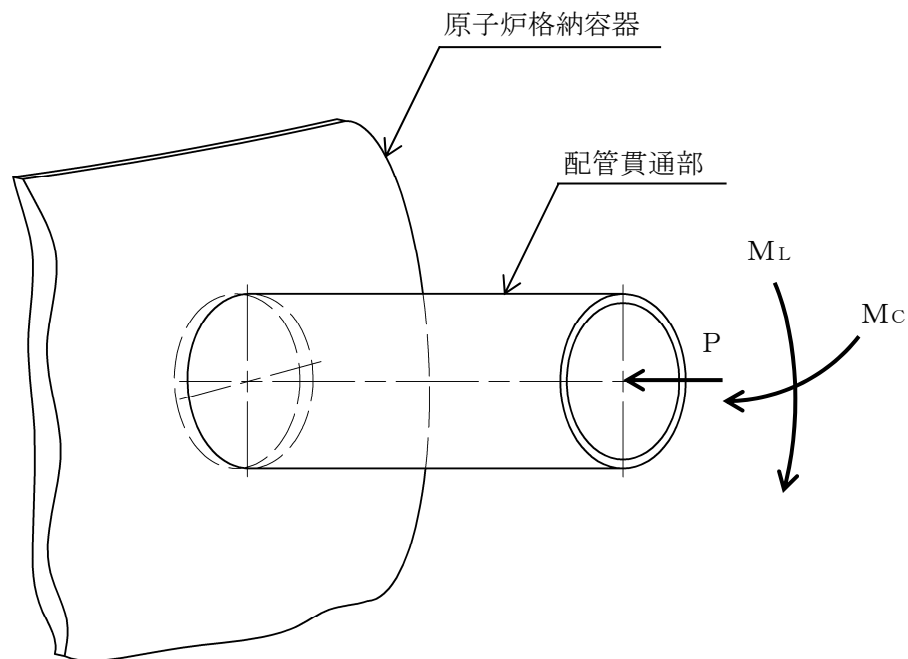


図 5-1 配管貫通部の荷重作用方向

5.3 設計用地震力

(1) ドライウエル

ドライウエルに作用する設計用地震力は、VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(2) サプレッションチェンバ

サプレッションチェンバに作用する設計用地震力は、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」に示すとおりである。

(3) 配管荷重

評価に用いる設計用地震力は、「5.2.4 設計荷重」の(3)に示す配管の地震応答解析で計算された荷重を上回る荷重を用いる。

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価点

配管貫通部の応力評価点は、配管貫通部を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-8 及び図 5-2 に示す。

表 5-8 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	X-81 原子炉格納容器とスリーブとの結合部 (P 1 - A , P 1 - B)
P 2	X-241 原子炉格納容器とスリーブとの結合部 (P 2 - A , P 2 - B)
P 3	X-81 スリーブ (P 3 - A , P 3 - B)
P 4	X-241 スリーブ (P 4 - A , P 4 - B)

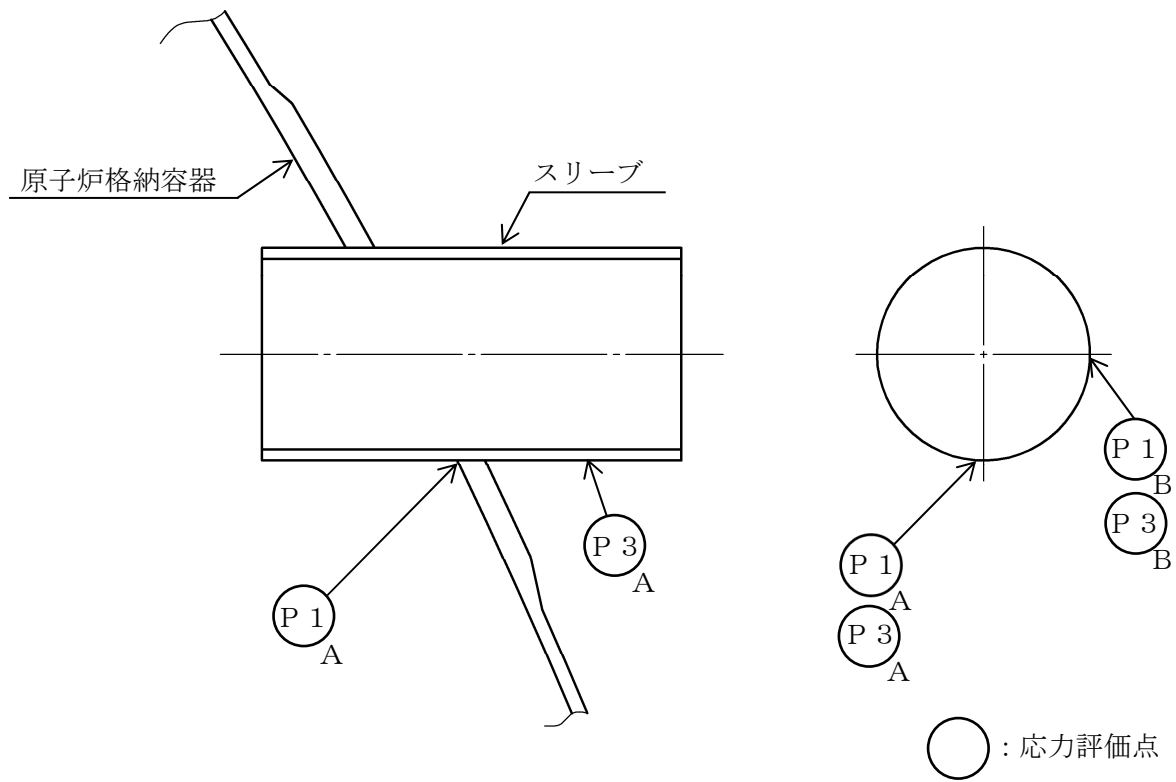


図 5-2(1) 配管貫通部 X-81 の応力評価点

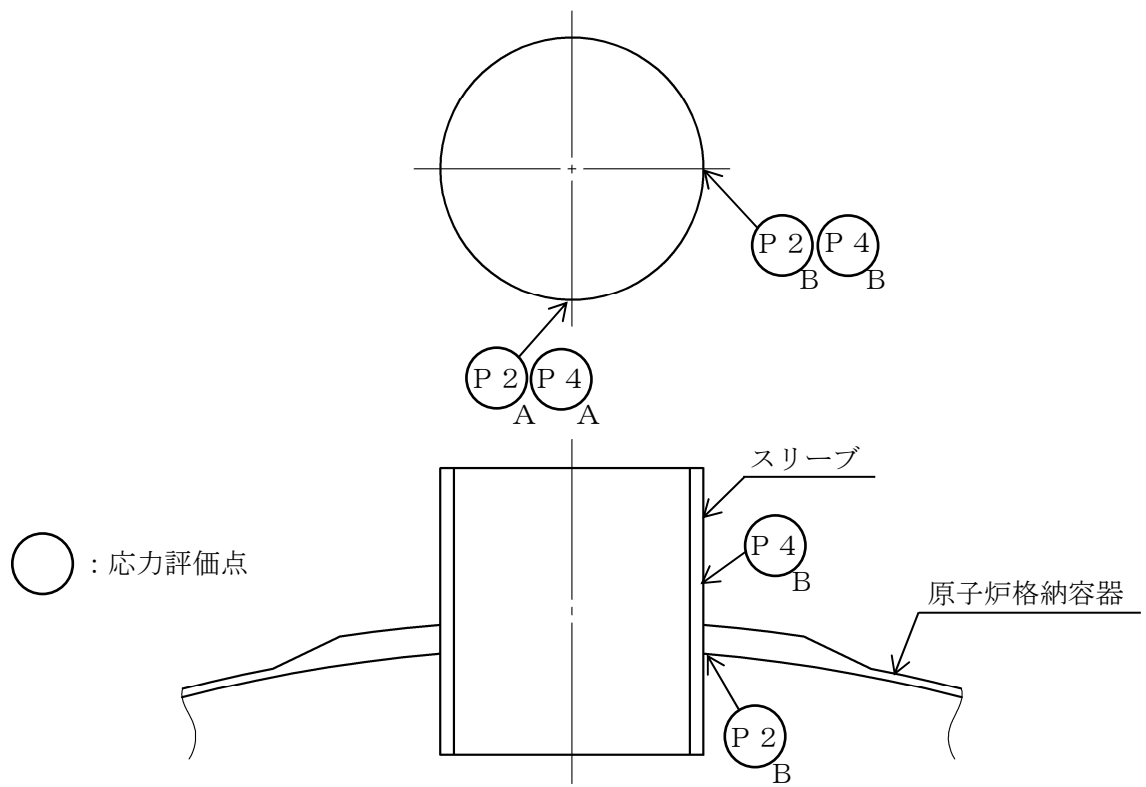


図 5-2(2) 配管貫通部 X-241 の応力評価点

5.4.2 応力計算方法

配管貫通部の応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

応力計算方法は既工認から変更は無く、参照図書(1)に示すとおりである。

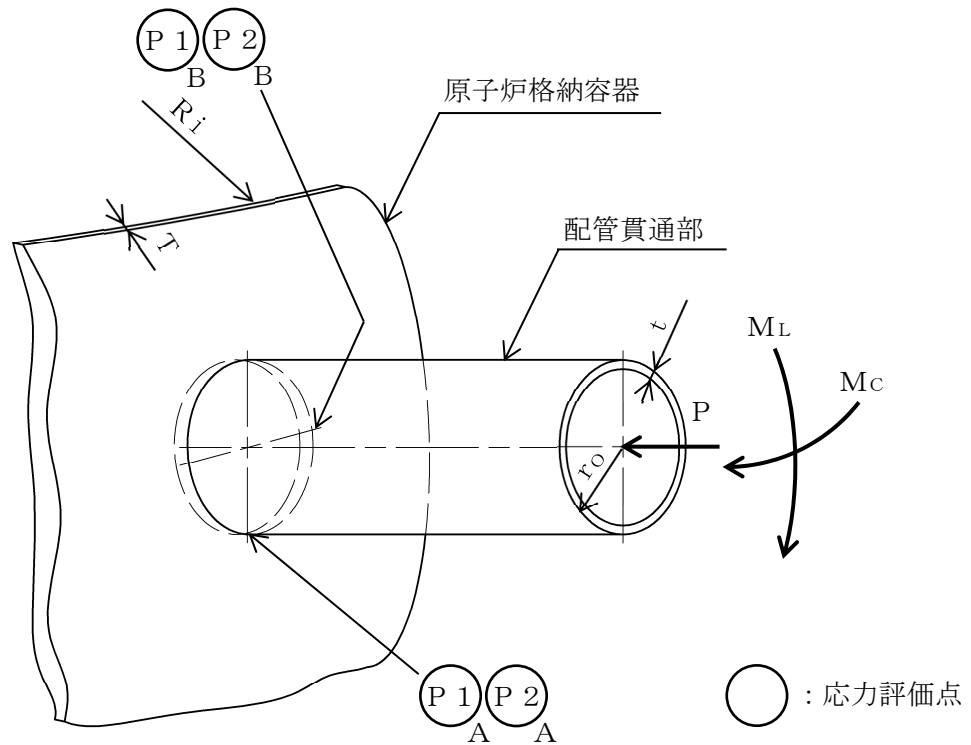
a. 応力評価点 P 1, P 2 に生じる応力

応力評価点 P 1, P 2 の応力は、配管貫通部に作用する荷重（表 5-6）による応力と、VI-2-9-2-1「ドライウェルの耐震性についての計算書」又は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」において算出された応力を組み合わせることで算出する。なお、配管貫通部に作用する荷重による応力については、引用文献(1)に示す方法により計算するものとし、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

以下に配管貫通部に作用する荷重による応力の計算方法を示す。ここで使用する記号は全て引用文献(1)に従う。

(a) 計算モデル

応力計算に用いる計算モデルを、図 5-3 に示す。



R_i : 貫通部中心までの原子炉格納容器内半径 = (X-81), (X-241)

r_o : スリーブ外半径 = (X-81), (X-241)

T : 原子炉格納容器厚さ = (X-81), (X-241)

t : スリーブ厚さ = (X-81), (X-241)

(単位 : mm)

図 5-3 計算モデル

(b) パラメータ

応力計算に用いるパラメータを、以下に示す。

イ. X-81 のパラメータ

X-81 のシェルパラメータは以下のとおりとする。

$$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$U = \frac{r_o}{\sqrt{R_m \cdot T}} = \boxed{}$$

X-81 のアタッチメントパラメータは以下のとおりとする。

$$r_m = r_o - \frac{t}{2} = \boxed{}$$

$$\Upsilon = \frac{r_m}{t} = \boxed{}$$

$$\rho = \frac{T}{t} = \boxed{}$$

ロ. X-241 のパラメータ

X-241 のシェルパラメータは以下のとおりとする。

$$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\gamma = \frac{R_m}{T} = \boxed{}$$

X-241 のアタッチメントパラメータは以下のとおりとする。

$$\beta = \frac{0.875 \cdot r_o}{R_m} = \boxed{}$$

(c) 応力計算

単位荷重による応力を以下に示す。

応力評価点 P 1, P 2 に生じる応力は, 以下に示す単位荷重による応力と配管貫通部に作用する荷重 (表 5-6) により算出する。

イ. 応力評価点 P 1 に生じる応力 (X-81)

単位軸方向荷重 P による応力を表 5-9 に示す。

$$P = 1.000 \times 10^3 \text{N}$$

表 5-9 単位軸方向荷重 P による応力 (X-81)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_c による応力を表 5-10 に示す。

$$M_c = 1.000 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$$

表 5-10 単位モーメント荷重 M_c による応力 (X-81)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_L による応力を表 5-11 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-11 単位モーメント荷重 M_L による応力(X-81)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取值	応力計算 (MPa)

ロ. 応力評価点 P 2 に生じる応力(X-241)

単位軸方向荷重 P による応力を表 5-12 に示す。

$$P = 1.000 \times 10^3 \text{ N}$$

表 5-12 単位軸方向荷重 P による応力(X-241)

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取值	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_c による応力を表 5-13 に示す。

$$M_c = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-13 単位モーメント荷重 M_c による応力(X-241)

方向	応力 評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

単位モーメント荷重 M_L による応力を表 5-14 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-14 単位モーメント荷重 M_L による応力(X-241)

方向	応力 評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

b. 応力評価点 P 3, P 4 に生じる応力

応力評価点 P 3, P 4 の応力は、配管貫通部に作用する荷重 (表 5-6) とスリーブの断面性能により、参照図書(1)に示すとおり算出する。なお、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

a. 応力評価点 P 1, P 2 に生じる応力

応力評価点 P 1, P 2 の応力は、配管貫通部に作用する荷重 (表 5-7) による応力と、VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」又は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」において算出された応力を組み合わせることで算出する。なお、配管貫通部に作用する荷重による応力の計算モデル、パラメータ及び単位荷重による応力は、「5.4.2 応力計算方法」の(1)に示す設計基準対象施設と同じとし、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

b. 応力評価点 P 3, P 4 に生じる応力

応力評価点 P 3, P 4 の応力は、配管貫通部に作用する荷重 (表 5-7) とスリーブの断面性能により、参照図書(1)に示すとおり算出する。なお、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が表 5-3 で定める許容応力以下であること。ただし、一次+二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

配管貫通部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

構造強度評価結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1-A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	101	495	○	(11)	
			一次+二次応力	260	501	○	(11)	
	P 1-B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	103	495	○	(11)	
			一次+二次応力	284	501	○	(11)	
	P 2-A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	58	505	○	(14)	
			一次+二次応力	178	501	○	(14)	
	P 2-B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	56	505	○	(14)	
			一次+二次応力	148	501	○	(14)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せのNo.を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3-A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	11	211	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	316	○	(10)	
			一次+二次応力	18	342	○	(10)	
	P 3-B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	15	211	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	15	316	○	(10)	
			一次+二次応力	26	342	○	(10)	
	P 4-A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	11	219	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	329	○	(10)	
			一次+二次応力	16	342	○	(10)	
	P 4-B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	10	219	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	329	○	(10)	
			一次+二次応力	14	342	○	(10)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D+P+M+S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	495	○	(13)	
			一次+二次応力	382	501	○	(13)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	132	495	○	(13)	
			一次+二次応力	402	501	○	(13)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	92	505	○	(15)	
			一次+二次応力	298	501	○	(15)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	89	505	○	(15)	
			一次+二次応力	250	501	○	(15)	

注記* : () 内はVI-1-8-1 「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3-A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	13	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(12)	
			一次+二次応力	22	342	○	(12)	
	P 3-B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	17	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	363	○	(12)	
			一次+二次応力	30	342	○	(12)	
	P 4-A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	17	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	364	○	(12)	
			一次+二次応力	28	342	○	(12)	
	P 4-B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	15	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	15	364	○	(12)	
			一次+二次応力	24	342	○	(12)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	216	495	○	(17)	
			一次+二次応力	228	501	○	(17)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	216	495	○	(17)	
			一次+二次応力	252	501	○	(17)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	81	505	○	(17)	
			一次+二次応力	178	501	○	(17)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	80	505	○	(17)	
			一次+二次応力	148	501	○	(17)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せのNo.を示す。

表 6-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	12	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	363	○	(17)	
			一次+二次応力	18	342	○	(17)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	16	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	363	○	(17)	
			一次+二次応力	26	342	○	(17)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	11	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	364	○	(17)	
			一次+二次応力	16	342	○	(17)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	10	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	364	○	(17)	
			一次+二次応力	14	342	○	(17)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

配管貫通部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

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-3(1) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	363	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	228	501	○	(V (L) -1)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	363	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	252	501	○	(V (L) -1)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	205	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	178	501	○	(V (L) -1)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	201	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	148	501	○	(V (L) -1)	

注記* : () 内は VI-1-8-1 「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-3(1) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	13	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	18	342	○	(V (L) -1)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	17	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	26	342	○	(V (L) -1)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	13	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	16	342	○	(V (L) -1)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	12	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	14	342	○	(V (L) -1)	

注記* : () 内は VI-1-8-1 「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	263	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	314	501	○	(V (L L) -1)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	262	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	336	501	○	(V (L L) -1)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	153	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	298	501	○	(V (L L) -1)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	152	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	250	501	○	(V (L L) -1)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	14	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	22	342	○	(V (L L) -1)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	18	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	18	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	30	342	○	(V (L L) -1)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	18	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	18	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	28	342	○	(V (L L) -1)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	16	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	24	342	○	(V (L L) -1)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-8 「原子炉格納容器貫通部の強度計算書」

8. 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.

VI-2-9-4 圧力低減設備その他安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4 原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-1 原子炉格納容器スプレイ設備の耐震性についての
計算書

VI-2-9-4-4-1-1 ドライウェルスプレイ管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	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
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
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	18
4.5 設計用地震力	22
4.6 計算方法	26
4.7 計算条件	28
4.8 応力の評価	28
5. 評価結果	29
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	33
6. 参照図書	36

図 表 目 次

図 2-1	ドライウェルスプレイ管の耐震評価フロー	3
図 3-1	ドライウェルスプレイ管の形状及び主要寸法	6
図 4-1	上部スプレイ管案内管の解析モデル	16
図 4-2	下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の解析モデル	16
図 4-3	上部スプレイ管案内管の振動モード図（設計基準対象施設）	19
図 4-4	下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の振動モード図 （設計基準対象施設）	19
図 4-5	上部スプレイ管案内管の振動モード図（重大事故等対処設備）	21
図 4-6	下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の振動モード図 （重大事故等対処設備）	21
図 4-7	上部スプレイ管案内管の応力評価点	26
図 4-8	下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の応力評価点	27
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	5
表 3-1	使用材料表	8
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）	10
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）	10
表 4-3	許容応力（クラス 2 管及び重大事故等クラス 2 管）	11
表 4-4	許容応力（クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）	12
表 4-5	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	13
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）	13
表 4-7	上部スプレイ管案内管の解析モデルの諸元	17
表 4-8	下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の解析モデルの諸元	17
表 4-9	上部スプレイ管案内管の固有周期（設計基準対象施設）	18
表 4-10	下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期 （設計基準対象施設）	18
表 4-11	上部スプレイ管案内管の固有周期（重大事故等対処設備）	20
表 4-12	下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期 （重大事故等対処設備）	20
表 4-13	設計用地震力（設計基準対象施設）：上部スプレイ管案内管	22
表 4-14	設計用地震力（設計基準対象施設）：下部スプレイ管	23
表 4-15	設計用地震力（重大事故等対処設備）：上部スプレイ管案内管	24
表 4-16	設計用地震力（重大事故等対処設備）：下部スプレイ管	25
表 4-17	応力評価点	26

表 5-1	許容応力状態Ⅲ _A S に対する評価結果 (D + P _D + M _D + S _d *)	30
表 5-2	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果 (D + P _D + M _D + S _s)	31
表 5-3	支持構造物評価結果	32
表 5-4	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果 (D + P _{SAD} + M _{SAD} + S _s)	34
表 5-5	支持構造物評価結果	35

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」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、ドライウェルスプレイ管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。

ドライウェルスプレイ管は、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、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、ジェット力によるドライウェルスプレイ管の評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウェルスプレイ管の構造計画を表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>上部スプレイ管は、上部スプレイ管サポートと一体構造であり、ドライウェル全周で支持される。上部スプレイ管案内管は、ドライウェルに支持された配管サポート及び原子炉格納容器貫通部（以下「貫通部」という。）に支持される。下部スプレイ管は、ドライウェル周方向に設置された下部スプレイ管サポートに支持される。下部スプレイ管案内管は、貫通部に支持される。上部スプレイ管案内管に作用する水平及び鉛直方向地震荷重は、配管サポート及び貫通部を介してドライウェルに伝達される。下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管に作用する水平及び鉛直方向地震荷重は、下部スプレイ管サポート及び貫通部を介してドライウェルに伝達される。</p>	<p>スプレイ管は、外径 267.4mm 及び厚さ 15.1mm のパイプで作られ、上部スプレイ管は直径約 16.9m、下部スプレイ管は直径 22.2m の円環構造である。スプレイ管案内管は、外径 355.6mm 及び厚さ 19.0mm のパイプで作られ、スプレイ管と貫通部をつなぐ構造である。</p>	<p>（単位：mm）</p>

2.2 評価方針

ドライウェルスプレイ管の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」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」にて示すドライウェルスプレイ管の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

ドライウェルスプレイ管の耐震評価フローを図2-1に示す。

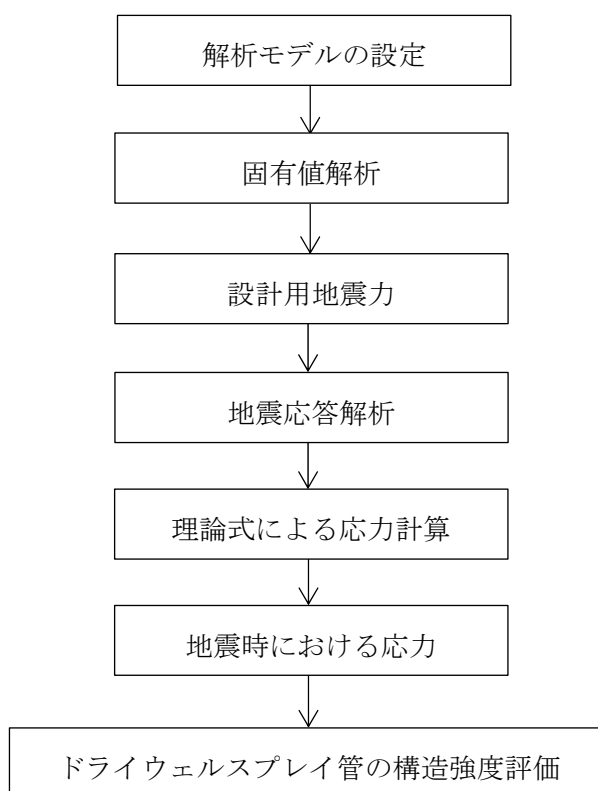


図2-1 ドライウェルスプレイ管の耐震評価フロー

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 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 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_1	上部スプレイ管案内管サポートの評価部位の断面積	mm^2
A_2	下部スプレイ管サポートの評価部位の断面積	mm^2
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_1	下部スプレイ管の直径	mm
D_2	スプレイ管案内管の直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_x	ドライウェル周方向（管軸方向）の反力	kN
F_y	管軸直角方向の反力	kN
F_z	鉛直方向の反力	kN
L	下部スプレイ管サポートに作用するモーメントアーム	mm
m_1	下部スプレイ管の質量	kg/m
m_2	スプレイ管案内管の質量	kg/m
M_x	管軸回りのモーメント	$\text{kN} \cdot \text{m}$
M_y	管軸直角回りのモーメント	$\text{kN} \cdot \text{m}$
M_z	鉛直軸回りのモーメント	$\text{kN} \cdot \text{m}$
R	ドライウェル上部半球胴部の半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	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
t_1	下部スプレイ管の厚さ	mm
t_2	スプレイ管案内管の厚さ	mm
T	温度	$^{\circ}\text{C}$
T_{SAD}	温度（SA後温度）	$^{\circ}\text{C}$
Z	下部スプレイ管サポートの断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
σ	組合せ応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
τ	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2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

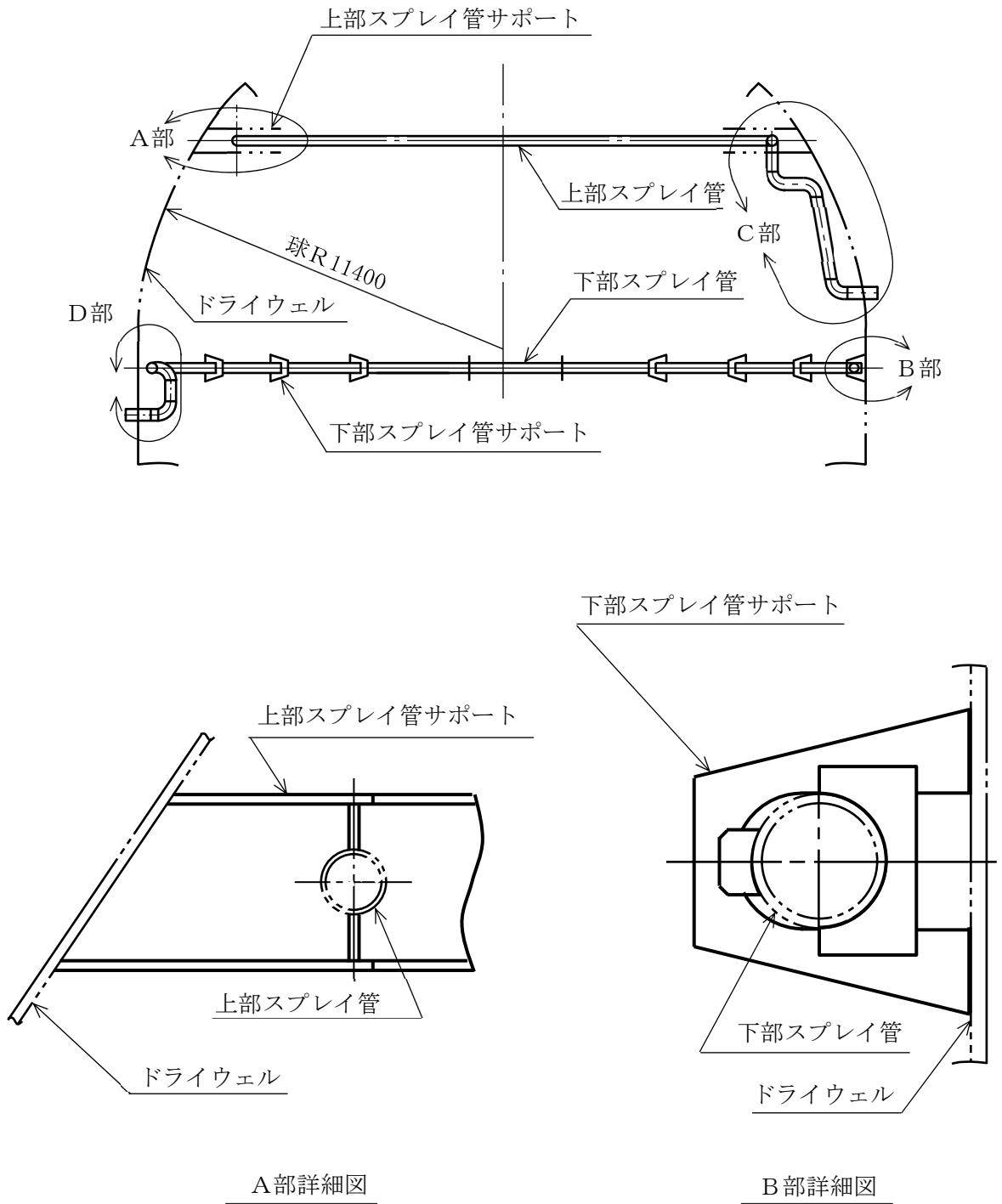
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
刺激係数	—	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg/m	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
荷重	N/m	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第1位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*2}	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・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。

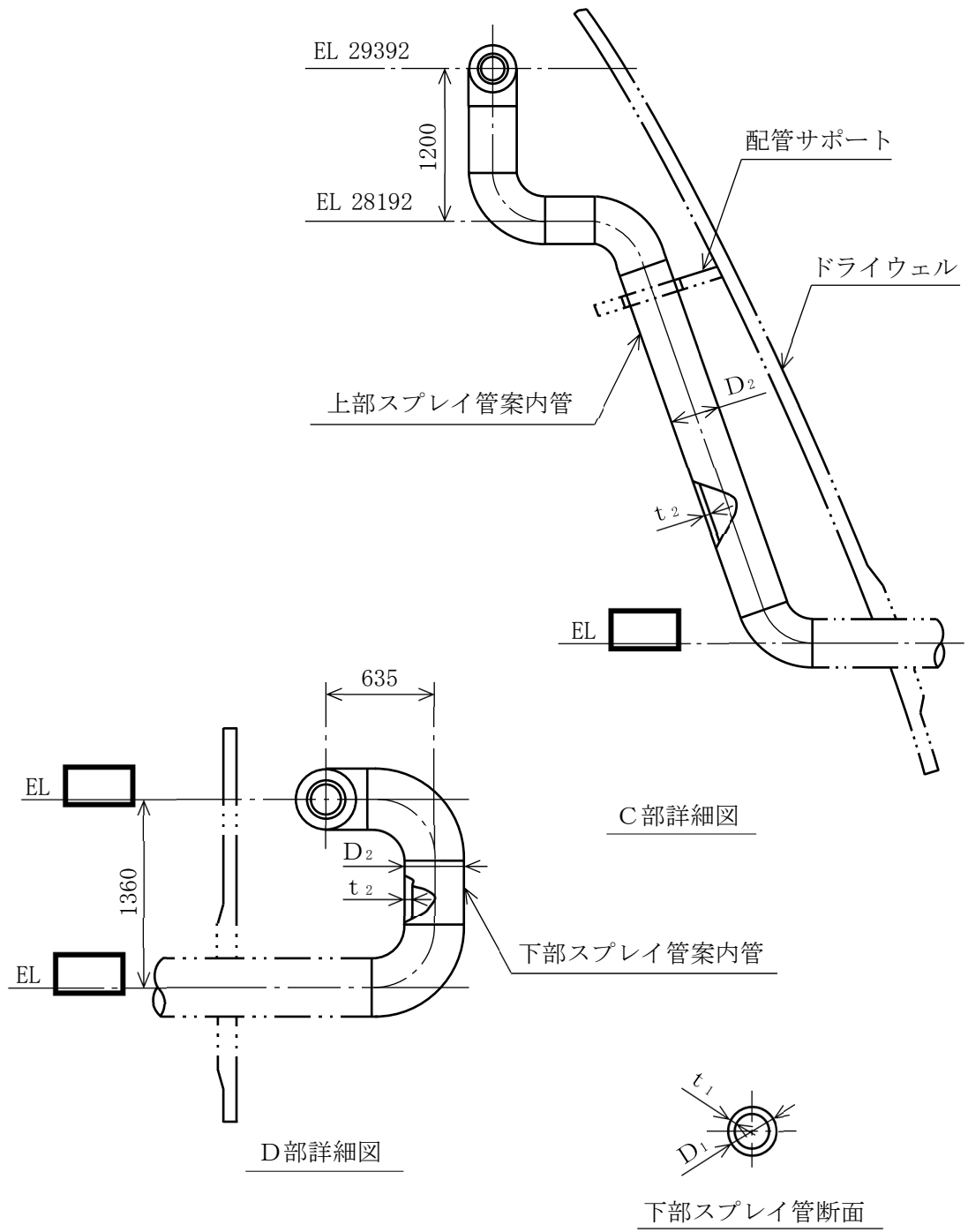
3. 評価部位

ドライウェルスプレイ管の形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



(単位：mm)

図3-1 ドライウェルスプレイ管の形状及び主要寸法 (その1)



$$D_1 = 267.4$$

$$D_2 = 355.6$$

$$t_1 = 15.1$$

$$t_2 = 19.0$$

(単位：mm)

図 3-1 ドライウエルスプレイ管の形状及び主要寸法 (その 2)

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ドライウェルスプレイ管 及びプレイ管案内管	STS42	STS410 相当
配管サポート	SGV49	SGV480 相当

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) ドライウェルスプレイ管に作用する地震力は、水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。ドライウェルスプレイ管の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を用いて、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」及びVI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。
- (2) 地震力は、ドライウェルスプレイ管に対して水平 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合せには、絶対値和を適用する。ただし、下部スプレイ管サポートの水平 2 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) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

ドライウェルスプレイ管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。

詳細な荷重の組合せは、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

ドライウェルスプレイ管の許容応力は、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 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウェルスプレイ管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
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ドライウエル スプレイ管	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ドライウエル スプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	ドライウエル スプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2

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: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-3 許容応力*1 (クラス2管及び重大事故等クラス2管)

応力分類 許容 応力状態	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	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の値と $1.2 \cdot S$ のう ち大きい方とする。	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	*2
Ⅳ _A S	$0.9 \cdot S_u$		
V _A S*3			

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： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (ただし、 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。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力 (クラス 2 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)									
	一次応力					一次+二次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 /圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$ ^{*3}	$3 \cdot f_b$ ^{*4}	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$\left[\begin{array}{c} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみによる} \\ \text{応力振幅について評価する。} \end{array} \right]$			$1.5 \cdot f_p^*$	
V _{AS} ^{*5}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$				$1.5 \cdot f_p^*$	

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。

*3：すみ肉溶接部にあつては，最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*4：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*5：V_{AS}としてⅣ_{AS}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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)
		周囲環境 温度					
ドライウェルスプレイ管 及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境 温度	171	—	211	404	—
配管サポート	SGV49* ²	周囲環境 温度	171	—	229	423	—

注記*1 : STS410 相当

*2 : SGV480 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 _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)
		周囲環境 温度					
ドライウェルスプレイ管 及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境 温度	200	—	207	404	—
配管サポート	SGV49* ²	周囲環境 温度	200	—	226	422	—

注記*1 : STS410 相当

*2 : SGV480 相当

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

圧力	3.92MPa
温度	171℃

b. 死荷重

ドライウェルスプレイ管*1	<input type="text"/>	N/m
プレイ管案内管*2	<input type="text"/>	N/m

注記*1：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

*2：管内保有水の重量を含めた自重を死荷重とする。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

圧力 P_{SAD}	3.92MPa
温度 T_{SAD}	200℃

b. 死荷重

ドライウェルスプレイ管*1	<input type="text"/>	N/m
プレイ管案内管*2	<input type="text"/>	N/m

注記*1：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

*2：管内保有水の重量を含めた自重を死荷重とする。

4.3 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

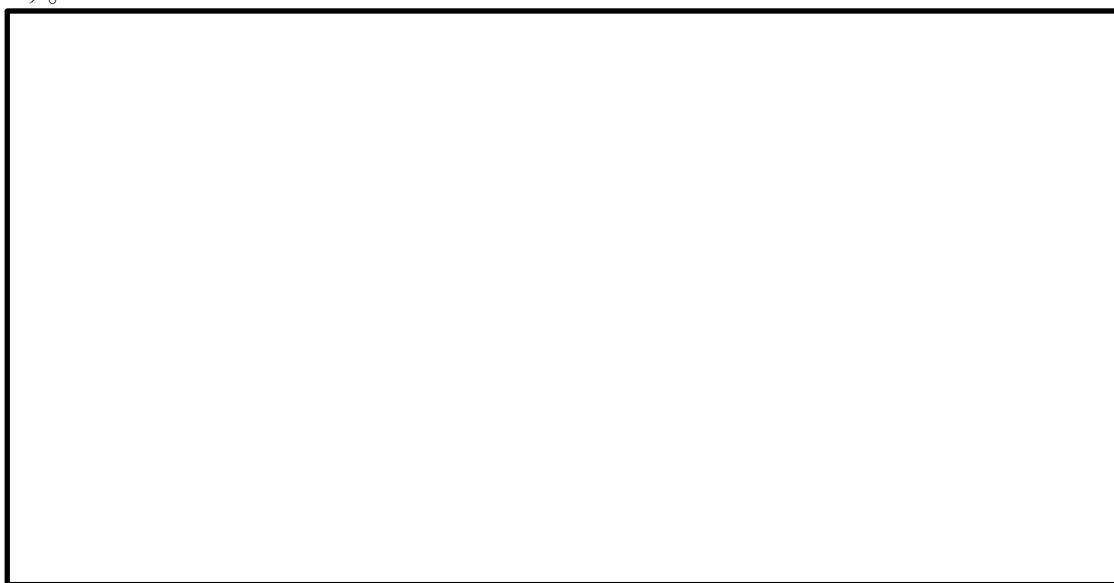
設計基準対象施設としての評価は、ドライウェルスプレイ管質量及び内部水質量を考慮して固有値解析及び構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモード解析法を用いる。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ドライウェルスプレイ管は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に、解析モデルの諸元について表 4-7 及び表 4-8 に示す。

b.

c.



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。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。

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としてのドライウェルスプレイ管の解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。

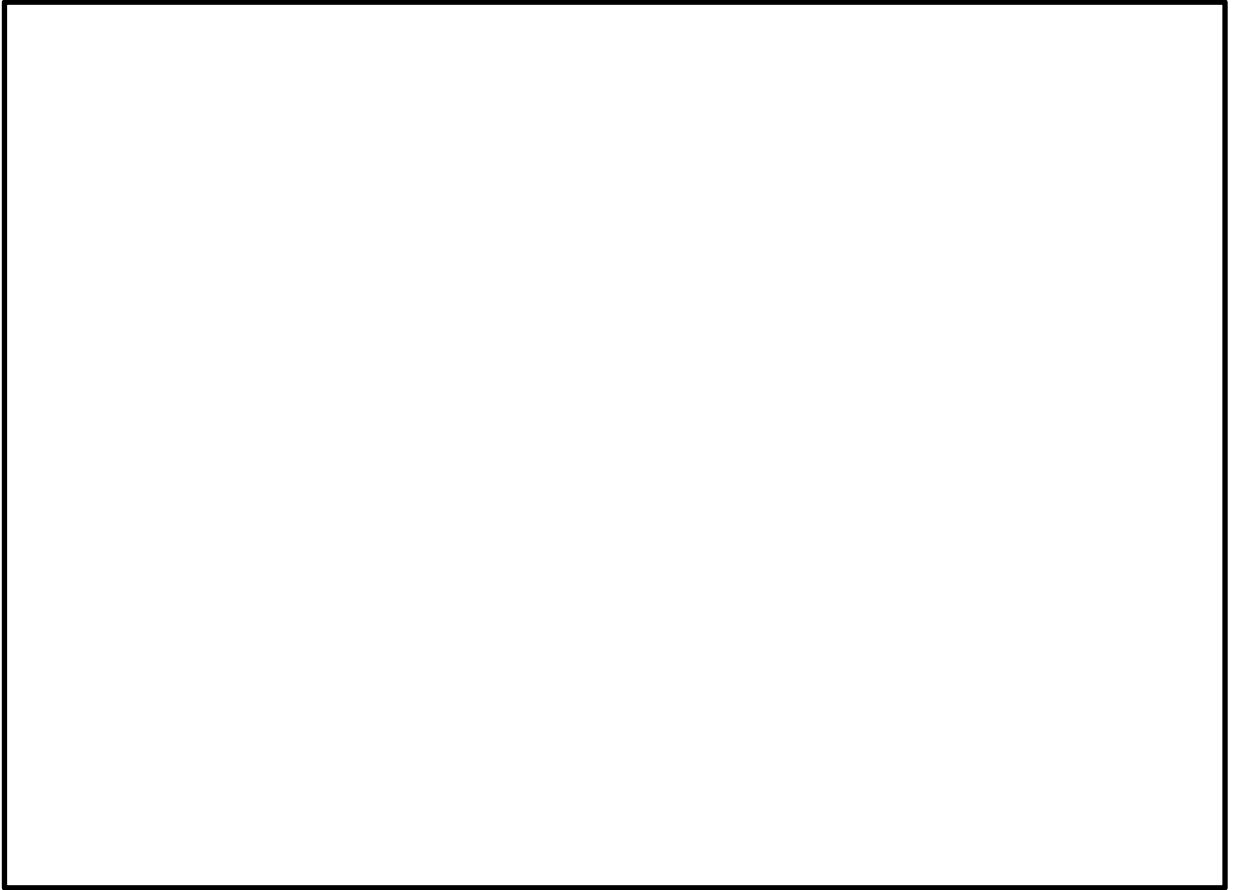


図 4-1 上部スプレイ管案内管の解析モデル

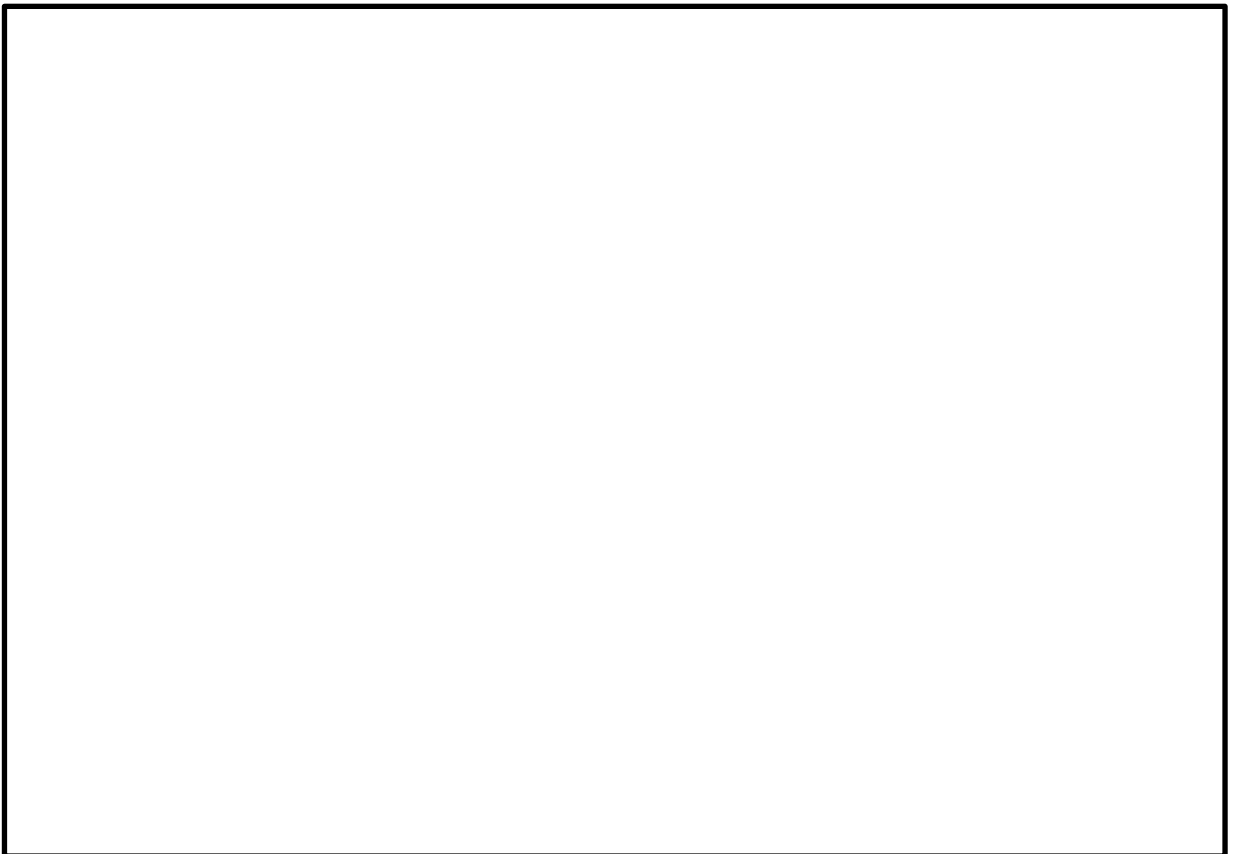


図 4-2 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の解析モデル

表 4-7 上部スプレイ管案内管の解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
質量	m_2	kg/m	<input type="text"/>
温度条件	T	°C	171
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

表 4-8 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の解析モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
質量	下部スプレイ管	m_1	kg/m	<input type="text"/>
	下部スプレイ管案内管	m_2	kg/m	<input type="text"/>
温度条件		T	°C	171
縦弾性係数		E	MPa	193000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における上部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-9 に、振動モード図を図 4-3 に示す。上部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

設計基準対象施設における下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-10 に、振動モード図を代表して図 4-4 に示す。下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-9 上部スプレイ管案内管の固有周期 (設計基準対象施設)

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/鉛直		—	—	—

表 4-10 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期
(設計基準対象施設)

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				
10次				
11次				
12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。

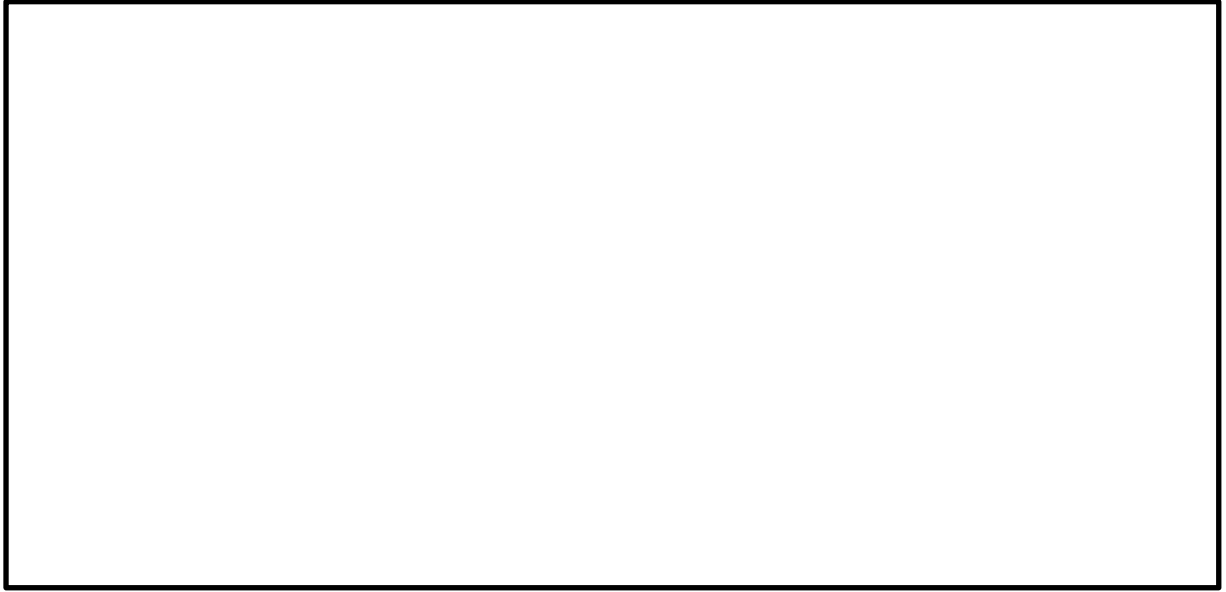


図 4-3 上部スプレイ管案内管の振動モード図（設計基準対象施設）

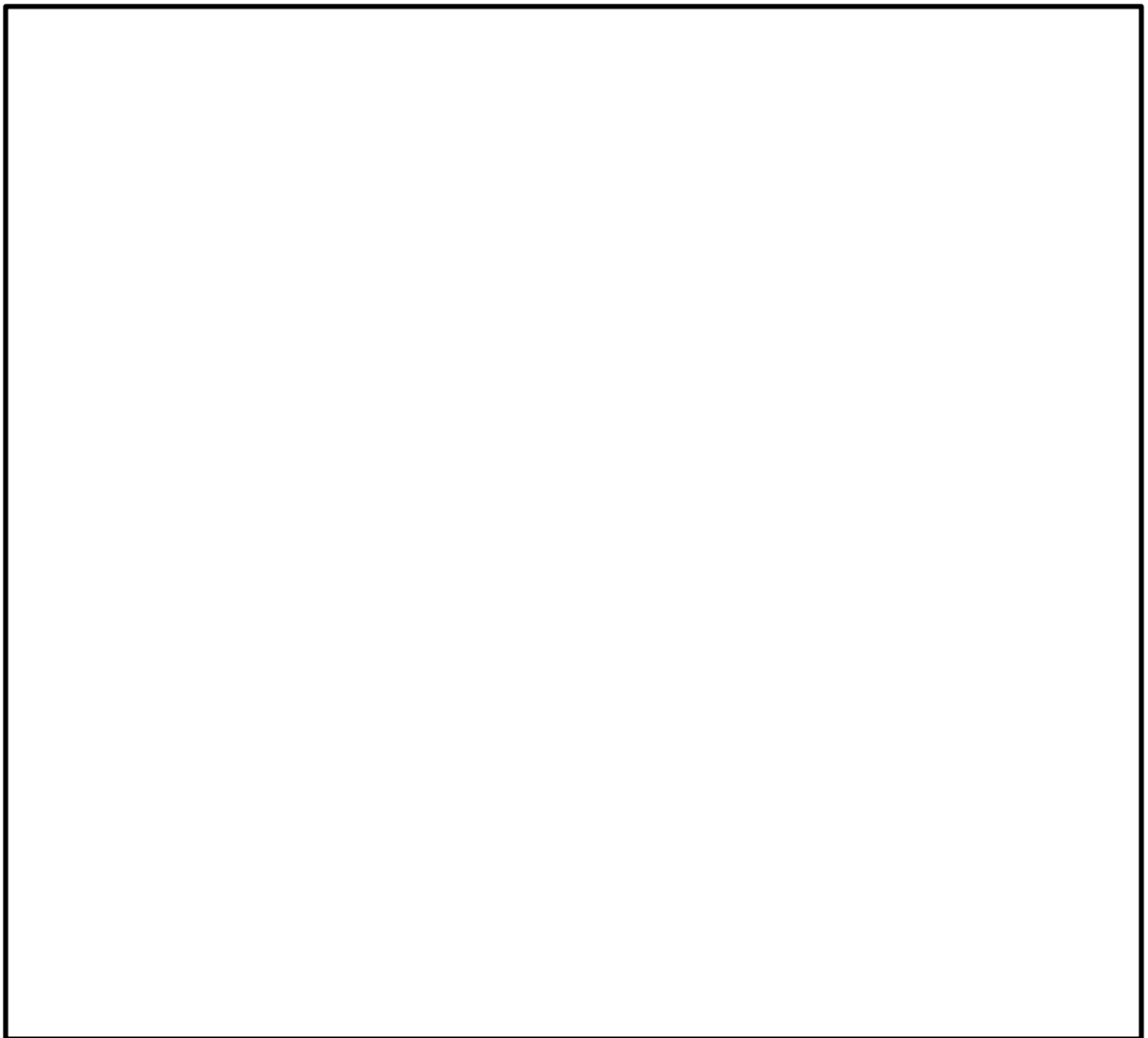


図 4-4 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の振動モード図（設計基準対象施設）

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における上部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-11 に、振動モード図を図 4-5 に示す。上部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

重大事故等対処設備における下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-12 に、振動モード図を代表して図 4-6 に示す。下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-11 上部スプレイ管案内管の固有周期 (重大事故等対処設備)

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/鉛直		—	—	—

表 4-12 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期
(重大事故等対処設備)

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				
10次				
11次				
12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。

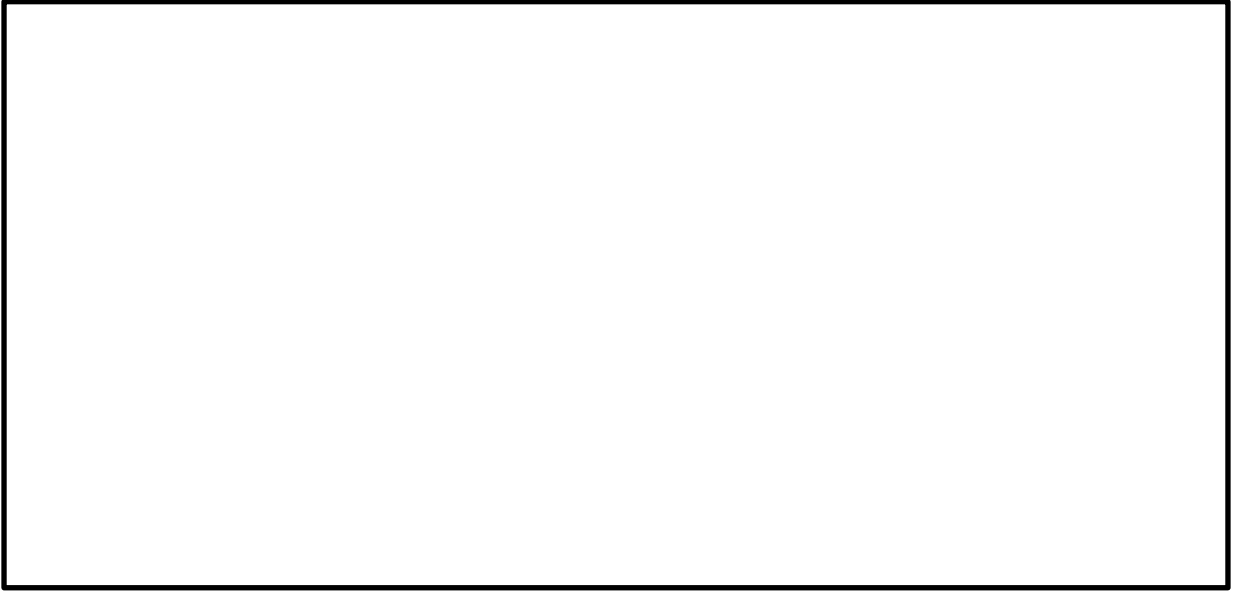


図 4-5 上部スプレイ管案内管の振動モード図（重大事故等対処設備）

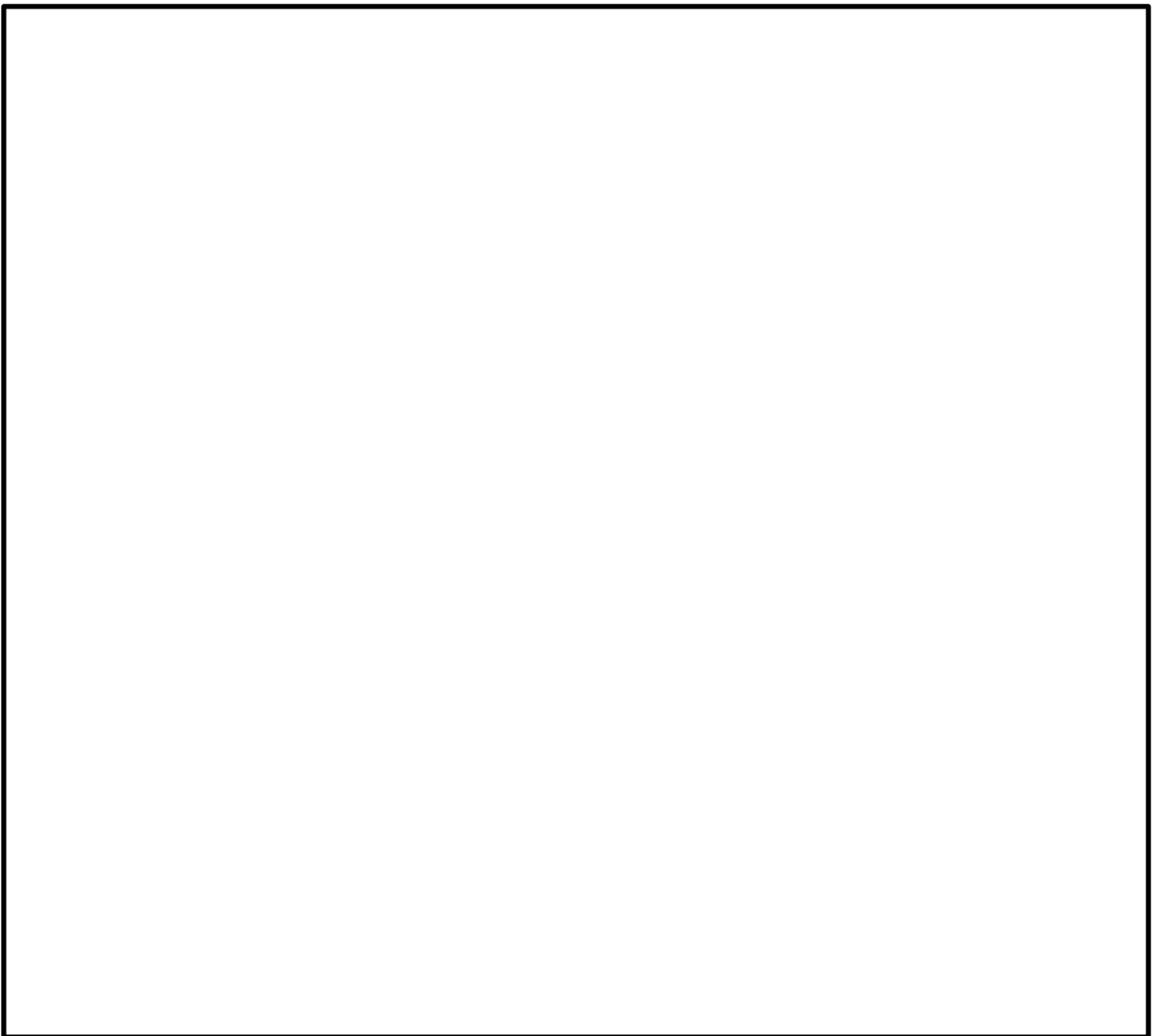


図 4-6 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の振動モード図（重大事故等対処設備）

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-13, 表 4-14, 表 4-15, 表 4-16 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。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

設計基準対象施設としてドライウェルスプレイ管の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-13 及び表 4-14 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

重大事故等対処設備としてドライウェルスプレイ管の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-15 及び表 4-16 に示す。

表 4-13 設計用地震力 (設計基準対象施設) : 上部スプレイ管案内管

据付場所及び 設置高さ (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 EL <input type="text"/>	0.05 以下	0.05 以下	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *2	<input type="text"/> *2

注記*1 : 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

*2 : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

表 4-14 設計用地震力（設計基準対象施設）：下部スプレイ管

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL 					
減衰定数(%)		水平：2.0* ¹ 鉛直：2.0* ¹					
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	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	Y方向	Z方向	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							
10次							
11次							
12次							
動的地震力* ⁴ , * ⁵							
静的地震力* ⁶					—	—	—

注記*1：ドライウェルスプレイ管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2：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

*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

*4：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

*5：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*6：静的震度（ $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ ）を上回る設計震度を示す。

表 4-15 設計用地震力（重大事故等対処設備）：上部スプレイ管案内管

据付場所及び 設置高さ (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 EL <input type="text"/>	0.05 以下	0.05 以下	—	—	<input type="text"/> *	<input type="text"/> *

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

表 4-16 設計用地震力（重大事故等対処設備）：下部スプレイ管

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL 					
減衰定数(%)		水平：2.0* ¹ 鉛直：2.0* ¹					
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	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	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		—	—	—			
10次		—	—	—			
11次		—	—	—			
12次		—	—	—			
動的地震力* ³ , * ⁴		—	—	—	—	—	—
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：ドライウェルスプレイ管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2：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

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*4：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

ドライウェルスプレイ管の応力評価点は、ドライウェルスプレイ管を構成する各部材において、発生応力が最も大きくなる箇所とする。選定した応力評価点を表 4-17、図 4-7 及び図 4-8 に示す。

各評価点は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析から得られた荷重を用いて評価する。

表 4-17 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	上部プレイ管案内管
P 2	上部プレイ管ティー部
P 3	上部プレイ管案内管サポート
P 4	下部プレイ管
P 5	下部プレイ管案内管
P 6	下部プレイ管ティー部
P 7	下部プレイ管サポート

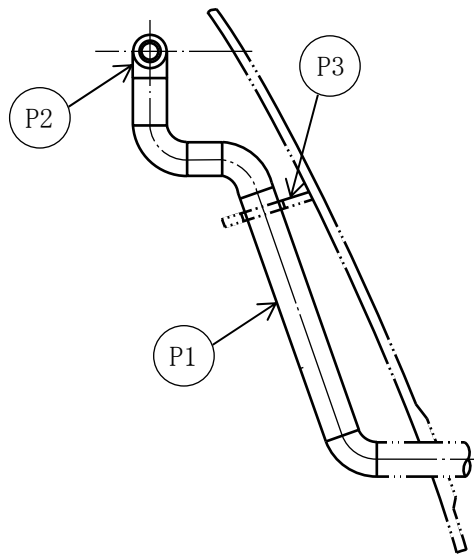


図 4-7 上部プレイ管案内管の応力評価点

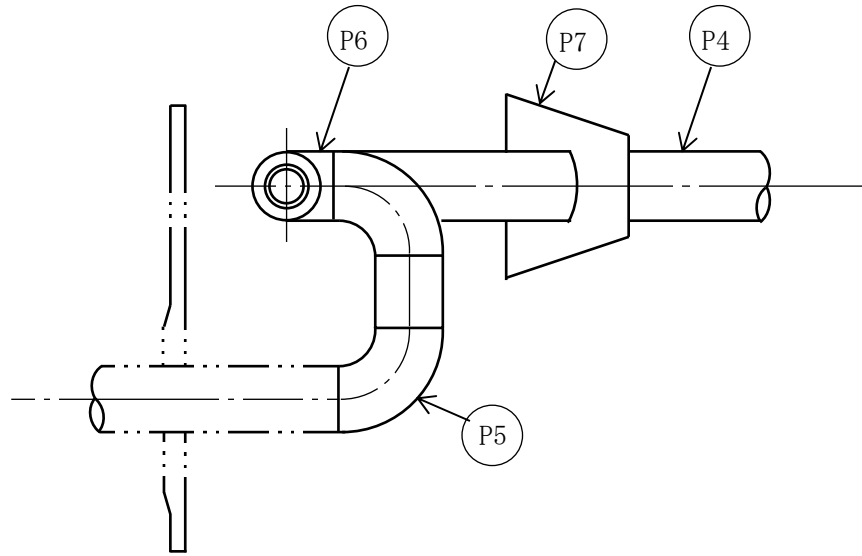


図 4-8 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の応力評価点

4.6.2 応力の計算方法

ドライウェルスプレイ管の応力計算方法について、以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

- a. 応力評価点 P 1, P 2, P 4, P 5 及び P 6

応力評価点 P 1, P 2, P 4, P 5 及び P 6 に発生する応力は、「2.3 適用規格・基準等」に従い算出する。

- b. 応力評価点 P 3 及び P 7

応力評価点 P 3 及び P 7 に発生する応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析から得られたドライウェル周方向（管軸方向）の反力 F_x 及び鉛直方向の反力 F_z を用いて、以下の計算式に従い算出する。

応力評価点 P 3（上部スプレイ管案内管サポート）

$$\tau = \frac{F_x \times 1000}{A_1} \dots\dots\dots (4.6.1)$$

応力評価点 P 7（下部スプレイ管サポート）

$$\tau = \frac{(F_x + F_z) \times 1000}{A_2} \dots\dots\dots (4.6.2)$$

$$\sigma_b = \frac{(F_x \times L) \times 1000}{Z} \dots\dots\dots (4.6.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.4)$$

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」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 及び表 4-4 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。また、一次+二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 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

ドライウェルスプレイ管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表 5-1 及び表 5-2 に示す。

(2) 支持構造物評価結果（ドライウェルスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-3 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウエル スプレイ管	P 1	上部スプレイ管案内管	一次応力	37	211	○	
			一次+二次応力	26	422	○	
	P 2	上部スプレイ管ティー部	一次応力	57	211	○	
			一次+二次応力	68	422	○	
	P 4	下部スプレイ管	一次応力	42	211	○	
			一次+二次応力	42	422	○	
	P 5	下部スプレイ管案内管	一次応力	78	211	○	
			一次+二次応力	112	422	○	
	P 6	下部スプレイ管ティー部	一次応力	50	211	○	
			一次+二次応力	54	422	○	

表 5-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IVAS		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウェル スプレイ管	P 1	上部スプレイ管案内管	一次応力	37	363	○	
			一次+二次応力	26	422	○	
	P 2	上部スプレイ管ティー部	一次応力	57	363	○	
			一次+二次応力	68	422	○	
	P 4	下部スプレイ管	一次応力	42	363	○	
			一次+二次応力	42	422	○	
	P 5	下部スプレイ管案内管	一次応力	78	363	○	
			一次+二次応力	112	422	○	
	P 6	下部スプレイ管ティー部	一次応力	50	363	○	
			一次+二次応力	54	422	○	

表 5-3 支持構造物評価結果

応力評価点		型式	材質	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 * ¹	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
P 3	上部スプレイ管案内管 サポート	プレート	SGV49* ²	171	39	—	—	—	—	—	せん断	6	132
P 7	下部スプレイ管サポート	プレート	SGV49* ²	171	34	—	25	—	—	—	組合せ	206	229

注記*1：ドライウェル周方向（管軸方向）反力を示す。

*2：SGV480 相当

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェルスプレイ管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表 5-4 に示す。

(2) 支持構造物評価結果（ドライウェルスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-5 に示す。

表 5-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウェル スプレイ管	P 1	上部スプレイ管案内管	一次応力	37	363	○	
			一次+二次応力	26	414	○	
	P 2	上部スプレイ管ティー部	一次応力	57	363	○	
			一次+二次応力	68	414	○	
	P 4	下部スプレイ管	一次応力	42	363	○	
			一次+二次応力	42	414	○	
	P 5	下部スプレイ管案内管	一次応力	78	363	○	
			一次+二次応力	112	414	○	
	P 6	下部スプレイ管ティー部	一次応力	50	363	○	
			一次+二次応力	54	414	○	

表 5-5 支持構造物評価結果

応力評価点		型式	材質	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 * ¹	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
P 3	上部スプレイ管案内管 サポート	プレート	SGV49* ²	200	78	—	—	—	—	—	せん断	11	260
P 7	下部スプレイ管サポート	プレート	SGV49* ²	200	67	—	33	—	—	—	組合せ	405	452

注記*1：ドライウェル周方向（管軸方向）反力を示す。

*2：SGV480 相当

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-18 「ドライウェルスプレイ管の強度計算書」

VI-2-9-4-4-1-2 サプレッションチェンバスプレイ管の
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	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 解析モデル及び諸元	13
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	26
4.7 計算条件	27
4.8 応力の評価	27
5. 評価結果	28
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32
6. 参照図書	35

図 表 目 次

図 2-1	サブプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価フロー	3
図 3-1	サブプレッションチェンバスプレイ管の形状及び主要寸法	6
図 4-1	解析モデル (その 1: 全体図)	14
図 4-2	解析モデル (その 2: サブプレッションチェンバスプレイ管部)	15
図 4-3	振動モード図 (設計基準対象施設)	18
図 4-4	振動モード図 (重大事故等対処設備)	20
図 4-5	サブプレッションチェンバスプレイ管の応力評価点	26
図 4-6	スプレイ管サポートの計算モデル	27
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	5
表 3-1	使用材料表	6
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)	8
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)	8
表 4-3	許容応力 (クラス 2 管及び重大事故等クラス 2 管)	9
表 4-4	許容応力 (クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)	10
表 4-5	使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)	11
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)	11
表 4-7(1)	解析モデルの諸元 (内部水有効質量モデル)	16
表 4-7(2)	解析モデルの諸元 (内部水全質量モデル)	16
表 4-8(1)	固有周期 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水有効質量モデル)	17
表 4-8(2)	固有周期 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水全質量モデル)	17
表 4-9(1)	固有周期 (重大事故等対処設備) (解析モデル: 内部水有効質量モデル)	19
表 4-9(2)	固有周期 (重大事故等対処設備) (解析モデル: 内部水全質量モデル)	19
表 4-10(1)	設計用地震力 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水有効質量モデル)	22
表 4-10(2)	設計用地震力 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水全質量モデル)	23
表 4-11(1)	設計用地震力 (重大事故等対処設備) (解析モデル: 内部水有効質量モデル)	24
表 4-11(2)	設計用地震力 (重大事故等対処設備) (解析モデル: 内部水全質量モデル)	25
表 4-12	応力評価点	26
表 5-1	許容応力状態Ⅲ _A S に対する評価結果 ($D + P_D + M_D + S_d^*$)	29
表 5-2	許容応力状態Ⅳ _A S に対する評価結果 ($D + P_D + M_D + S_s$)	30
表 5-3	許容応力状態Ⅳ _A S に対する疲労評価結果	31
表 5-4	支持構造物評価結果	31
表 5-5	許容応力状態Ⅴ _A S に対する評価結果 ($D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$)	33
表 5-6	許容応力状態Ⅴ _A S に対する疲労評価結果	34

表 5-7 支持構造物評価結果 34

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」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、サプレッションチェンバスプレイ管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。

サプレッションチェンバスプレイ管は、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。

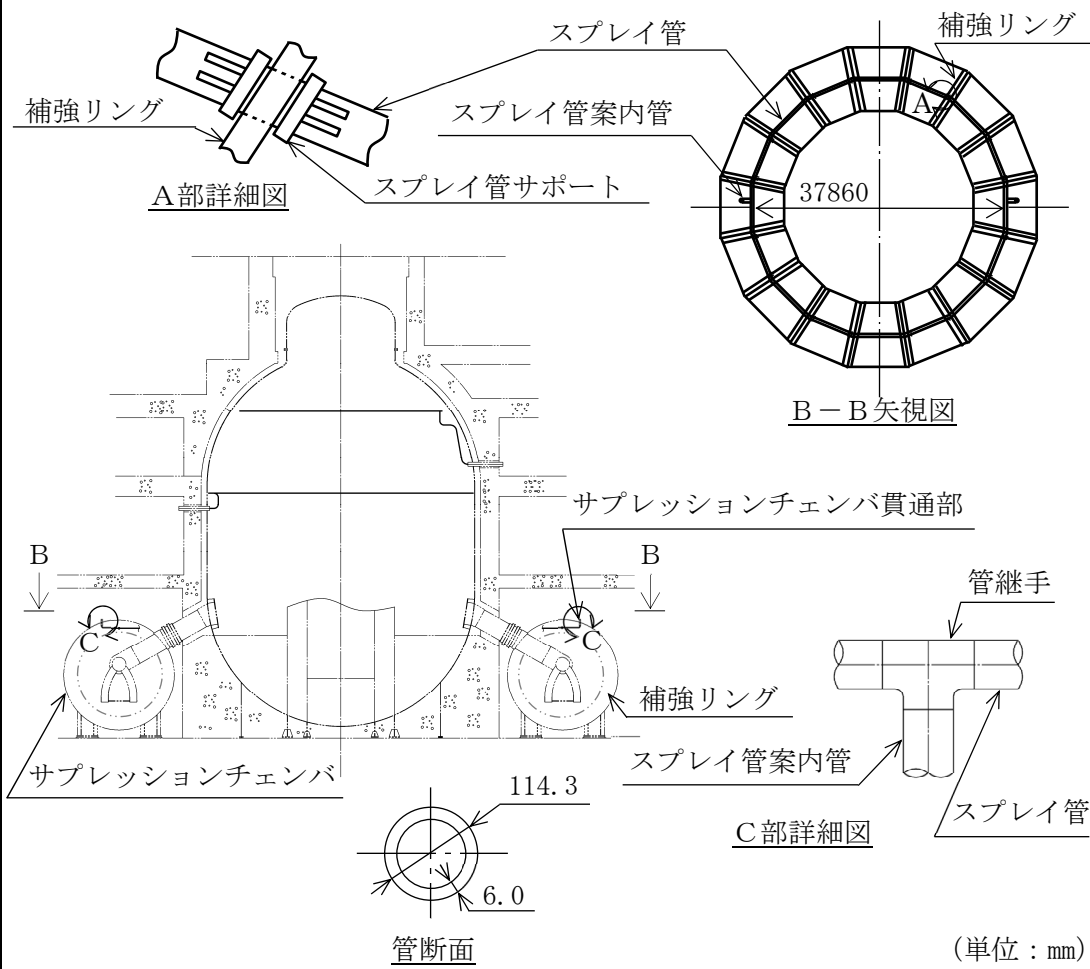
なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるサプレッションチェンバスプレイ管の評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッションチェンバスプレイ管の構造計画を表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>サプレッションチェンバスプレイ管は、スプレイ管及びスプレイ管案内管で構成され、スプレイ管はサプレッションチェンバの補強リングに、スプレイ管案内管はサプレッションチェンバ貫通部に支持される。</p> <p>サプレッションチェンバスプレイ管に作用する水平及び鉛直方向地震荷重は、スプレイ管サポート及びサプレッションチェンバ貫通部を介してサプレッションチェンバに伝達される。</p>	<p>スプレイ管は、外径 114.3mm 及び厚さ 6.0mm のパイプで作られ、直径約 37.9m の円環構造である。</p> <p>スプレイ管案内管は、外径 114.3mm 及び厚さ 6.0mm のパイプで作られ、スプレイ管とサプレッションチェンバ貫通部をつなぐ構造である。</p>	 <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

サプレッションチェンバスプレイ管の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」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」にて示すサプレッションチェンバスプレイ管の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する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。

サプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

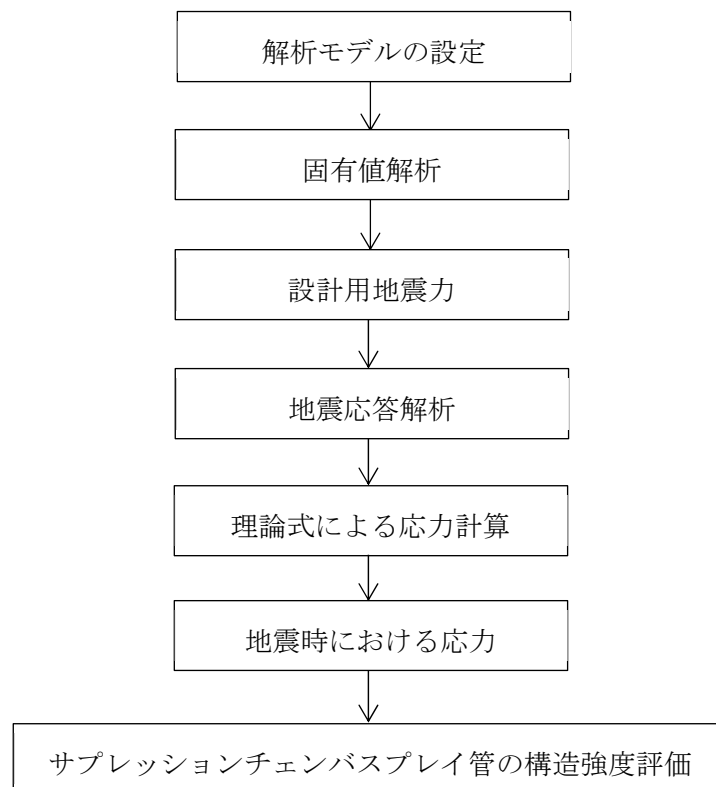


図 2-1 サプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価フロー

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 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 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	スプレイ管サポートの取付溶接部の断面積	mm ²
C _i	地震層せん断力係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D	スプレイ管の直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K _e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
F _x	管軸方向の反力	kN
F _y	管軸直角方向の反力	kN
F _z	鉛直方向の反力	kN
m ₀	機器質量	kg
m ₁	水質量	kg
M _x	管軸回りのモーメント	kN・m
M _y	管軸直角回りのモーメント	kN・m
M _z	鉛直軸回りのモーメント	kN・m
N _a	地震時の許容繰返し回数	—
N _c	地震時の実際の繰返し回数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S _l	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _l '	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S _n	地震動による応力振幅	MPa
S _p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	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 (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
t	スプレイ管の厚さ	mm
T	温度	°C
T _{SAD}	温度 (S A後温度)	°C
ν	ポアソン比	—
ρ	水密度	kg/mm ³
τ	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 2-2 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
刺激係数	—	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
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
密度	kg/mm ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
荷重	N/m	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
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
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ²	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・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

サプレッションチェンバースプレイ管の形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。

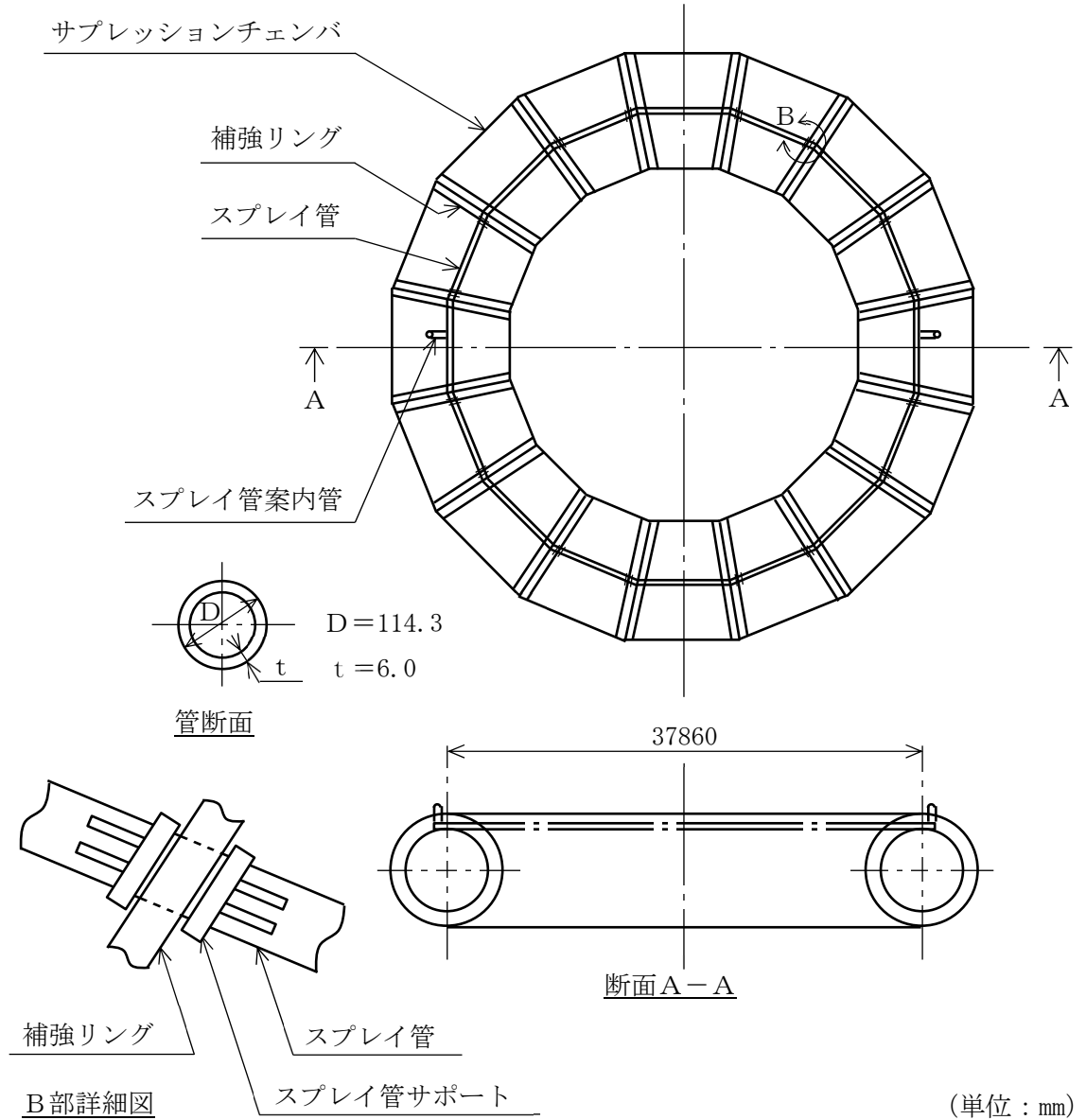


図 3-1 サプレッションチェンバースプレイ管の形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
スプレイ管及びスプレイ管案内管	STS42	STS410 相当
スプレイ管サポート	SGV49 SUS304	SGV480 相当 —

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) サプレッションチェンバスプレイ管に作用する地震力は、水平及び鉛直方向の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。

サプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を用いて、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」及びVI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は、サプレッションチェンバスプレイ管に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用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) 概略構造図を表 2-1 に示す。

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

サプレッションチェンバスプレイ管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。

詳細な荷重の組合せは、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

サプレッションチェンバスプレイ管の許容応力は、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 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバスプレイ管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
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	サプレッション チェンバスプレイ管	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	サプレッション チェンバスプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	サプレッション チェンバスプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2

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: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-3 許容応力*1 (クラス2管及び重大事故等クラス2管)

応力分類 許容 応力状態	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	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の値と $1.2 \cdot S$ のう ち大きい方とする。	*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 $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労 解析は不要。	
Ⅳ _A S	$0.9 \cdot S_u$		
V _A S*3			

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： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし、 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。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力 (クラス 2 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)									
	一次応力					一次+二次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 /圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみによる} \\ \text{応力振幅について評価する。} \end{array} \right]$			$1.5 \cdot f_p^*$	
V _{AS} *5	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$				$1.5 \cdot f_p^*$	

注： f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* , f_p^* は、 f_t , f_s , f_c , f_b , f_p 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

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。

*3：すみ肉溶接部にあつては、最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*4：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*5：V_{AS}としてⅣ_{AS}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（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (R T) (MPa)
スプレイ管及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境温度	104	—	219	404	—	—
スプレイ管サポート	SUS304* ²	周囲環境温度	104	—	169	439	—	205

注記*1：STS410 相当

*2：許容応力が低く算出される SUS304 を評価に用いる。

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 _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (R T) (MPa)
スプレイ管及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境温度	200	—	207	404	—	—
スプレイ管サポート	SUS304* ²	周囲環境温度	200	—	144	402	—	205

注記*1：STS410 相当

*2：許容応力が低く算出される SUS304 を評価に用いる。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

圧力 P_D	3.92MPa
温度 T	104°C

b. 死荷重

死荷重* N/m

注記*：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

圧力 P_{SAD}	3.92MPa
温度 T_{SAD}	200°C

b. 死荷重

死荷重* N/m

注記*：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

4.3 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用し、固有値解析及び構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. サプレッションチェンバスプレイ管は、サプレッションチェンバに支持されていることから、サプレッションチェンバの応答を考慮した解析モデルとする。解析モデルは、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」の4.3項に示すサプレッションチェンバ全体の地震応答解析モデルからストレーナ部を除いた解析モデルに、サプレッションチェンバスプレイ管の解析モデルを結合したものである。解析モデルを図4-1及び図4-2に、解析モデルの諸元を表4-7に示す。
- b. サプレッションチェンバ全体の地震応答解析モデルの概要については、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」の4.3項に示す。サプレッションチェンバスプレイ管の地震応答解析モデルにおけるサプレッションチェンバ部分は、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」と同様に、サ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、水平方向動的地震荷重を考慮するための地震応答解析モデル（内部水有効質量モデル）並びにそれ以外の地震荷重を考慮するための地震応答解析モデル（内部水全質量モデル）の2種類を用いる。内部水有効質量モデルでは、仮想質量法により算定した内部水の有効質量を、Guyan縮約法を用いて縮約し、サプレッションチェンバの各質点に付加する。また、内部水全質量モデルでは、内部水的全質量を内部水重心位置に設置したはり要素に等分布質量で設定する。
- c. サプレッションチェンバスプレイ管とサプレッションチェンバの結合条件は、以下とする。



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。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。

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としてのサプレッションチェンバスプレイ管の解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。

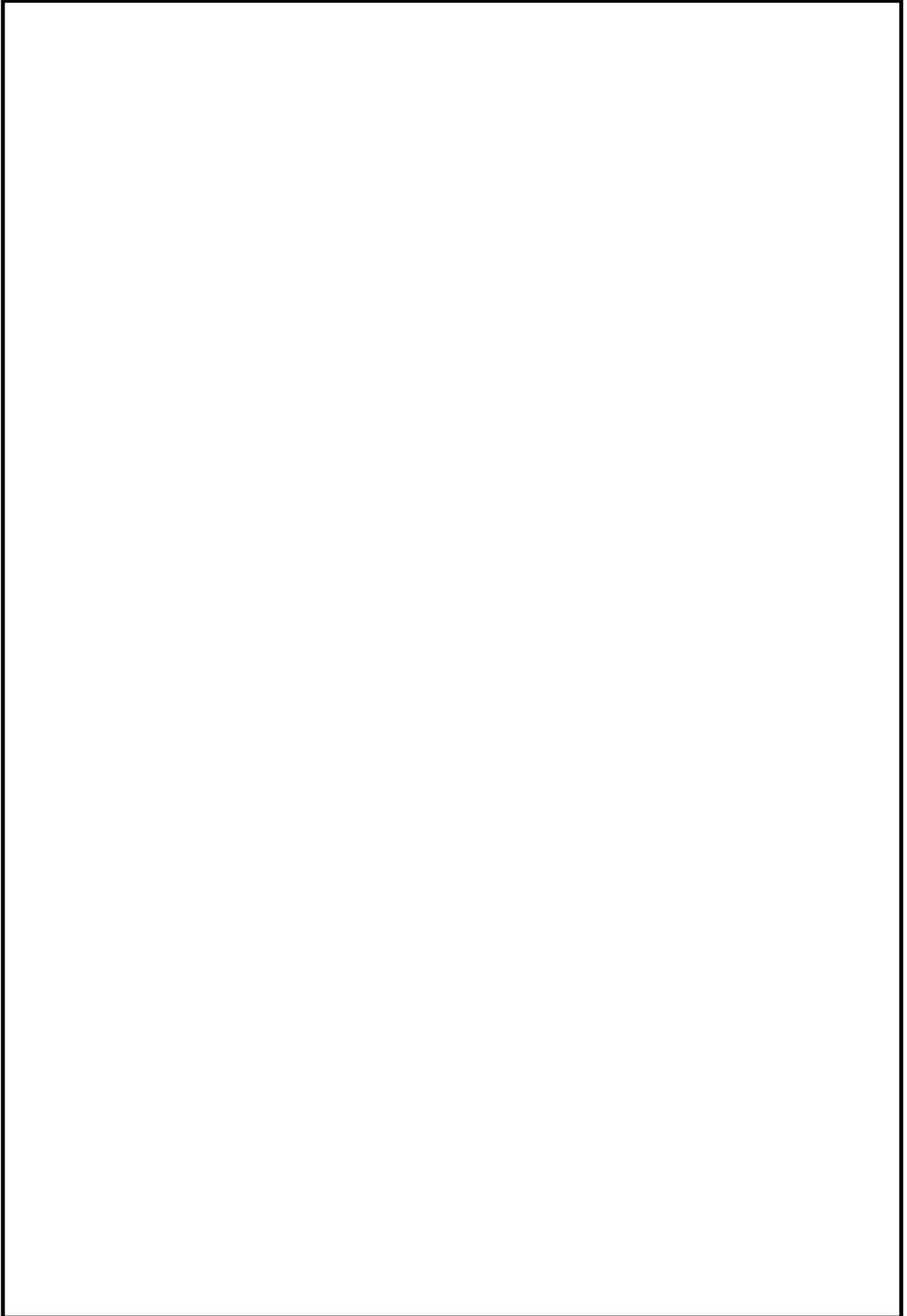


図 4-1 解析モデル (その 1: 全体図)

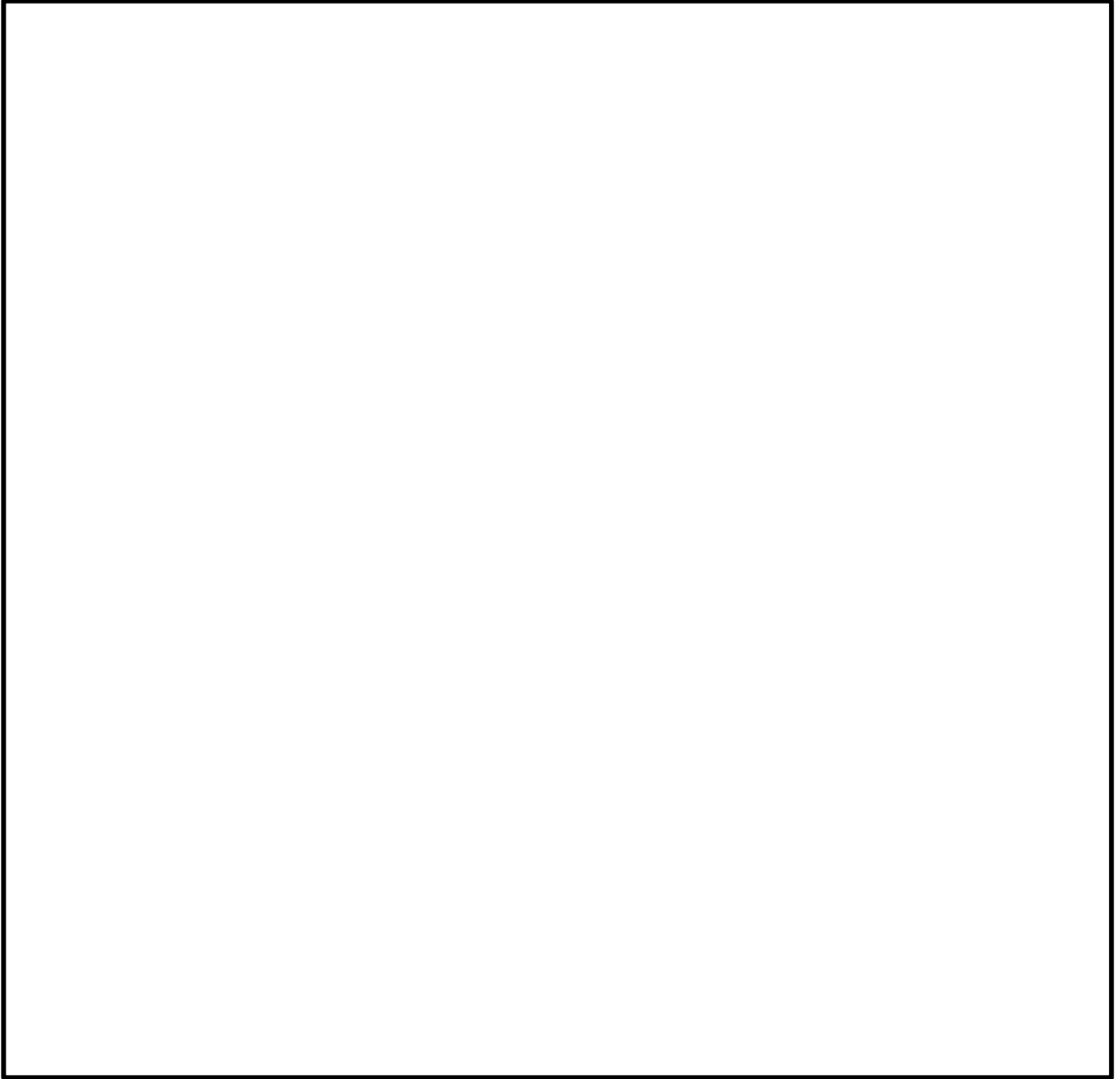


図 4-2 解析モデル (その 2 : サプレッションチェンバスプレイ管部)

表 4-7(1) 解析モデルの諸元 (内部水有効質量モデル)

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ胴	—	—	SPV50* ¹
	サプレッションチェンバサポート, 補強リング	—	—	SGV49* ²
	スプレイ管及びスプレイ管案内管	—	—	STS42* ³
機器質量		m_0	kg	<input type="text"/>
水密度		ρ	kg/mm ³	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : STS410 相当

表 4-7(2) 解析モデルの諸元 (内部水全質量モデル)

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ胴	—	—	SPV50* ¹
	サプレッションチェンバサポート, 補強リング	—	—	SGV49* ²
	スプレイ管及びスプレイ管案内管	—	—	STS42* ³
質量	機器質量	m_0	kg	<input type="text"/>
	水質量	m_1	kg	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : STS410 相当

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期を表 4-8 に、振動モード図を代表して図 4-3 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 4-8(1) 固有周期 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水有効質量モデル)

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				
23次				
24次				
58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。

表 4-8(2) 固有周期 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水全質量モデル)

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				
61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。



(a) 解析モデル：内部水有効質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）



(b) 解析モデル：内部水全質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）

図 4-3 振動モード図（設計基準対象施設）

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-9 に、振動モード図を代表して図 4-4 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 4-9(1) 固有周期（重大事故等対処設備）（解析モデル：内部水有効質量モデル）

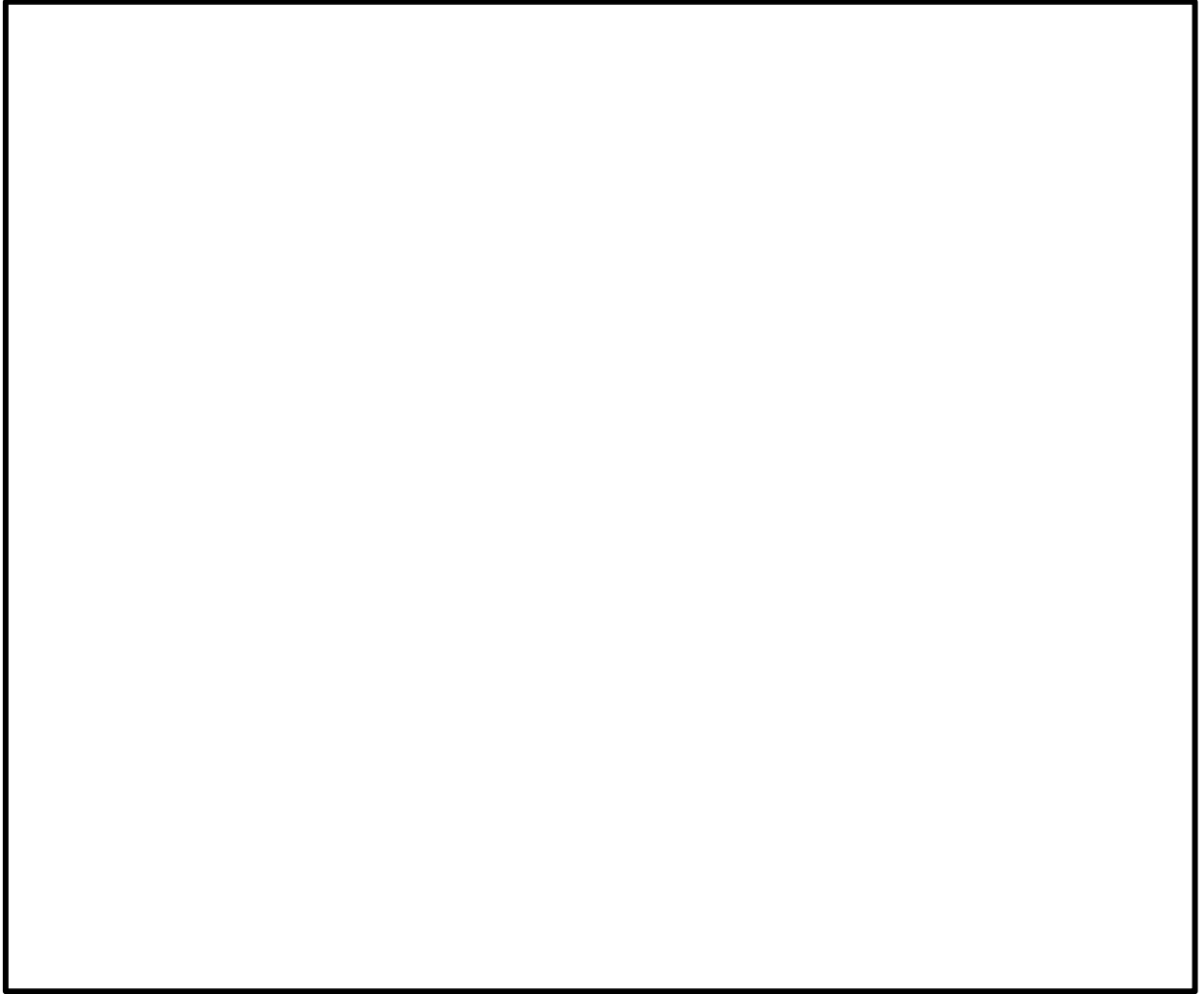
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
23次				
24次				
58次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-9(2) 固有周期（重大事故等対処設備）（解析モデル：内部水全質量モデル）

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				
61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。



(a) 解析モデル：内部水有効質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）



(b) 解析モデル：内部水全質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）

図 4-4 振動モード図（重大事故等対処設備）

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 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。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。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

設計基準対象施設としてサプレッションチェンバスプレイ管の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-10 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

重大事故等対処設備としてサプレッションチェンバスプレイ管の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-11 に示す。

表 4-10(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (解析モデル: 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 					
減衰定数 (%)		水平: 0.5 ^{*1} 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	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*2}		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直 震度
		X方向	Y方向	Z方向	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				—			—
23次				—			—
24次				—			—
58次				—			—
動的地震力 ^{*4, *5}				—			—
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1: サプレッションチェンバスプレイ管は配管に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2: 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

*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

*4: 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

*5: 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 4-10(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (解析モデル: 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"/>					
減衰定数 (%)		水平: — 鉛直: 0.5* ¹					
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	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ²	応答水平震度		応答鉛直 震度* ³
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z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"/>
61次	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>
動的地震力* ⁴ , * ⁵		—	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>
静的地震力* ⁶		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	—

注記*1: サプレッションチェンバースプレイ管は配管に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2: 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

*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

*4: 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

*5: 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*6: 静的震度 ($3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$) を上回る設計震度を示す。

表 4-11(1) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（解析モデル：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 								
減衰定数 (%)		水平：0.5 ^{*1} 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	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*2}		応答鉛直 震度			
		X方向	Y方向	Z方向	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		—	—	—			—			
23次		—	—	—			—			
24次		—	—	—			—			
58次		—	—	—			—			
動的地震力 ^{*3, *4}		—	—	—			—	—	—	
静的地震力		—	—	—			—	—	—	

注記*1：サプレッションチェンバースプレイ管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2：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

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*4：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 4-11(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（解析モデル：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 						
減衰定数 (%)		水平：— 鉛直：0.5* ¹						
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	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* ²	
		X方向	Y方向	Z方向	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		—	—	—	—	—		
61次		—	—	—	—	—		
動的地震力* ³ , * ⁴		—	—	—	—	—		
静的地震力		—	—	—	—	—		

注記*1：サプレッションチェンバースプレイ管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2：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

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*4：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価方法

サプレッションチェンバスプレイ管の応力評価点は、サプレッションチェンバスプレイ管を構成する各部材において、発生応力が最も大きくなる箇所とする。選定した応力評価点を表 4-12 及び図 4-5 に示す。

各評価点は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析から得られた荷重を用いて評価する。

応力評価点 P1~P4 の応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。既工認から新たに追加した応力評価点 P5 の応力計算方法は、「4.6.2 スプレイ管サポート (応力評価点 P5)」に示すとおりである。

表 4-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	スプレイ管
P2	スプレイ管えび状の管部
P3	スプレイ管ティー部
P4	スプレイ管案内管
P5	スプレイ管サポート

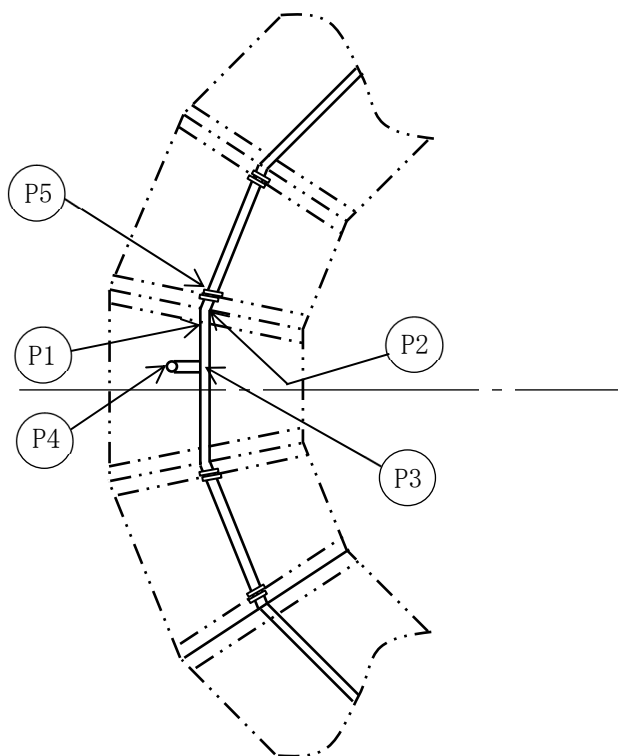


図 4-5 サプレッションチェンバスプレイ管の応力評価点

4.6.2 スプレイ管サポート（応力評価点 P5）

スプレイ管サポート（応力評価点 P5）は，図 4-6 に示すスプレイ管サポートの取付溶接部に対し，図 4-1 に示す解析モデルから算出されたスプレイ管軸方向の反力 F_x により生じる応力を計算する。応力の計算式を以下に示す。

$$\tau = \frac{F_x}{A} \dots\dots\dots (4.6.1)$$

ここに， $A = \square \text{ mm}^2$

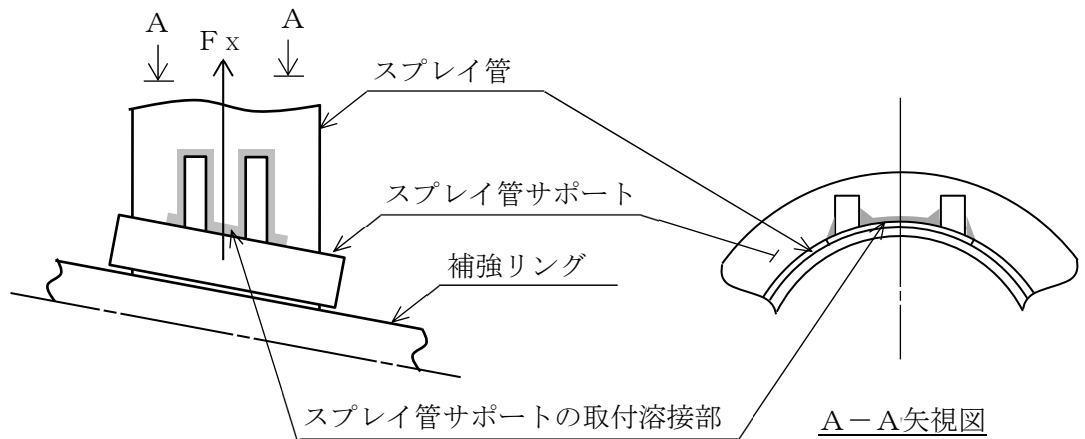


図 4-6 スプレイ管サポートの計算モデル

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重は，「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」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 及び表 4-4 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。また，一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は，設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5) (S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)に基づいて疲労評価を行い，疲労累積係数が 1.0 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

サブプレッションチェンバスプレイ管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表 5-1 及び表 5-2 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-3 に示す。

(3) 支持構造物評価結果（サブプレッションチェンバスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-4 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッションチェンバ スプレイ管	P1	スプレイ管	一次応力	199	219	○	
			一次+二次応力	330	439	○	
	P2	スプレイ管えび状の管部	一次応力	157	219	○	
			一次+二次応力	250	439	○	
	P3	スプレイ管ティー部	一次応力	154	219	○	
			一次+二次応力	212	439	○	
	P4	スプレイ管案内管	一次応力	158	219	○	
			一次+二次応力	224	439	○	

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サプレッションチェンバ スプレイ管	P1	スプレイ管	一次応力	291	364	○	
			一次+二次応力	514	439	×*	
			疲労評価	0.040	1.0	○	
	P2	スプレイ管えび状の管部	一次応力	234	364	○	
			一次+二次応力	404	439	○	
	P3	スプレイ管ティー部	一次応力	221	364	○	
			一次+二次応力	346	439	○	
	P4	スプレイ管案内管	一次応力	239	364	○	
			一次+二次応力	386	439	○	

注記* : P1 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5)に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-3 許容応力状態Ⅳ_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P1	514							0.040

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.98 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-4 支持構造物評価結果

応力評価点		型式	材質	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			
P5	スプレイ管サポート	プレート	SUS304	104	150	—	—	—	—	—	せん断	96	118

注記* : サプレッションチェンバ周方向 (配管軸方向) 反力を示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバスプレイ管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表 5-5 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-6 に示す。

(3) 支持構造物評価結果（サブプレッションチェンバスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-7 に示す。

表 5-5 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V _{AS}		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
サブプレッションチェンバ スプレイ管	P1	スプレイ管	一次応力	291	363	○	
			一次+二次応力	514	414	×*	
			疲労評価	0.056	1.0	○	
	P2	スプレイ管えび状の管部	一次応力	234	363	○	
			一次+二次応力	404	414	○	
	P3	スプレイ管ティー部	一次応力	221	363	○	
			一次+二次応力	346	414	○	
	P4	スプレイ管案内管	一次応力	239	363	○	
			一次+二次応力	386	414	○	

注記* : P1 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5)に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-6 許容応力状態 V_AS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P1	514							0.056

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-7 支持構造物評価結果

応力評価点		型式	材質	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			
P5	スプレイ管サポート	プレート	SUS304	200	150	—	—	—	—	—	せん断	96	112

注記* : サプレッションチェンバ周方向 (配管軸方向) 反力を示す。

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-19 「サプレッションチェンバスプレイ管の強度計算書」

VI-2-9-4-7 圧力逃がし装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-7-1 格納容器フィルタベント系の耐震性についての計算書

VI-2-10 その他発電用原子炉の附属施設の耐震性に関する説明書

VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性に関する説明書

VI-2-10-1-2 非常用発電装置の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1 非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1-8 非常用ディーゼル発電設備B-ディーゼル燃料
貯蔵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
2.2 評価方針	3
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	12
3. 評価部位	13
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
4.3 解析モデル及び諸元	18
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	34
4.8 応力の評価	34
5. 評価結果	36
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	36
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	36
6. 引用文献	36

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、非常用ディーゼル発電設備B-ディーゼル燃料貯蔵タンク（以下「B-ディーゼル燃料貯蔵タンク」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。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンクは、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

B-ディーゼル燃料貯蔵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 5 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>横置円筒形 (両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの応力評価は、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B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの部位を踏まえ「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。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価フローを図2-1に示す。

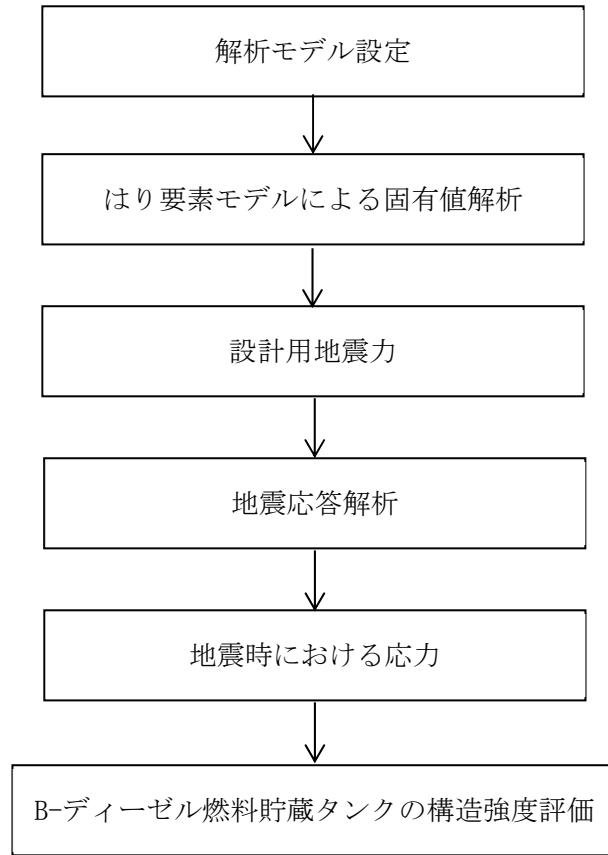


図 2-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価フロー

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	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
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}	脚の横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}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の長手方向幅	mm
b	脚底板の横方向幅	mm
C_1	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C_2	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C_{cj}	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_H	水平方向設計震度	—
C_{lj}	軸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_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト (外側) 中心までの横方向の距離	mm
d_3	脚底板端面から基礎ボルト (内側) 中心までの横方向の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	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-3121.3又は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_c	横方向地震により胴に生じるせん断力	N
F_{c1}	横方向地震により脚底面に生じるせん断力	N
F_l	長手方向地震により胴に生じる鉛直荷重	N
F_{l1}	長手方向地震により胴に生じる引張荷重	N
F_{l2}	長手方向地震により脚付け根部に生じるせん断力	N
F_{l3}	長手方向地震により脚底面に生じるせん断力	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_{tm}	脚の許容引張応力	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

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	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}	脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
K_{1j}, K_{2j}	引用文献(2)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_{lj}	引用文献(2)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)	—
l_0	脚中心間距離	mm
l_i	第1脚より各荷重までの距離 (ここで第2脚側の距離は正, その反対側は負とする。)($i = 1, 2, 3 \dots j_1$)	mm
l_w	当板における脚のとりつかない部分の長手方向長さ	mm
M	脚底板に作用するモーメント	$N \cdot mm$
M_1	脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	$N \cdot mm$
M_{11}	長手方向地震により胴に生じる曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{12}	横方向地震により胴に生じる曲げモーメント	$N \cdot mm$
M_{13}	横方向地震により胴に生じるねじりモーメント	$N \cdot mm$
M_{14}	運転時質量により脚に生じるモーメント	$N \cdot mm$
M_3	横方向地震により脚付け根部に生じるねじりモーメント	$N \cdot mm$
M_c	横方向地震により胴の脚付け根部に生じるモーメント	$N \cdot mm$
M_{c1}	横方向地震により脚底面に生じるモーメント	$N \cdot mm$
M_l	長手方向地震により脚付け根部に生じるモーメント	$N \cdot mm$
M_{l1}	長手方向地震により脚底面に生じるモーメント	$N \cdot mm$
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	$N \cdot mm/mm$
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	$N \cdot mm/mm$
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量 ($i = 1, 2, 3 \dots j_1$)	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
m_{s3}	第3脚の質量	kg
m_{s4}	第4脚の質量	kg
m_{s5}	第5脚の質量	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	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—

記号	記号の説明	単位
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる反力	N
P^ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P^{ℓ_1}	長手方向地震により脚底面に生じる鉛直荷重	N
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	運転時質量により脚の受ける荷重	N
r_o	脚付け根部における胴の外半径	mm
r_m	脚付け根部における胴の平均半径	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
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
t_e	脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm ³
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm ³
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm ³
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm ³
β, β_1, β_2	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(2)によるシェルパラメータ	—
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_o	胴の脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の脚端部より当板端部までの角度	rad
π	円周率	—
ρ	液体の密度 (=比重 $\times 10^{-6}$)	kg/mm ³
σ_o	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{oc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_{0l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の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}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{1l}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1lx}	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
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}	横方向及び鉛直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}	横方向及び鉛直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
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直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}	長手方向及び鉛直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}	長手方向及び鉛直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
$\sigma_{2l\phi}$	長手方向及び鉛直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_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直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圧縮応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{s2}	長手方向地震により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x21}	長手方向地震により生じる長手方向曲げモーメント及び鉛直荷重による応力	MPa
σ_{x22}	横方向地震により生じる横方向曲げモーメント及びねじりモーメントによる応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi3}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi41}, \sigma_{\phi42}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi411}, \sigma_{\phi421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi412}, \sigma_{\phi422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi51}, \sigma_{\phi52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi71}, \sigma_{\phi72}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震によるせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa

記号	記号の説明	単位
τ_{c1}	横方向地震による胴のねじりモーメントにより胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{c2}	横方向地震による脚のねじりモーメントにより胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{ℓ}	長手方向地震による長手方向のせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{ℓ_1}	長手方向地震による鉛直方向のせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により生じるせん断応力	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 2-2 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
比重	—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量	kg	—	—	整数位* ¹
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
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

B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価は、「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胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。B-ディーゼル燃料貯蔵タン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) 「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析モデルにより固有周期を求める。
- (2) 「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析モデルにより求めた地震時の評価荷重（各部の反力及びモーメント）をもとに、脚、基礎ボルト及び胴の応力評価を行う。
- (3) 地震力は、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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、応力の算出において組み合わせるものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横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、絶対値和を用いる。
- (4) 脚は同形状であるため、作用する荷重の大きい脚についての評価を計算書に記載する。
- (5) 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

B-ディーゼル燃料貯蔵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

B-ディーゼル燃料貯蔵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 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

B-ディーゼル燃料貯蔵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。

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
非常用電源 設備	非常用発電 装置	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク	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 2，3 容器及びクラス 2，3 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
非常用電源 設備	非常用発電 装置	B-ディーゼル燃料貯蔵タンク	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：重大事故等クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 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 (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 *			
	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	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		
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの 許容限界を用いる。)			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*：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 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 (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	40	—	235	400	—
脚	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	50	—	715	838	—

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					
胴板	SM400C (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	40	—	235	400	—
脚	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SNB7 (径≤63mm)	周囲環境温度	50	—	715	838	—

4.3 解析モデル及び諸元

4.3.1 はり要素モデル

B-ディーゼル燃料貯蔵タンクのはり要素での解析モデルを図 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【B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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。

- (1) B-ディーゼル燃料貯蔵タンクの胴及び脚をはり要素でモデル化したFEMモデルを用いる。



- (4) 解析コードは、「SAP-IV」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 B-ディーゼル燃料貯蔵タンクはり要素モデル

4.4 固有周期

はり要素モデルでの固有値解析の結果を表 4-7, 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 4-7 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	Y方向	
1次	水平		—	—	—

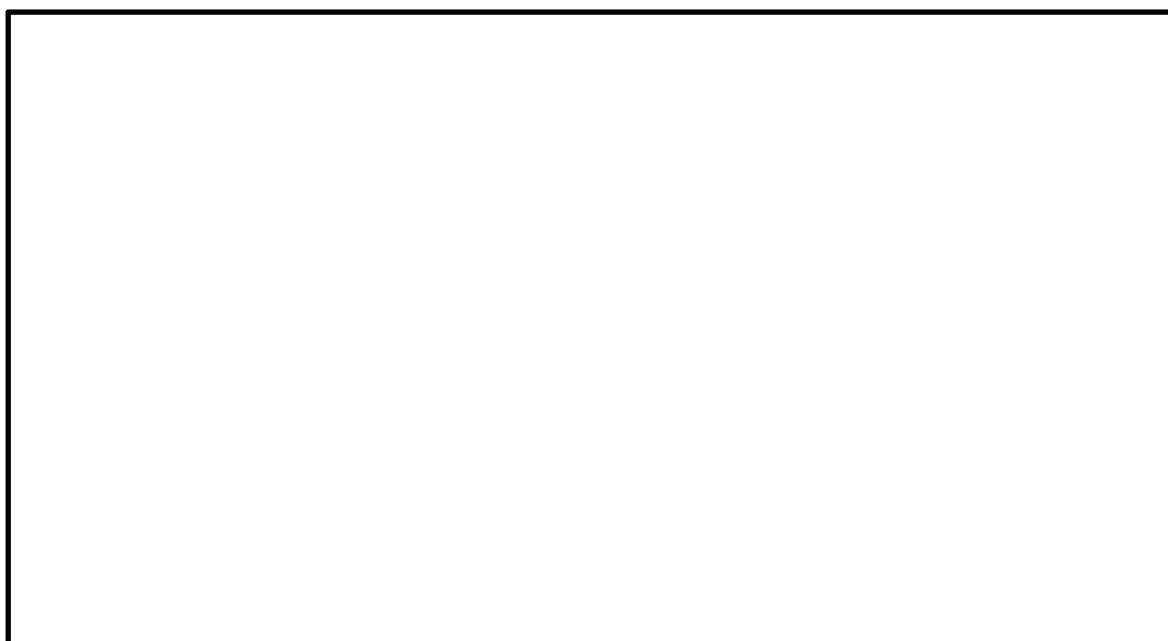


図 4-2 振動モード図 (1次モード)

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-8 及び表 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 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
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 9.350 ^{*1}			$C_H=1.06^{*2}$	$C_V=0.90^{*2}$	$C_H=1.82^{*3}$	$C_V=1.54^{*3}$

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）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

表 4-9 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
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 9.350 ^{*1}			—	—	$C_H=1.82^{*2}$	$C_V=1.54^{*2}$

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

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 胴の計算方法

(1) 静水頭による応力（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

脚付け根部における曲げモーメント M_1 は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

解析による計算で求めた曲げモーメント M_1 により胴の脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメント M_1 は胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図 4-3 に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。

したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

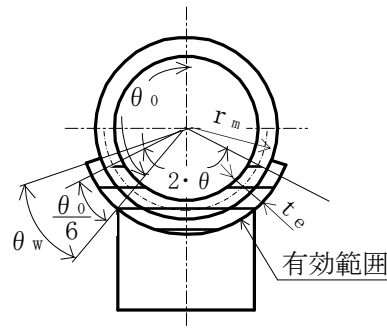


図 4-3 脚付け根部の有効範囲

- (3) 長手方向地震により生じる長手方向曲げモーメント及び鉛直方向荷重による応力
 長手方向地震が作用した場合に胴に生じる曲げモーメント M_{11} 及び鉛直荷重 F_{ℓ} は、「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき、胴に生じる応力は次式で求める。

$$\sigma_{x21} = \frac{M_{11}}{Z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

$$\tau_{\ell 1} = \frac{2 \cdot F_{\ell}}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

- (4) 横方向地震により生じる横方向曲げモーメント及びねじりモーメントによる応力
 横方向地震が作用した場合に胴に生じる曲げモーメント M_{12} 及びねじりモーメント M_{13} は、「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき、胴に生じる応力は次式で求める。

$$\sigma_{x22} = \frac{4 \cdot M_{12}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.10)$$

$$\tau_{c1} = \frac{2 \cdot M_{13}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.11)$$

- (5) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力
 胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の脚付け根部に作用する反力 R_1 は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

胴の脚付け根部に作用する反力は次のように求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (4.6.1.1.12)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots\dots\dots (4.6.1.1.13)$$

この反力P及びP_e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(2)に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。

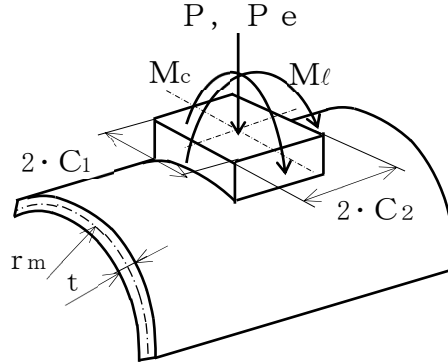


図4-4 脚が胴に及ぼす力の関係

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。

$$\gamma = \frac{r_m}{t_e} \dots\dots\dots (4.6.1.1.14)$$

$$\beta_1 = \frac{C_1}{r_m} \dots\dots\dots (4.6.1.1.15)$$

$$\beta_2 = \frac{C_2}{r_m} \dots\dots\dots (4.6.1.1.16)$$

$4 \geq \beta_1 / \beta_2 \geq 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{\beta_1}{\beta_2} - 1 \right) \cdot (1 - K_{1j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.17)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

$1/4 \leq \beta_1 / \beta_2 < 1$ のとき

$$\beta = \left\{ 1 - \frac{4}{3} \left(1 - \frac{\beta_1}{\beta_2} \right) \cdot (1 - K_{2j}) \right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.18)$$

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(2)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。

反力Pによる応力は、

一次応力

$$\sigma_{\phi_3} = \left(\frac{N_\phi}{P/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.19)$$

$$\sigma_{x_3} = \left(\frac{N_x}{P/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.20)$$

反力 P_e における応力は、
一次応力

$$\sigma_{\phi_{71}} = \left(\frac{N_\phi}{P_e/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{x_{71}} = \left(\frac{N_x}{P_e/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_e}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.22)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi_{72}} = \left(\frac{M_\phi}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.23)$$

$$\sigma_{x_{72}} = \left(\frac{M_x}{P_e} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_e}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.24)$$

(6) 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 M_ℓ 及び鉛直荷重 P_ℓ は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

曲げモーメント M_ℓ と鉛直荷重 P_ℓ 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(2)の図より値(以下*を付記するもの)を求めることにより次式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ 及び P_ℓ の場合のアタッチメントパラメータ β は(5)と同じであるが、 M_ℓ の場合のアタッチメントパラメータ β は次式による。

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。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.25)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

曲げモーメント M_ℓ により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi_{411}} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 1} \dots\dots\dots (4.6.1.1.26)$$

$$\sigma_{x_{411}} = \left\{ \frac{N_x}{M_\ell / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_\ell}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{\ell 2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.27)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 421} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_{\ell}/(r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{x 421} = \left\{ \frac{M_x}{M_{\ell}/(r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_{\ell}}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.29)$$

鉛直荷重 P_{ℓ} により生じる応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 412} = \left(\frac{N_{\phi}}{P_{\ell}/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.30)$$

$$\sigma_{x 412} = \left(\frac{N_x}{P_{\ell}/r_m} \right)^* \cdot \left(\frac{P_{\ell}}{r_m \cdot t_e} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.31)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 422} = \left(\frac{M_{\phi}}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.32)$$

$$\sigma_{x 422} = \left(\frac{M_x}{P_{\ell}} \right)^* \cdot \left(\frac{6 \cdot P_{\ell}}{t_e^2} \right) \dots\dots\dots (4.6.1.1.33)$$

長手方向地震により胴に生じる引張荷重 $F_{\ell 1}$ は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

このとき胴に生じる引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 413} = \frac{F_{\ell 1}}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.34)$$

したがって、曲げモーメント M_{ℓ} 、鉛直荷重 P_{ℓ} 及び引張荷重 $F_{\ell 1}$ により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \dots\dots\dots (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \dots\dots\dots (4.6.1.1.36)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \dots\dots\dots (4.6.1.1.37)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \dots\dots\dots (4.6.1.1.38)$$

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力 $F_{\ell 2}$ は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{F_{\ell 2}}{4 \cdot C_2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.39)$$

(7) 横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震が作用した場合、脚の付け根部に生じる曲げモーメント M_c は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

この曲げモーメント M_c により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は、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)の図より値（以下*を付記するもの）を求めることにより次式で求める。

ここで、シェルパラメータ γ は(5)と同じであるが、アタッチメントパラメータ β は次式による。

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。

$$\beta = \sqrt[3]{\beta_1^2 \cdot \beta_2} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.40)$$

ただし、 $\beta \leq 0.5$

したがって、応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 51} = \left\{ \frac{N_{\phi}}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c1} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.41)$$

$$\sigma_{x 51} = \left\{ \frac{N_x}{M_c / (r_m^2 \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{M_c}{r_m^2 \cdot \beta \cdot t_e} \right) \cdot C_{c2} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.42)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 52} = \left\{ \frac{M_{\phi}}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.43)$$

$$\sigma_{x 52} = \left\{ \frac{M_x}{M_c / (r_m \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot M_c}{r_m \cdot \beta \cdot t_e^2} \right) \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.44)$$

また、胴の脚付け根部に生じるせん断荷重 F_c 及び胴の脚付け根部に生じるねじりモーメント M_3 は、「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

せん断荷重により脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{F_c}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.45)$$

ねじりモーメントにより脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{c2} = \frac{M_3}{2 \cdot \pi \cdot \text{Min}(C_1, C_2)^2 \cdot t} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.46)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって求めた脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{o\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{o\ell\phi} + \sigma_{o\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{o\ell\phi} - \sigma_{o\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell 1}^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.1.47)$$

ここで,

$$\sigma_{o\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.1.48)$$

$$\sigma_{o\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 413} + \sigma_{x 21} \dots \dots \dots (4.6.1.1.49)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{oc\phi} + \sigma_{ocx}) + \sqrt{(\sigma_{oc\phi} - \sigma_{ocx})^2 + 4 \cdot \tau_{c 1}^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.1.50)$$

ここで,

$$\sigma_{oc\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \dots \dots \dots (4.6.1.1.51)$$

$$\sigma_{ocx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 22} \dots \dots \dots (4.6.1.1.52)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は,

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{o\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{oc}) \} \dots \dots \dots (4.6.1.1.53)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell} + \tau_{\ell 1})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.1.54)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 71} \dots \dots \dots (4.6.1.1.55)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 41} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 21} \dots \dots \dots (4.6.1.1.56)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_c + \tau_{c 1} + \tau_{c 2})^2} \right\} \dots \dots \dots (4.6.1.1.57)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 3} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 71} \dots \dots \dots (4.6.1.1.58)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 3} + \sigma_{x 51} + \sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 22} \dots \dots \dots (4.6.1.1.59)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \dots \dots \dots (4.6.1.1.60)$$

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
鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell} + \tau_{\ell 1})^2}$$

..... (4.6.1.1.61)

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72}$$

..... (4.6.1.1.62)

$$\sigma_{2\ell x} = \sigma_{x41} + \sigma_{x42} + \sigma_{x21} + \sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72}$$

..... (4.6.1.1.63)

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot (\tau_c + \tau_{c1} + \tau_{c2})^2}$$

..... (4.6.1.1.64)

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72}$$

..... (4.6.1.1.65)

$$\sigma_{2cx} = \sigma_{x51} + \sigma_{x52} + \sigma_{x22} + \sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72}$$

..... (4.6.1.1.66)

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,

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \}$$

..... (4.6.1.1.67)

とする。

4.6.1.2 脚の計算方法

「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で得られる脚の運転時質量による反力 R_1 及びモーメント M_{14} 、長手方向地震による脚底面に生じるモーメント $M_{\ell 1}$ 、鉛直荷重 $P_{\ell 1}$ 、せん断力 $F_{\ell 3}$ 、横方向地震による脚底面に生じるモーメント $M_{c 1}$ 、ねじりモーメント M_3 、せん断力 $F_{c 1}$ より各応力を次のように求める。

- (1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s 1} = \frac{R_1}{A_s} + \frac{M_{14}}{Z_{s y}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s 4} = \frac{R_1 \cdot C_v}{A_s} + \frac{M_{14} \cdot C_v}{Z_{s y}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

$$\sigma_{s 2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{s y}} + \frac{P_{\ell 1}}{A_s} \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

$$\tau_{s 2} = \frac{F_{\ell 3}}{A_{s 3}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

- (4) 横方向地震による応力

$$\sigma_{s 3} = \frac{M_{c 1}}{Z_{s x}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

$$\tau_{s 3} = \frac{F_{c 1}}{A_{s 4}} + \frac{M_3}{Z_{s p}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s \ell} = \sqrt{(\sigma_{s 1} + \sigma_{s 2} + \sigma_{s 4})^2 + 3 \cdot \tau_{s 2}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s c} = \sqrt{(\sigma_{s 1} + \sigma_{s 3} + \sigma_{s 4})^2 + 3 \cdot \tau_{s 3}^2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.8)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s \ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{s c}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.2.9)$$

とする。

4.6.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と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脚底面に作用するモーメント M 及び鉛直荷重 P_s は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

とする。

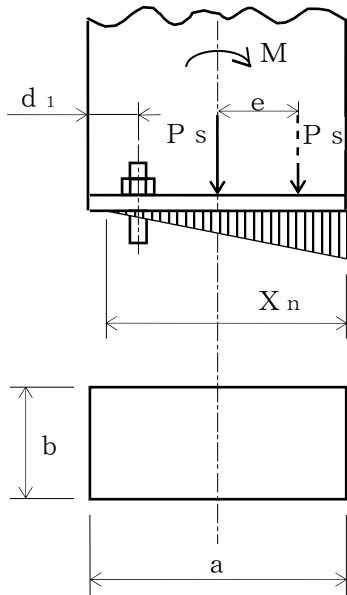


図4-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

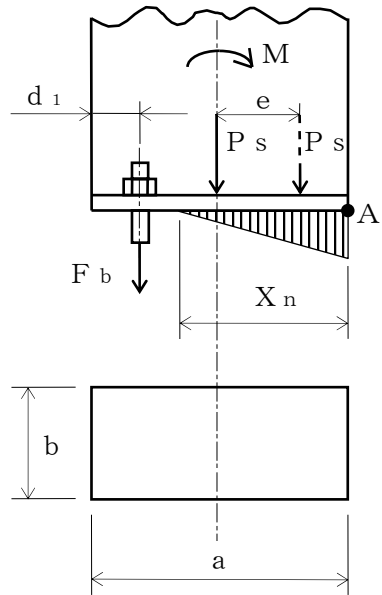


図4-6 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図4-5のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図4-6のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

の場合及び e が負の場合に、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図4-6において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 X_n は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.4)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.5)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.6)$$

b. せん断応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力 $F_{\ell 2}$ は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b1} = \frac{F_{\ell 2}}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.7)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメント M_{c1} 及び鉛直荷重 P_{s1} は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{c1} / P_{s1} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.8)$$

とする。

図4-7のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図4-8のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.3.9)$$

の場合及び e が負の場合に、基礎ボルトに引張力が生じる。

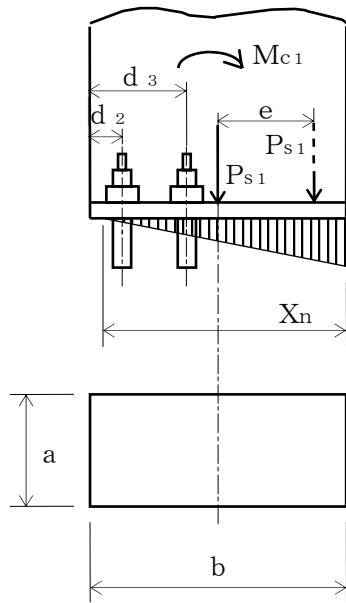


図 4-7 基礎部に作用する外荷重より
生じる荷重の関係 (その 3)

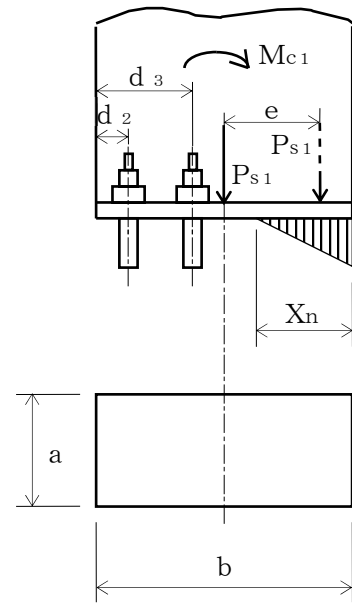


図 4-8 基礎部に作用する外荷重より
生じる荷重の関係 (その 4)

図4-8において、(1)と同様にして中立軸の位置 X_n を

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2} \right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_2}{a} \cdot$$

$$\left\{ \left(e + \frac{b}{2} - d_2 \right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(e + \frac{b}{2} - d_3 \right) \cdot (b - X_n - d_3) \right\} = 0$$

..... (4.6.1.3.10)

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_{s1} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_2)}{\left(b - d_2 - \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_2) + \left(b - d_3 - \frac{X_n}{3} \right) \cdot (b - X_n - d_3)}$$

..... (4.6.1.3.11)

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2} = \frac{F_b}{n_2 \cdot A_b} \quad \text{..... (4.6.1.3.12)}$$

b. せん断応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力 F_{c1} 及びねじりモーメント M_3 は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b2} = \frac{F_{c1}}{n \cdot A_b} + \frac{M_3}{n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left(\frac{a - 2 \cdot d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2 \cdot d_3}{2}\right)^2}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.13)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを σ_b 及び τ_b とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.3.14)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.3.15)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【B-ディーゼル燃料貯蔵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。

4.8 応力の評価

4.8.1 胴の応力評価

4.6.1.1 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 (一次一般膜＋ 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		

4.8.2 脚の応力評価

4.6.1.2 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}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.3 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

B-ディーゼル燃料貯蔵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

B-ディーゼル燃料貯蔵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. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.
- (2) 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.

【B-ディーゼル燃料貯蔵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				
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク	S	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 9.350* ¹			C _H =1.06* ²	C _V =0.90* ²	C _H =1.82* ³	C _V =1.54* ³	静水頭	40	50	0.86

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

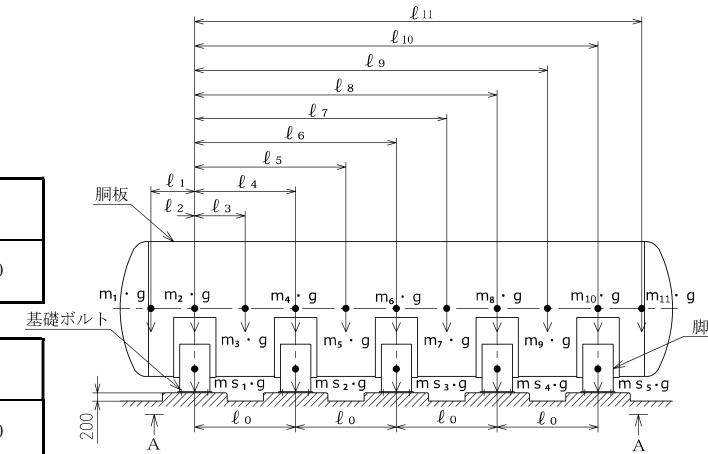
1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)	m ₈ (kg)	m ₉ (kg)	m ₁₀ (kg)	m ₁₁ (kg)

l ₁ (mm)	l ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l ₄ (mm)	l ₅ (mm)	l ₆ (mm)	l ₇ (mm)	l ₈ (mm)	l ₉ (mm)	l ₁₀ (mm)	l ₁₁ (mm)	H (mm)
-1130	0	1250	2520	3750	4980	6250	7500	8750	10010	11130	3300

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	m _{s3} (kg)	m _{s4} (kg)	m _{s5} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	l ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
						3300	20.0	56.0* ¹	2500	1243	2100

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	J _s (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	Z _{sp} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)	θ _w (rad)	l _w (mm)
1475	375	1.337×10 ¹¹	4.677×10 ⁹	1.844×10 ⁷	9.064×10 ⁷	1.247×10 ⁷	9.705×10 ⁵	2.097	1.394	0.396	300



A~A 矢视图

S2 補 VI-2-10-1-2-1-8 R0

A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
1.533×10^5	202000*2	201000*3	8.711×10^4	5.264×10^4	6.656×10^4	4.132×10^4

K_{11} *4	K_{12} *4	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	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)	d_3 (mm)
15	8	4	2	850	3080	42 (M42)	1.385×10^3 (M42)	100	310	790

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)
235*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	400*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	231*3 (16mm<厚さ \leq 40mm)	394*3 (16mm<厚さ \leq 40mm)	231	276	715*3 (径 \leq 63mm)	838*3 (径 \leq 63mm)	586	586

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

*4：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

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	
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	
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	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$	
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	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=4$	—	$\sigma_{x 6}=4$	
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=1$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—	
水平方向地震 による応力	曲げ	—	$\sigma_{x 21}=8$	—	$\sigma_{x 22}=1$	—	$\sigma_{x 21}=13$	—	$\sigma_{x 22}=2$
	せん断	$\tau_{\ell 1}=2$		$\tau_{c 1}=0$		$\tau_{\ell 1}=4$		$\tau_{c 1}=1$	
組合せ応力	$\sigma_{0\ell}=14$		$\sigma_{0c}=7$		$\sigma_{0\ell}=22$		$\sigma_{0c}=8$		

(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	
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	
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	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$	
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	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=4$	—	$\sigma_{x 6}=4$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=10$	$\sigma_{x 3}=8$	$\sigma_{\phi 3}=10$	$\sigma_{x 3}=8$	$\sigma_{\phi 3}=10$	$\sigma_{x 3}=8$	$\sigma_{\phi 3}=10$	$\sigma_{x 3}=8$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=9$	$\sigma_{x 71}=7$	$\sigma_{\phi 71}=9$	$\sigma_{x 71}=7$	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=12$	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=12$	
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 411}=5$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{\phi 51}=4$	$\sigma_{x 51}=11$	$\sigma_{\phi 411}=8$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{\phi 51}=7$	$\sigma_{x 51}=19$
		$\sigma_{\phi 412}=7$	$\sigma_{x 412}=6$			$\sigma_{\phi 412}=11$	$\sigma_{x 412}=9$		
		$\sigma_{\phi 41}=11$	$\sigma_{x 41}=8$			$\sigma_{\phi 41}=19$	$\sigma_{x 41}=13$		
	曲げ	—	$\sigma_{x 21}=8$	—	$\sigma_{x 22}=1$	—	$\sigma_{x 21}=13$	—	$\sigma_{x 22}=2$
せん断	$\tau_{\ell}=9$		$\tau_{c}=3$		$\tau_{\ell}=16$		$\tau_{c}=5$		
	$\tau_{\ell 1}=2$		$\tau_{c 1}=0, \tau_{c 2}=0$		$\tau_{\ell 1}=4$		$\tau_{c 1}=1, \tau_{c 2}=0$		
組合せ応力	$\sigma_{1\ell}=45$		$\sigma_{1c}=33$		$\sigma_{1\ell}=69$		$\sigma_{1c}=49$		

(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	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	
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	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=4$	—	$\sigma_{x 6}=4$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=33$	$\sigma_{x 71}=7$ $\sigma_{x 72}=17$	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=33$	$\sigma_{x 71}=7$ $\sigma_{x 72}=17$	$\sigma_{\phi 71}=15$ $\sigma_{\phi 72}=56$	$\sigma_{x 71}=12$ $\sigma_{x 72}=28$	$\sigma_{\phi 71}=15$ $\sigma_{\phi 72}=56$	$\sigma_{x 71}=12$ $\sigma_{x 72}=28$	
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 41}=11$	$\sigma_{x 41}=8$	$\sigma_{\phi 51}=4$	$\sigma_{x 51}=11$	$\sigma_{\phi 41}=19$	$\sigma_{x 41}=13$	$\sigma_{\phi 51}=7$	$\sigma_{x 51}=19$
		$\sigma_{\phi 421}=3$ $\sigma_{\phi 422}=24$	$\sigma_{x 421}=10$ $\sigma_{x 422}=12$	$\sigma_{\phi 52}=34$	$\sigma_{x 52}=15$	$\sigma_{\phi 421}=6$ $\sigma_{\phi 422}=42$	$\sigma_{x 421}=16$ $\sigma_{x 422}=21$	$\sigma_{\phi 52}=59$	$\sigma_{x 52}=25$
		$\sigma_{\phi 42}=27$	$\sigma_{x 42}=21$			$\sigma_{\phi 42}=47$	$\sigma_{x 42}=36$		
	曲げ	—	$\sigma_{x 21}=8$	—	$\sigma_{x 22}=1$	—	$\sigma_{x 21}=13$	—	$\sigma_{x 22}=2$
	せん断	$\tau_{\ell}=9$		$\tau_{c}=3$		$\tau_{\ell}=16$		$\tau_{c}=5$	
	$\tau_{\ell 1}=2$		$\tau_{c 1}=0, \tau_{c 2}=0$		$\tau_{\ell 1}=4$		$\tau_{c 1}=1, \tau_{c 2}=0$		
組合せ応力	$\sigma_{2\ell}=172$		$\sigma_{2c}=164$		$\sigma_{2\ell}=294$		$\sigma_{2c}=280$		

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	$\sigma_{s 1}=3$	$\sigma_{s 1}=3$	$\sigma_{s 1}=3$	$\sigma_{s 1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s 4}=2$	$\sigma_{s 4}=2$	$\sigma_{s 4}=4$	$\sigma_{s 4}=4$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s 2}=17$	$\sigma_{s 3}=7$	$\sigma_{s 2}=28$	$\sigma_{s 3}=12$
	せん断	$\tau_{s 2}=4$	$\tau_{s 3}=8$	$\tau_{s 2}=7$	$\tau_{s 3}=13$
組合せ応力		$\sigma_{s \ell}=22$	$\sigma_{s c}=17$	$\sigma_{s \ell}=36$	$\sigma_{s c}=28$

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	$\sigma_{b 1}=66$	$\sigma_{b 2}=50$	$\sigma_{b 1}=133$	$\sigma_{b 2}=109$
水平方向地震による 応力	せん断	$\tau_{b 1}=25$	$\tau_{b 2}=28$	$\tau_{b 1}=42$	$\tau_{b 2}=48$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期	
長手方向		
横方向		
鉛直方向		

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	SM400C	一次一般膜	$\sigma_o=14$	$S_a=235$	$\sigma_o=22$	$S_a=240$
		一次	$\sigma_1=45$	$S_a=352$	$\sigma_1=69$	$S_a=360$
		一次+二次	$\sigma_2=172$	$S_a=470$	$\sigma_2=294$	$S_a=470$
脚	SM400A	組合せ	$\sigma_s=22$	$f_{tm}=231$	$\sigma_s=36$	$f_{tm}=276$
基礎ボルト	SNB7	引張	$\sigma_b=66$	$f_{ts}=439^*$	$\sigma_b=133$	$f_{ts}=439^*$
		せん断	$\tau_b=28$	$f_{sb}=338$	$\tau_b=48$	$f_{sb}=338$

すべて許容応力以下である。

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

1.5 その他の機器要目

1.5.1 はり要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	28
節点数	—	個	44

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				
B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク	常設耐震/防止 常設/緩和	B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク格納槽 EL 9.350*1			—	—	C _H =1.82*2	C _V =1.54*2	静水頭	40	50	0.86

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

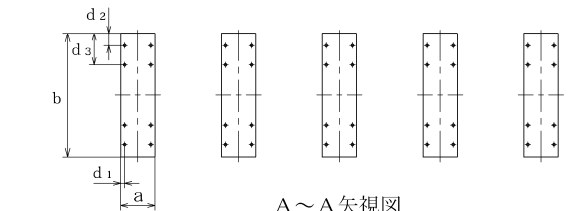
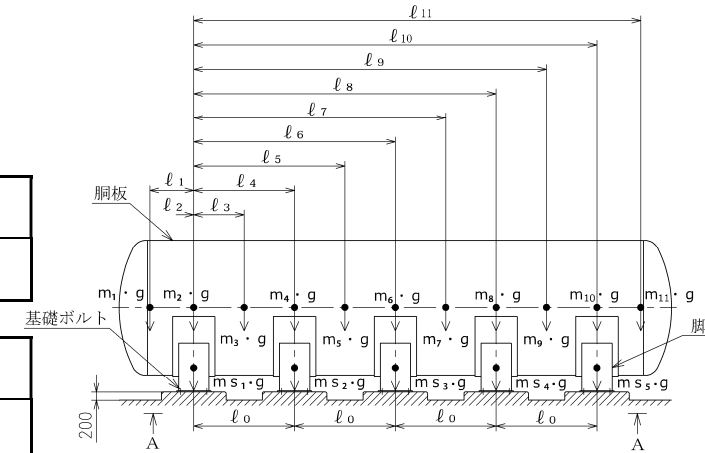
2.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)	m ₈ (kg)	m ₉ (kg)	m ₁₀ (kg)	m ₁₁ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)	ℓ ₈ (mm)	ℓ ₉ (mm)	ℓ ₁₀ (mm)	ℓ ₁₁ (mm)	H (mm)
-1130	0	1250	2520	3750	4980	6250	7500	8750	10010	11130	3300

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	m _{s3} (kg)	m _{s4} (kg)	m _{s5} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	ℓ ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
						3300	20.0	56.0*1	2500	1243	2100

C ₁ (mm)	C ₂ (mm)	I _{sx} (mm ⁴)	I _{sy} (mm ⁴)	J _s (mm ⁴)	Z _{sx} (mm ³)	Z _{sy} (mm ³)	Z _{sp} (mm ³)	θ ₀ (rad)	θ (rad)	θ _w (rad)	ℓ _w (mm)
1475	375	1.337×10 ¹¹	4.677×10 ⁹	1.844×10 ⁷	9.064×10 ⁷	1.247×10 ⁷	9.705×10 ⁵	2.097	1.394	0.396	300



A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
1.533×10^5	202000*2	201000*3	8.711×10^4	5.264×10^4	6.656×10^4	4.132×10^4

K_{11} *4	K_{12} *4	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	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)	d_3 (mm)
15	8	4	2	850	3080	42 (M42)	1.385×10^3 (M42)	100	310	790

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)
235*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	400*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	231*3 (16mm<厚さ \leq 40mm)	394*3 (16mm<厚さ \leq 40mm)	—	276	715*3 (径 \leq 63mm)	838*3 (径 \leq 63mm)	—	586

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

*4：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

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
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=4$	—	$\sigma_{x 6}=4$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—
水平方向地震 による応力	曲げ	—	—	—	—	$\sigma_{x 21}=13$	—	$\sigma_{x 22}=2$
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell 1}=4$	—	$\tau_{c 1}=1$
組合せ応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{0\ell}=22$	—	$\sigma_{0c}=8$

(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	
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=2$	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=3$	—	$\sigma_{x 2}=3$	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=4$	—	$\sigma_{x 6}=4$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=10$	$\sigma_{x 3}=8$	$\sigma_{\phi 3}=10$	$\sigma_{x 3}=8$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=12$	$\sigma_{\phi 71}=15$	$\sigma_{x 71}=12$	
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=8$	$\sigma_{x 411}=2$	$\sigma_{\phi 51}=7$	$\sigma_{x 51}=19$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 412}=11$	$\sigma_{x 412}=9$		
	曲げ	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=19$	$\sigma_{x 41}=13$	—	$\sigma_{x 22}=2$
		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 21}=13$	—	—
せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{\ell}=16$	—	$\tau_{c}=5$	
	—	—	—	—	—	$\tau_{\ell 1}=4$	—	$\tau_{c 1}=1, \tau_{c 2}=0$	
組合せ応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{1\ell}=69$	—	$\sigma_{1c}=49$	

(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	
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=4$	—	$\sigma_{x 6}=4$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=15$ $\sigma_{\phi 7 2}=56$	$\sigma_{x 7 1}=12$ $\sigma_{x 7 2}=28$	$\sigma_{\phi 7 1}=15$ $\sigma_{\phi 7 2}=56$	$\sigma_{x 7 1}=12$ $\sigma_{x 7 2}=28$	
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1}=19$	$\sigma_{x 4 1}=13$	$\sigma_{\phi 5 1}=7$	$\sigma_{x 5 1}=19$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 2 1}=6$ $\sigma_{\phi 4 2 2}=42$	$\sigma_{x 4 2 1}=16$ $\sigma_{x 4 2 2}=21$	$\sigma_{\phi 5 2}=59$	$\sigma_{x 5 2}=25$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 2}=47$	$\sigma_{x 4 2}=36$		
	せん断	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2 1}=13$	—	$\sigma_{x 2 2}=2$
		—	—	—	—	$\tau_{\ell}=16$		$\tau_{c}=5$	
組合せ応力	—	—	—	—	$\tau_{\ell 1}=4$		$\tau_{c 1}=1, \tau_{c 2}=0$		
					$\sigma_{2\ell}=294$		$\sigma_{2c}=280$		

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	
		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	—	—	$\sigma_{s 1}=3$	$\sigma_{s 1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s 4}=4$	$\sigma_{s 4}=4$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s 2}=28$	$\sigma_{s 3}=12$
	せん断	—	—	$\tau_{s 2}=7$	$\tau_{s 3}=13$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s \ell}=36$	$\sigma_{s c}=28$

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	
		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	—	—	$\sigma_{b 1}=133$	$\sigma_{b 2}=109$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	$\tau_{b 1}=42$	$\tau_{b 2}=48$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

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	SM400C	一次一般膜	—	—	$\sigma_o=22$	$S_a=240$
		一次	—	—	$\sigma_1=69$	$S_a=360$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=294$	$S_a=470$
脚	SM400A	組合せ	—	—	$\sigma_s=36$	$f_{tm}=276$
基礎ボルト	SNB7	引張	—	—	$\sigma_b=133$	$f_{ts}=439^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=48$	$f_{sb}=338$

すべて許容応力以下である。

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

2.5 その他の機器要目

2.5.1 はり要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	28
節点数	—	個	44

VI-2-10-1-2-3 ガスタービン発電機の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-3-6 管の耐震性についての計算書
(ガスタービン発電機)

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	6
3. 計算条件	10
3.1 計算方法	10
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
3.3 設計条件	12
3.4 材料及び許容応力	17
3.5 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

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、ガスタービン発電機の管，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14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。





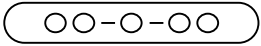


(3) 弁

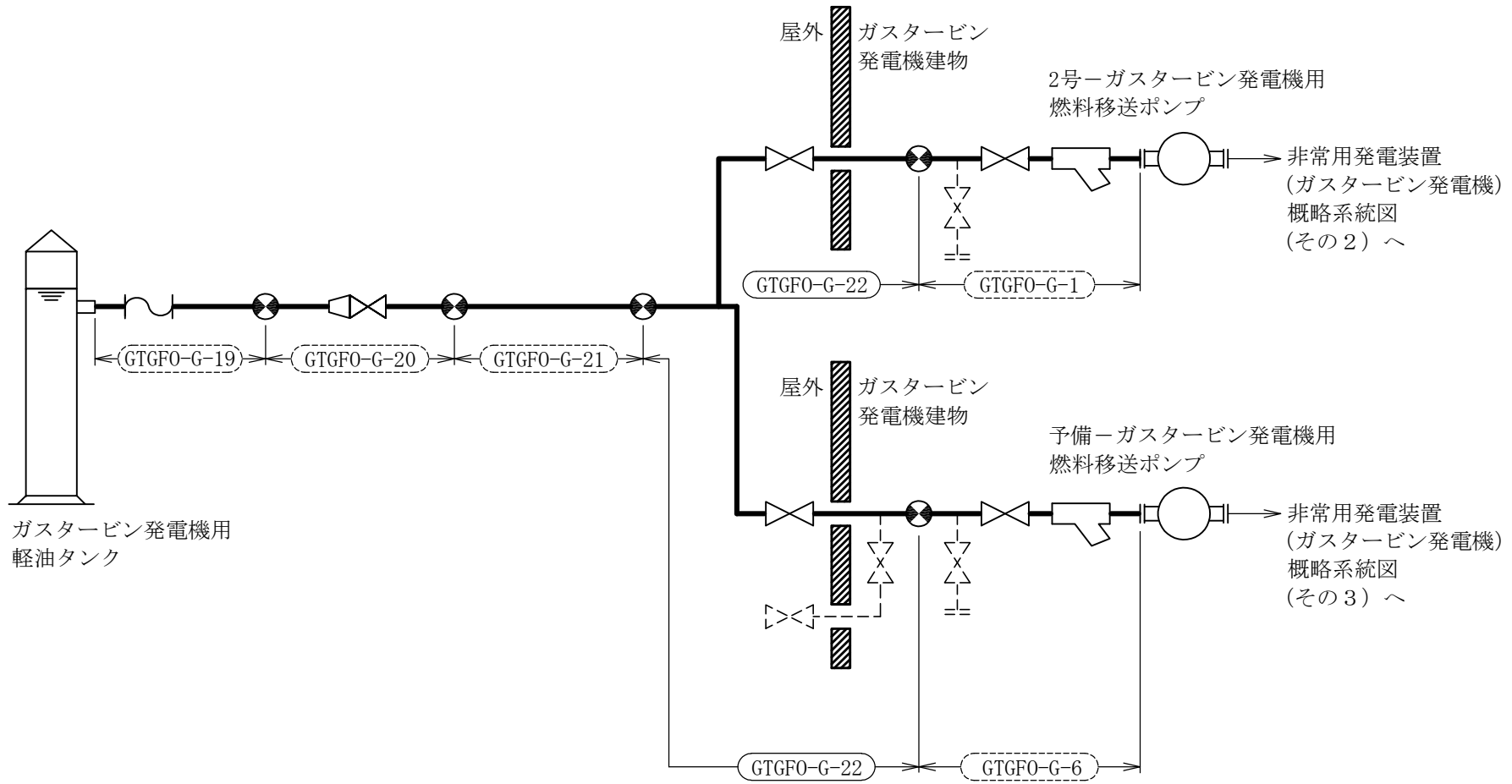
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

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

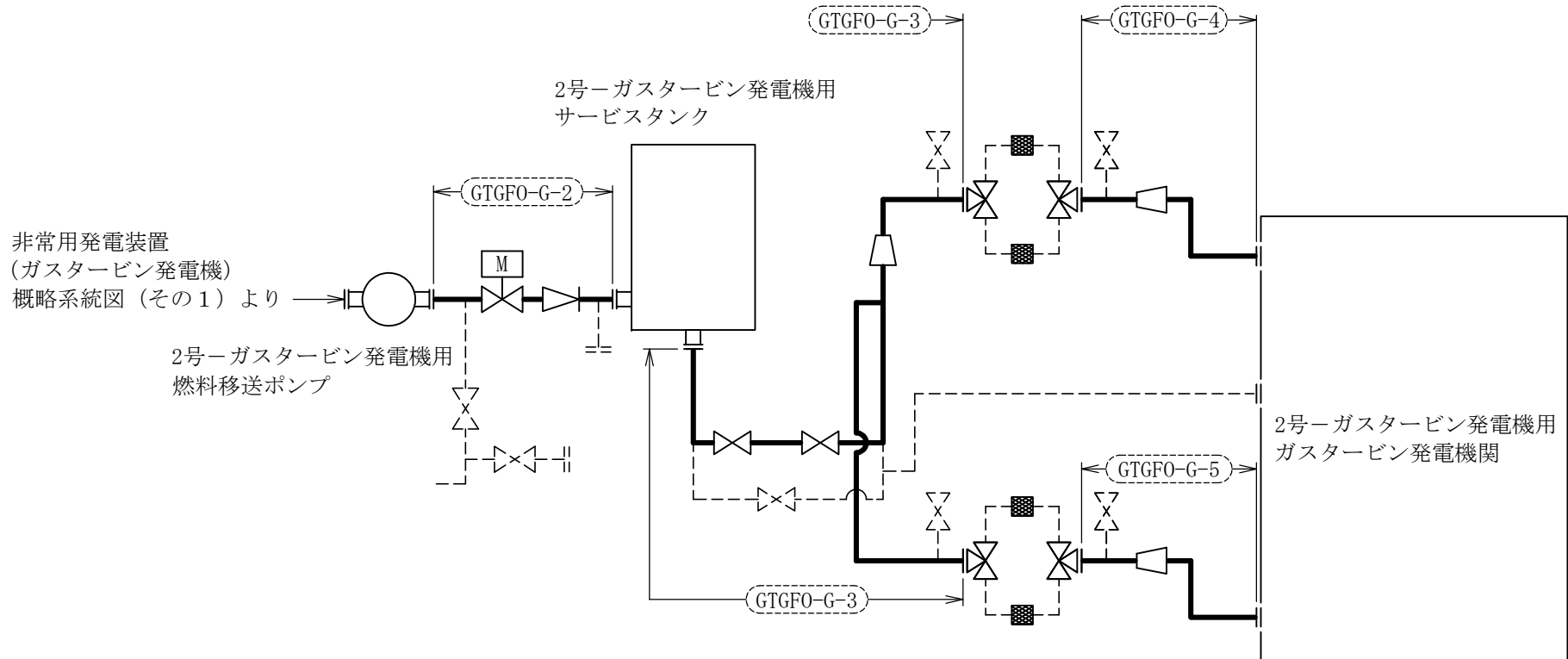
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 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



[注]

太線範囲の管クラス：火力技術基準適用の管

非常用発電装置 (ガスタービン発電機) 概略系統図 (その1)

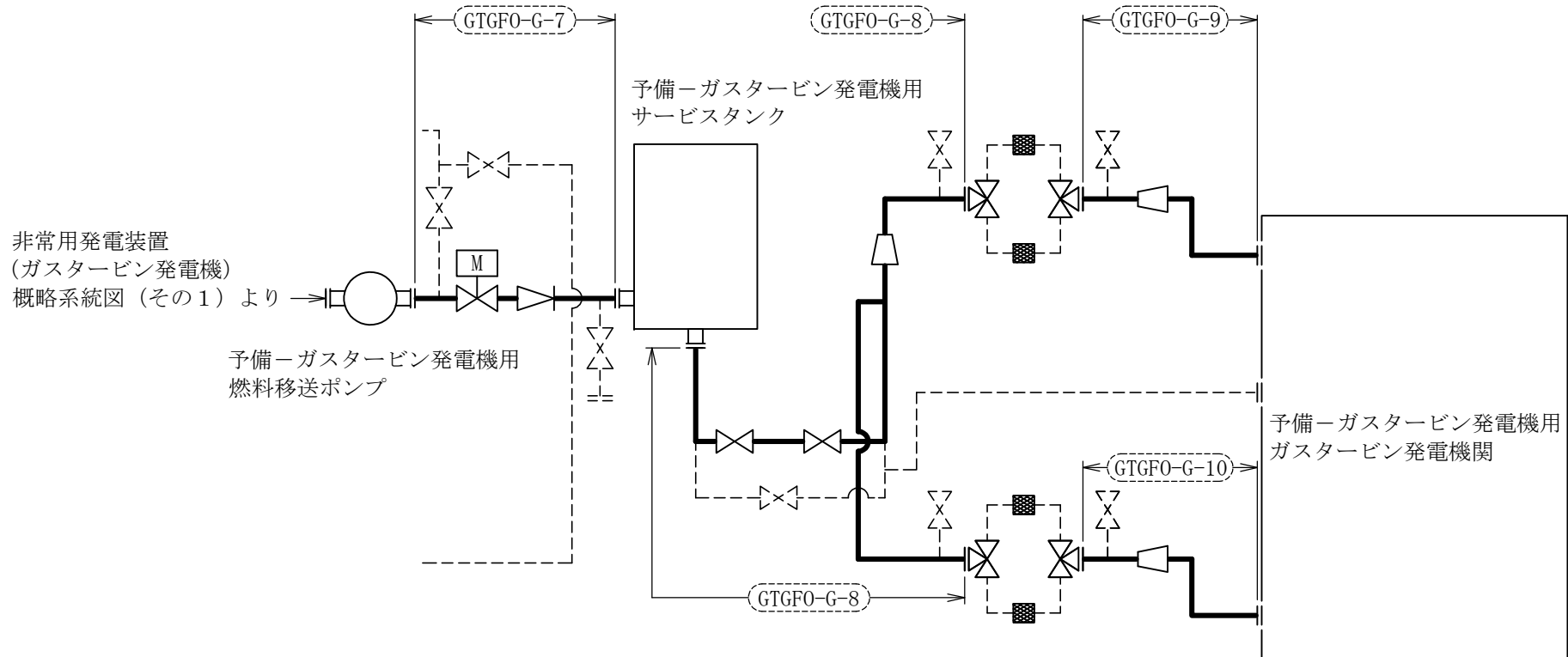


4

[注]

太線範囲の管クラス：火力技術基準適用の管

非常用発電装置 (ガスタービン発電機) 概略系統図 (その2)





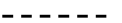


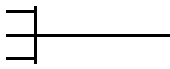
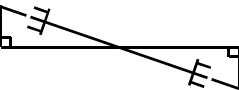
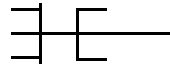
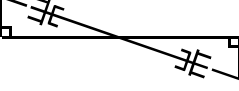

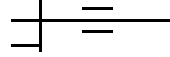
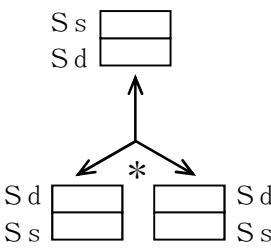
5

[注]
太線範囲の管クラス：火力技術基準適用の管

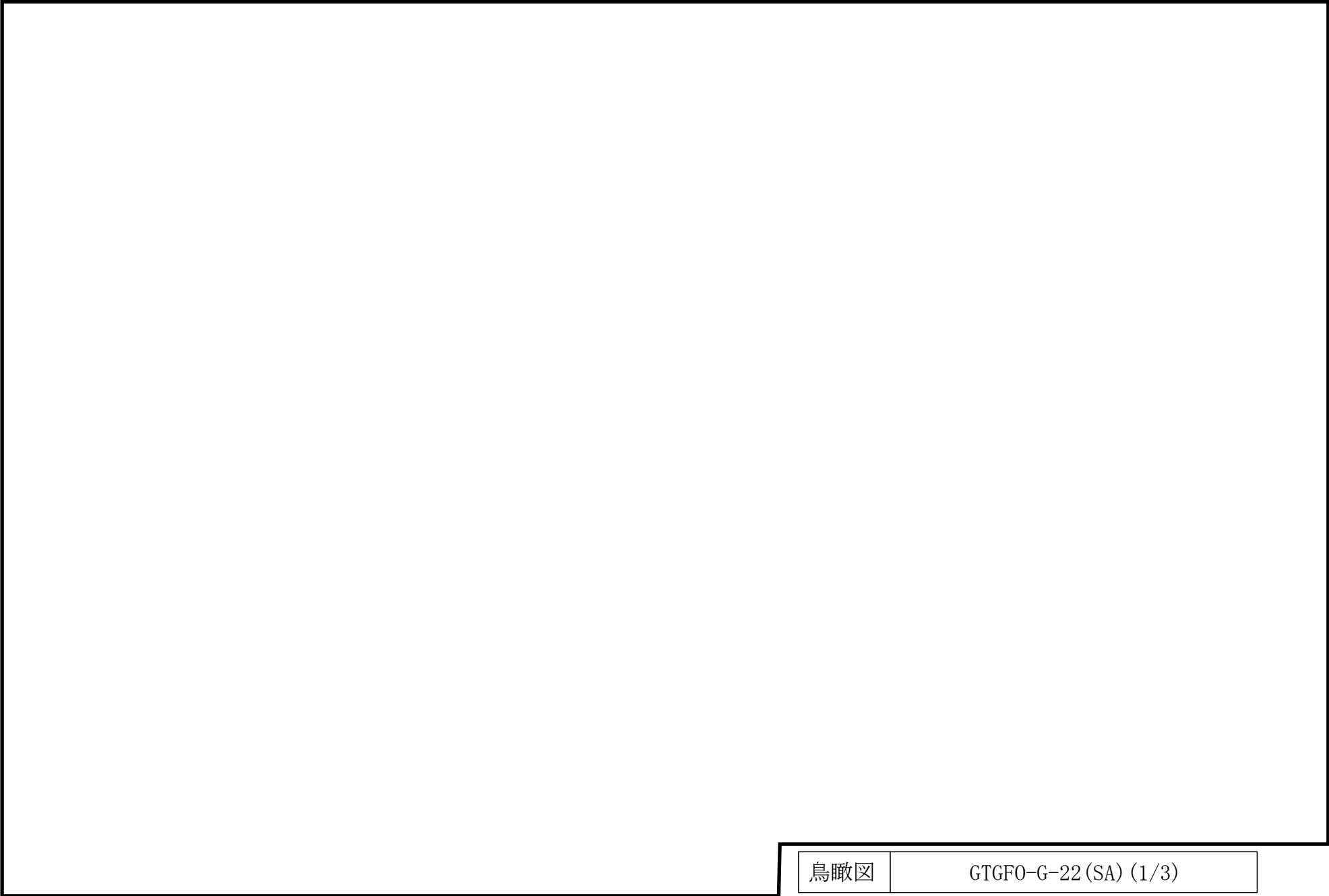
非常用発電装置 (ガスタービン発電機) 概略系統図 (その3)

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。)

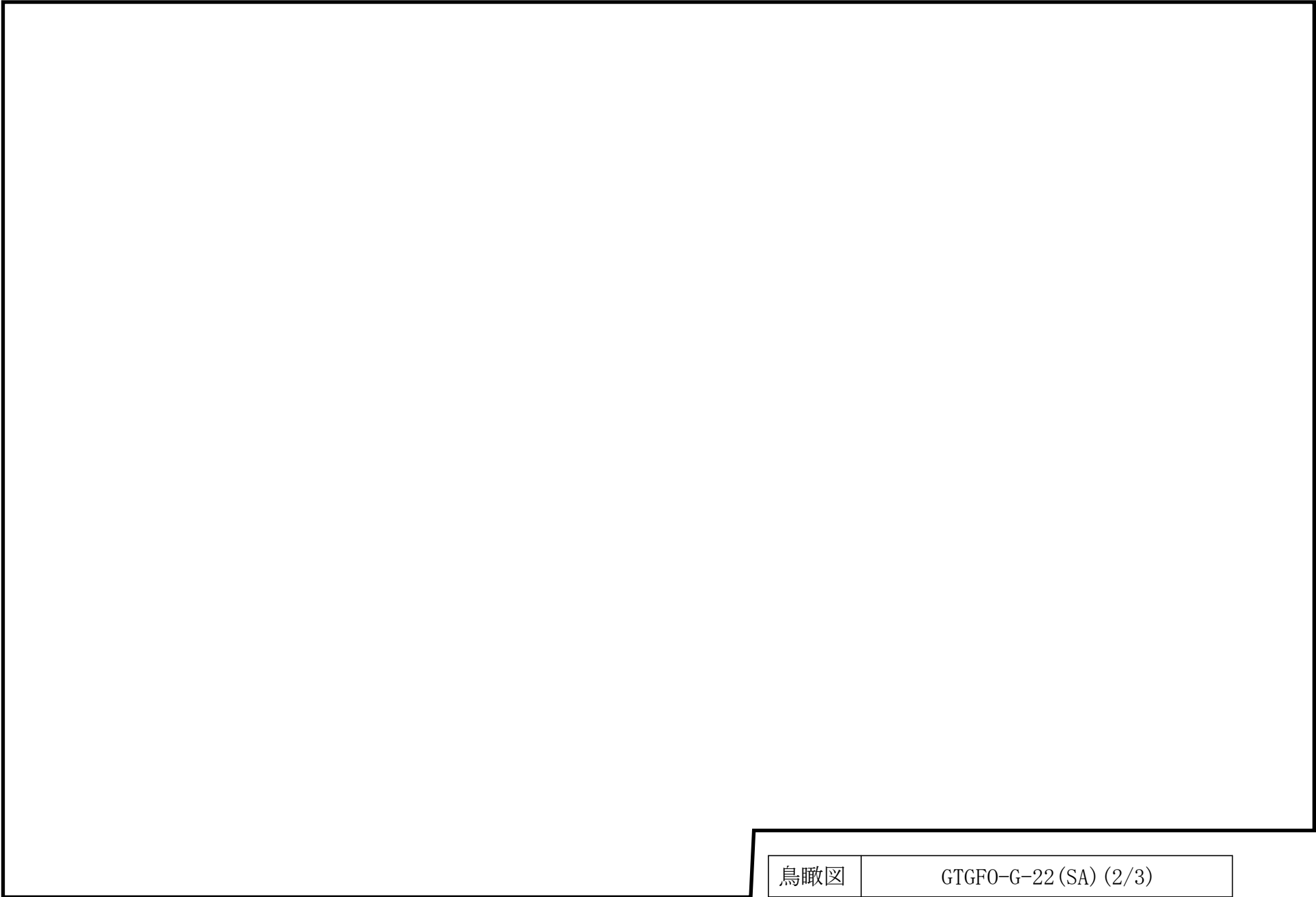
S2 補 VI-2-10-1-2-3-6 R0

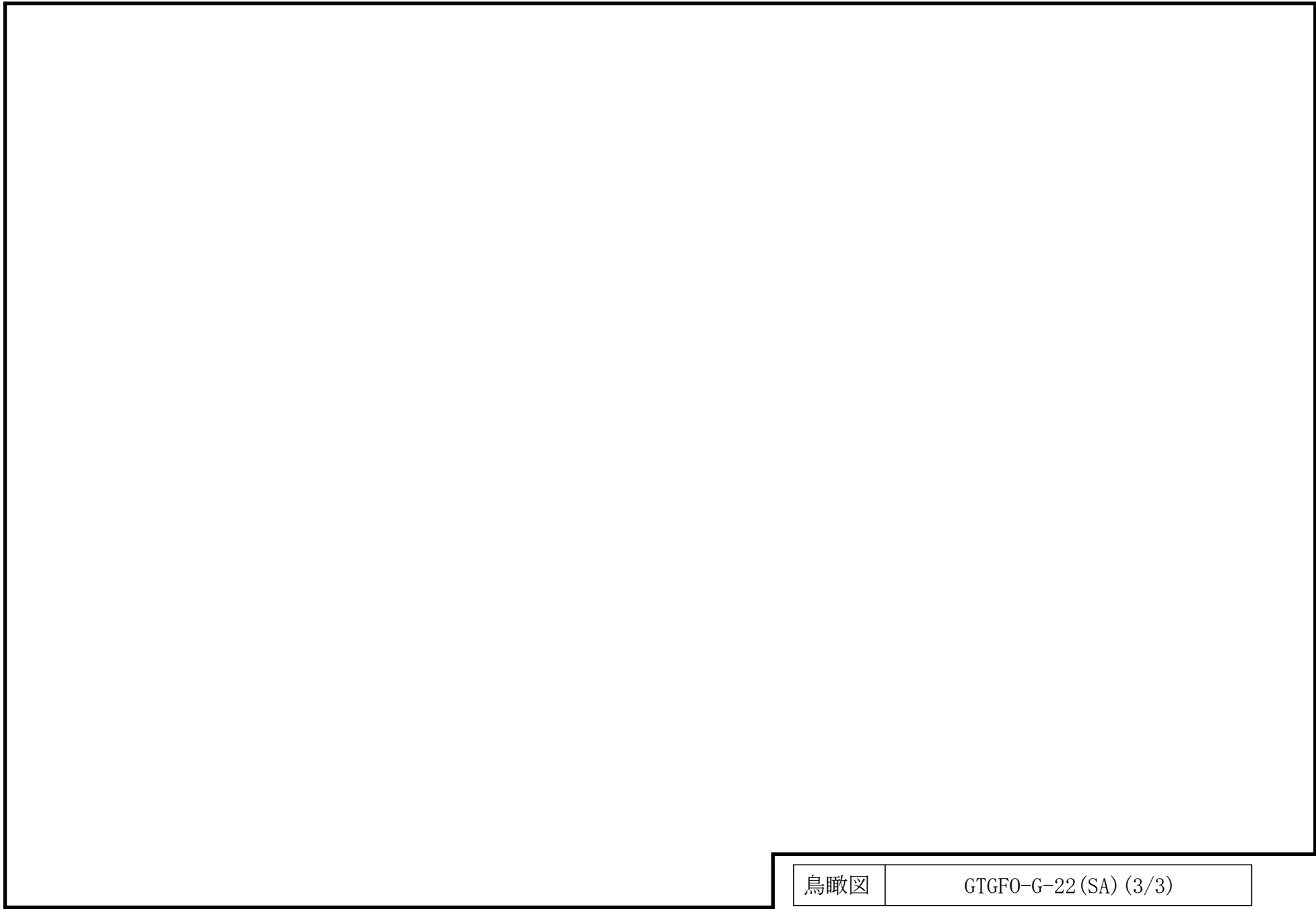


鳥瞰図

GTGFO-G-22(SA) (1/3)

8





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}
非常用電源設備	非常用発電装置	ガスタービン発電機	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	火力技術基準適用の管	—	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 GTGFO-G-22

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	1~100, 101~117 59~126, 127~135	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	静水頭	66
		Ⅴ _A S	静水頭	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 GTGFO-G-22

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	1～100, 101～117 59～126, 127～135	76.3	5.2	STPT410	—	201667

弁部の質量

鳥 瞰 図 GTGF0-G-22

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	100～101	<input type="text"/>	126～127

弁部の寸法

鳥 瞰 図 GTGF0-G-22

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
100~101				126~127			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 GTGF0-G-22

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	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
9						
13						
17						
21						
25						
29						
33						
37						
41						
45						
49						
53						
57						
62						
66						
70						
74						
78						
82						
86						
90						
98						
104						
110						
117						
124						
130						
135						

S2 補 VI-2-10-1-2-3-6 R0

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	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」に基づき策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」に基づき策定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
GTGF0-G-22	ガスタービン発電機 建物				
	屋外配管ダクト (ガ スタービン発電機用 軽油タンク～ガス タービン発電機)				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 GTGFO-G-22

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				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s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 (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

*3：設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*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 GTGF0-G-22

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)

22

代表的振動モード図 (2次)

23

代表的振動モード図 (3次)

24

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。

火力技術基準適用の管

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 s
IV _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	GTGF0-G-22	117	66	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	GTGF0-G-22	117	125	462	—
V _A S	一次応力 $S_{pr m}(0.9 \cdot S_u)$	GTGF0-G-22	117	66	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	GTGF0-G-22	117	125	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	材質	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	材質	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-GTGFO-G0321	レストレイント	Uプレート	SM400B	66	7	1	1	—	—	—	せん断	5	155
AN-GTGFO-G0303	アンカ	ラグ	SGV410	66	1	1	12	1	1	1	組合せ	27	146

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ^{*2} ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 ^{*2} (MPa)			
			水平	鉛直	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

α (S d)：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

β (S d)：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：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，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ことを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

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。

火力技術基準適用の管

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	GTGFO-G-1	37	32	366	11.43	—	37	58	462	7.96	—	—
2	GTGFO-G-2	12	33	366	11.09	—	12	58	462	7.96	—	—
3	GTGFO-G-3	67	35	366	10.45	—	67	57	462	8.10	—	—
4	GTGFO-G-4	79	22	366	16.63	—	79	41	462	11.26	—	—
5	GTGFO-G-5	29	42	366	8.71	—	29	82	462	5.63	—	—
6	GTGFO-G-6	4	36	366	10.16	—	36	59	462	7.83	—	—
7	GTGFO-G-7	65	26	366	14.07	—	65	40	462	11.55	—	—
8	GTGFO-G-8	67	35	366	10.45	—	67	57	462	8.10	—	—
9	GTGFO-G-9	79	28	366	13.07	—	79	52	462	8.88	—	—
10	GTGFO-G-10	29	43	366	8.51	—	29	83	462	5.56	—	—
11	GTGFO-G-19	3	10	366	36.60	—	3	14	462	33.00	—	—
12	GTGFO-G-20	1	61	366	6.00	—	1	103	462	4.48	—	—
13	GTGFO-G-21	9	11	366	33.27	—	9	15	462	30.80	—	—
14	GTGFO-G-22	117	66	366	5.54	○	117	125	462	3.69	—	○

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。

火力技術基準適用の管

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	GTGFO-G-1	37	32	366	11.43	—	37	58	462	7.96	—	—
2	GTGFO-G-2	12	33	366	11.09	—	12	58	462	7.96	—	—
3	GTGFO-G-3	67	35	366	10.45	—	67	57	462	8.10	—	—
4	GTGFO-G-4	79	22	366	16.63	—	79	41	462	11.26	—	—
5	GTGFO-G-5	29	42	366	8.71	—	29	82	462	5.63	—	—
6	GTGFO-G-6	4	36	366	10.16	—	36	59	462	7.83	—	—
7	GTGFO-G-7	65	26	366	14.07	—	65	40	462	11.55	—	—
8	GTGFO-G-8	67	35	366	10.45	—	67	57	462	8.10	—	—
9	GTGFO-G-9	79	28	366	13.07	—	79	52	462	8.88	—	—
10	GTGFO-G-10	29	43	366	8.51	—	29	83	462	5.56	—	—
11	GTGFO-G-19	3	10	366	36.60	—	3	14	462	33.00	—	—
12	GTGFO-G-20	1	61	366	6.00	—	1	103	462	4.48	—	—
13	GTGFO-G-21	9	11	366	33.27	—	9	15	462	30.80	—	—
14	GTGFO-G-22	117	66	366	5.54	○	117	125	462	3.69	—	○

VI-2-10-1-4 その他のその他発電用原子炉の附属施設の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-4-12 SA ロードセン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
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	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. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

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、SA ロードセンタ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。

SA ロードセンタは、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電氣的機能維持評価を示す。

なお、SA ロードセンタは、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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

SA ロードセンタの構造計画を表 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>SA ロードセンタは、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溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>【SA ロードセンタ】</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

SA ロードセンタの固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期

(単位：s)

SA ロードセンタ	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

SA ロードセンタの構造強度評価は、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。

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

SA ロードセンタ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

SA ロードセンタの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

SA ロードセンタ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。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【SA ロードセン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。

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
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	SA ロードセンタ	常設耐震／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：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 4-2 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
IVAS	1.5・f _t * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)	1.5・f _s * (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)
VAS		

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 (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

SA ロードセンタ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。

SA ロードセンタに設置される器具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、同形式の器具単体のサインビート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 5-1 に示す。

表 5-1 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
SA ロードセンタ	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

SA ロードセン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，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。

【SA ロードセンタ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	
SA ロードセンタ	常設耐震/防止 常設/緩和	低圧原子炉 代替注水建屋 EL 8.2* ¹	□	□	—	—	C _H =1.85* ²	C _V =1.17* ²	40

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 _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	48	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

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
取付ボルト (i=2)	620	1370	14	—	280	—	長辺方向
	2140	3760	4				

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
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
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=94$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=30$	$f_{sb2}=161$

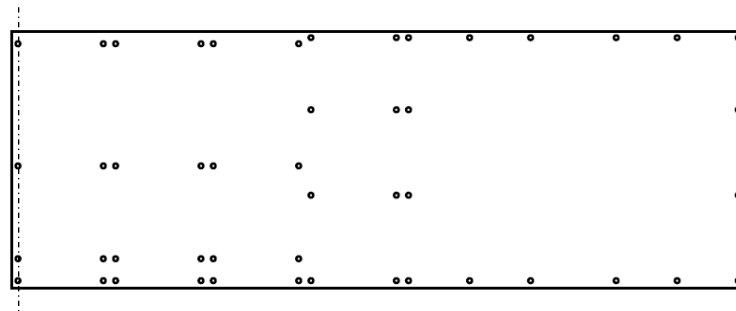
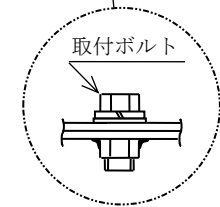
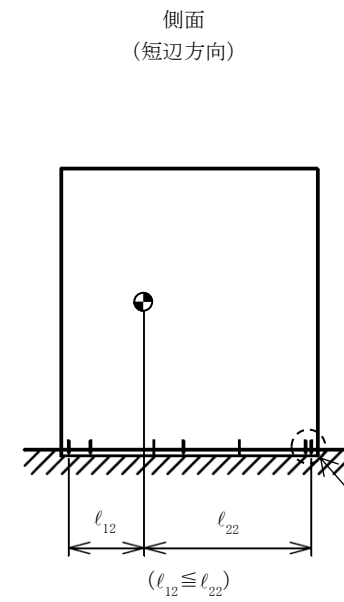
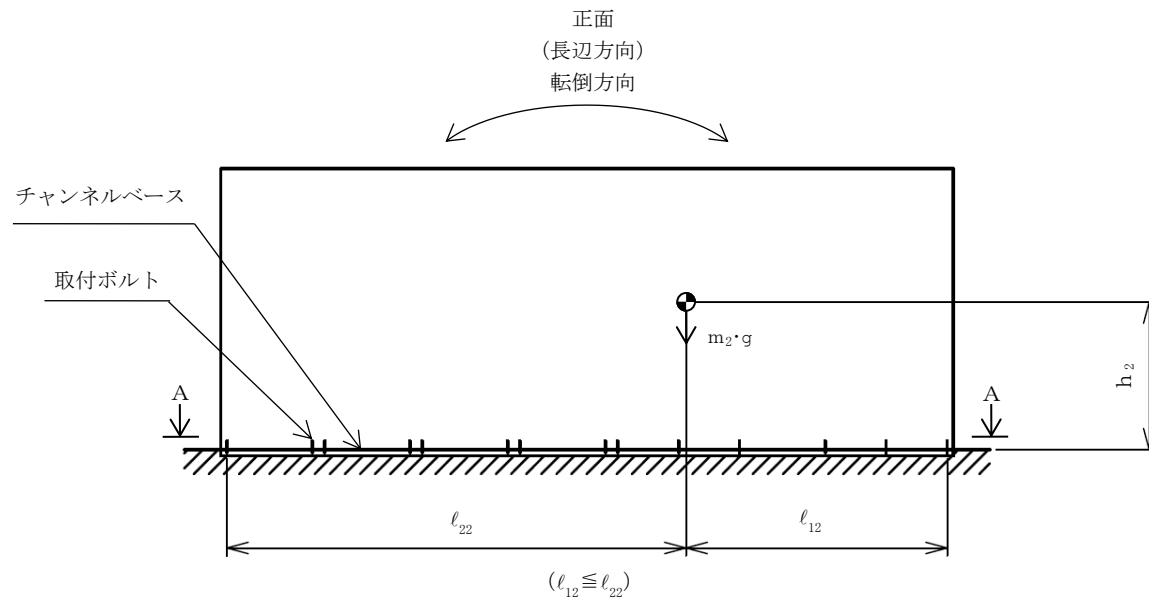
すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣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
SA ロードセンタ	水平方向	1.55	<input type="text"/>
	鉛直方向	0.97	<input type="text"/>

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
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。



A~A矢视图

VI-2-10-1-4-13 SA コントロールセン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
3. 固有周期	4
3.1 固有周期の確認	4
4. 構造強度評価	5
4.1 構造強度評価方法	5
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
4.3 計算条件	5
5. 機能維持評価	9
5.1 電氣的機能維持評価方法	9
6. 評価結果	10
6.1 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及び機能維持の設計方針に基づき、SA コントロールセンタ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。

SA コントロールセンタは、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電氣的機能維持評価を示す。

なお、SA コントロールセンタは、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。

2. 一般事項

2.1 構造計画

SA コントロールセンタの構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>SA コントロールセンタは、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溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>【SA コントロールセンタ (SA1 コントロールセンタ (枠番号 1~4))】</p> <p>正面 2100</p> <p>側面 700</p> <p>2300</p> <p>盤</p> <p>チャンネルベース</p> <p>取付ボルト</p> <p>床</p> <p>埋込金物</p> <p>溶接</p> <p>(長辺方向)</p> <p>(短辺方向)</p>

(単位：mm)

表 2-2 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>SA コントロールセンタは、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にて基礎に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>【SA コントロールセンタ】</p>																		
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>SA1 コントロールセンタ (枠番号 5~7)</th> <th>SA2 コントロールセンタ (枠番号 1~4)</th> <th>SA2 コントロールセンタ (枠番号 5~8)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>700</td> <td>700</td> <td>700</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>1500</td> <td>2100</td> <td>2100</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>2300</td> <td>2300</td> <td>2300</td> </tr> </tbody> </table>			機器名称	SA1 コントロールセンタ (枠番号 5~7)	SA2 コントロールセンタ (枠番号 1~4)	SA2 コントロールセンタ (枠番号 5~8)	たて	700	700	700	横	1500	2100	2100	高さ	2300	2300	2300
機器名称	SA1 コントロールセンタ (枠番号 5~7)	SA2 コントロールセンタ (枠番号 1~4)	SA2 コントロールセンタ (枠番号 5~8)																	
たて	700	700	700																	
横	1500	2100	2100																	
高さ	2300	2300	2300																	
		(単位 : mm)																		

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

SA コントロールセンタの固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

SA1 コントロール センタ (枠番号 1~4)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
SA1 コントロール センタ (枠番号 5~7)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
SA2 コントロール センタ (枠番号 1~4)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
SA2 コントロール センタ (枠番号 5~8)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

SA コントロールセンタの構造強度評価は、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。

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

SA コントロールセンタ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

SA コントロールセンタの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

SA コントロールセンタ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。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【SA1 コントロールセンタ（枠番号 1～4）の耐震性についての計算結果】、【SA1 コントロールセンタ（枠番号 5～7）の耐震性についての計算結果】、【SA2 コントロールセンタ（枠番号 1～4）の耐震性についての計算結果】、【SA2 コントロールセンタ（枠番号 5～8）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
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	SA コントロールセンタ	常設耐震／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：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 4-2 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
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 4-3 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 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

SA コントロールセンタ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。

SA コントロールセンタに設置される器具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、同形式の器具単体のサインビート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 5-1 に示す。

表 5-1 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
SA1 コントロールセンタ (枠番号 1~4)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>
SA1 コントロールセンタ (枠番号 5~7)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>
SA2 コントロールセンタ (枠番号 1~4)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>
SA2 コントロールセンタ (枠番号 5~8)	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

SA コントロールセン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，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。

【SA1 コントロールセンタ（枠番号 1～4）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

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	
SA1 コントロール センタ (枠番号 1～4)	常設耐震/防止 常設/緩和	低圧原子炉 代替注水建屋 EL 8.2* ¹	□	□	—	—	C _H =1.85* ²	C _V =1.17* ²	40

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 _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
取付ボルト (i=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	38	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

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
取付ボルト (i=2)	270	340	13	—	280	—	長辺方向
	790	1240	4				

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
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
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=23$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

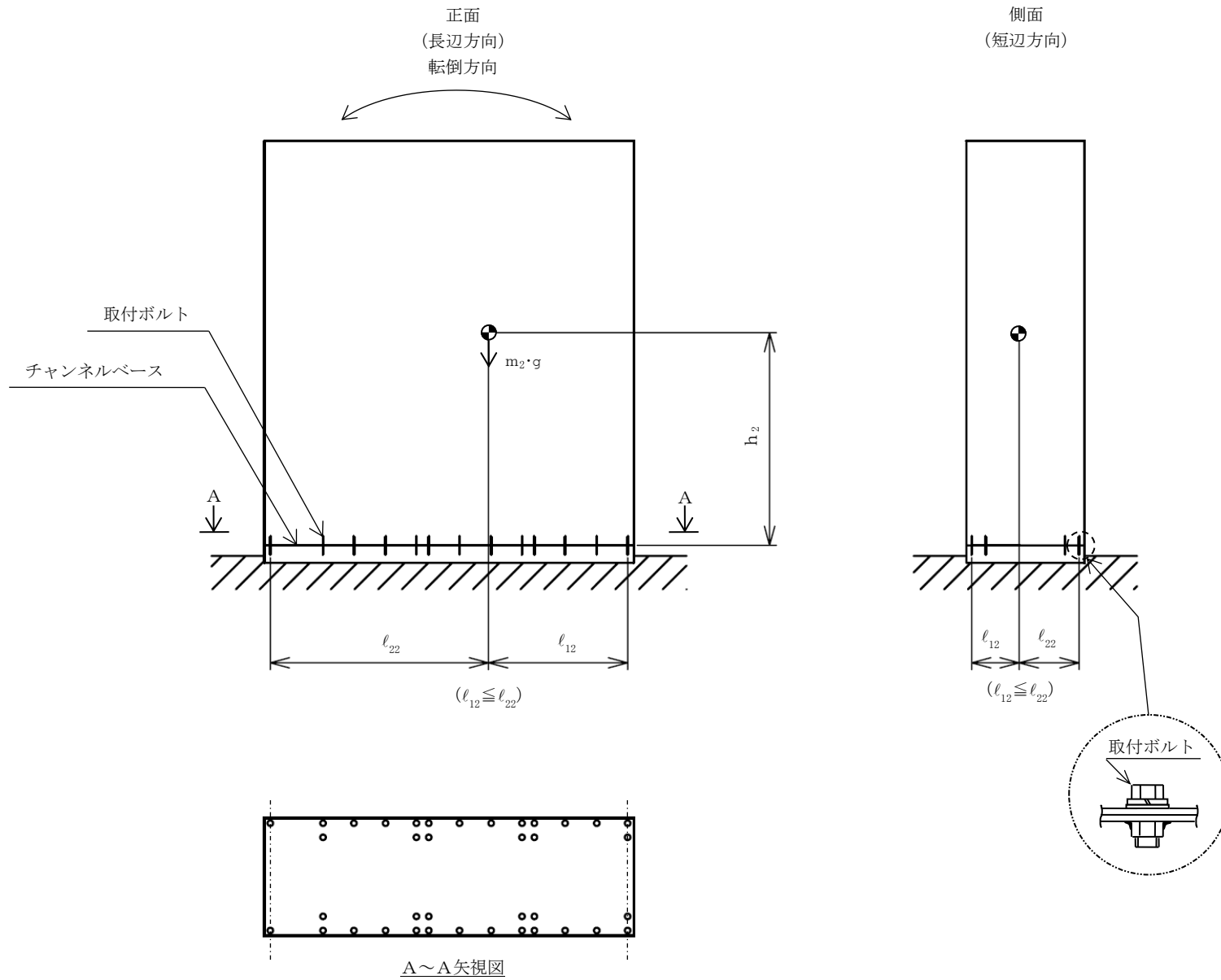
すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣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
SA1 コントロール センタ (枠番号 1~4)	水平方向	1.55	<input type="text"/>
	鉛直方向	0.97	<input type="text"/>

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
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。



【SA1 コントロールセンタ（枠番号 5～7）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	
SA1 コントロール センタ (枠番号 5～7)	常設耐震/防止 常設/緩和	低圧原子炉 代替注水建屋 EL 8.2*1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—	—	C _H =1.85*2	C _V =1.17*2	40

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 _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="checkbox"/>	1310	16 (M16)	201.1	18	215 (40mm<径≤100mm)	400 (40mm<径≤100mm)
取付ボルト (i=2)	<input type="checkbox"/>	1210	16 (M16)	201.1	26	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} * (mm)	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)	270	340	5	—	258	—	長辺方向
	525	915	2				
取付ボルト (i=2)	270	340	9	—	280	—	長辺方向
	520	910	4				

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)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=51$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=22$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

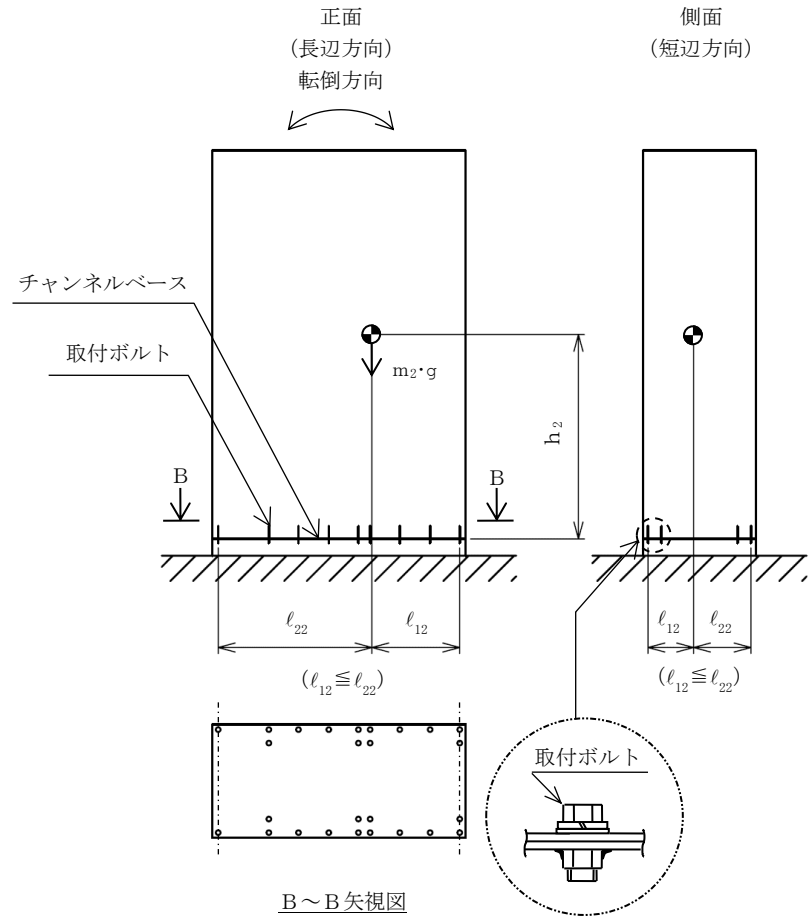
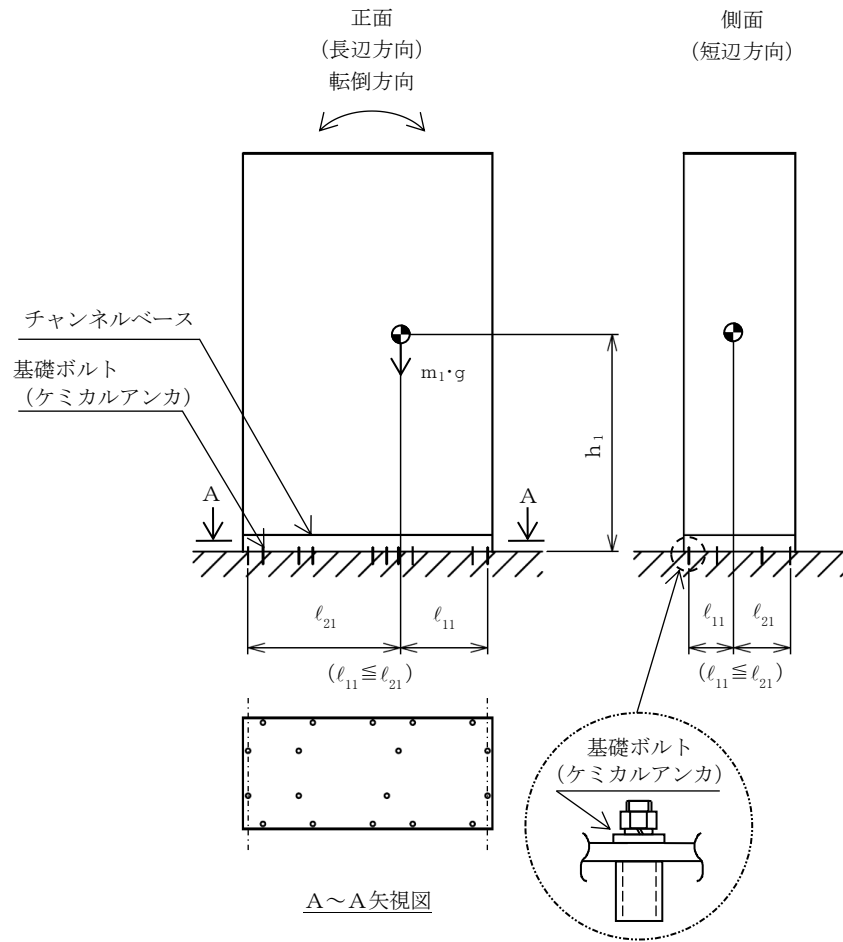
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
SA1 コントロール センタ (枠番号 5~7)	水平方向	1.55	<input type="text"/>
	鉛直方向	0.97	<input type="text"/>

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

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。



【SA2 コントロールセンタ（枠番号 1～4）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

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	
SA2 コントロール センタ (枠番号 1～4)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL 34.8*1	□	□	—	—	C _H =2.07*2	C _V =2.39*2	40

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)	□	1310	16 (M16)	201.1	32	215 (40mm<径≤100mm)	400 (40mm<径≤100mm)
取付ボルト (i=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	38	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} * (mm)	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)	270	340	11	—	258	—	長辺方向
	785	1255	2				
取付ボルト (i=2)	270	340	13	—	280	—	長辺方向
	780	1250	4				

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)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=98$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

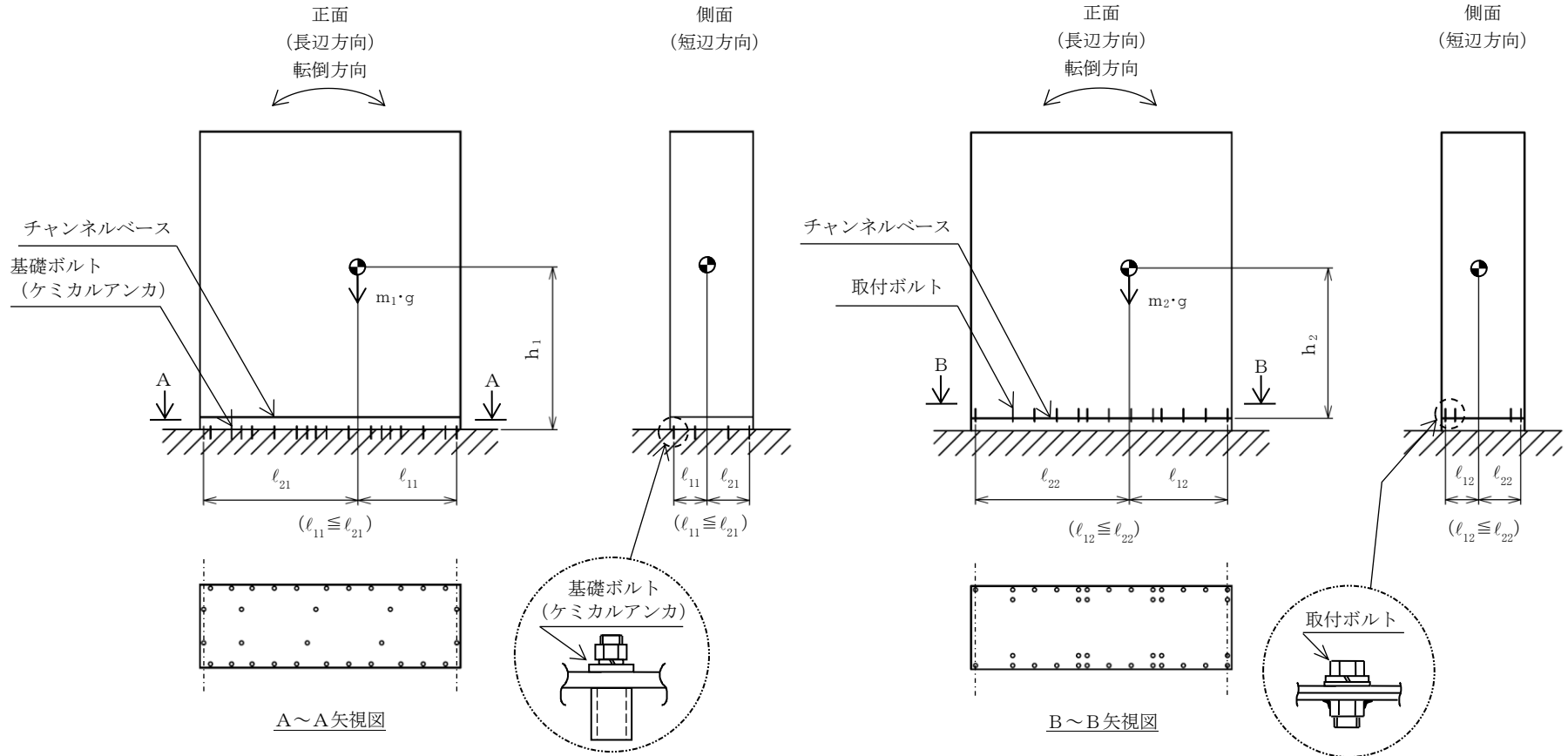
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

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
SA2 コントロール センタ (枠番号 1~4)	水平方向	1.73	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.98	<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。



【SA2 コントロールセンタ（枠番号 5～8）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	
SA2 コントロール センタ (枠番号 5～8)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL 34.8*1			—	—	C _H =2.07*2	C _V =2.39*2	40

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)		1310	16 (M16)	201.1	32	215 (40mm<径≤100mm)	400 (40mm<径≤100mm)
取付ボルト (i=2)		1210	16 (M16)	201.1	38	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

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)	270	340	11	—	258	—	長辺方向
	785	1255	2				
取付ボルト (i=2)	270	340	13	—	280	—	長辺方向
	780	1250	4				

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)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=98$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=161$

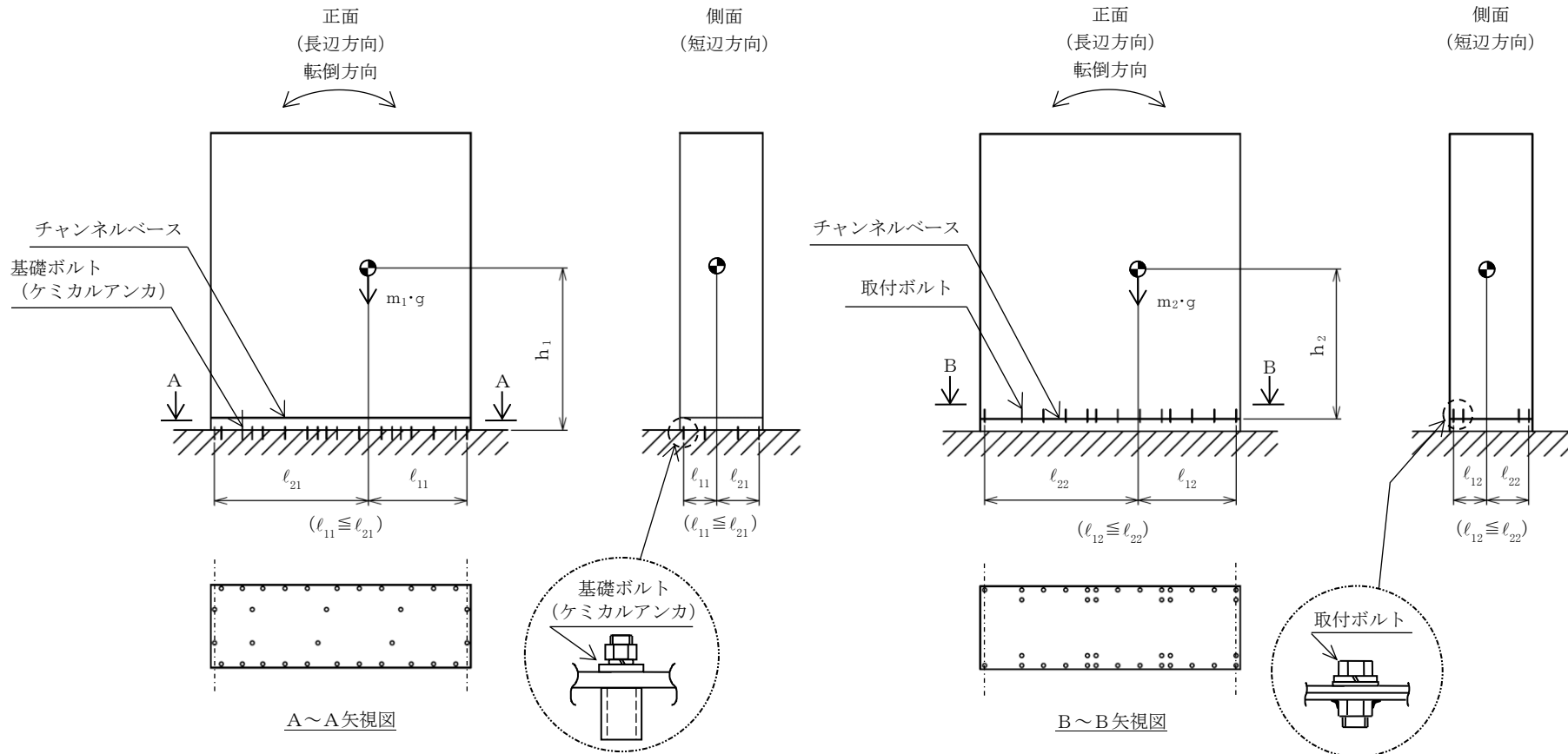
すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣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
SA2 コントロール センタ (枠番号 5~8)	水平方向	1.73	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.98	<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。



VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性に関する説明書

VI-2-10-2-2-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の
地震応答計算書

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 解析方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 解析方法	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	14
3.2.1 施設	14
3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき	15
3.2.3 減衰定数	16
3.2.4 解析ケース	16
3.3 荷重及び荷重の組合せ	17
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	17
3.3.2 荷重	17
3.3.3 荷重の組合せ	18
3.4 入力地震動	19
3.4.1 ②-②断面	20
3.4.2 ③-③断面	32
3.5 解析モデル及び諸元	46
3.5.1 解析モデル	46
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	48
3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値	48
3.5.4 地下水位	49
4. 解析結果	50
4.1 ②-②断面の解析結果	50
4.2 ③-③断面の解析結果	65

1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答を抽出するものである。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）のうち被覆コンクリート壁については、2次元地震応答解析により地震時荷重を算定し、その荷重を3次元構造解析モデルに作用させて耐震評価を実施する。地震応答解析により抽出する応答値は、基礎地盤に発生する接地圧並びに3次元構造解析モデルに作用させる地震時土圧及び慣性力である。

また、浸水防止設備（屋外排水路逆止弁）及び津波防護施設（防波壁通路防波扉（1号機北側）、防波壁通路防波扉（2号機北側））が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図を図 2-1 に示す。

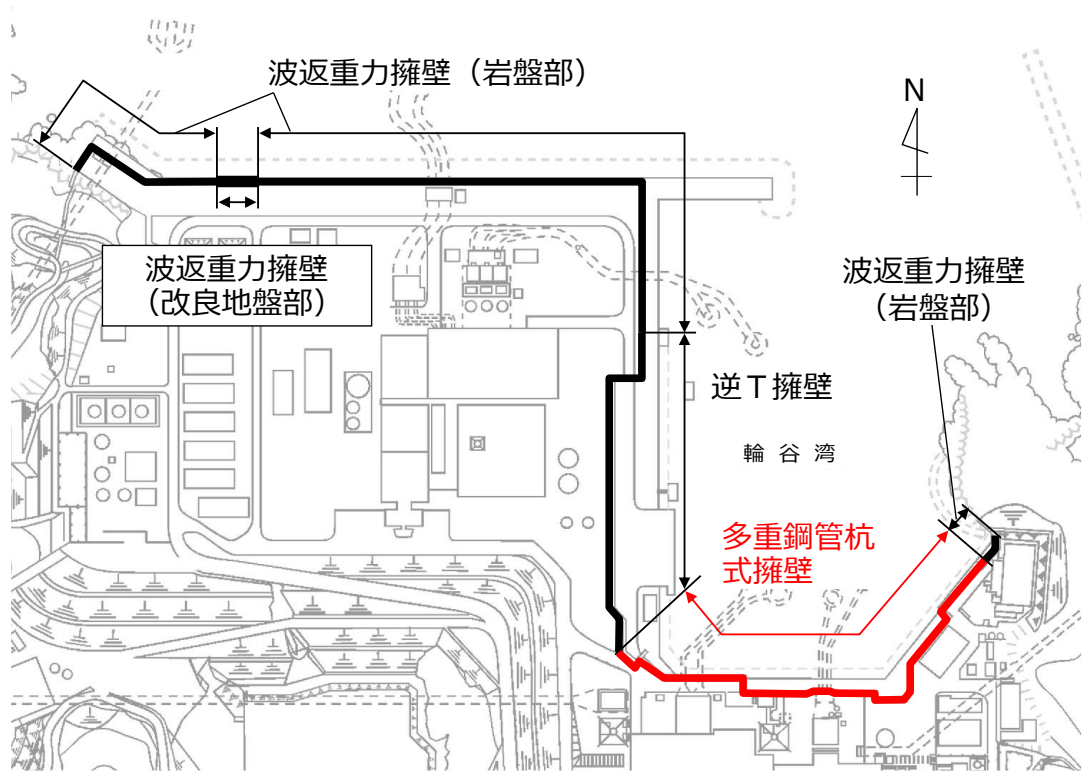
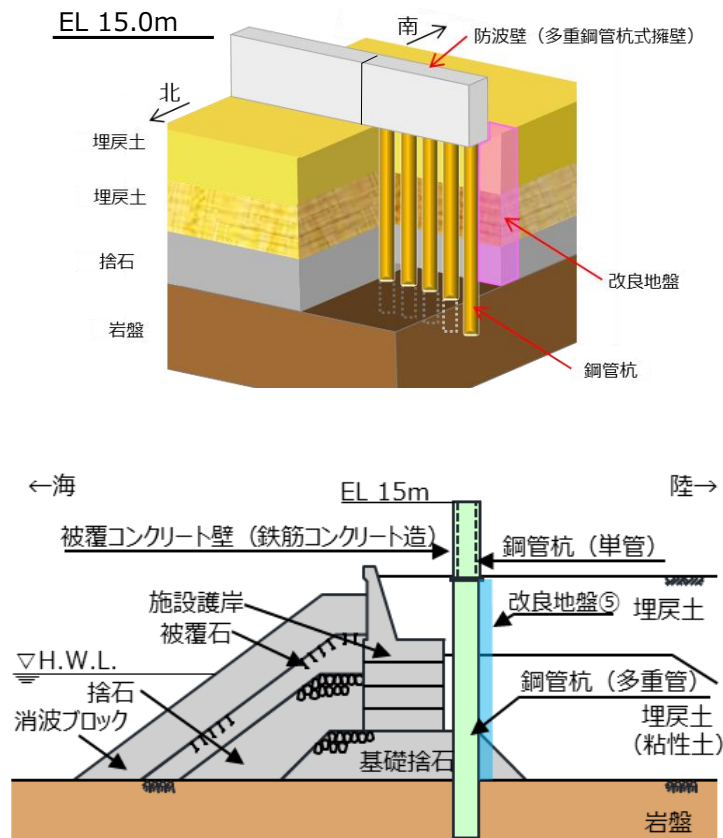


図 2-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図

2.2 構造概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、岩盤に支持される鋼管を多重化して鋼管内をコンクリート又はモルタルで充填した多重鋼管による杭基礎構造と、鋼管及び鉄筋コンクリート造の被覆コンクリート壁による上部構造から構成される。隣接する構造との境界には、止水性を保持するための止水目地を設置する。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図を図 2-2 に、構造図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。



(正面図及び断面図)

図 2-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

(単位:mm)

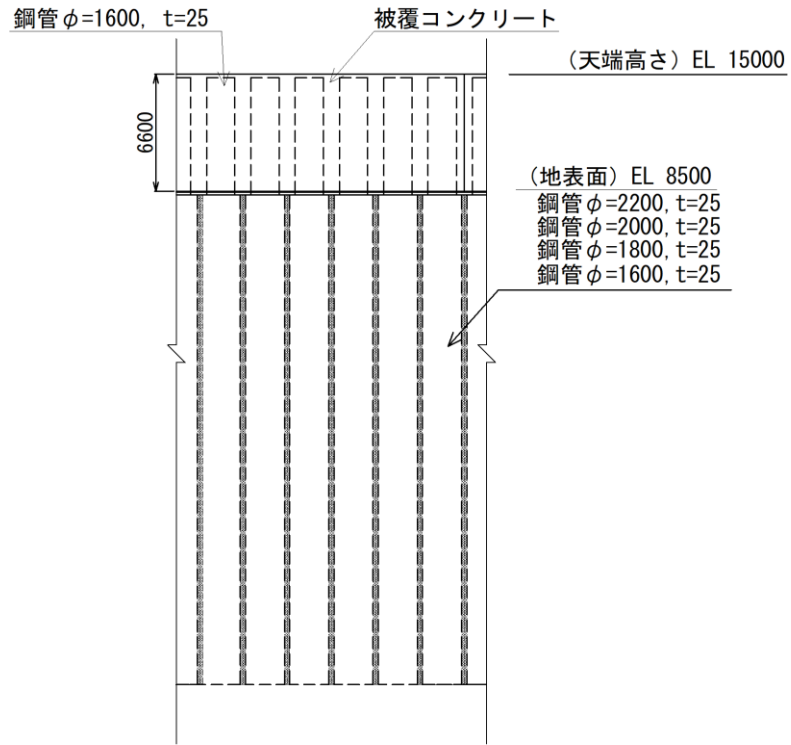


図 2-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（正面図）

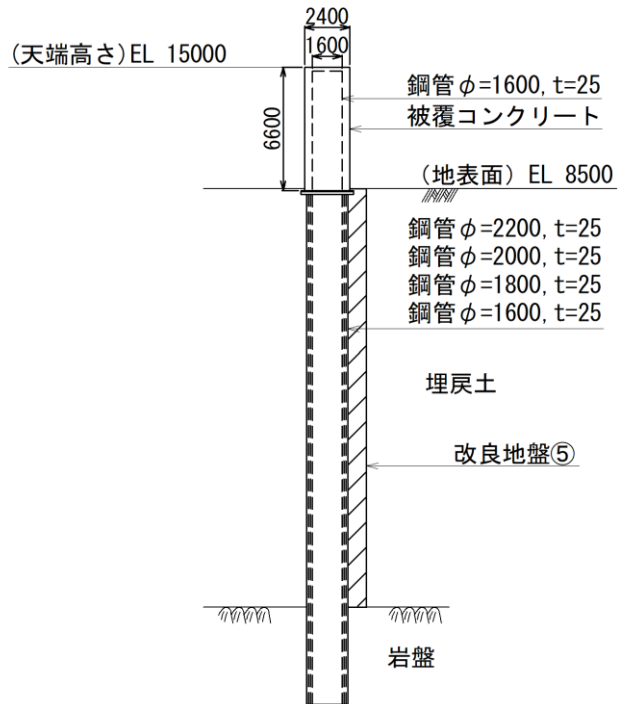


図 2-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（断面図）

2.3 解析方針

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき、基準地震動 S_s 及び津波と余震の重畳を考慮する際（以下「重畳時」という。）に用いる余震荷重として弾性設計用地震動 S_d-D に対して地震応答解析を実施する。

図 2-5 に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析フローを示す。

地震応答解析は、「2. 基本方針」に基づき、「3.1 評価対象断面」に示す断面において、「3.2 解析方法」に示す水平地震動と鉛直地震動の同時加振による 2 次元有限要素法を用いた時刻歴応答解析により行うこととし、地盤物性のばらつきを適切に考慮する。

2 次元有限要素法による時刻歴応答解析は、「3.3 荷重及び荷重の組合せ」及び「3.5 解析モデル及び諸元」に示す条件を基に、「3.4 入力地震動」により設定する入力地震動を用いて実施する。

地震応答解析による応答加速度は、浸水防止設備（屋外排水路逆止弁）及び津波防護施設（防波壁通路防波扉（1号機北側）、防波壁通路防波扉（2号機北側））の設計震度設定に用い、地震時土圧、慣性力及び基礎地盤の接地圧は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価に用いる。

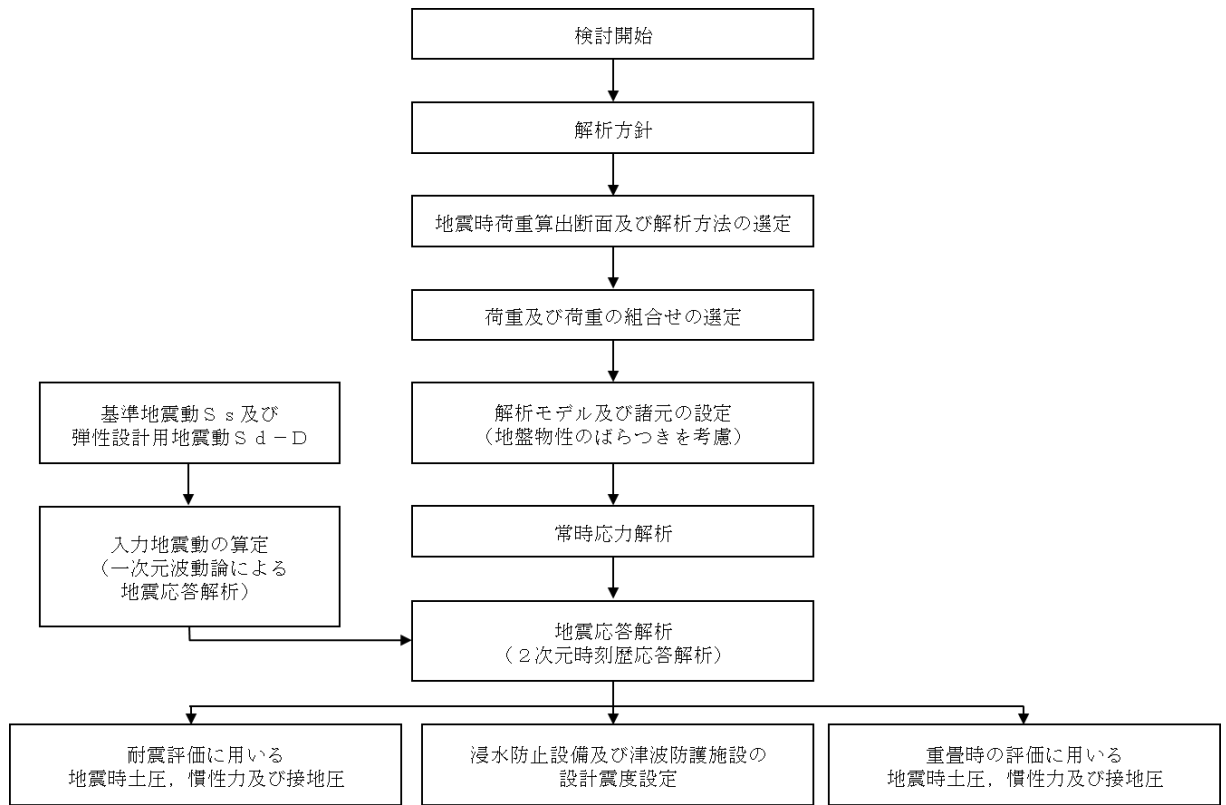


図 2-5 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の地震応答解析フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会 平成14年3月)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 (日本電気協会)
- ・松江市建築基準法施行細則 (平成17年3月31日松江市規則第234号)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解析 ((社)日本港湾協会, H19年版)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター, 平成19年3月)

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象断面は，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象断面位置図を図 3-1 に，縦断面図を図 3-2 に，防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各区分における横断面図を図 3-3～図 3-8 に示す。以下の理由から②-②断面，③-③断面及び④-④断面を評価対象断面として選定する。

- ・②-②断面は，防波壁が施設護岸の背面に設置されている断面のうち，岩盤上面深さが最も深く，改良地盤④が設置されていることから評価対象断面に選定した。
- ・③-③断面は，防波壁が施設護岸の前面に設置されている断面のうち，岩盤上面の深さが最も深いことから，選定した。
- ・④-④断面は，取水管を横断するため，多重鋼管杭の杭間隔が広いことから，選定した。

本資料では，防波壁が施設護岸の背面に設置されている断面である②-②断面と防波壁が施設護岸の前面に設置されている断面である③-③断面の地震応答解析を実施する。

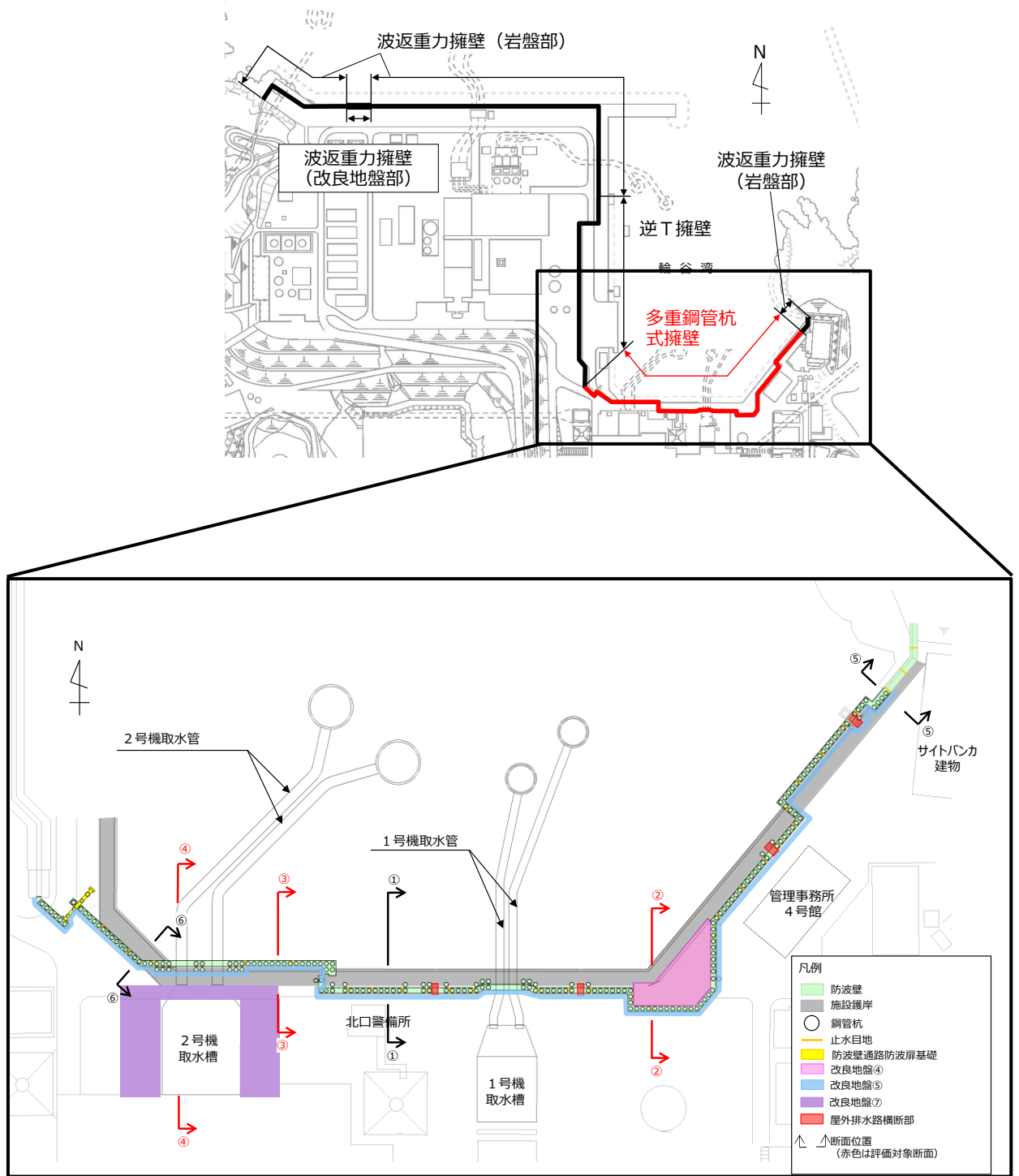


図 3-1 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の評価対象断面位置図

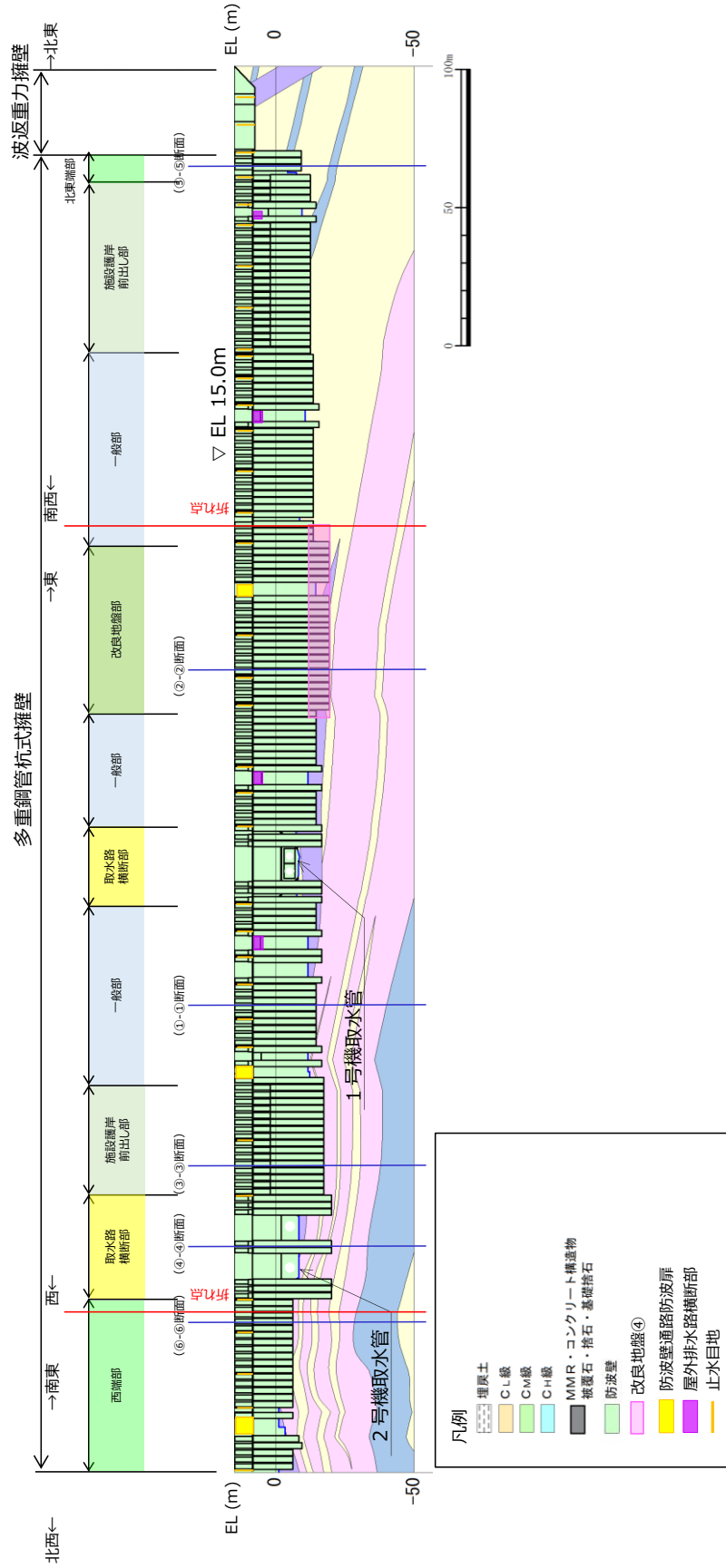


図 3-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断面図

(単位 : m)

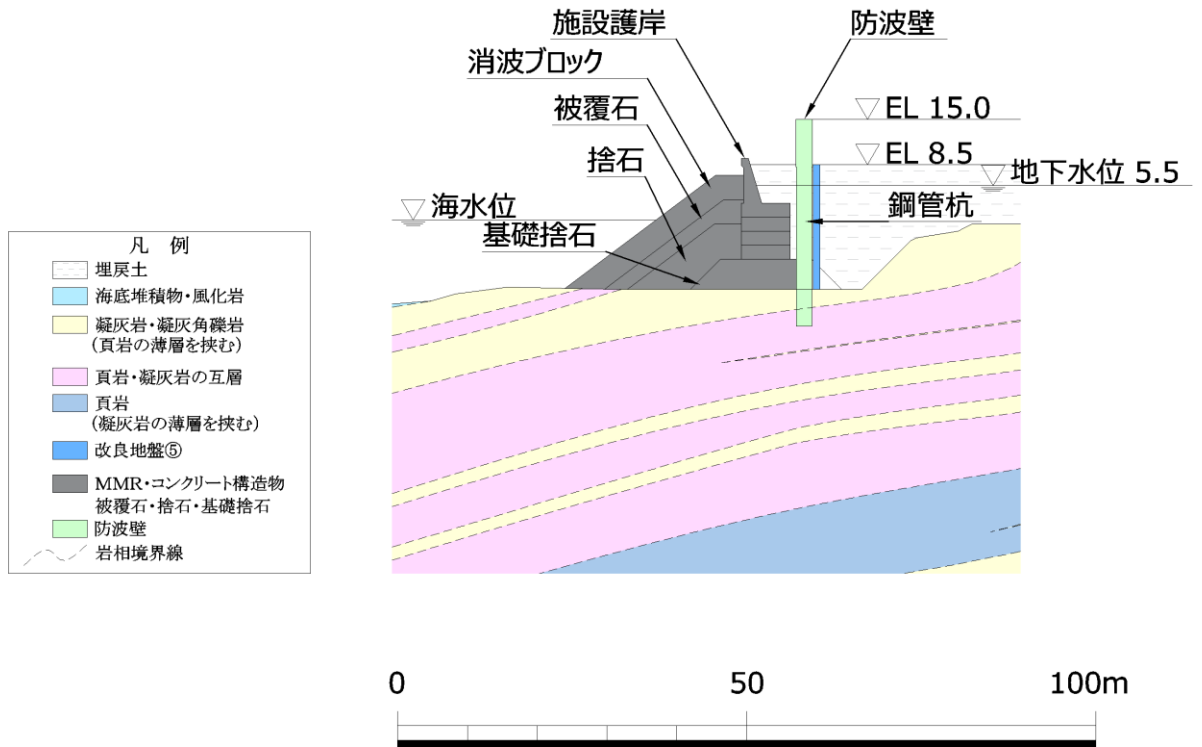


図 3-3 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断図 (①-①断面)

(単位 : m)

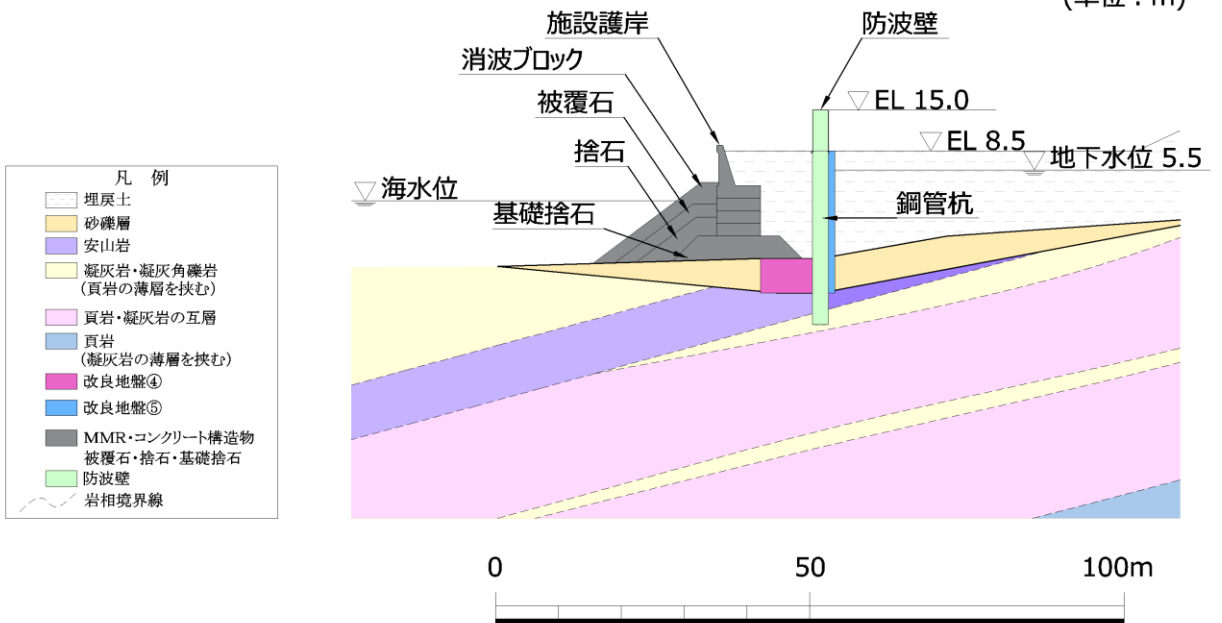


図 3-4 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断図 (②-②断面)

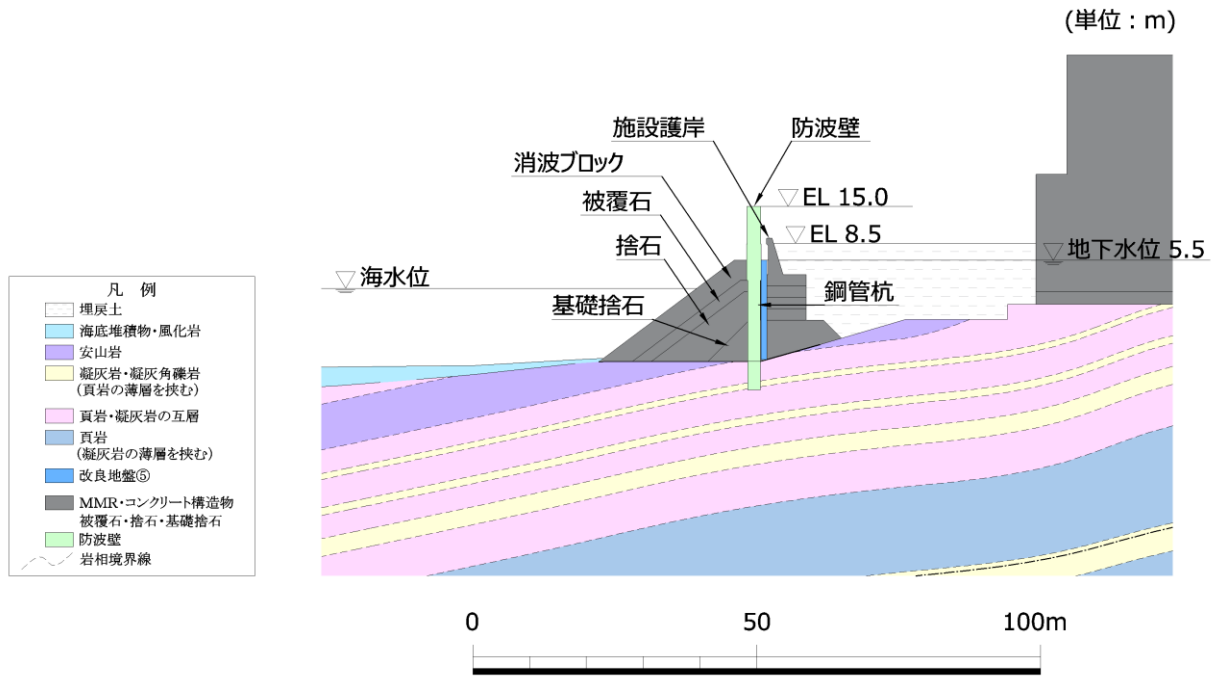


図 3-5 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断図（③-③断面）

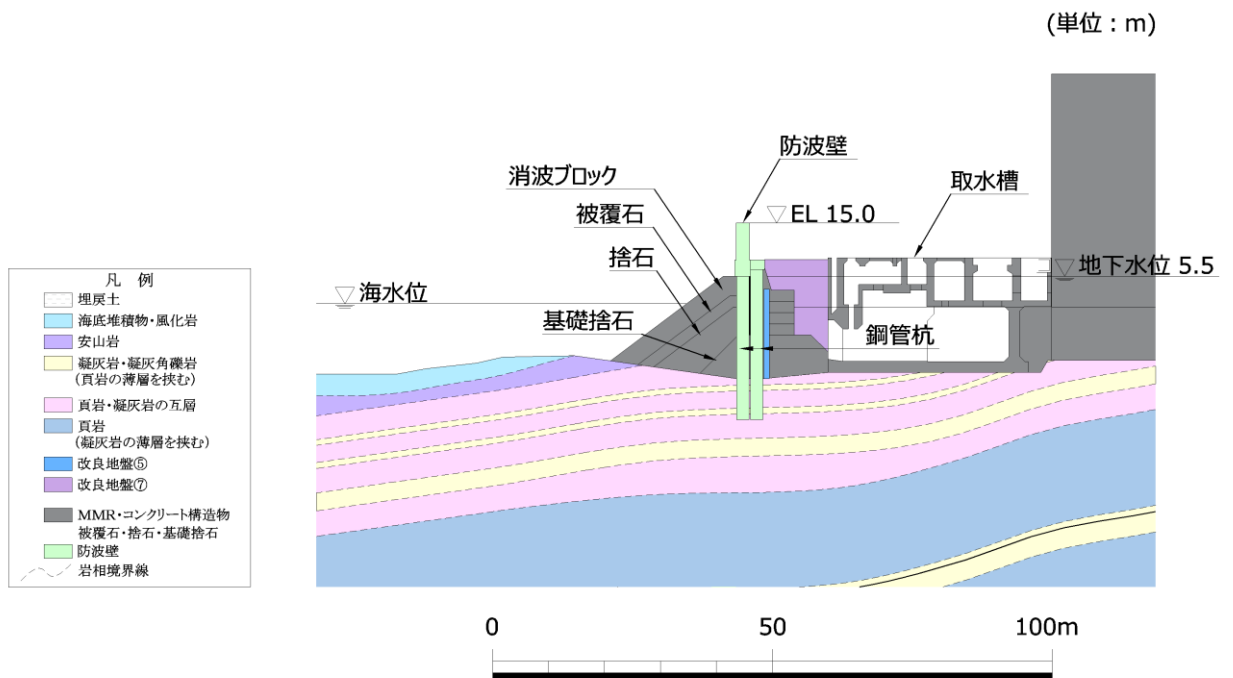


図 3-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断図（④-④断面）

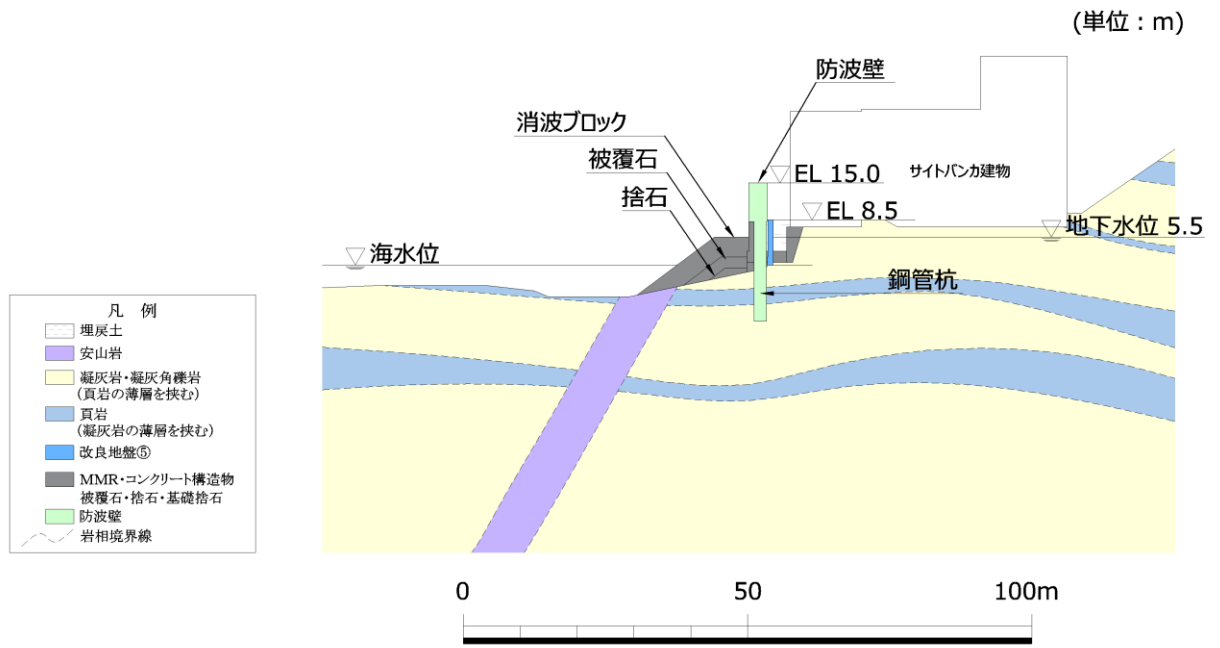


図 3-7 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断図 (⑤-⑤断面)

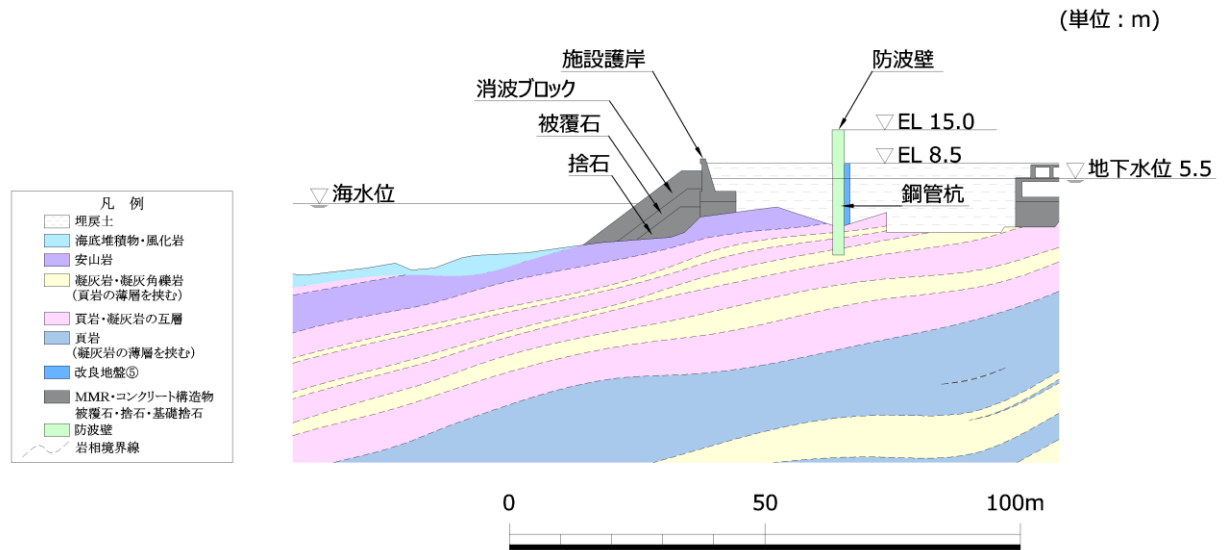


図 3-8 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の横断図 (⑥-⑥断面)

3.2 解析方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素でモデル化する。また、地盤については、地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

3.2.1 施設

鋼管杭は、線形はり要素によりモデル化する。

被覆コンクリート壁のモデル化は行わず、質量として自重を考慮する。

3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表3-1に示す解析ケースにおいて考慮する。

図3-2～図3-8に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 解析ケース」に示す。

表3-1 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰定数を考慮することとし，剛性比例型減衰を設定する。

3.2.4 解析ケース

耐震評価においては，すべての基準地震動 S_s に対し，解析ケース①（基本ケース）を実施する。すべての基準地震動 S_s に対して実施したケース①の解析において，各照査値が最も厳しい地震動を用いて，解析ケース②及び③を実施する。重畳時の評価においては， $S_d - D$ （++）の1ケースのみ実施する。耐震評価及び重畳時の評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価及び重畳時の評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 σ)を考慮した解析ケース		地盤物性のばらつき (-1 σ)を考慮した解析ケース	
地盤物性		平均値		平均値+1 σ		平均値-1 σ	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し，ケース①（基本ケース）を実施し，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して，最も厳しい（許容限界に対する裕度が最も小さい）地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合には，照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。 重畳時の評価においては， $S_d - D$ （++）の1ケースのみ実施する。			
		-+*	○				
		+ -*	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○				
-+*		○					
$S_d - D$	++*	○	-	-			

注記*：地震動の位相について，（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 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」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重(G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重の自重を考慮する。

(2) 積雪荷重(P_s)

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。

積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重(P_k)

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

(4) 地震荷重(S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

(5) 余震荷重(S_d)

弾性設計用地震動S_d-Dによる荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

区分	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P _s + P _k + S _s
余震時 (S _d) *	G + P _s + P _k + S _d

注記* : 津波重畳時に用いる。

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

S_d : 余震荷重 (弾性設計用地震動 S_d - D)

3.4 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d-D を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 3-9 に入力地震動算定の概念図を、図 3-10～図 3-35 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

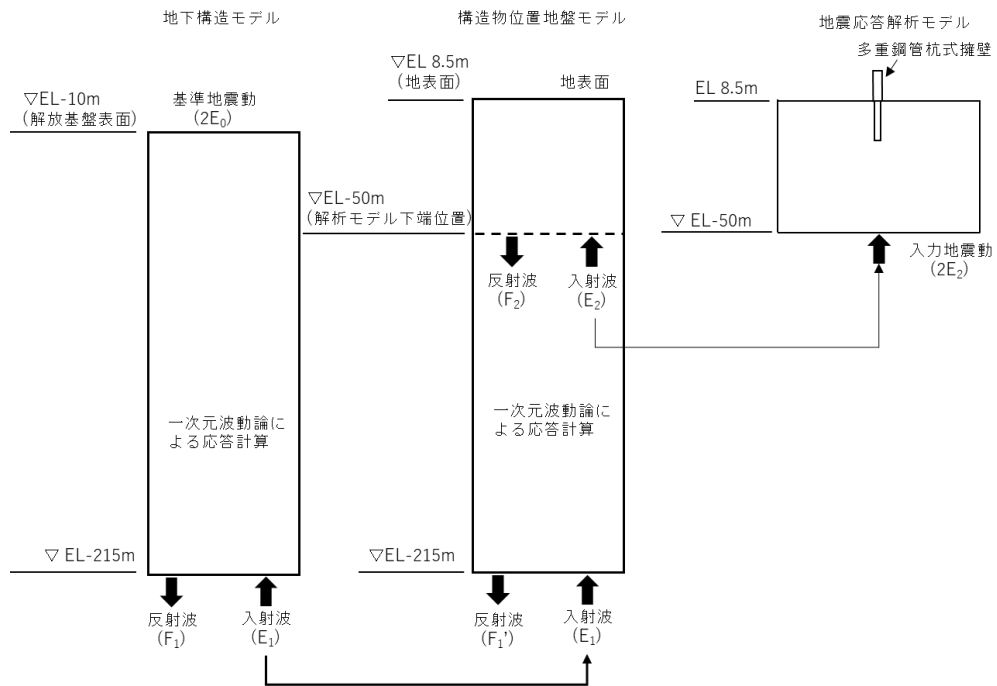
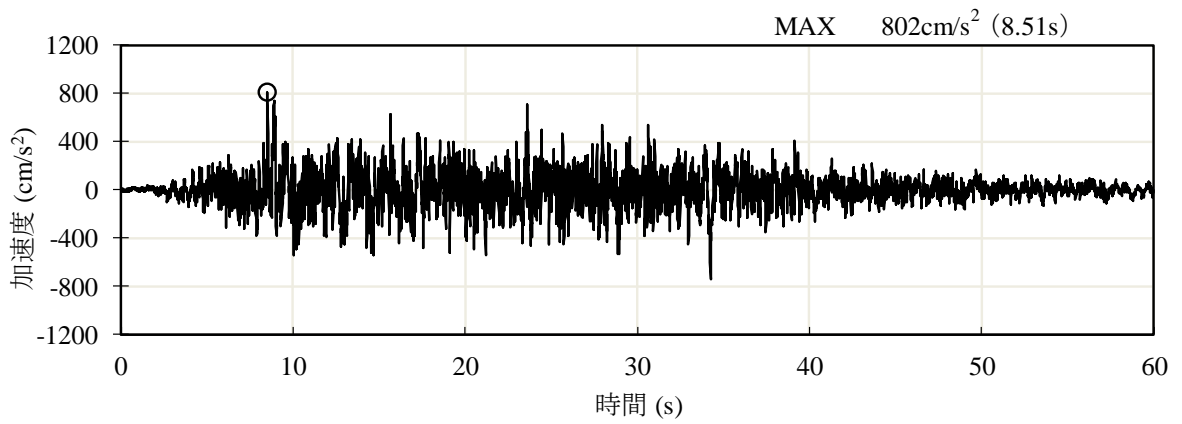
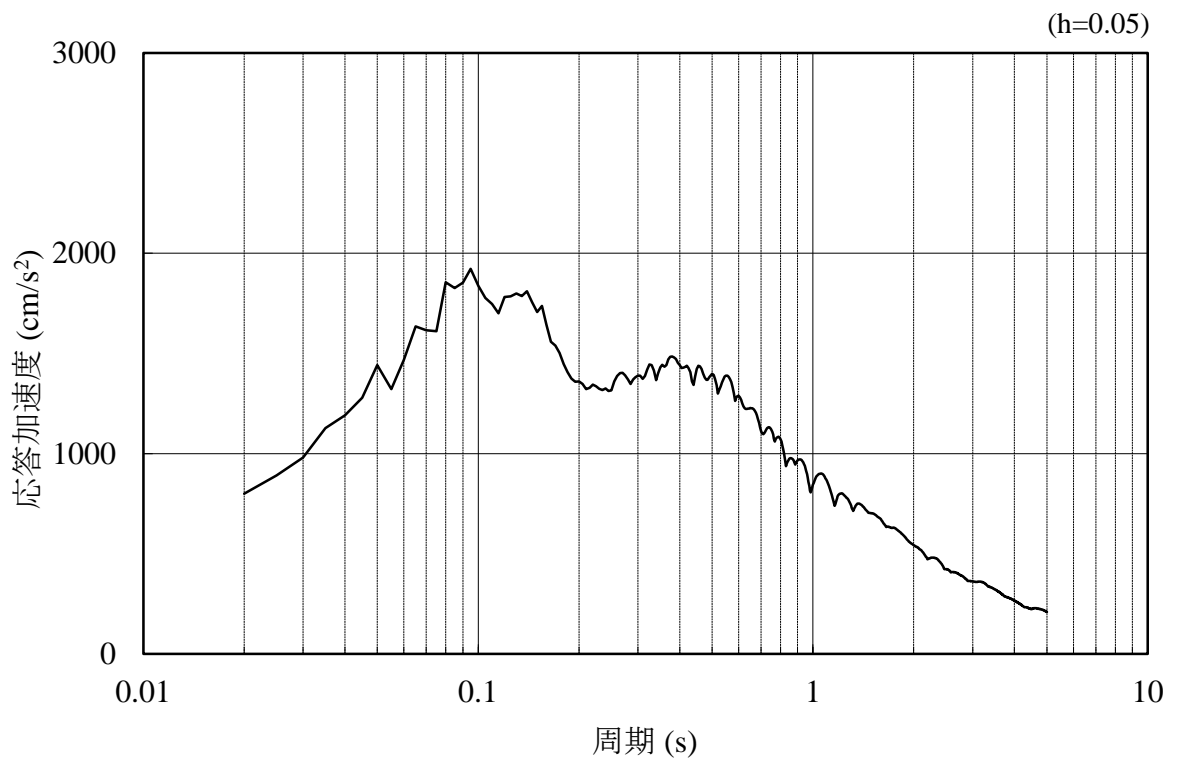


図 3-9 入力地震動算定の概念図

3.4.1 ②—②断面

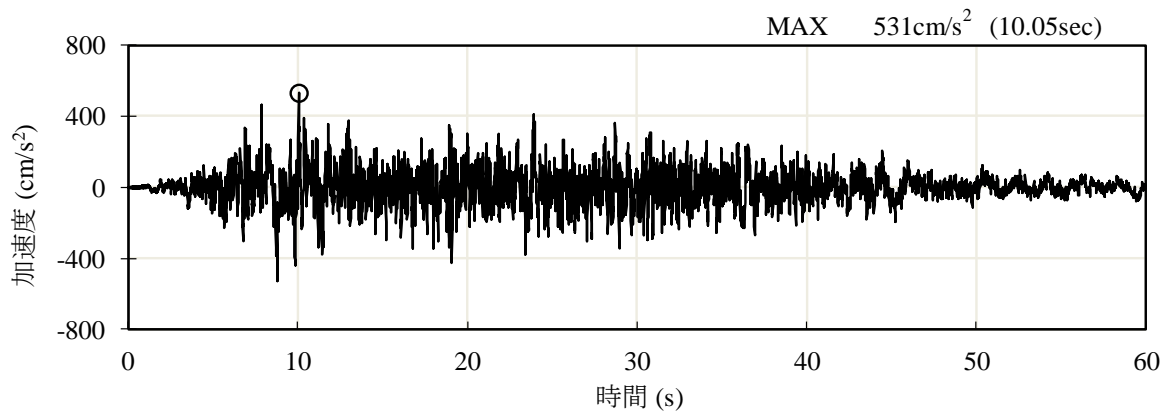


(a) 加速度時刻歴波形

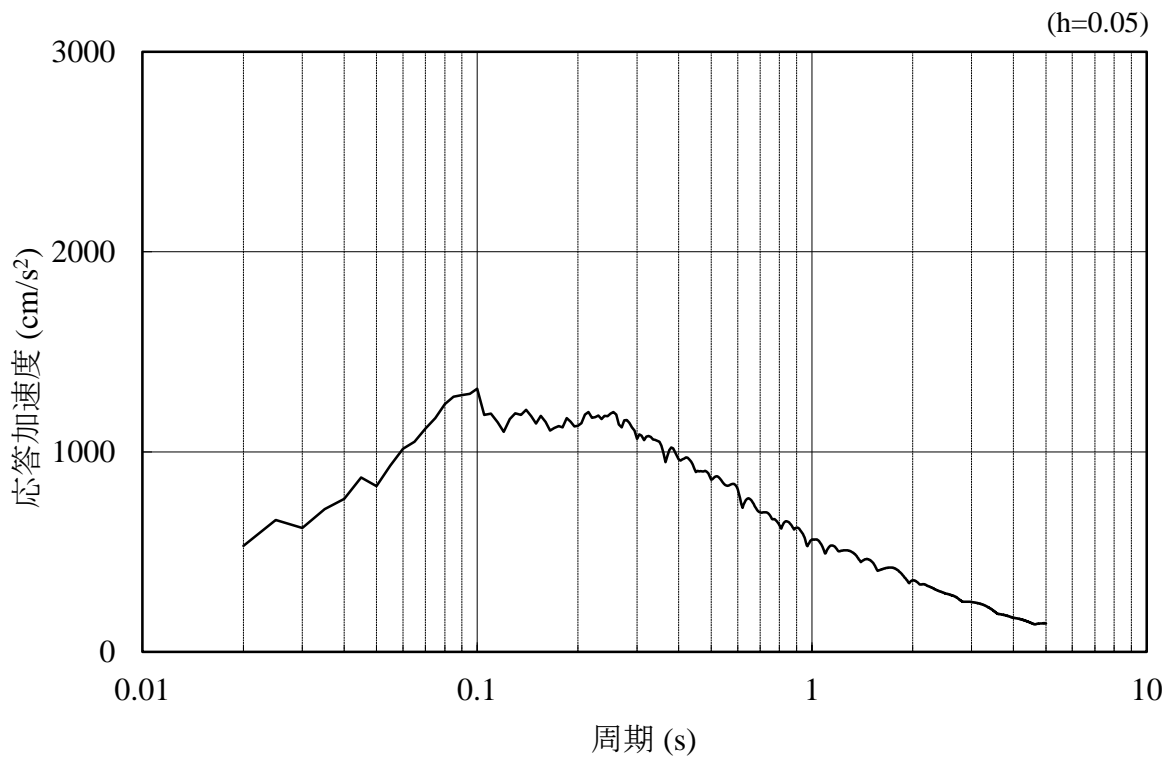


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

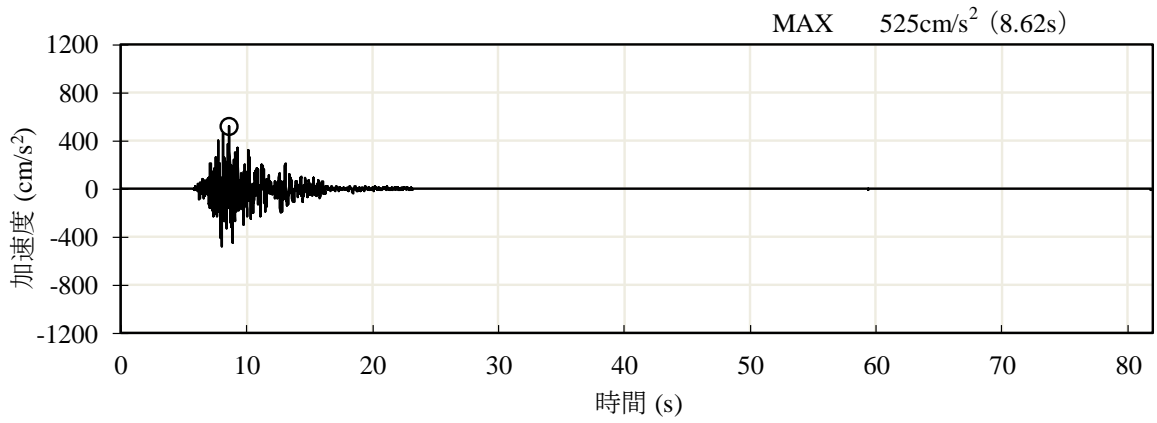


(a) 加速度時刻歴波形

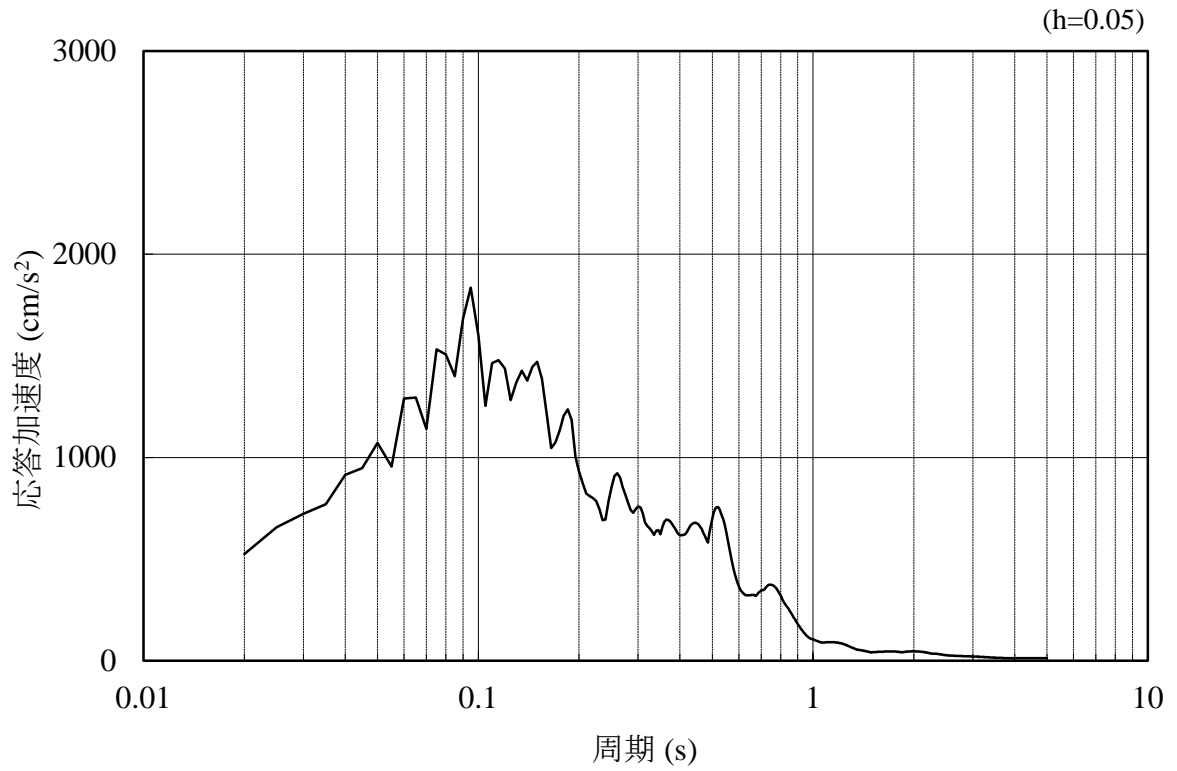


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

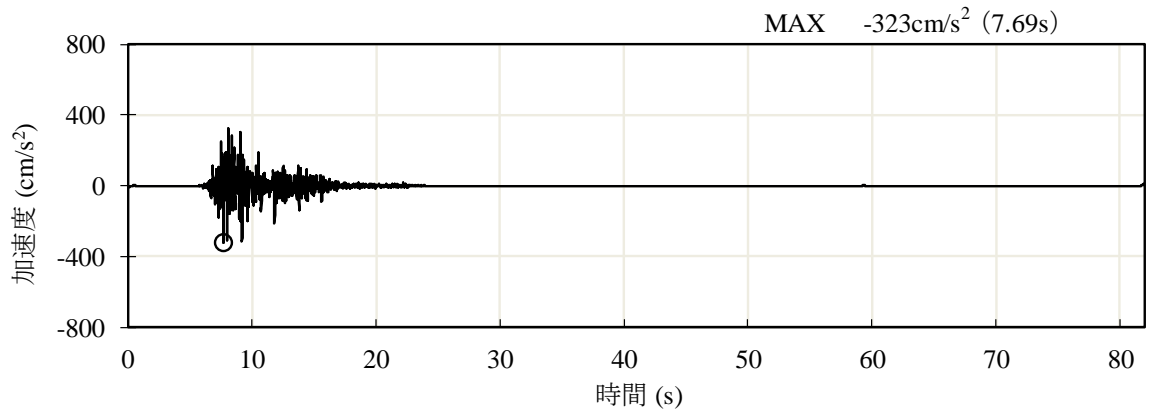


(a) 加速度時刻歴波形

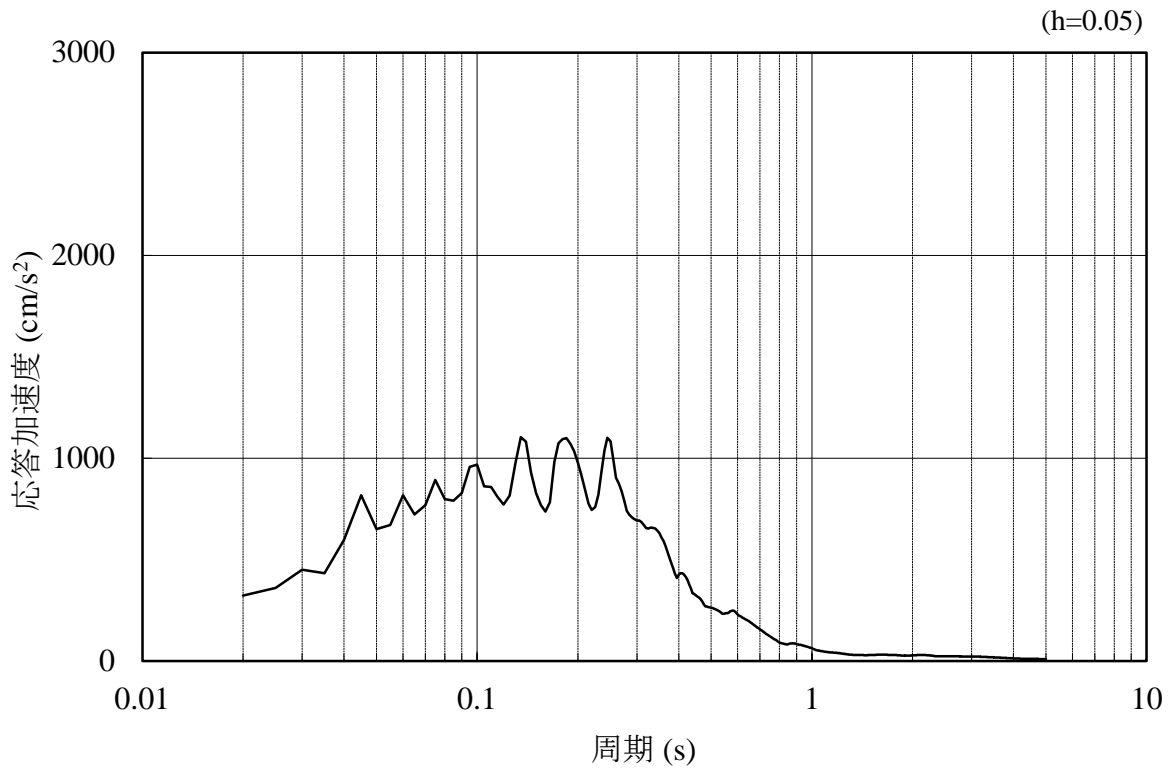


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1)

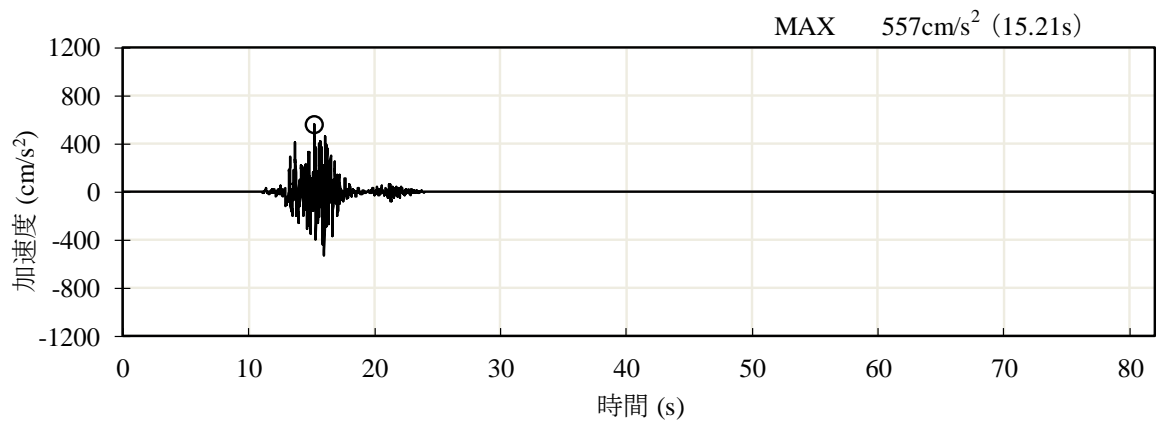


(a) 加速度時刻歴波形

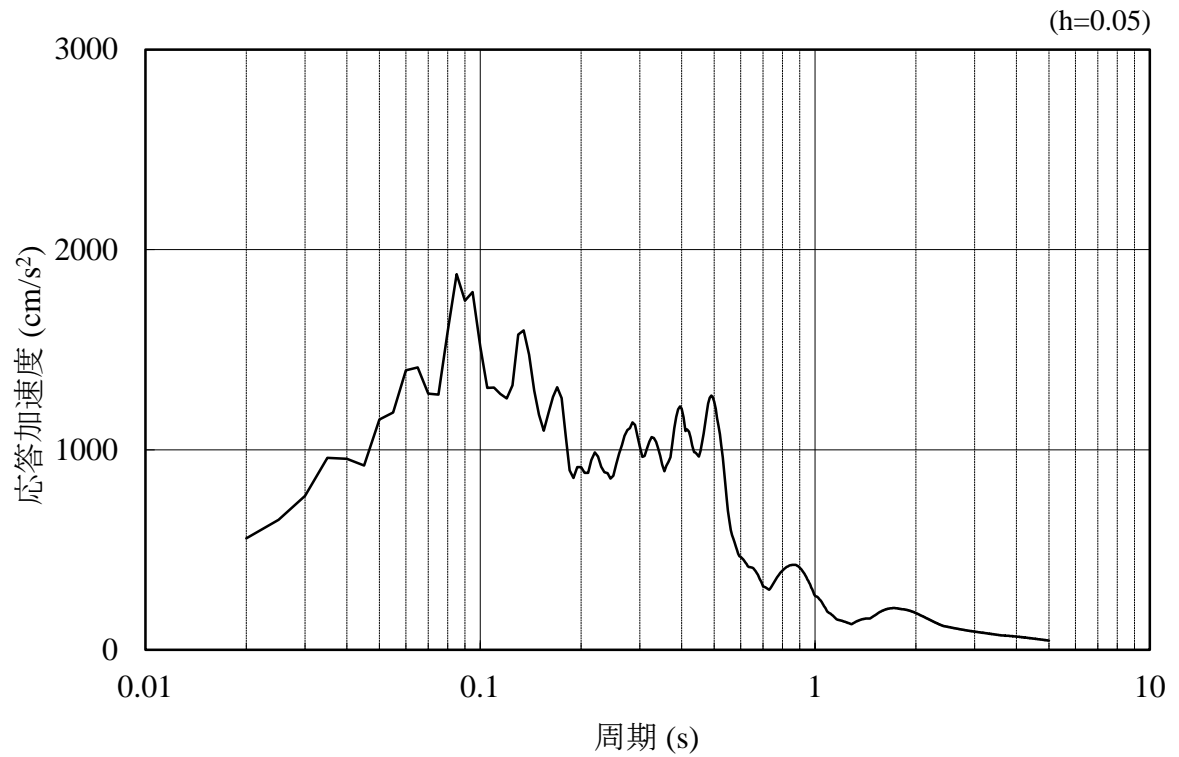


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

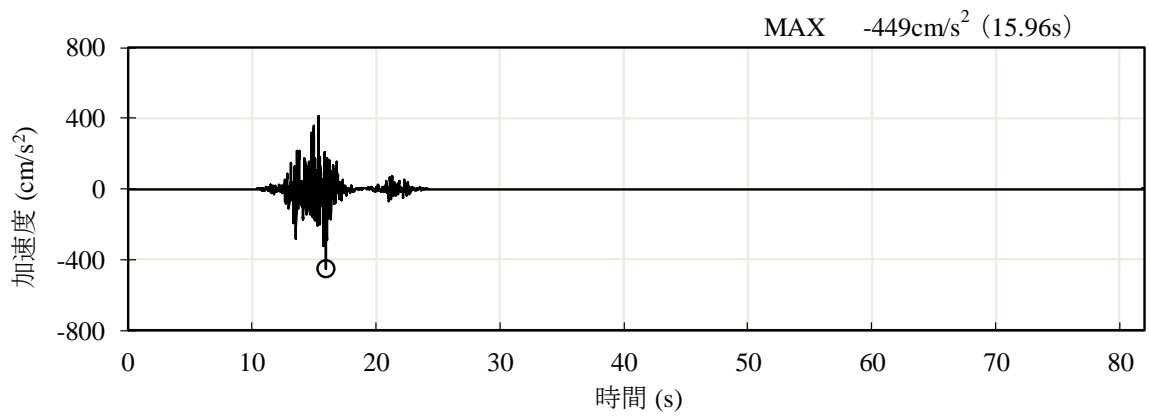


(a) 加速度時刻歴波形

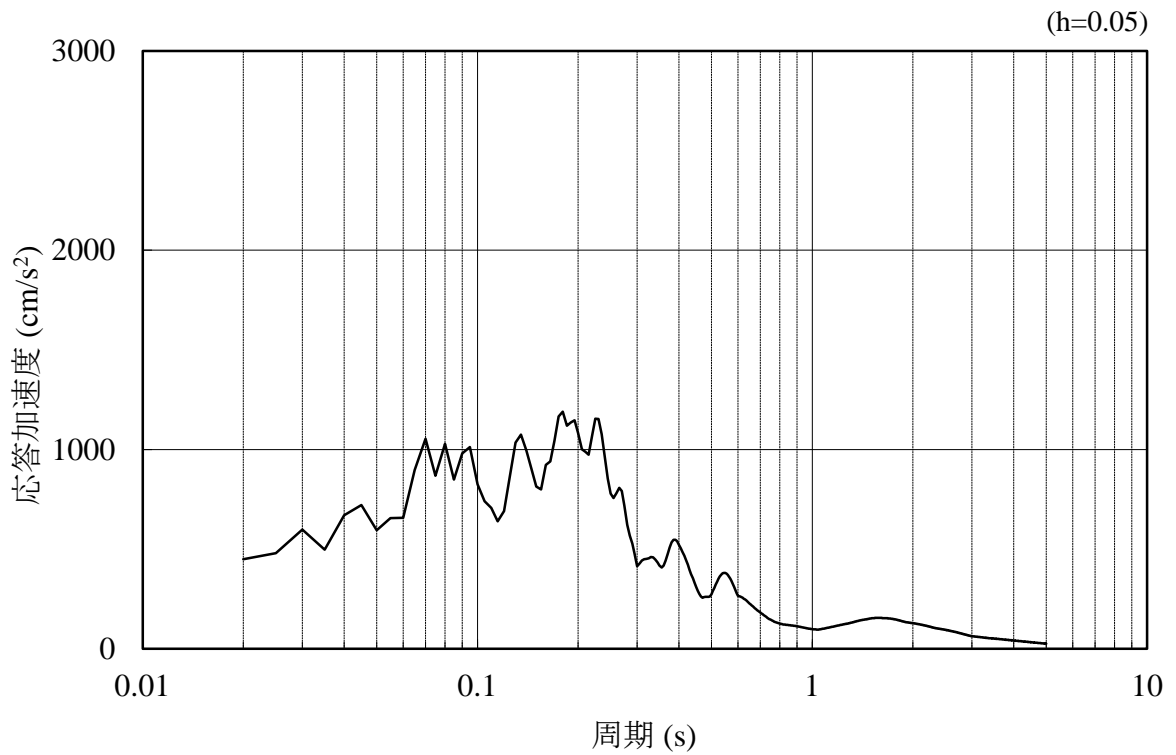


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 2)

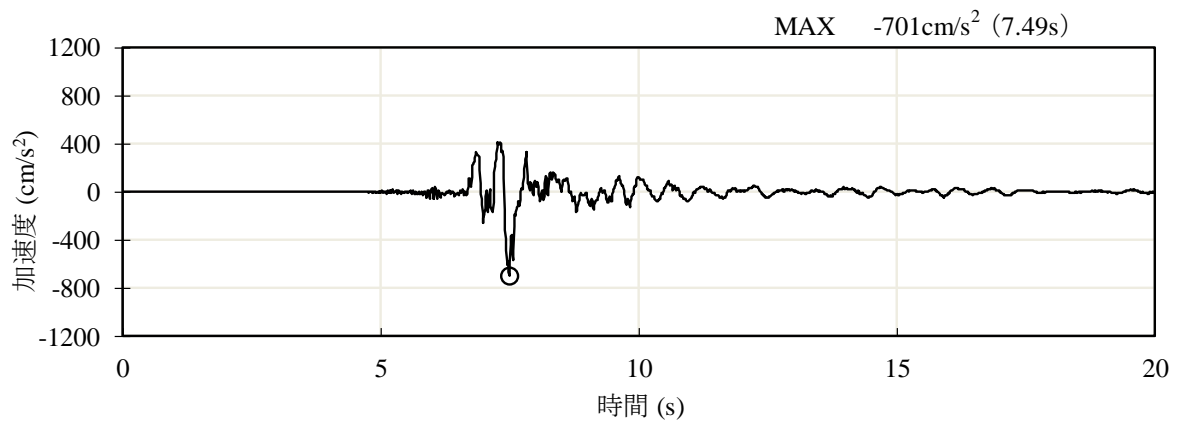


(a) 加速度時刻歴波形

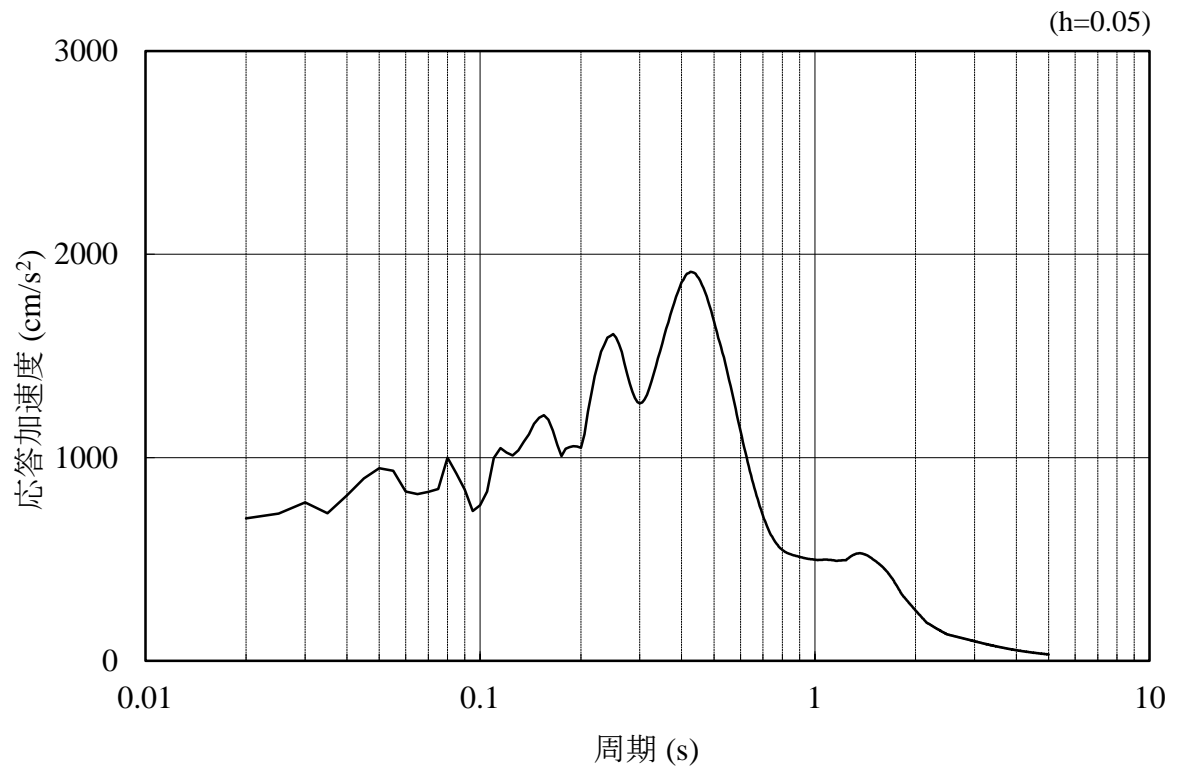


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

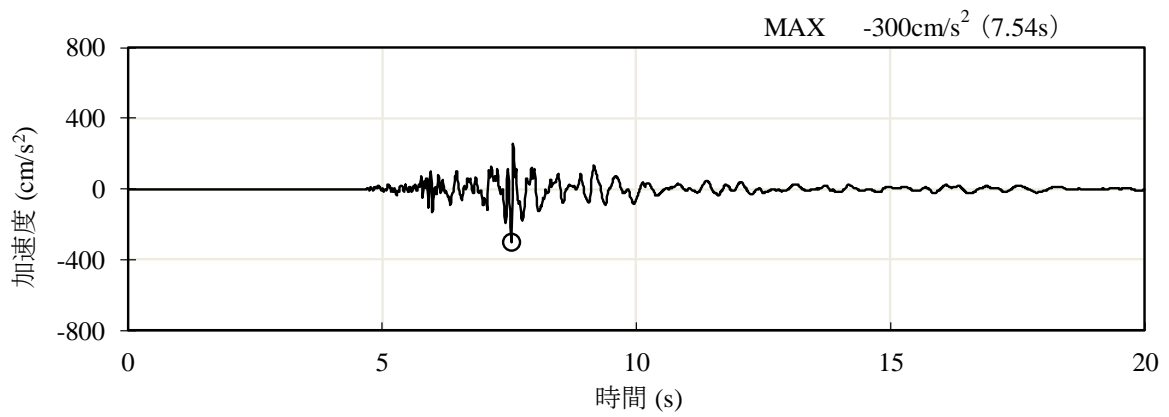


(a) 加速度時刻歴波形

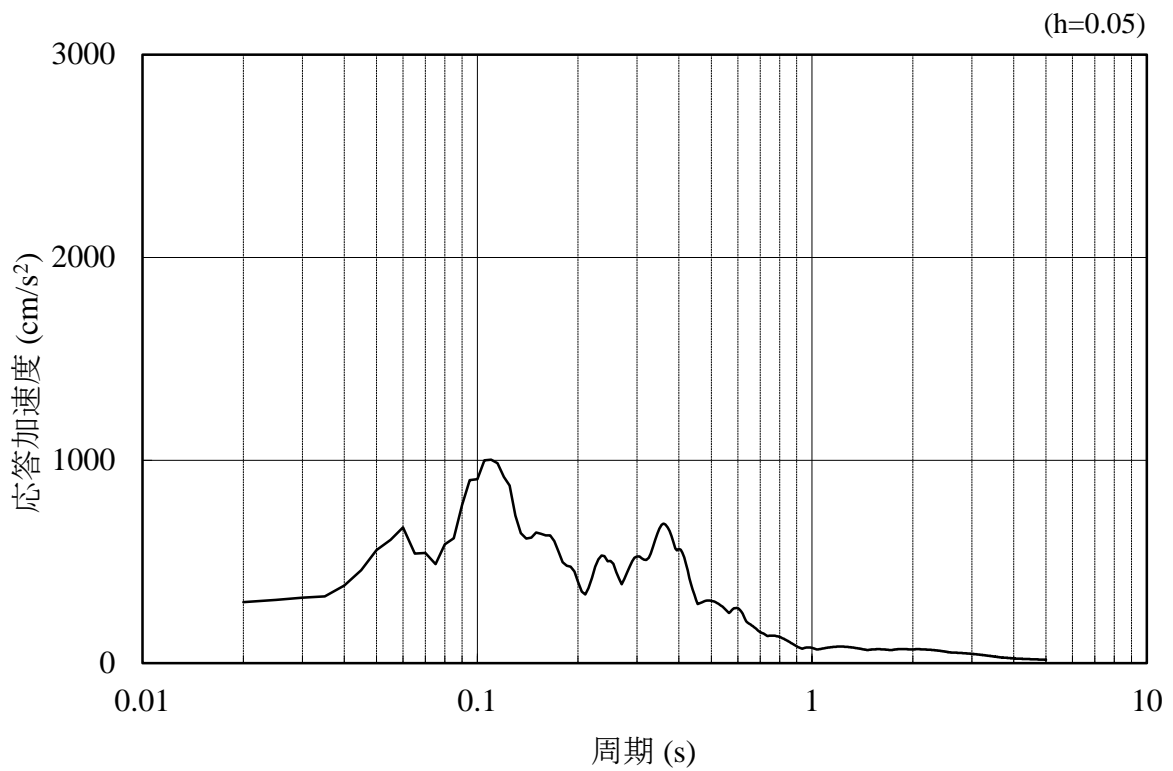


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

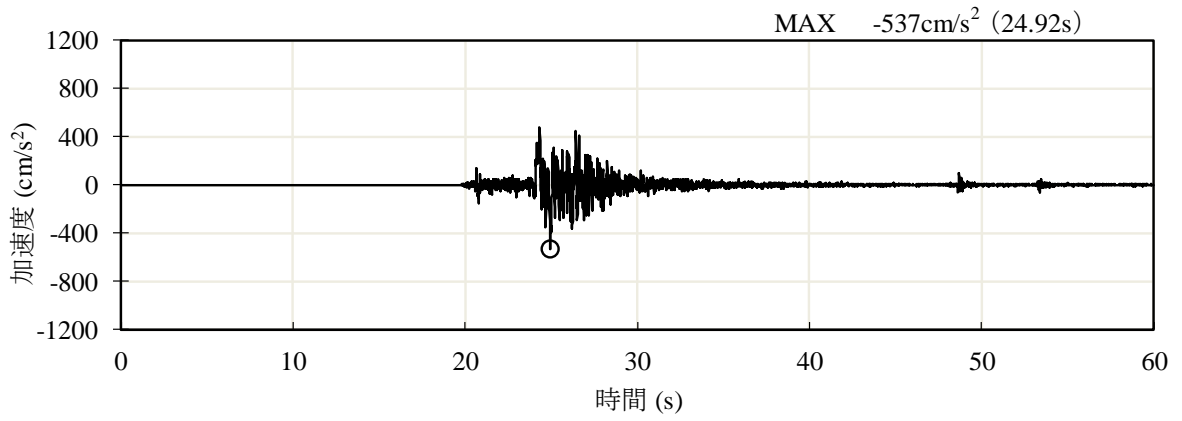


(a) 加速度時刻歴波形

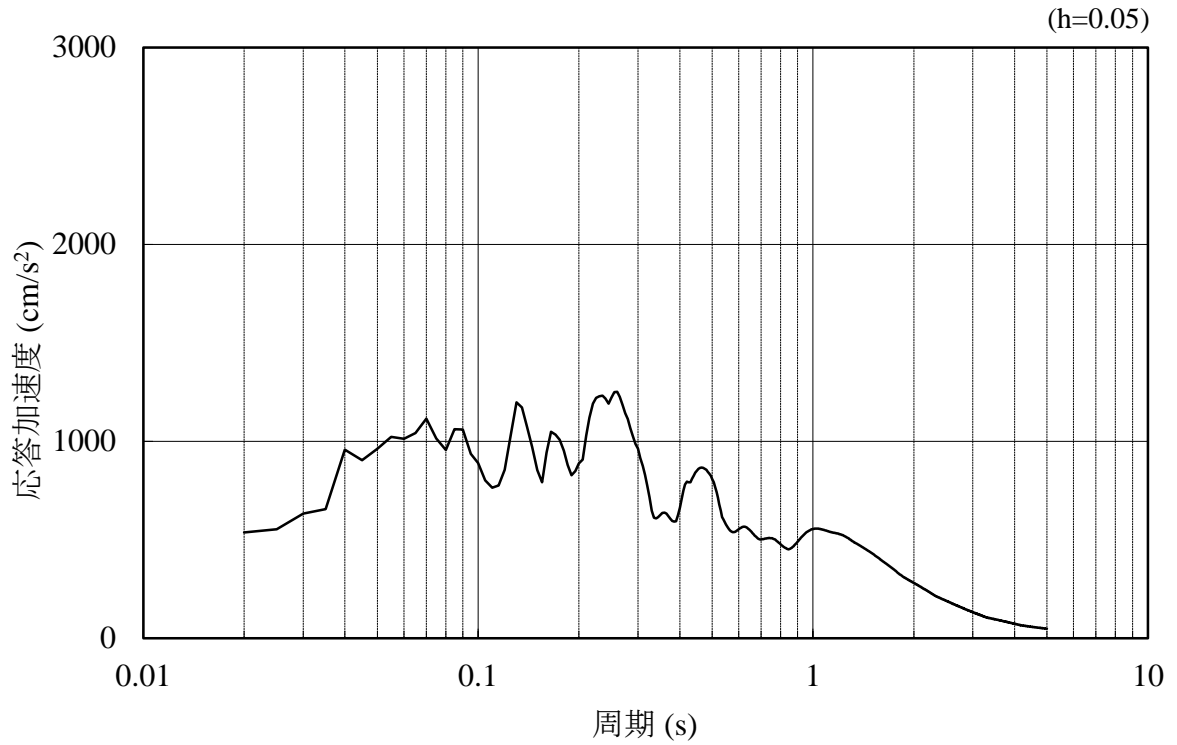


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

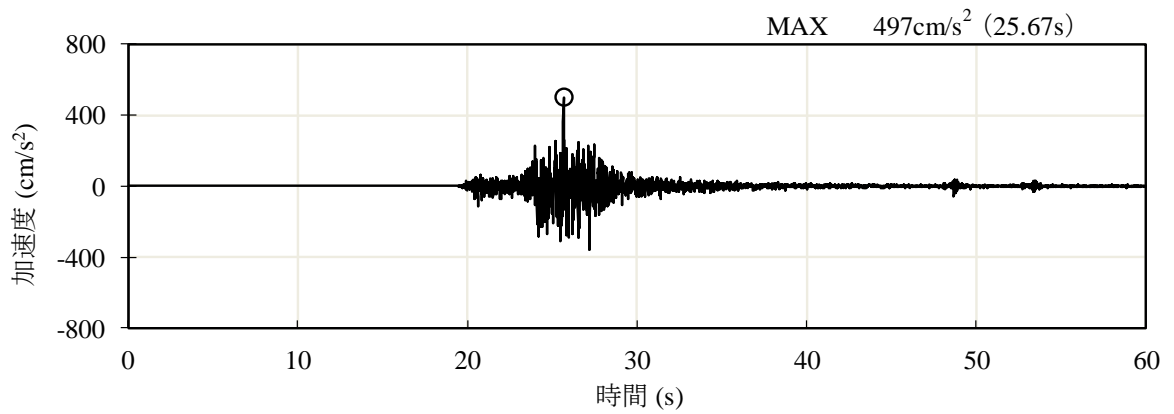


(a) 加速度時刻歴波形

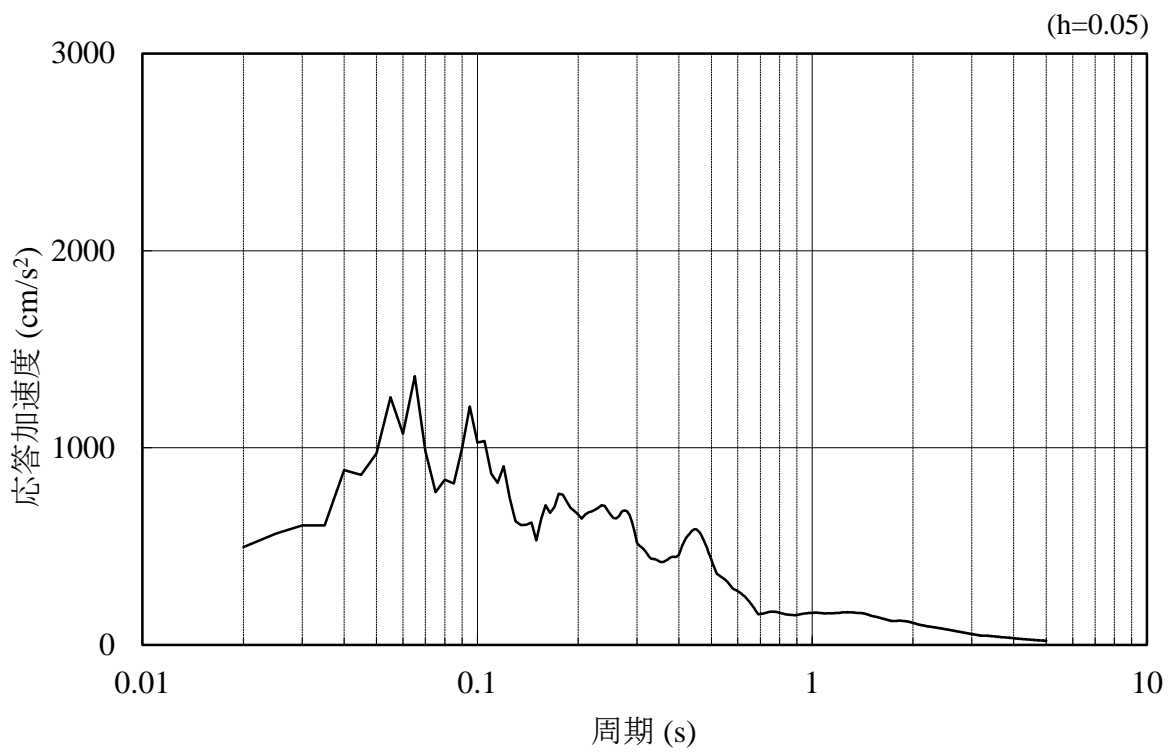


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S))

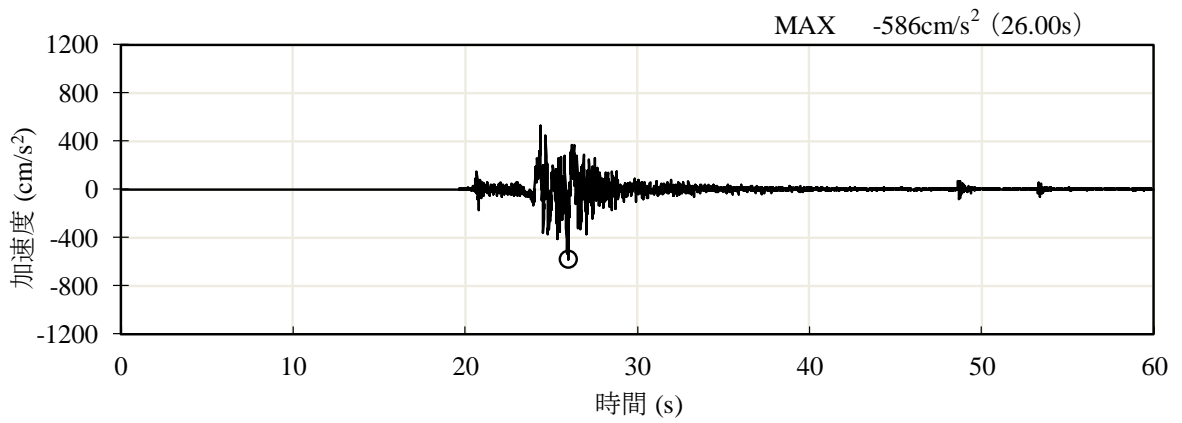


(a) 加速度時刻歴波形

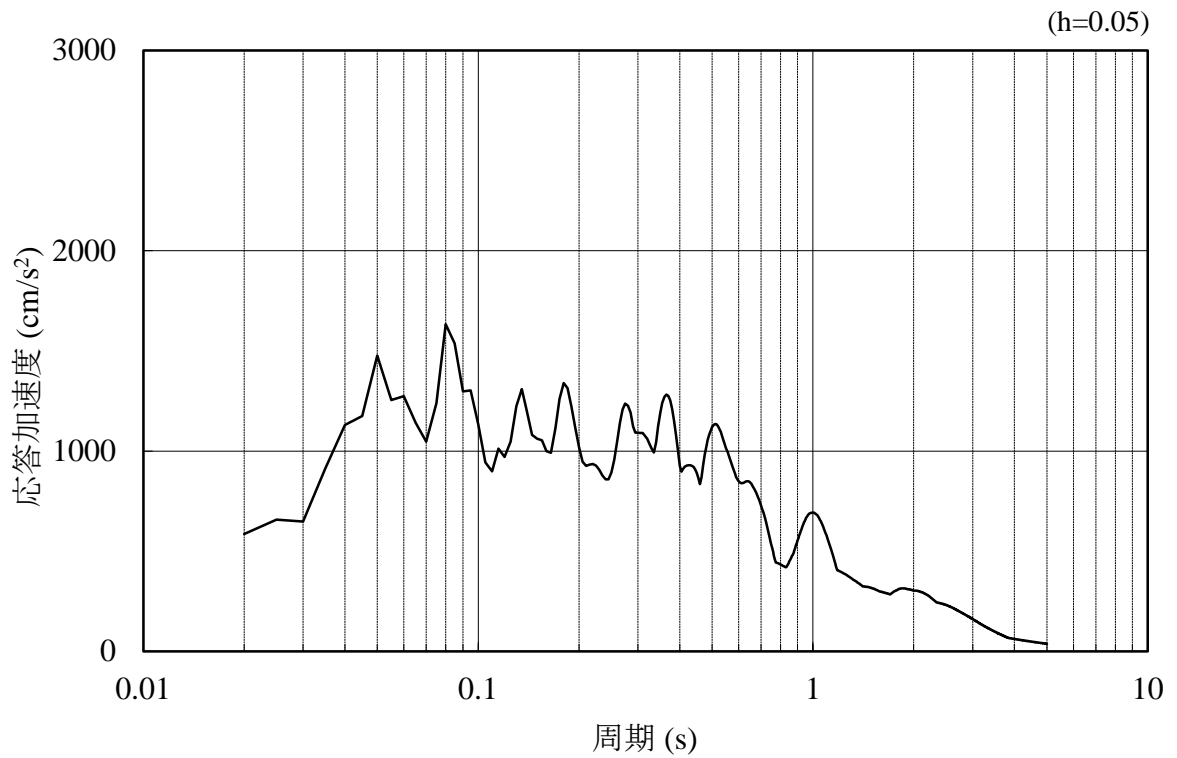


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

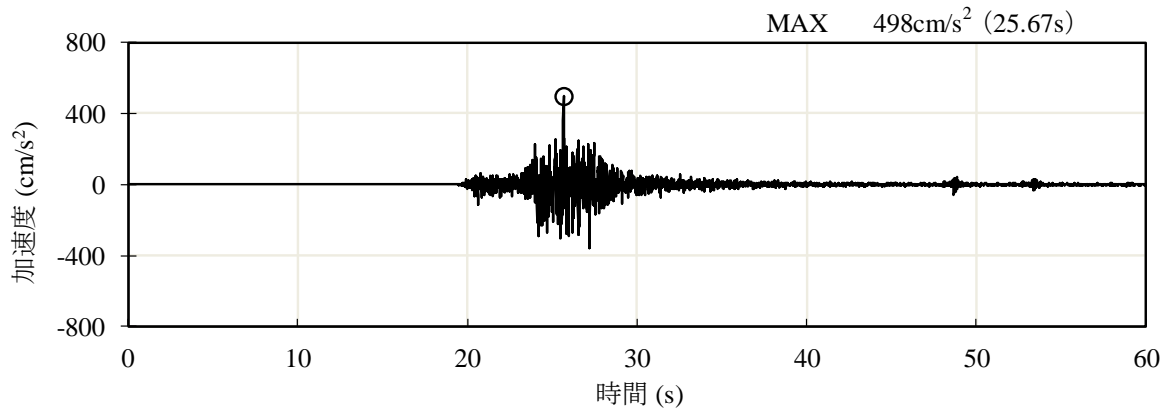


(a) 加速度時刻歴波形

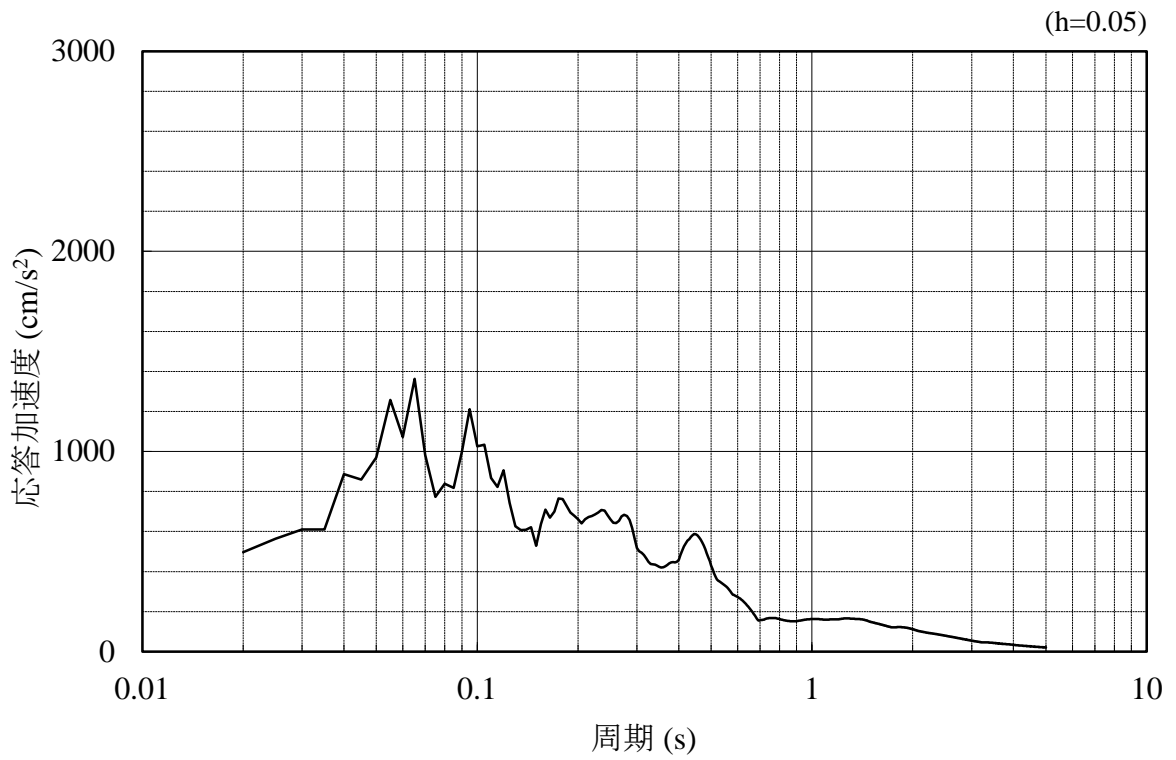


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))



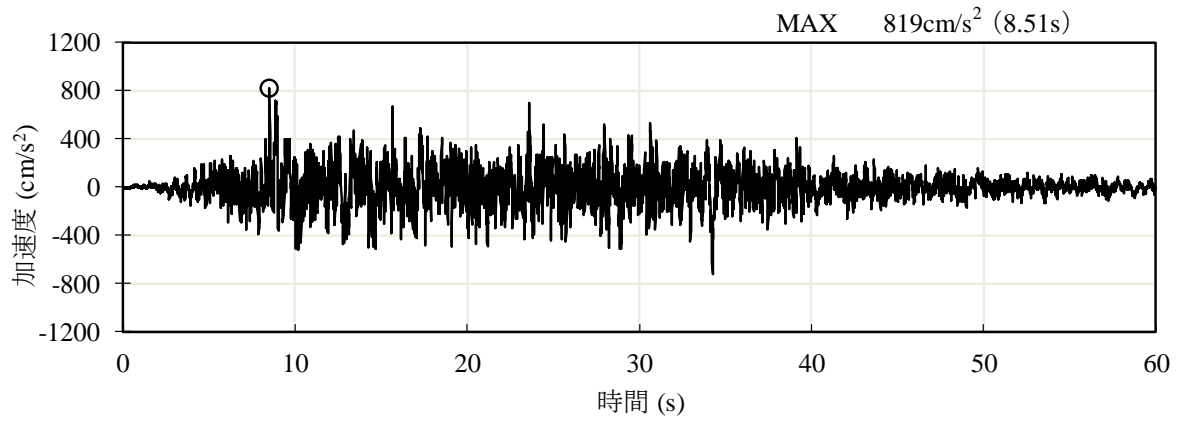
(a) 加速度時刻歴波形



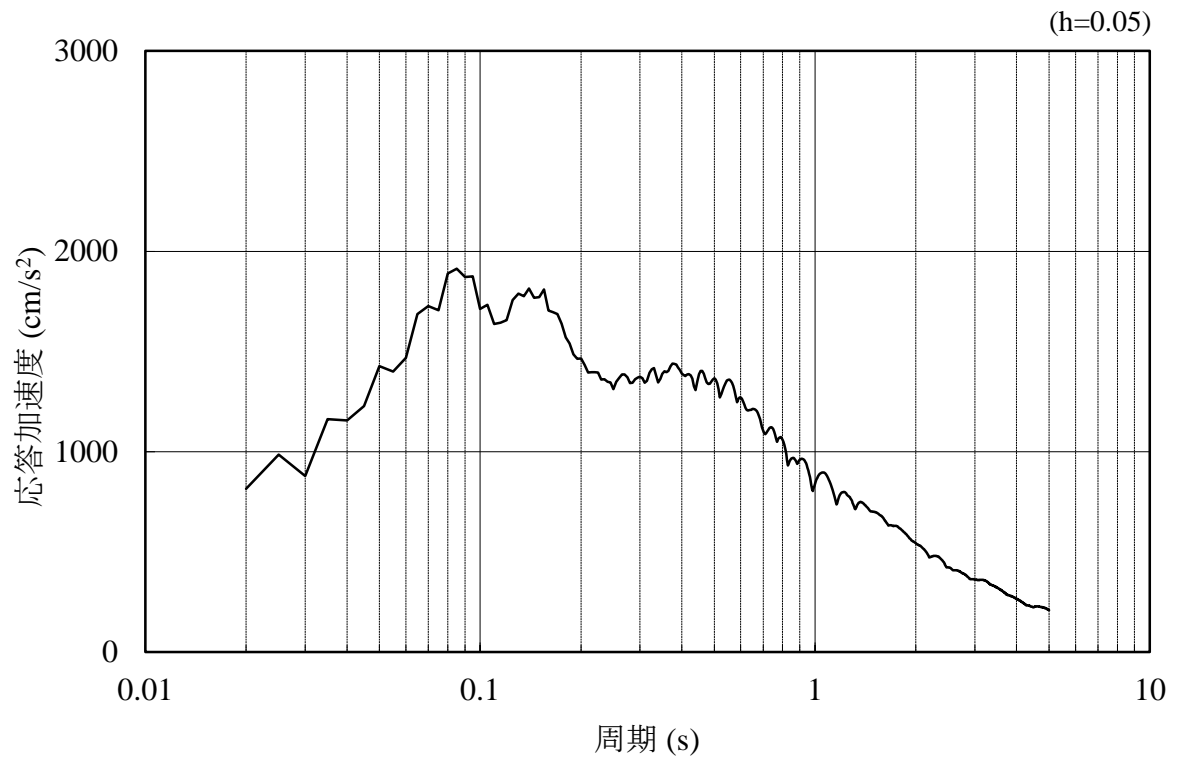
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

3.4.2 ③—③断面

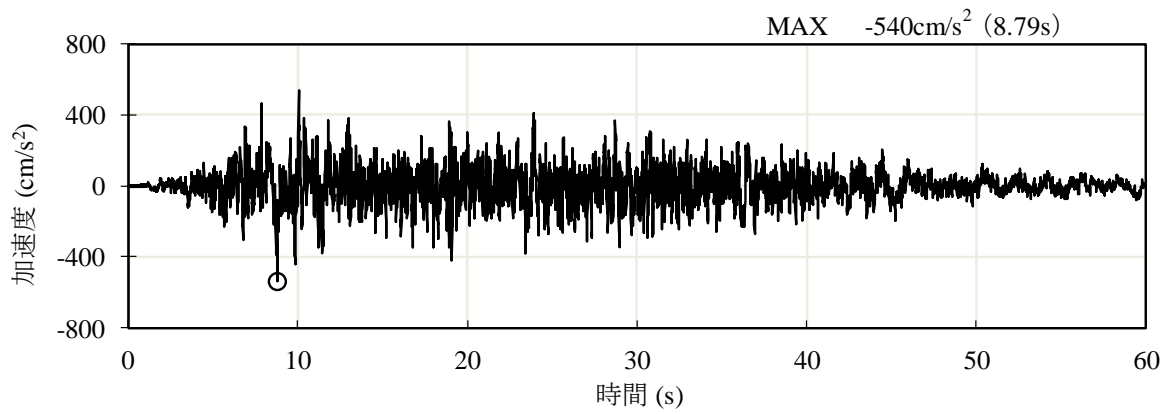


(a) 加速度時刻歴波形

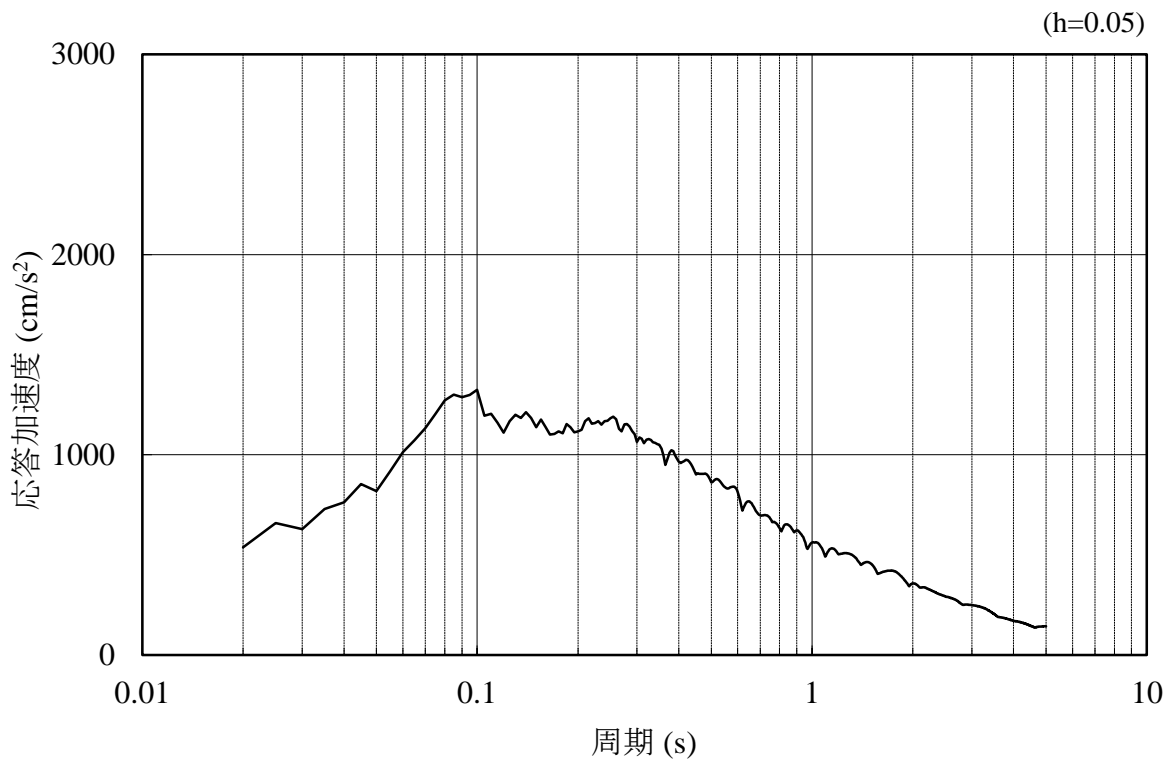


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

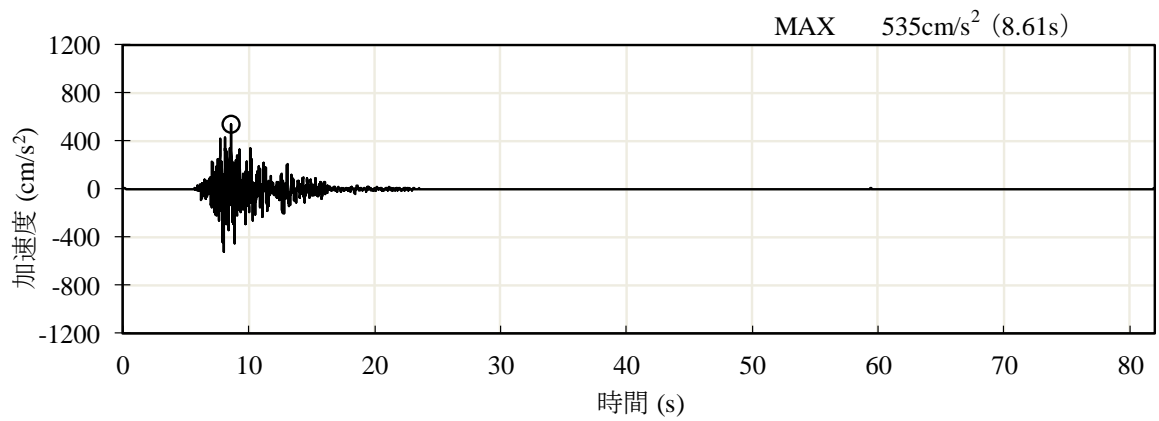


(a) 加速度時刻歴波形

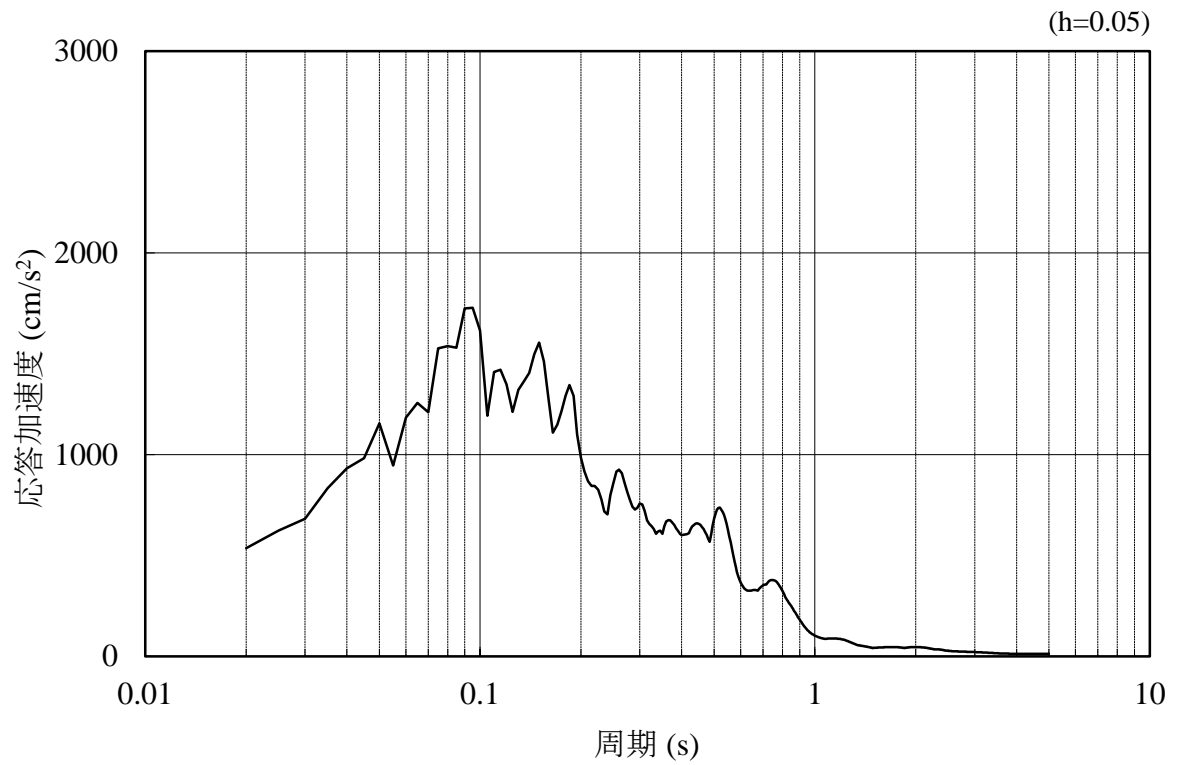


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

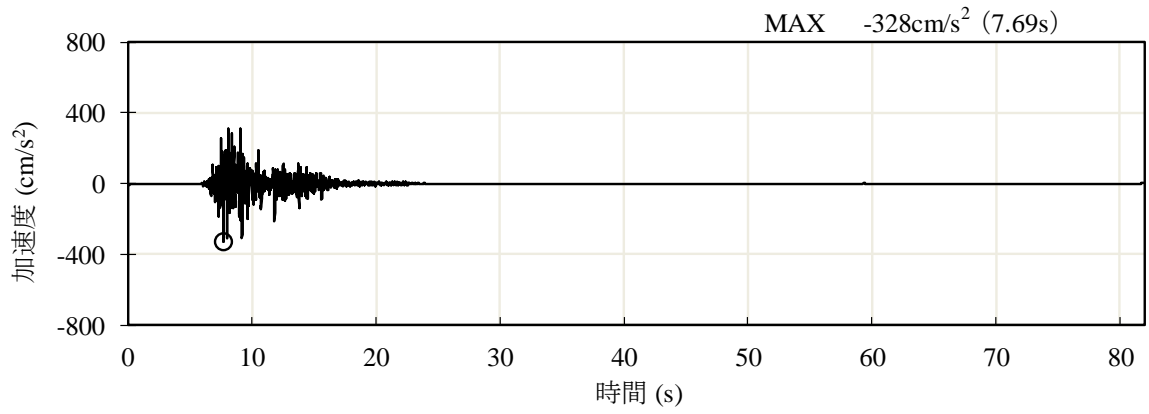


(a) 加速度時刻歴波形

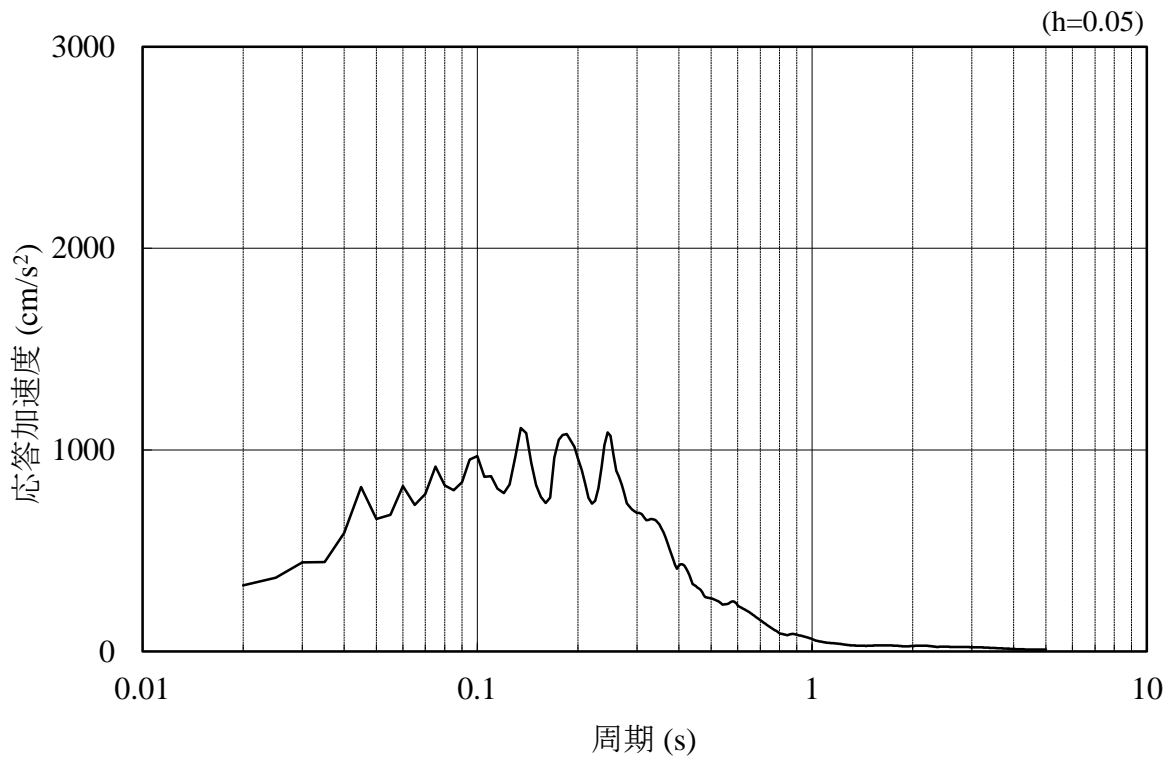


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1)

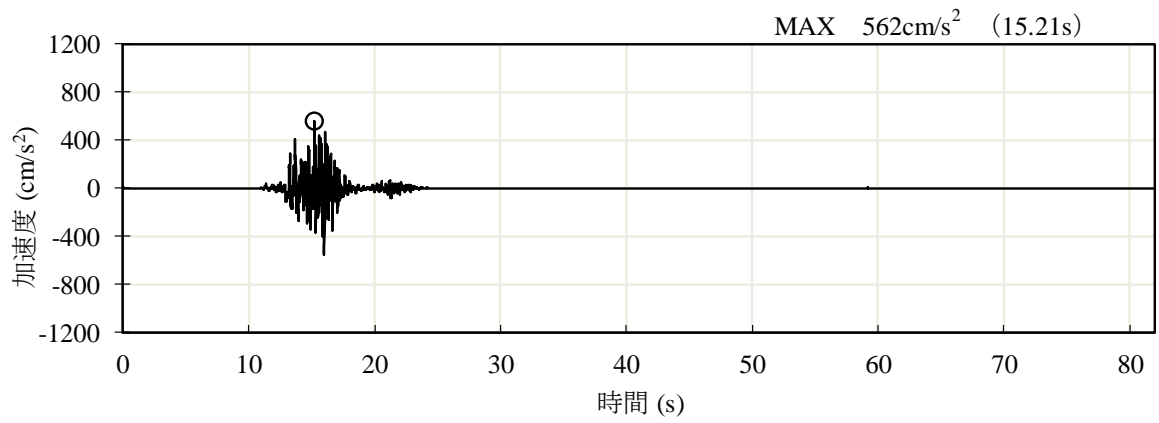


(a) 加速度時刻歴波形

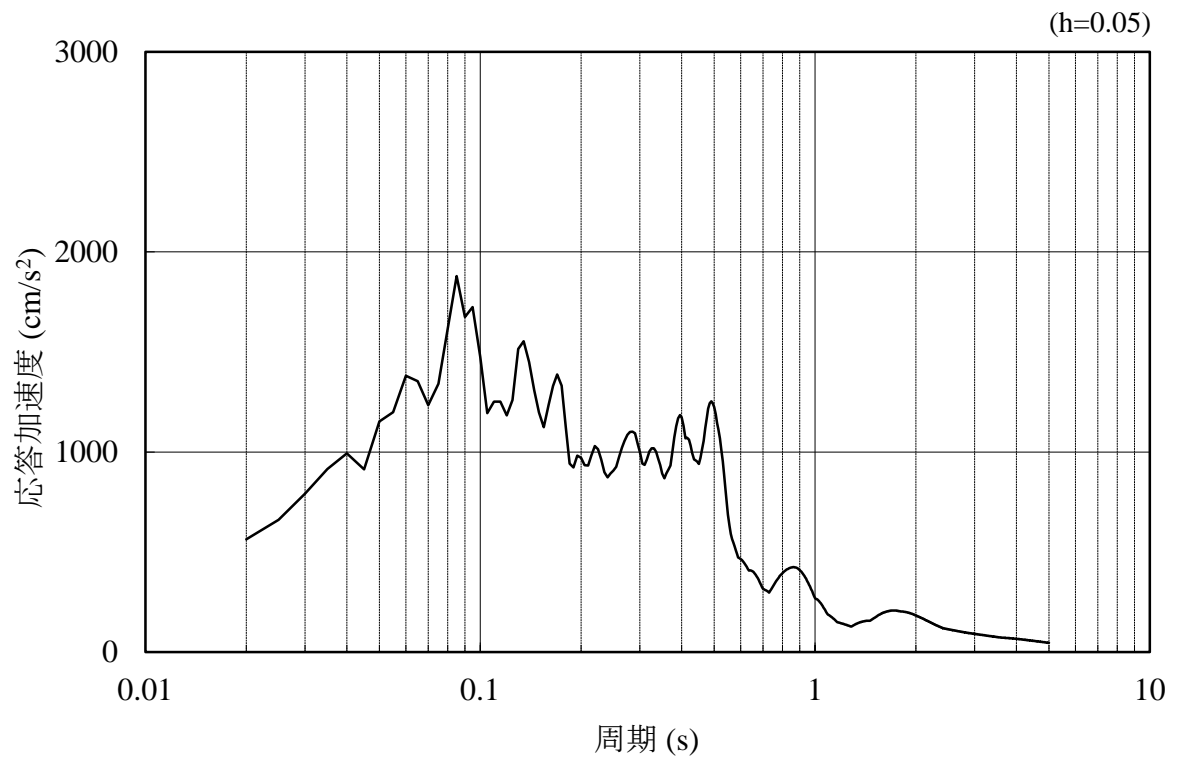


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

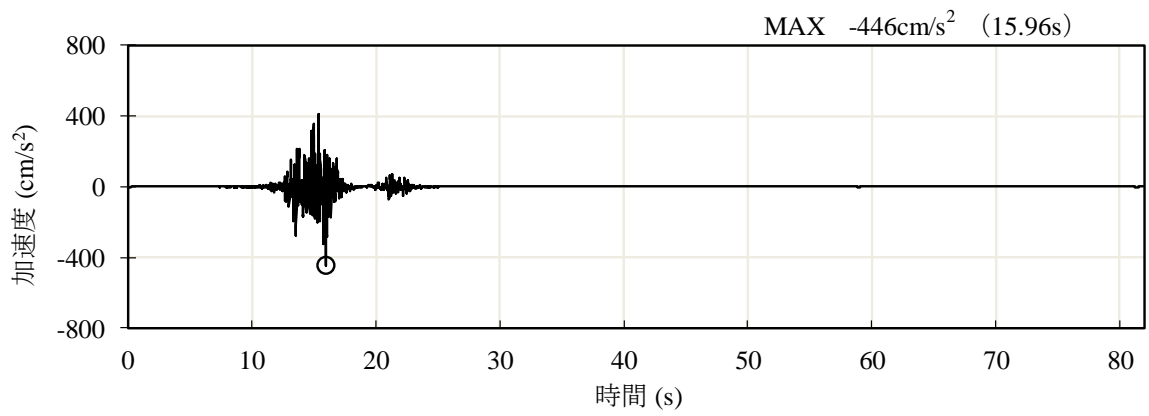


(a) 加速度時刻歴波形

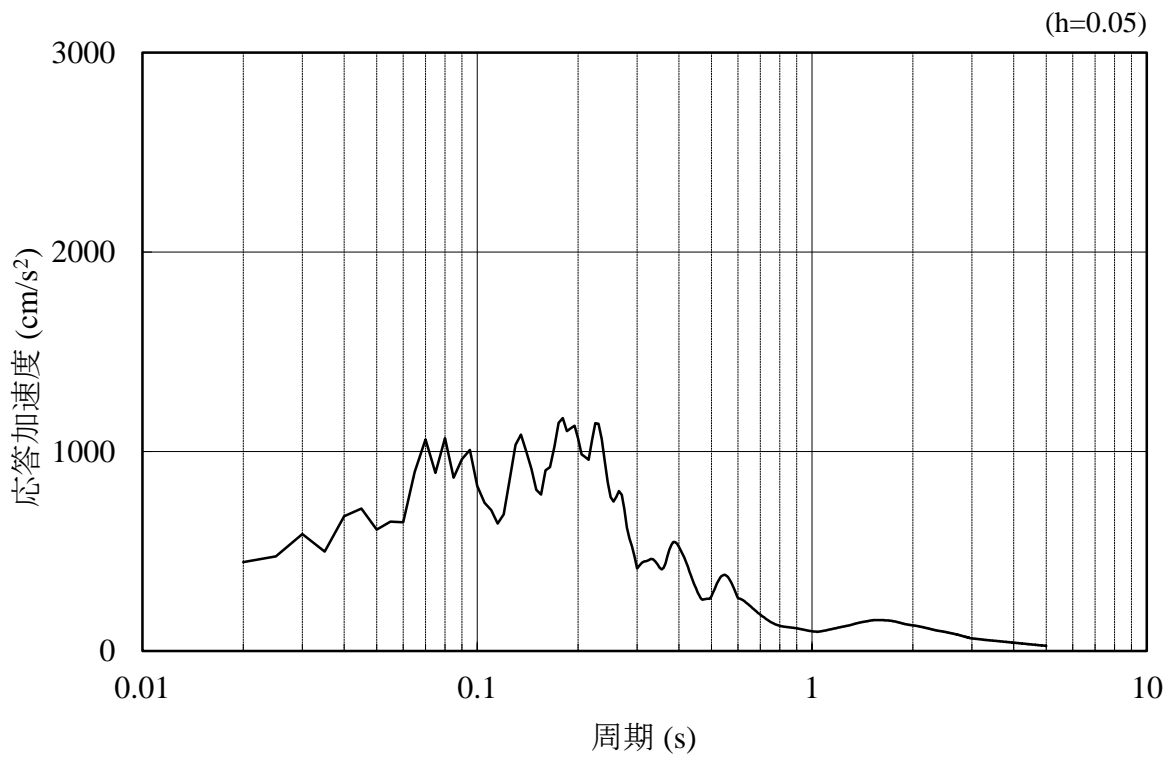


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

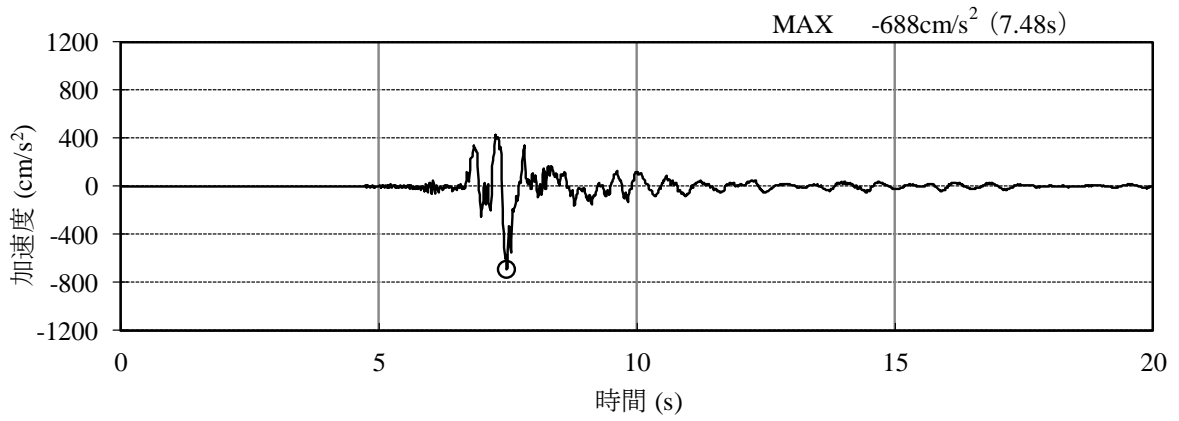


(a) 加速度時刻歴波形

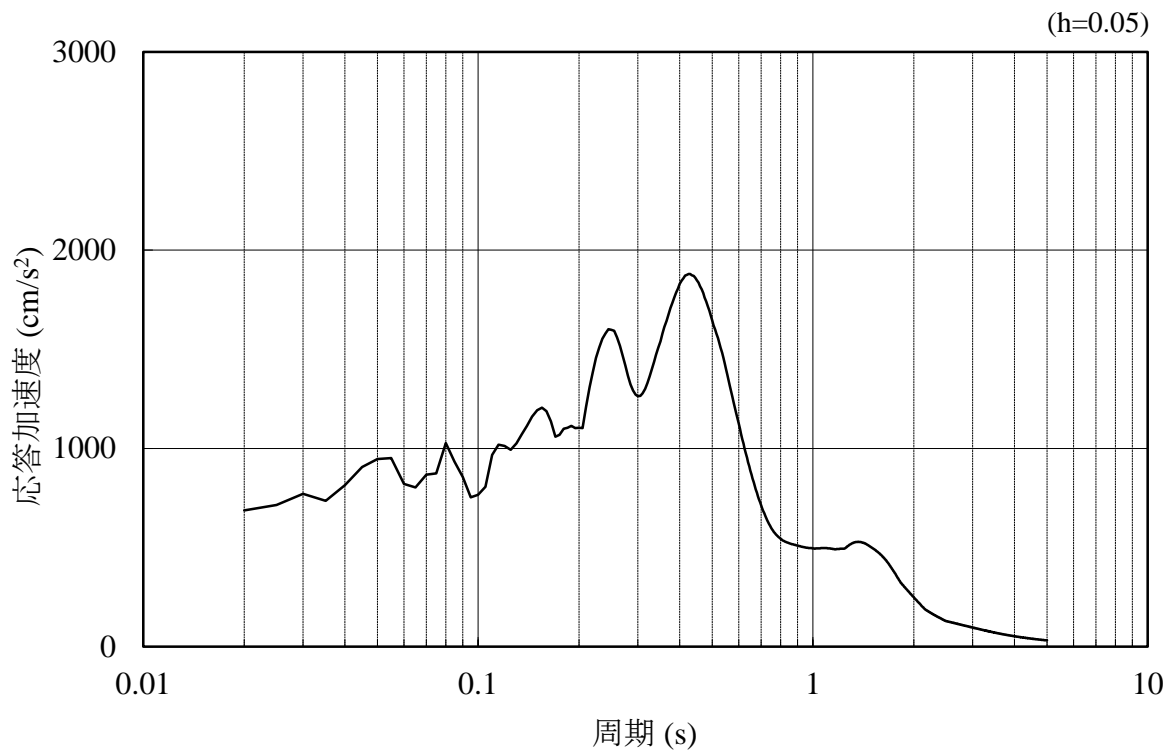


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

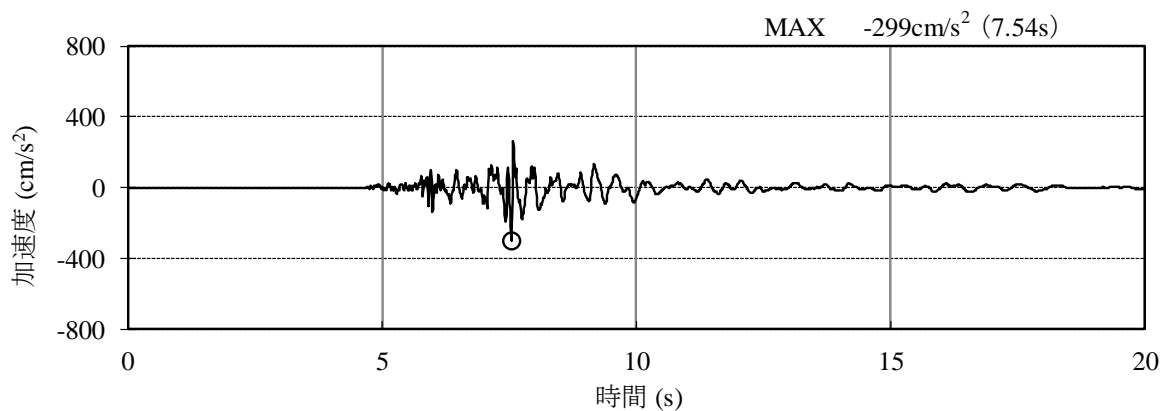


(a) 加速度時刻歴波形

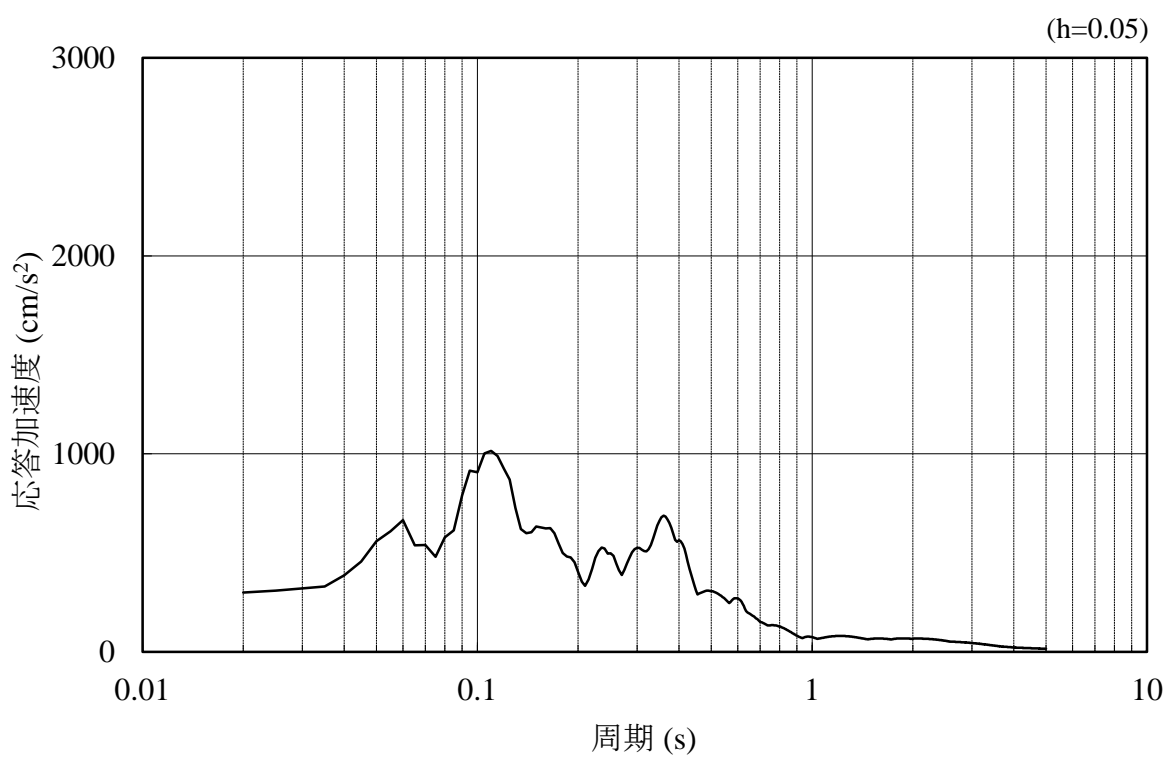


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

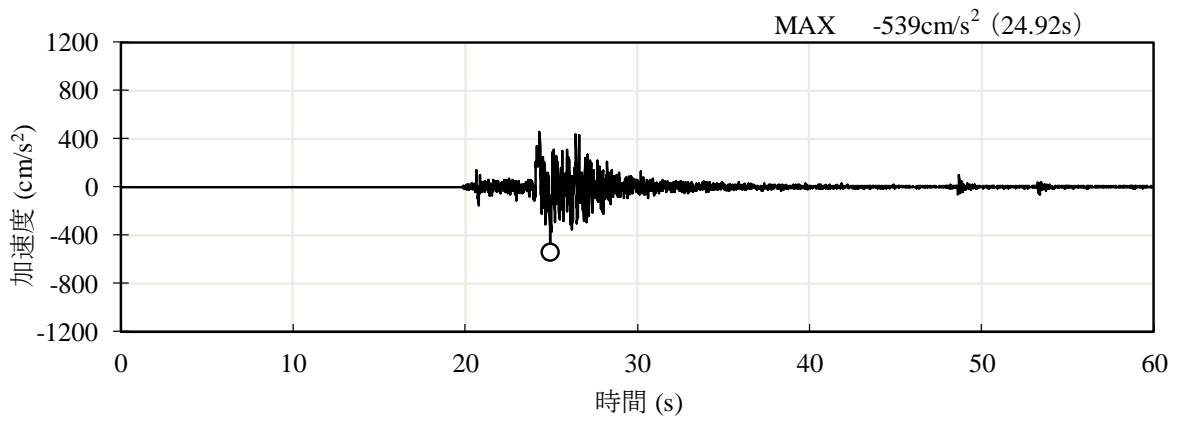


(a) 加速度時刻歴波形

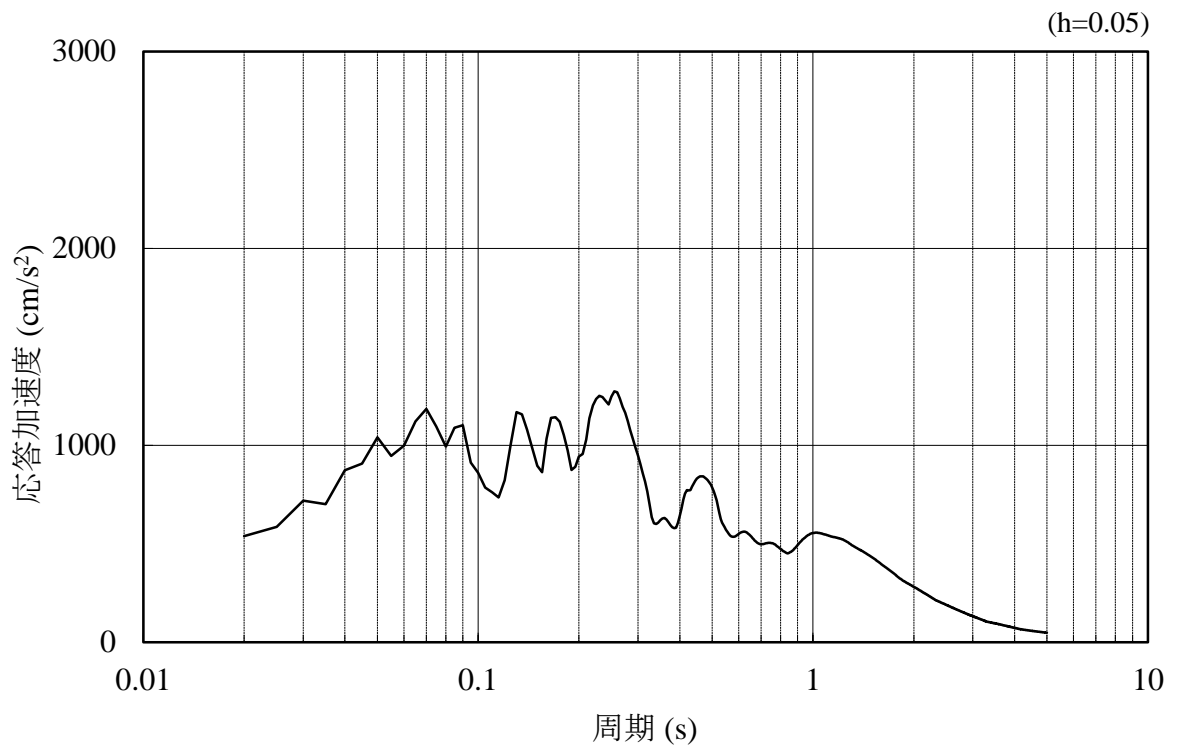


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

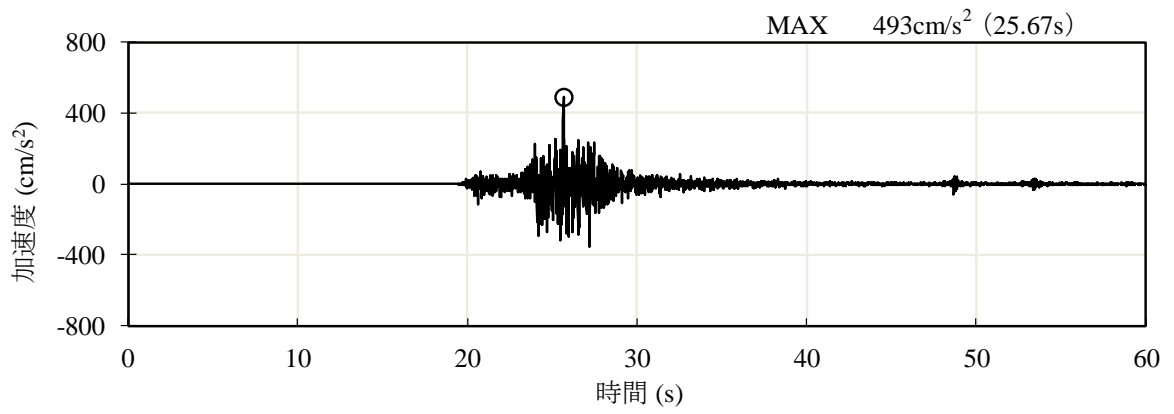


(a) 加速度時刻歴波形

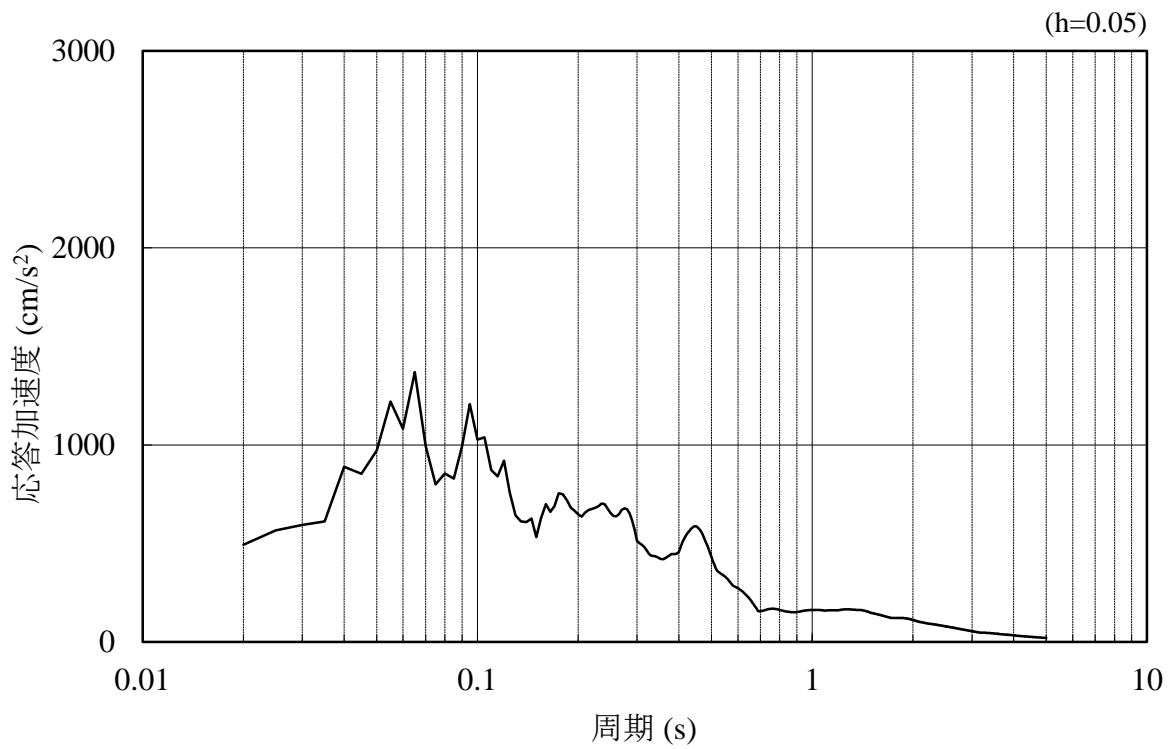


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S))

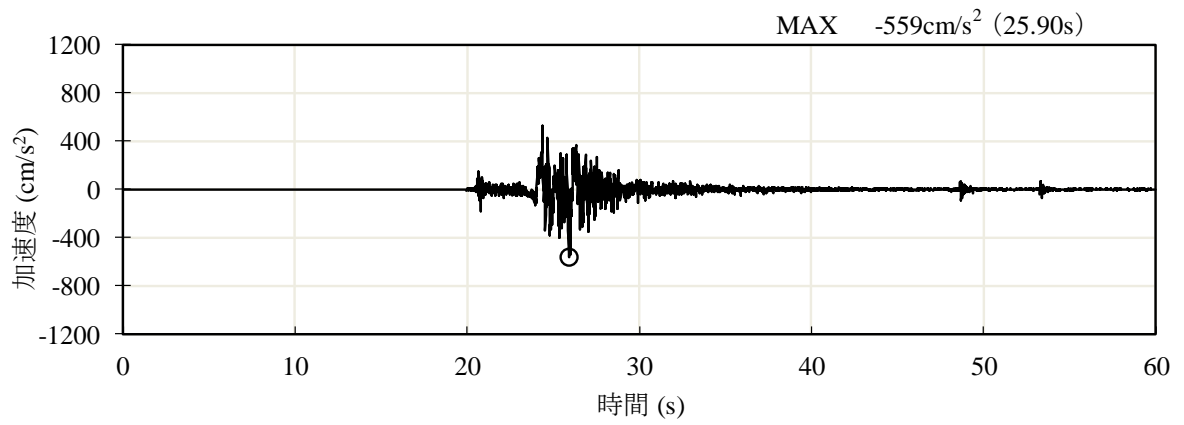


(a) 加速度時刻歴波形

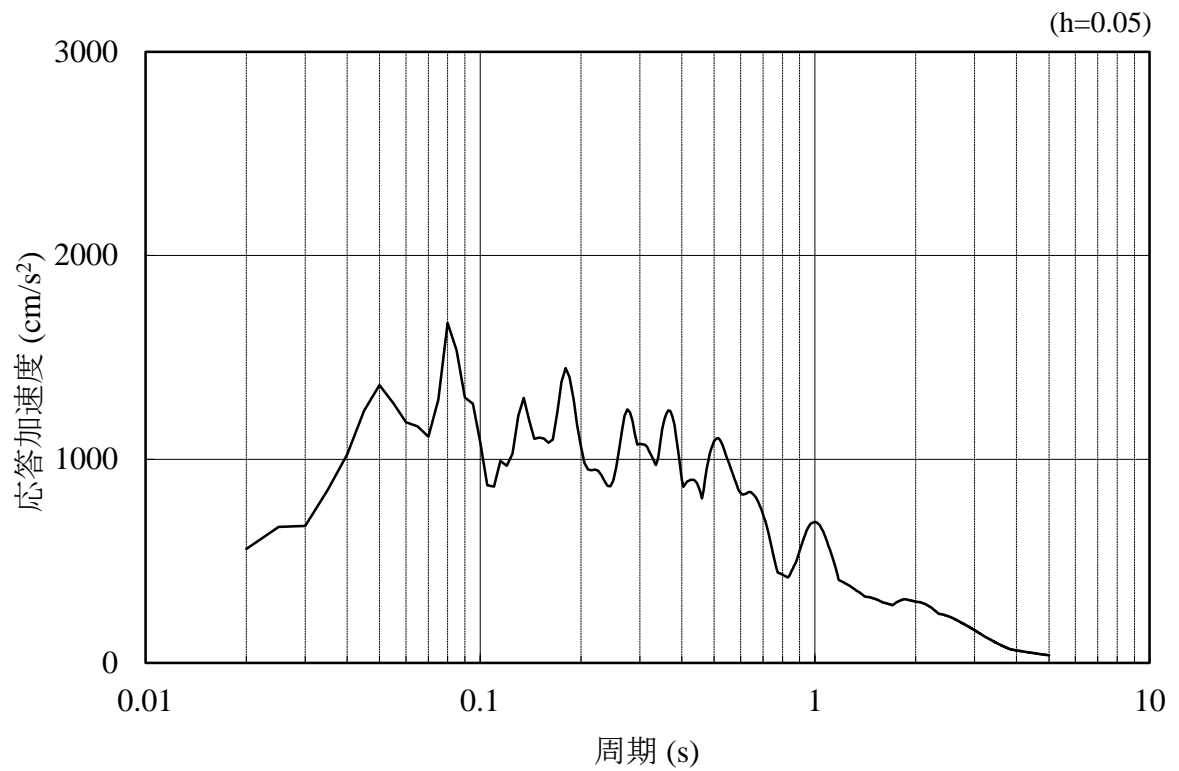


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (N S))

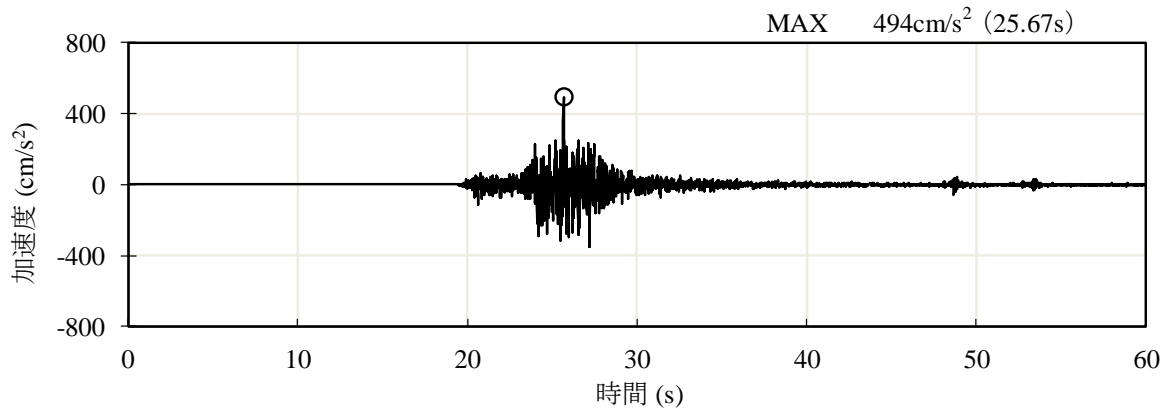


(a) 加速度時刻歴波形

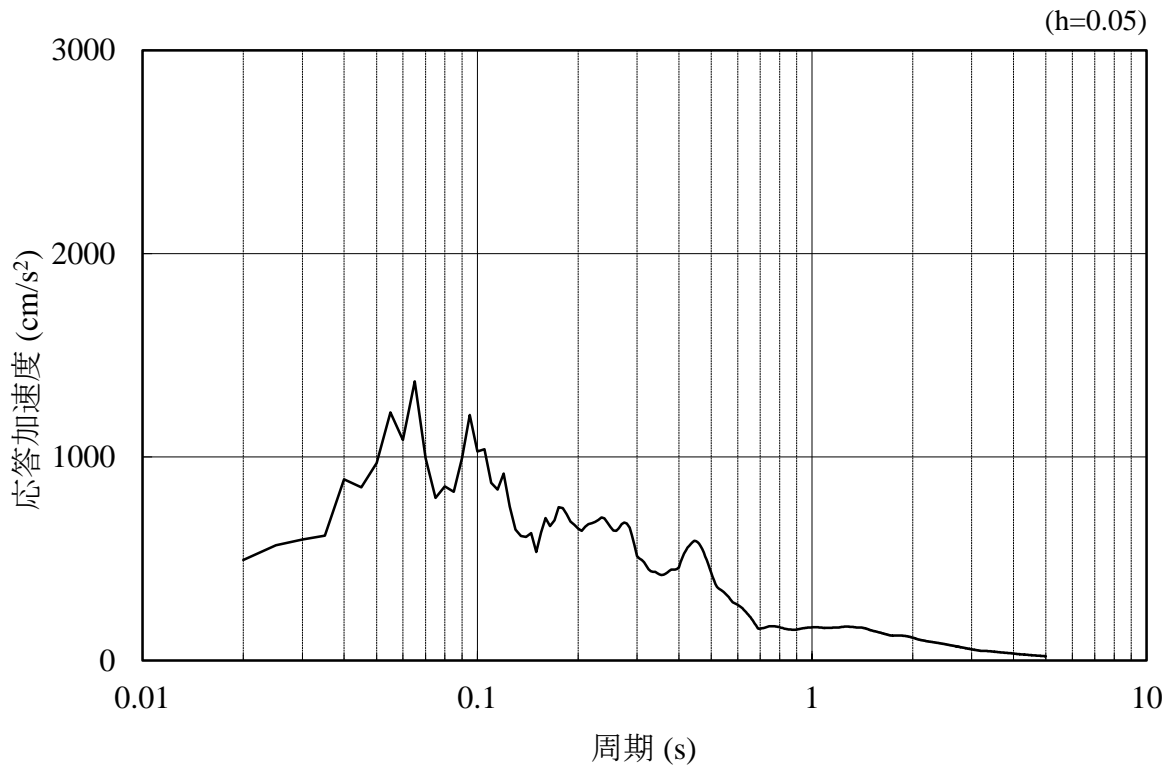


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W))

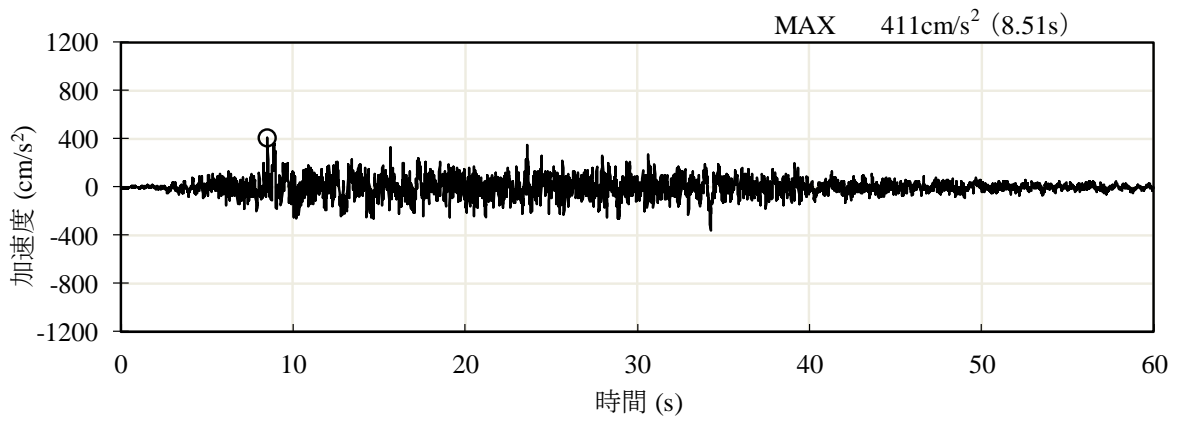


(a) 加速度時刻歴波形

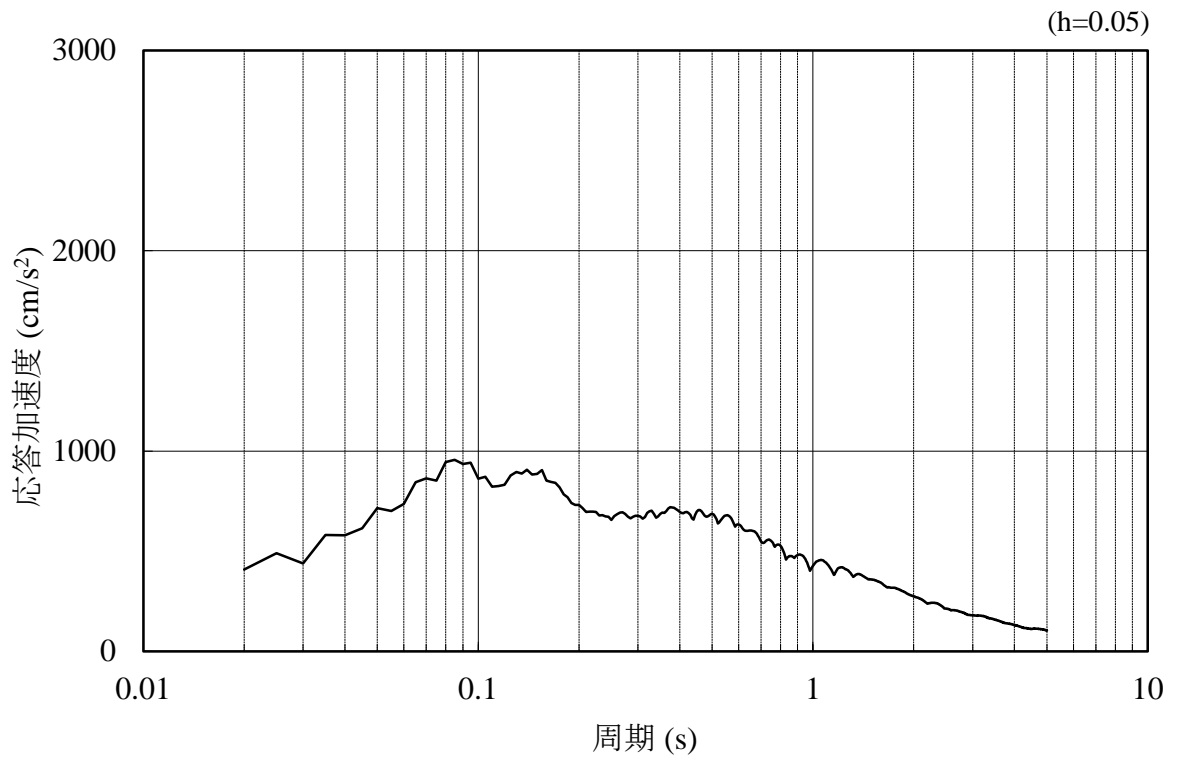


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W))

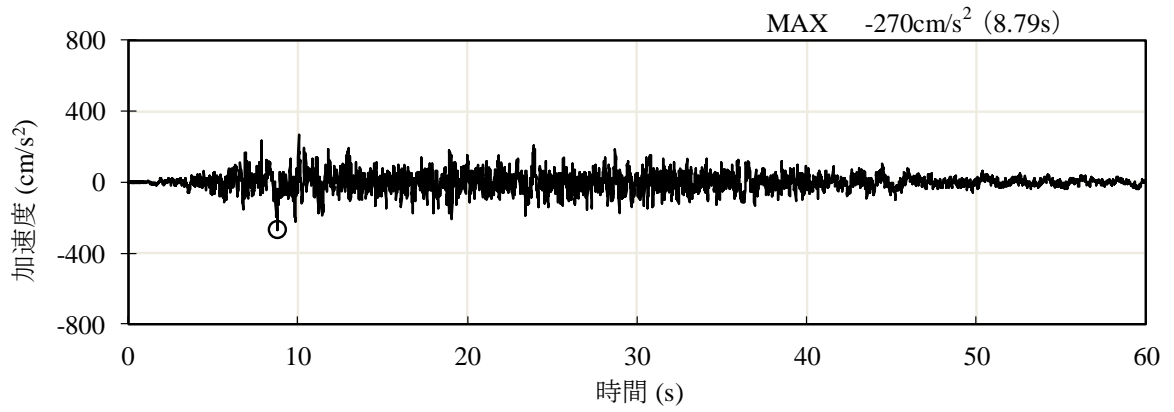


(a) 加速度時刻歴波形

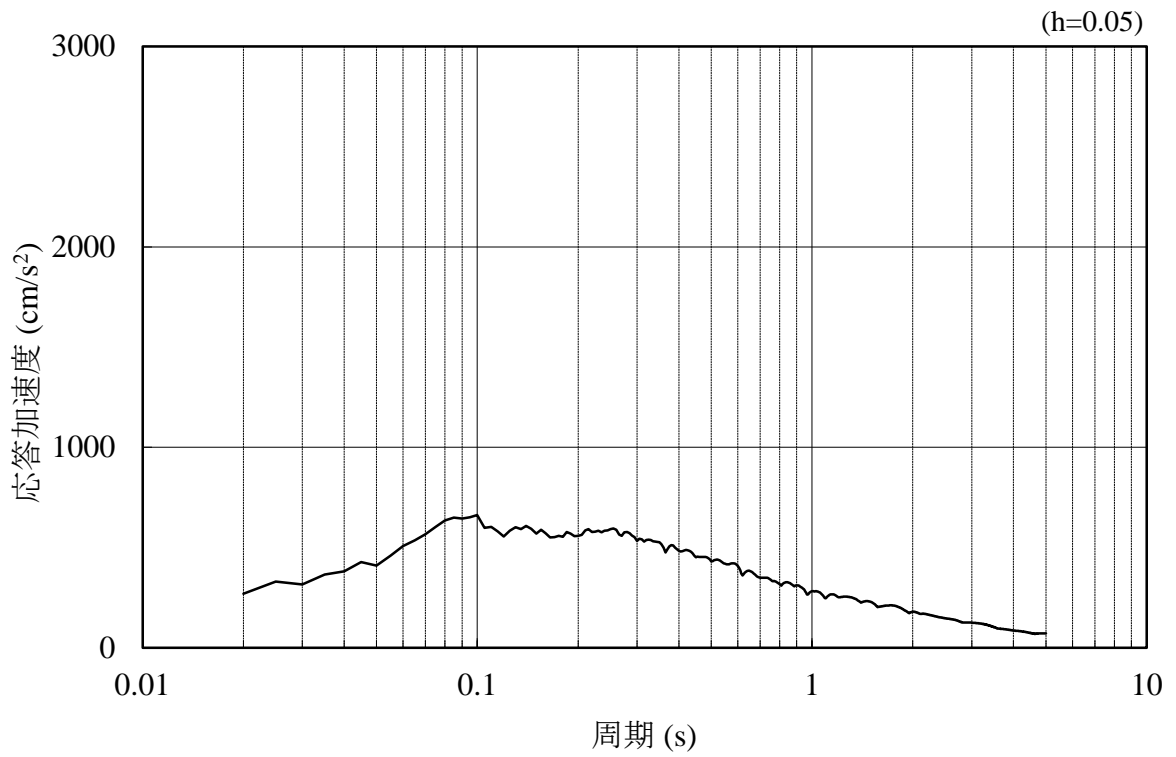


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S d - D)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-35 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S d - D)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答解析モデルを図 3-36 及び図 3-37 に示す。

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鋼管杭は、線形はり要素によりモデル化する。

被覆コンクリート壁のモデル化は行わず、質量として自重を考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の施設及び地盤の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

- | | | | |
|----------------|------------------|-------------------|----------------|
| ■ : 岩盤 (第3速度層) | ■ : 改良地盤④ (薬液注入) | ■ : 護岸 | — : 鋼管杭 |
| ■ : 埋戻土 | ■ : 改良地盤⑤ (高圧噴射) | ■ : 護岸上埋戻土 (仮想護岸) | — : ジョイント要素 |
| ■ : 埋戻土 (粘性土) | ■ : 被覆石 | ■ : 海水 | — : 地下水面および海水面 |
| ■ : 砂礫層 | ■ : 基礎捨石 | | |

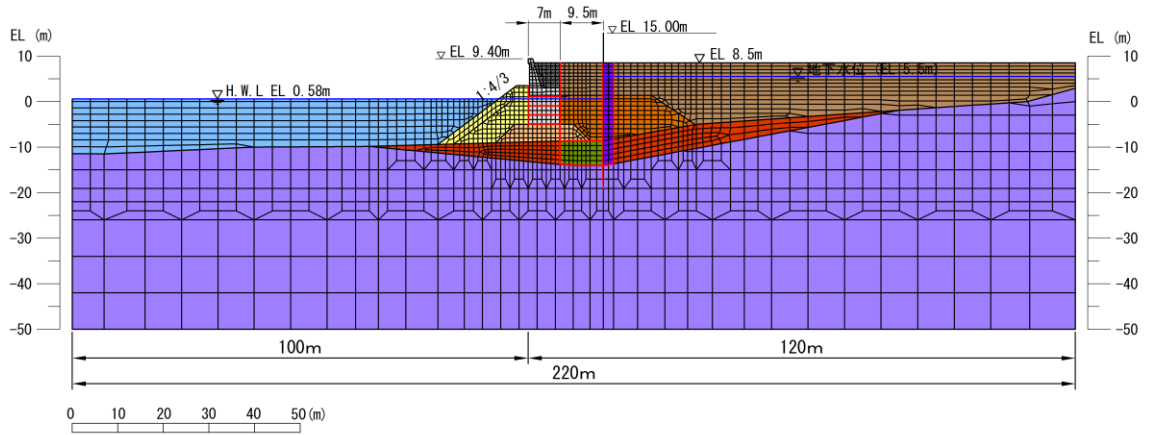


図 3-36 地震応答解析モデル (②—②断面)

- | | | | |
|----------------|------------------|-------------------|---------------|
| ■ : 岩盤 (第1速度層) | ■ : 埋戻土 | ■ : 護岸 | — : 鋼管杭 |
| ■ : 岩盤 (第2速度層) | ■ : 埋戻土 (粘性土) | ■ : 護岸上埋戻土 (仮想護岸) | — : ジョイント要素 |
| ■ : 岩盤 (第3速度層) | ■ : 改良地盤⑤ (高圧噴射) | ■ : 海水 | — : 地下水面及び海水面 |

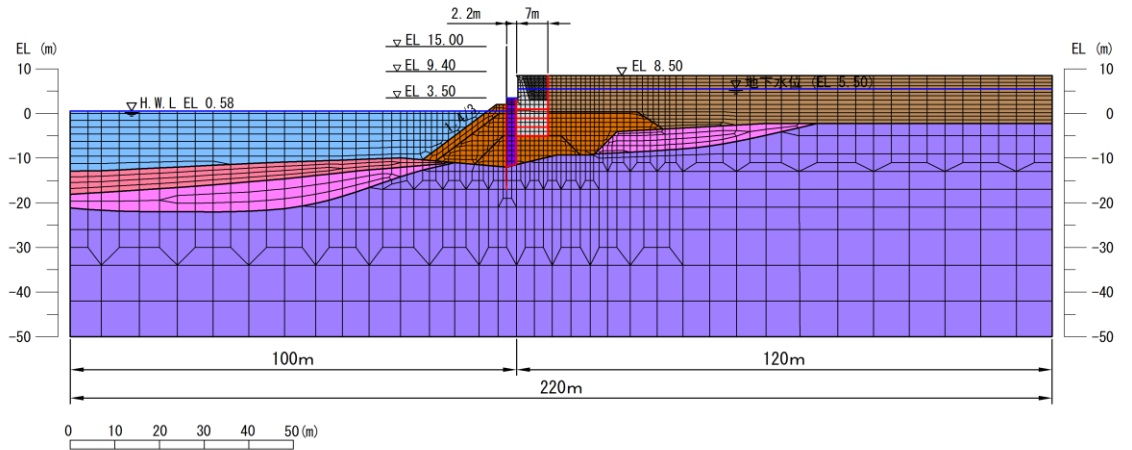


図 3-37 地震応答解析モデル (③—③断面)

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

諸元	
鋼管杭	φ 2200mm (SKK490, SM490Y) t=25mm*
	φ 2000mm (SKK490) t=25mm
	φ 1800mm (SKK490) t=25mm
	φ 1600mm (SKK490) t=25mm

注記*：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき，腐食代 1mm を考慮する。

表 3-5 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鋼管杭	77.0*	2.0×10 ⁵ *	0.3*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002 年）

3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値

地盤及び改良地盤の物性値は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.5.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。
設計地下水位を表3-6に示す。

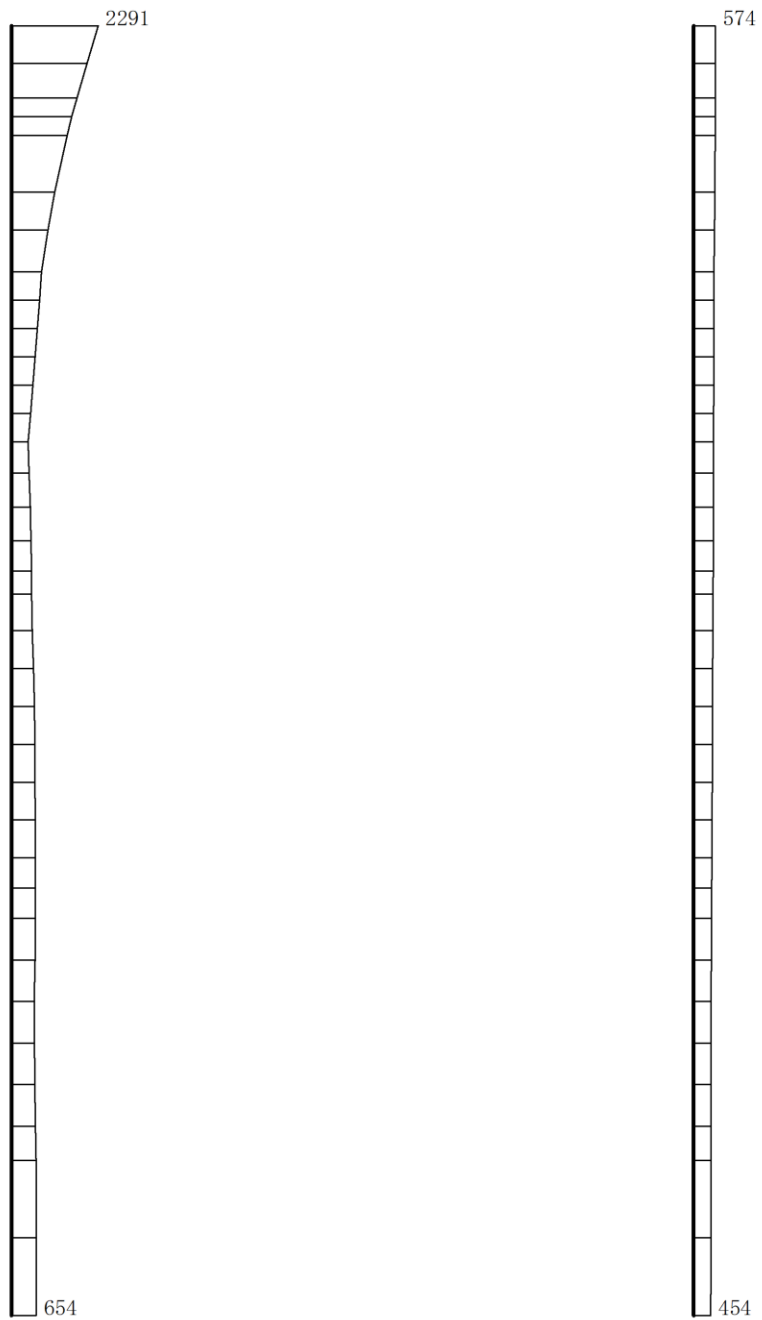
表3-6 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
防波壁（多重鋼管杭式擁壁）	防波壁より陸側：EL 5.5m 防波壁より海側：EL 0.58m

4. 解析結果

4.1 ②-②断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する最大加速度分布図を図 4-1～図 4-12 に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図 4-13, 図 4-14 に示す。



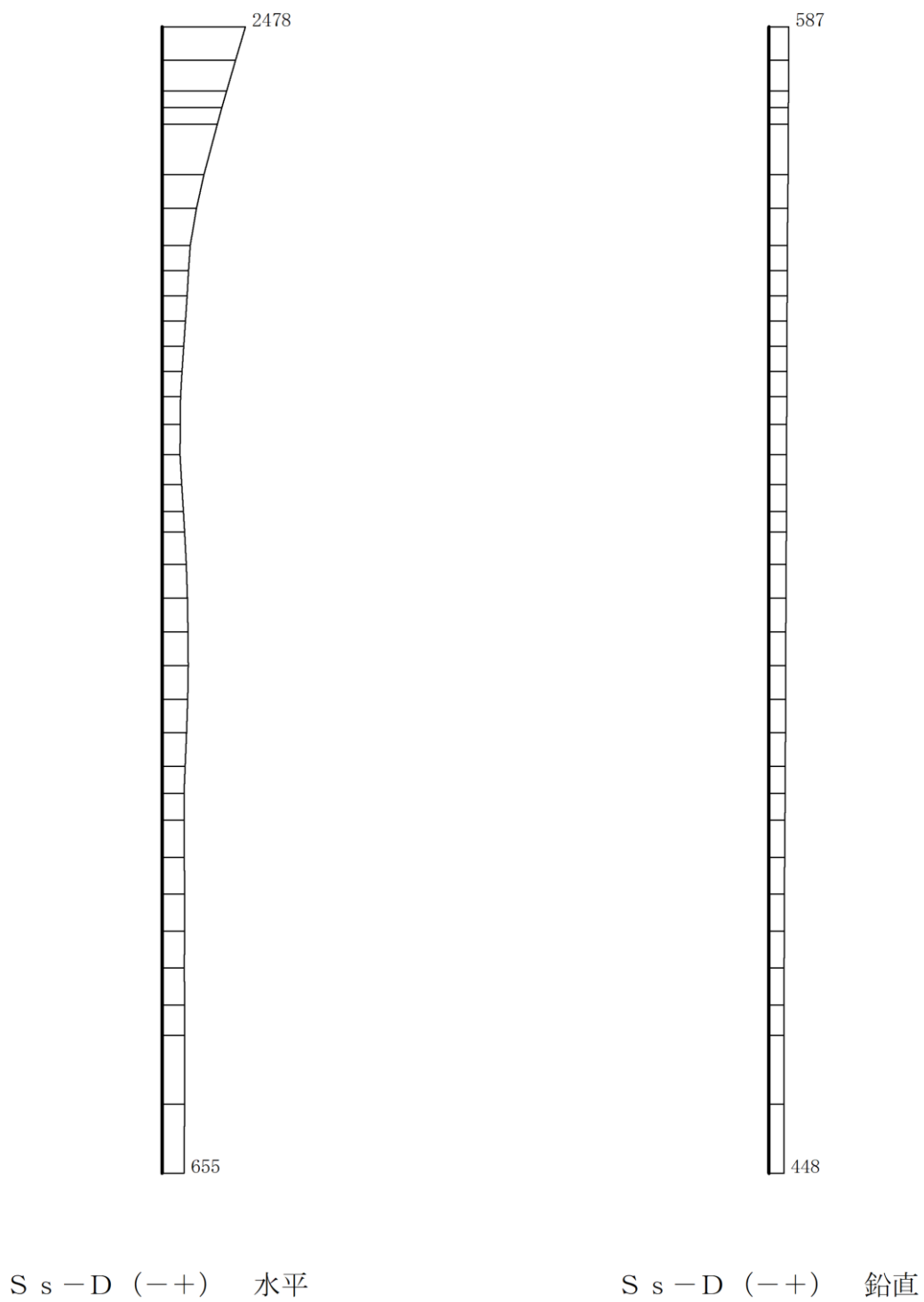
S s - D (++) 水平

S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m)

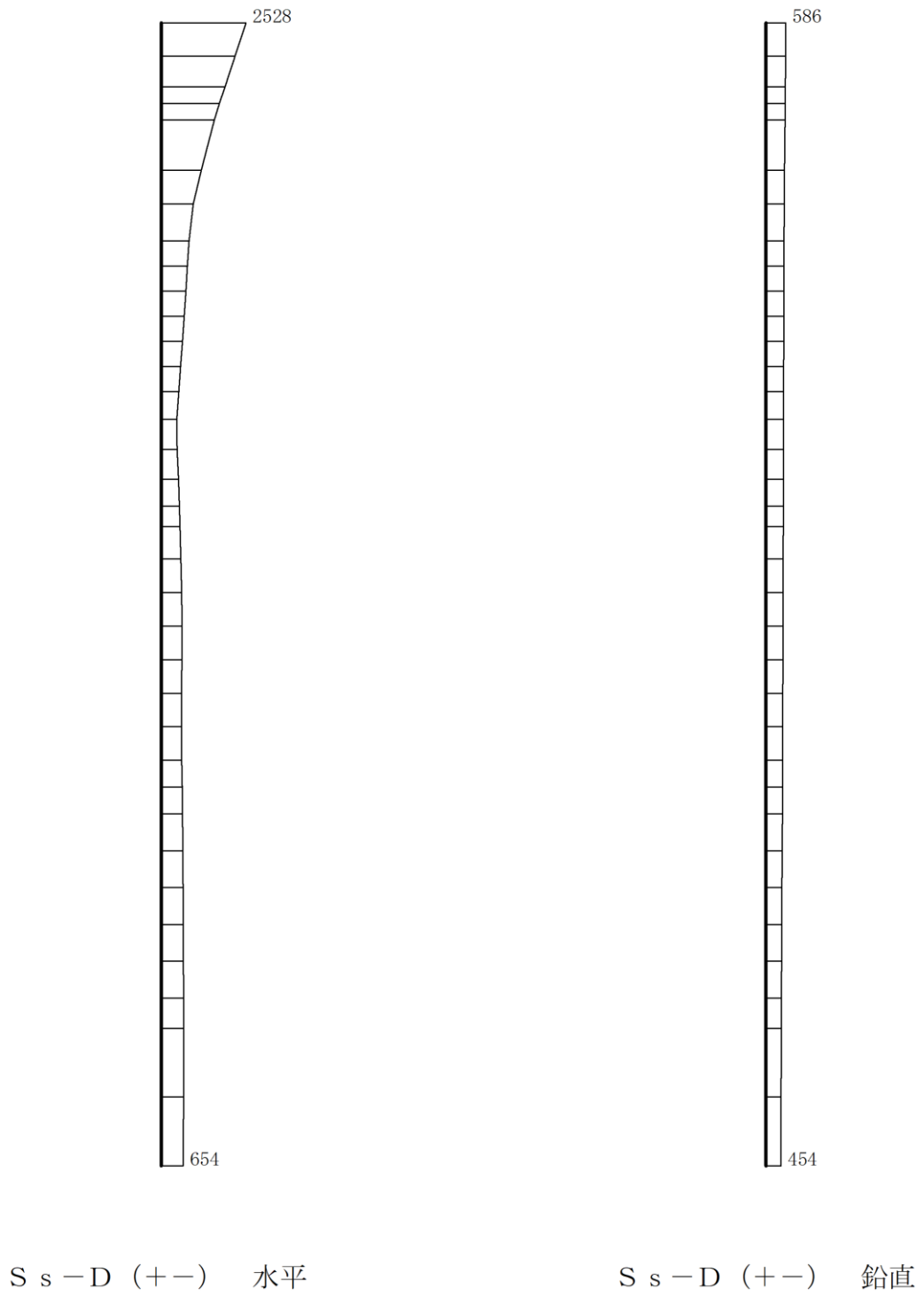
応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-1 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



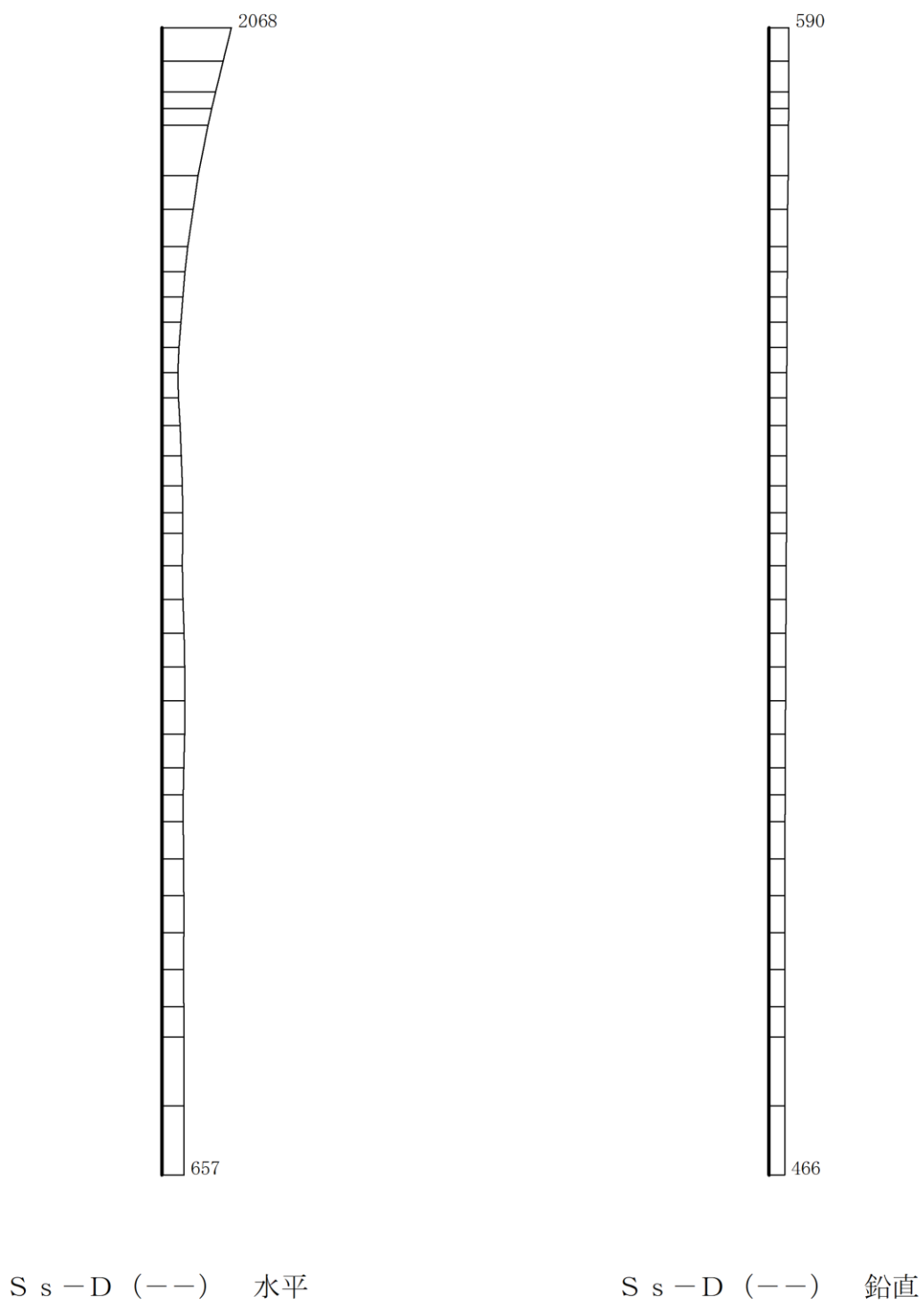
構造スケール $0 \quad \text{2(m)}$ 応答値スケール $0 \quad \text{2000(cm/s}^2\text{)}$

図 4-2 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



構造スケール $0 \quad \text{2(m)}$ 応答値スケール $0 \quad \text{2000(cm/s}^2\text{)}$

図 4-3 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

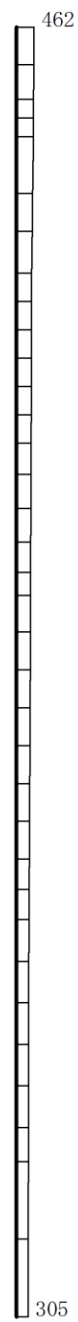


構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-4 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



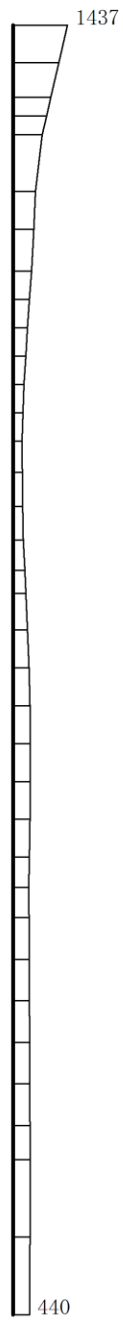
S s - F 1 (++) 水平



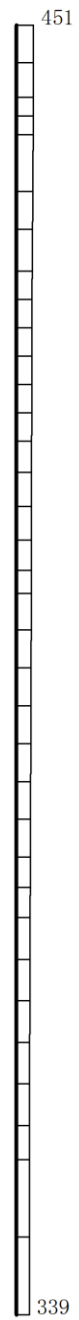
S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-5 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



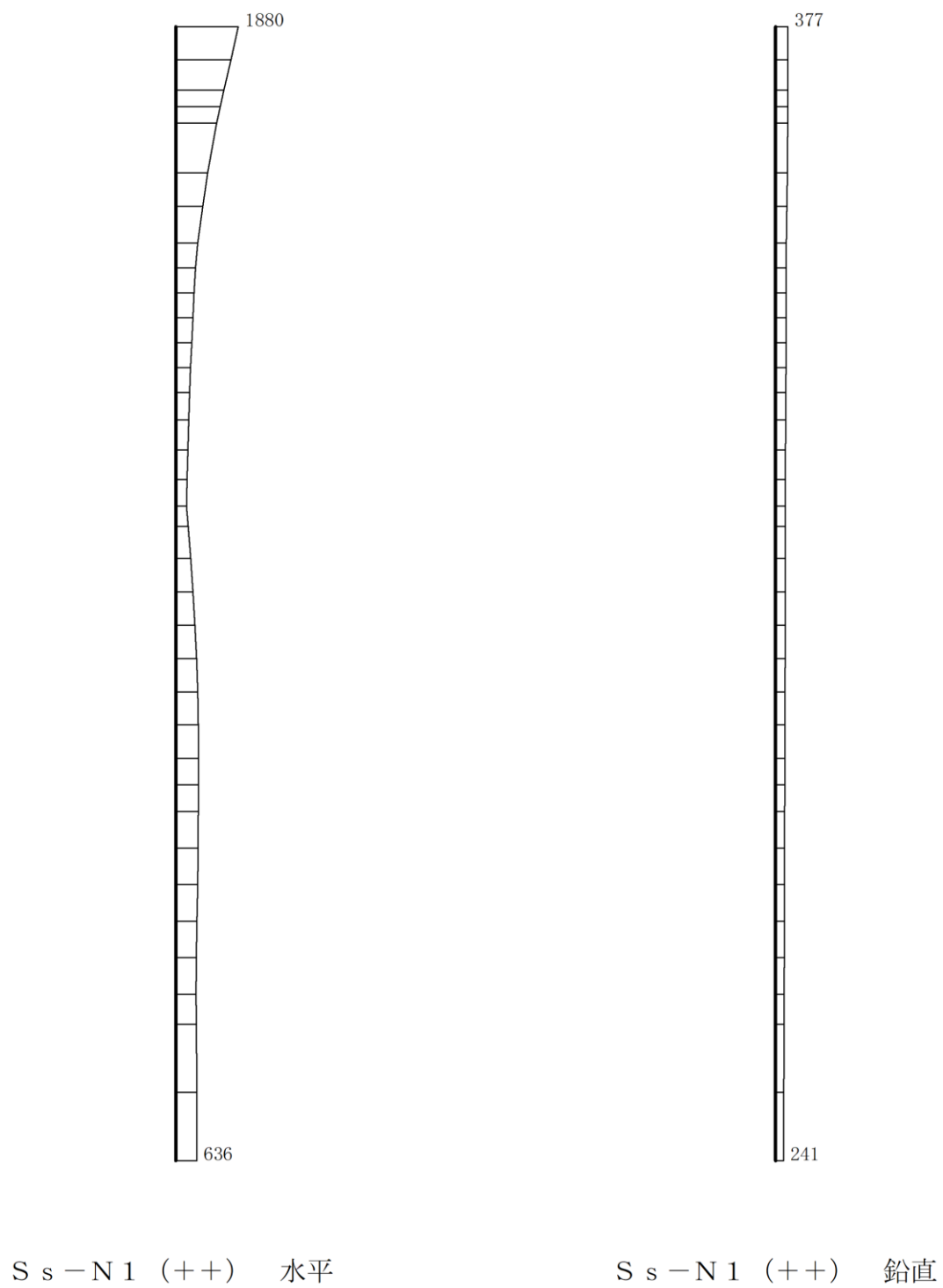
S s - F 2 (++) 水平



S s - F 2 (++) 鉛直

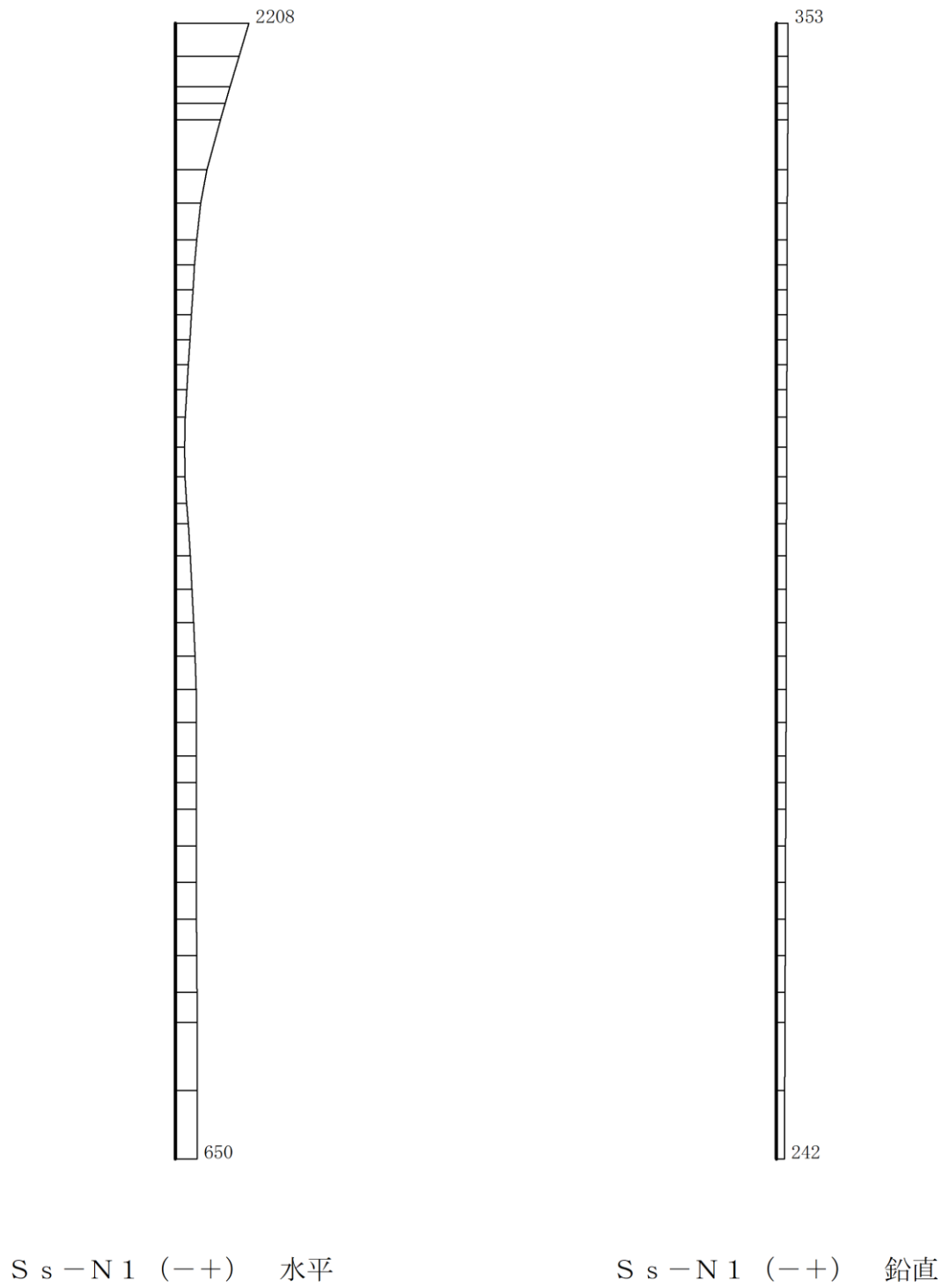
構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-6 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-7 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-8 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

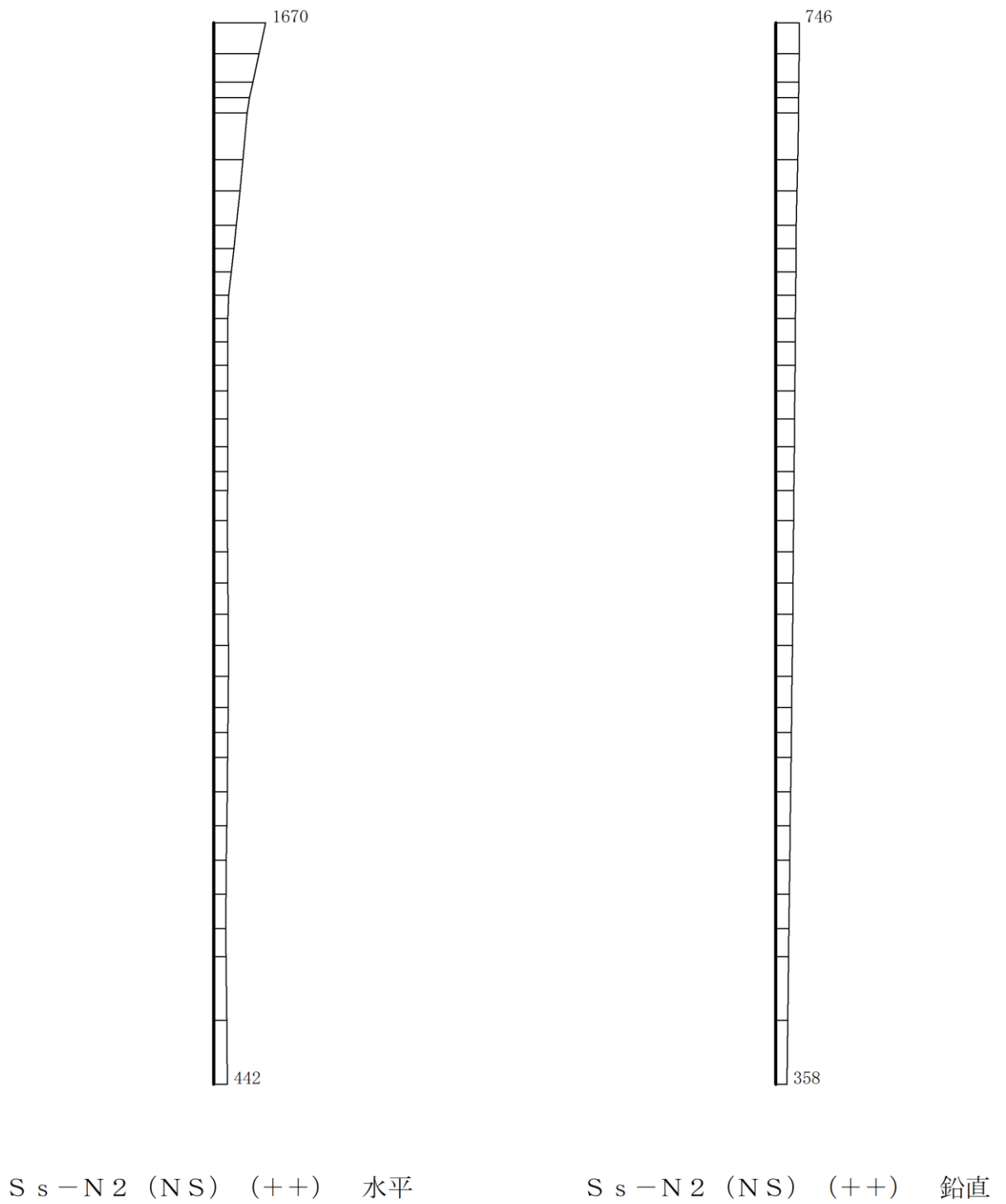
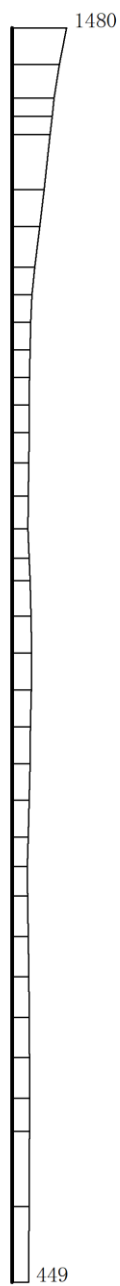
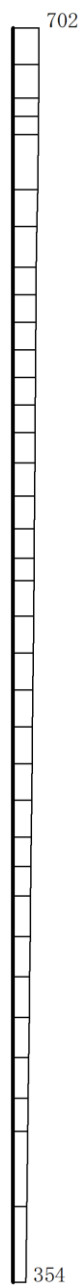



図 4-9 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



S s - N 2 (N S) (- +) 水平



S s - N 2 (N S) (- +) 鉛直

構造スケール 0  2(m)


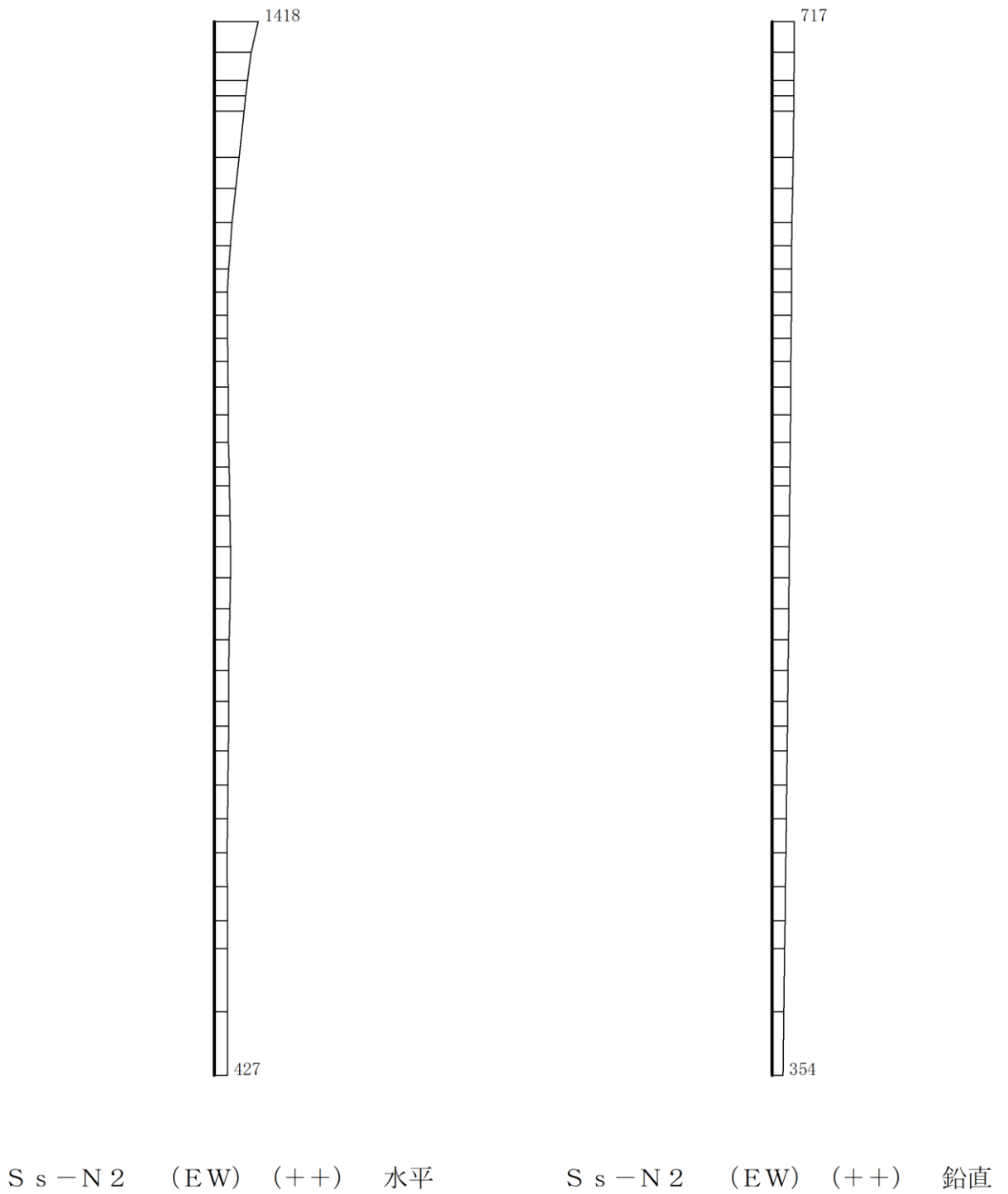
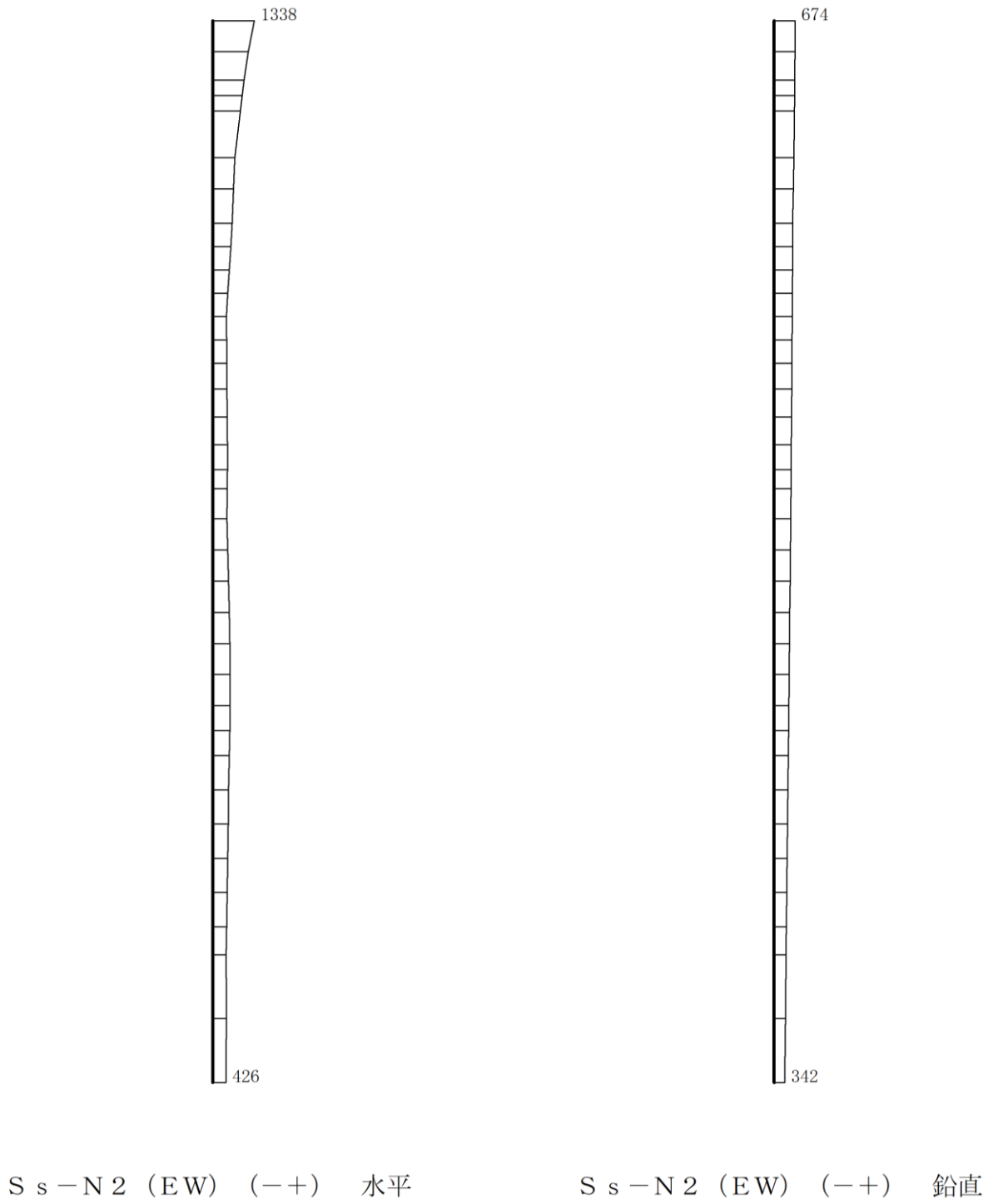
応答値スケール 0  2000 (cm/s²)

図 4-10 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



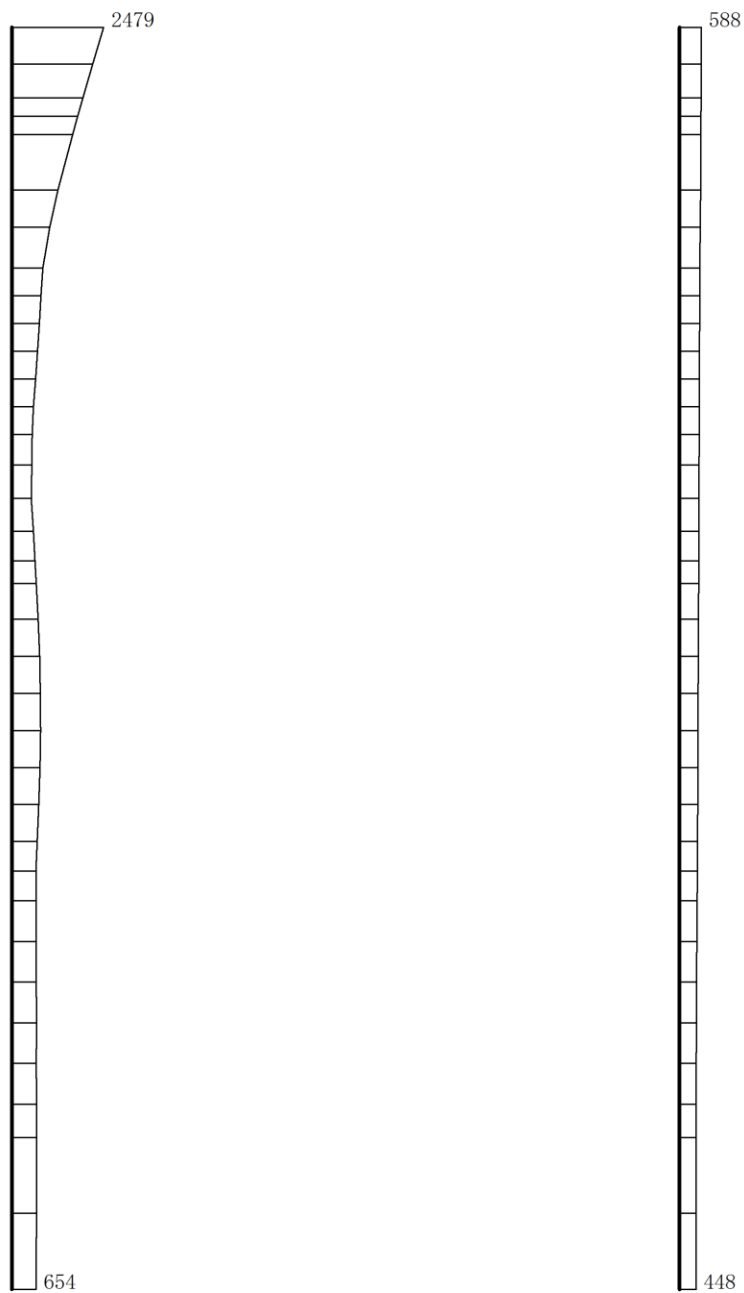
構造スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 2(m) 応答値スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 2000(cm/s²)

図 4-11 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



構造スケール $0 \quad \text{2(m)}$ 応答値スケール $0 \quad \text{2000 (cm/s}^2\text{)}$

図 4-12 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



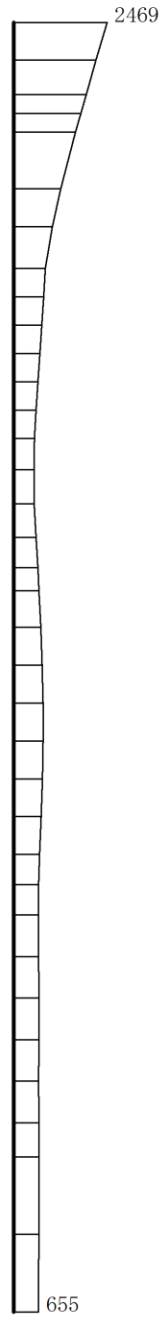
S s - D (- +) 水平

S s - D (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-13 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



S s - D (- +) 水平



S s - D (- +) 鉛直

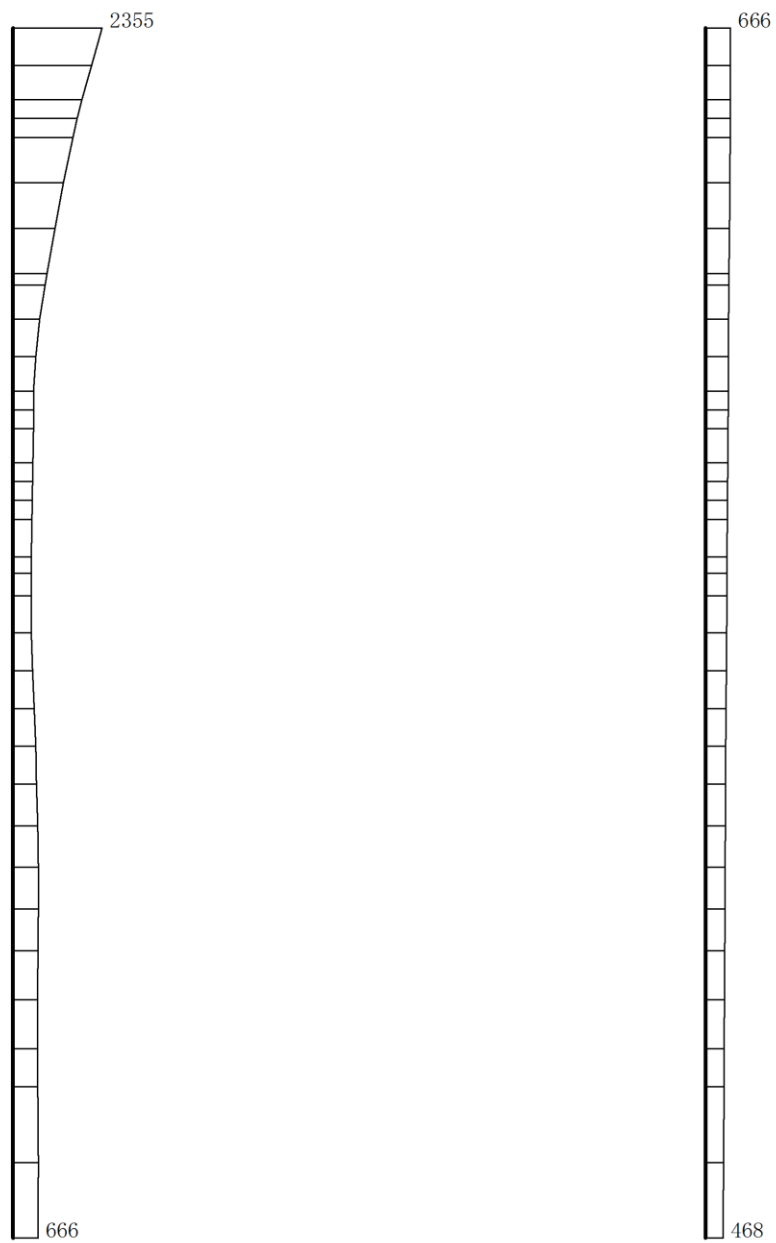
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-14 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)

4.2 ③-③断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 $S_d - D$ に対する最大加速度分布図を図 4-15～図 4-26 及び図 4-29 に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図 4-27、図 4-28 に示す。

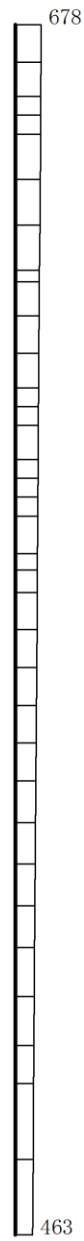
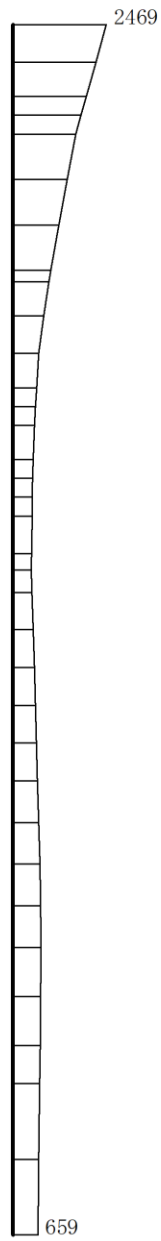


S s - D (++) 水平

S s - D (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 2000(cm/s^2)$

図 4-15 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

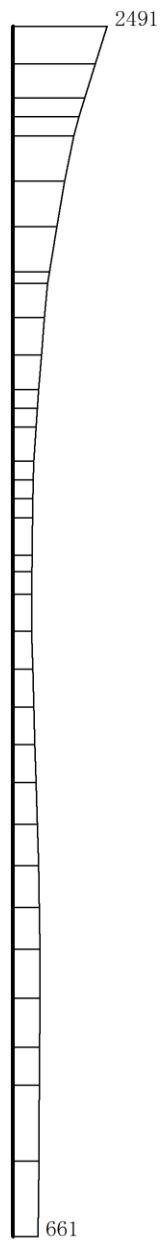


S s - D (- +) 水平

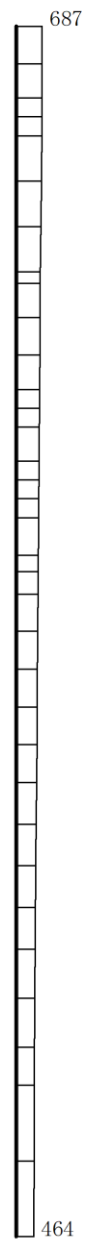
S s - D (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-16 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



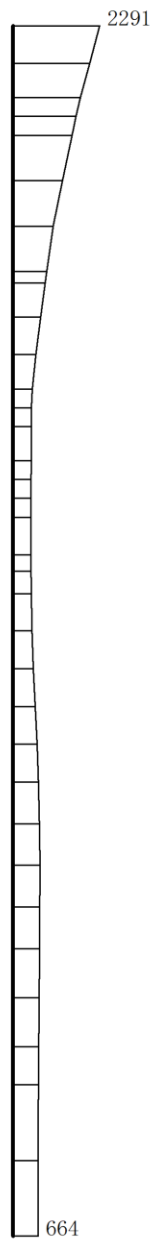
S s - D (+-) 水平



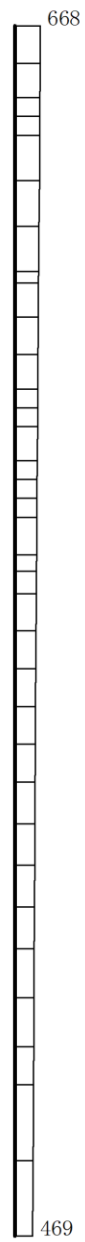
S s - D (+-) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 2000(cm/s^2)$

図 4-17 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



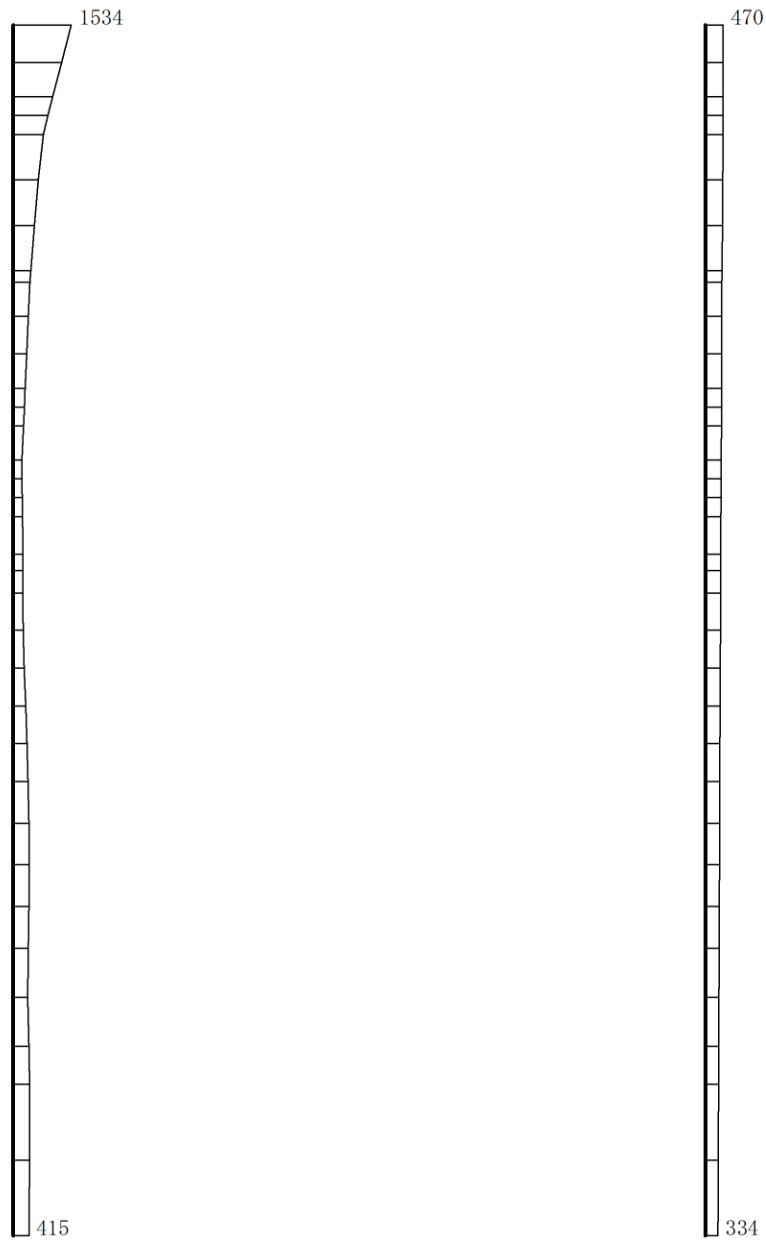
S s - D (--) 水平



S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-18 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

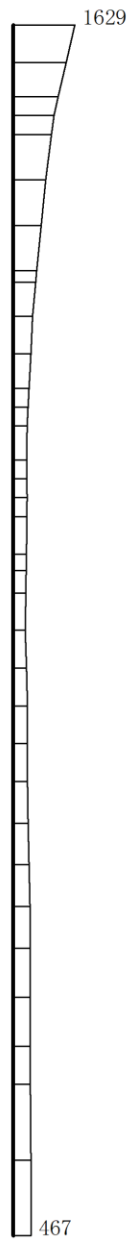


S s - F 1 (++) 水平

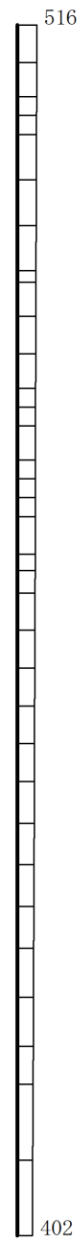
S s - F 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-19 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



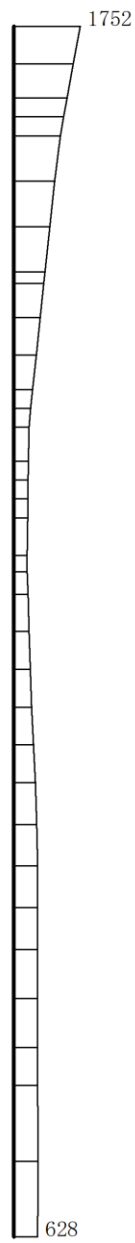
S s - F 2 (++) 水平



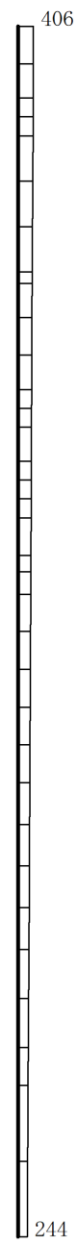
S s - F 2 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 2000(cm/s^2)$

図 4-20 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



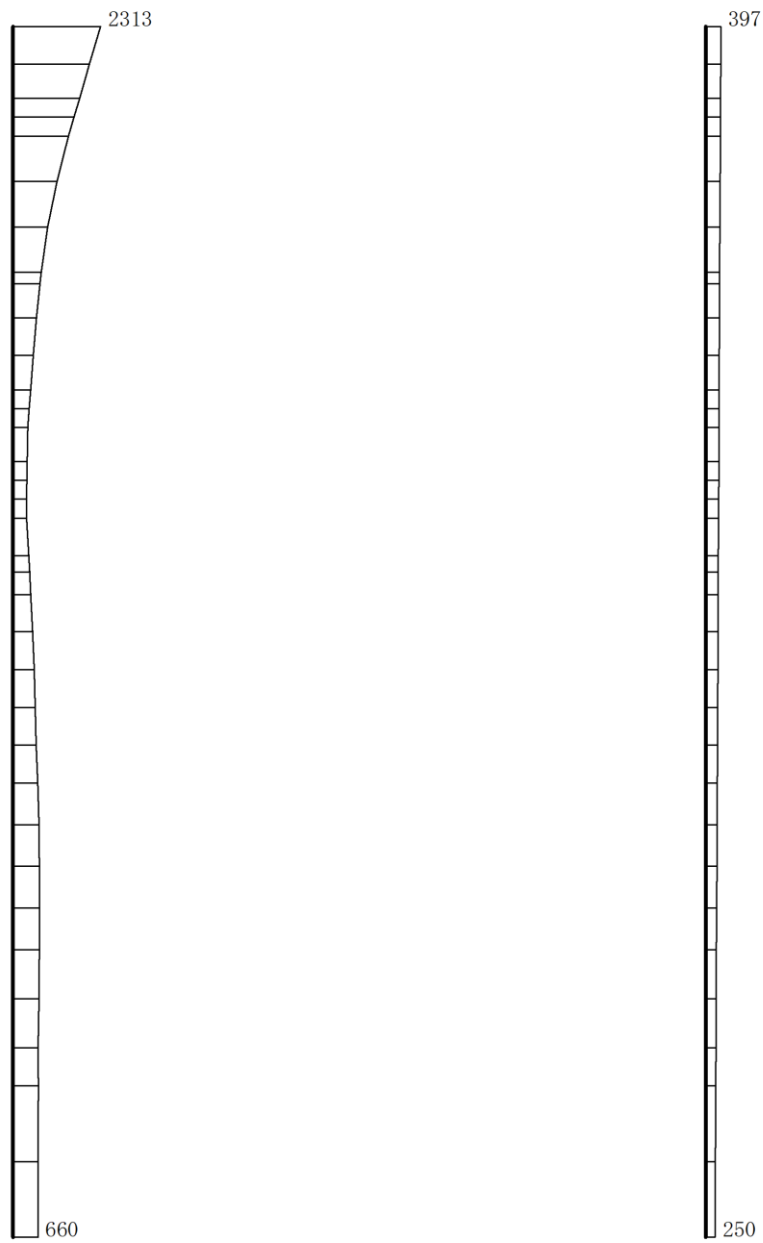
S s - N 1 (++) 水平



S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-21 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

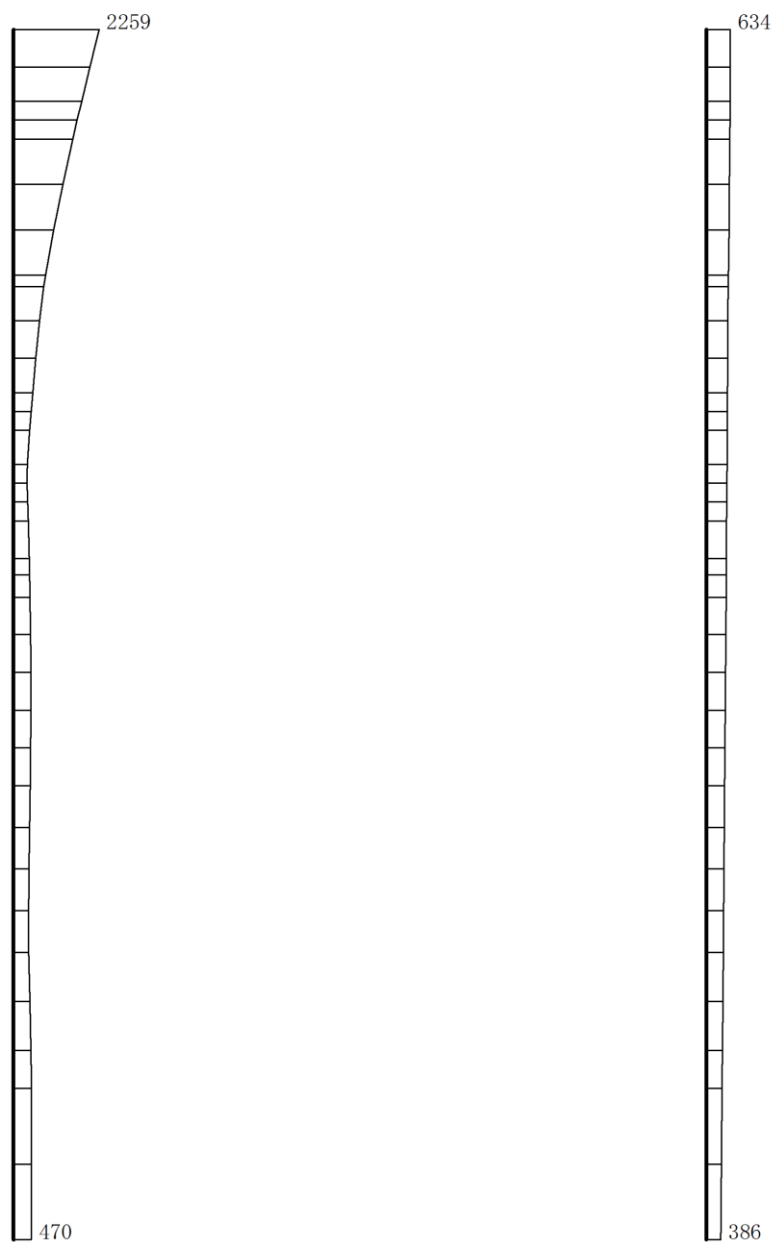


S s - N 1 (- +) 水平

S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-22 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

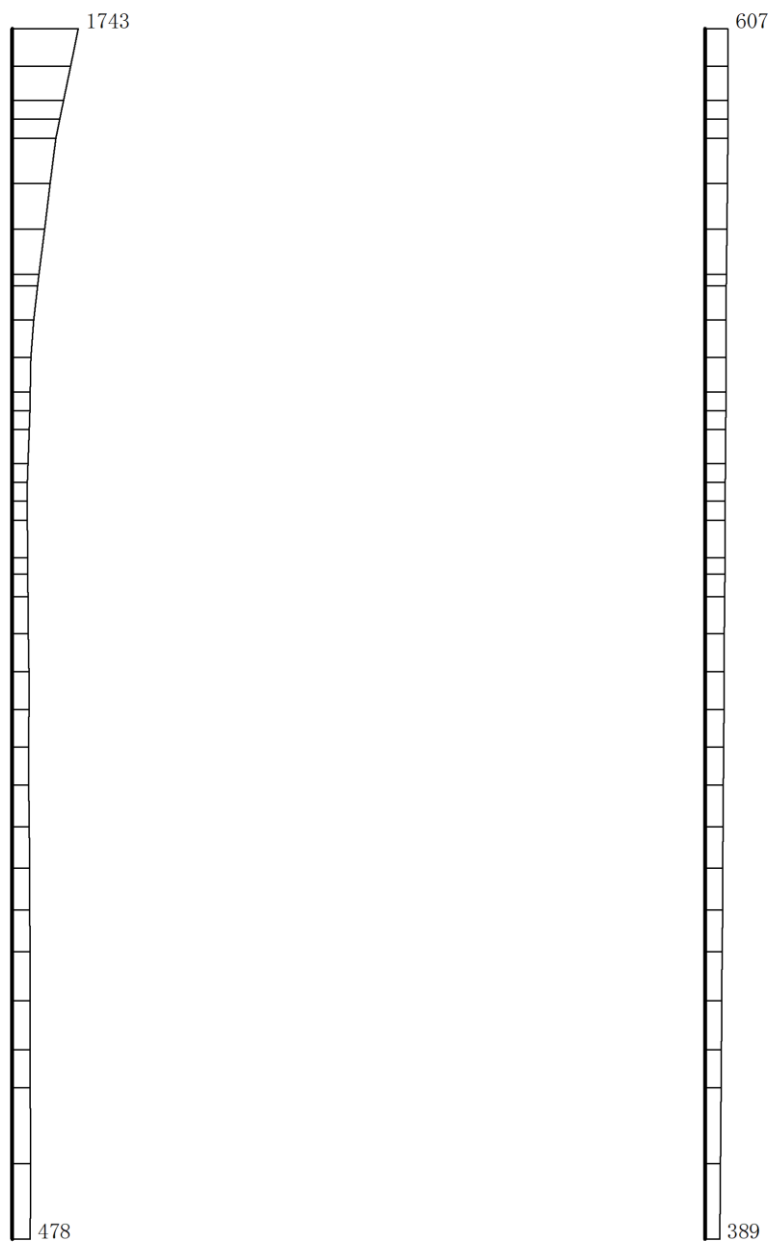


S s - N 2 (N S) (+ +) 水平

S s - N 2 (N S) (+ +) 鉛直


構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-23 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



S_s-N2 (NS) (-+) 水平

S_s-N2 (NS) (-+) 鉛直

構造スケール 0  2(m)


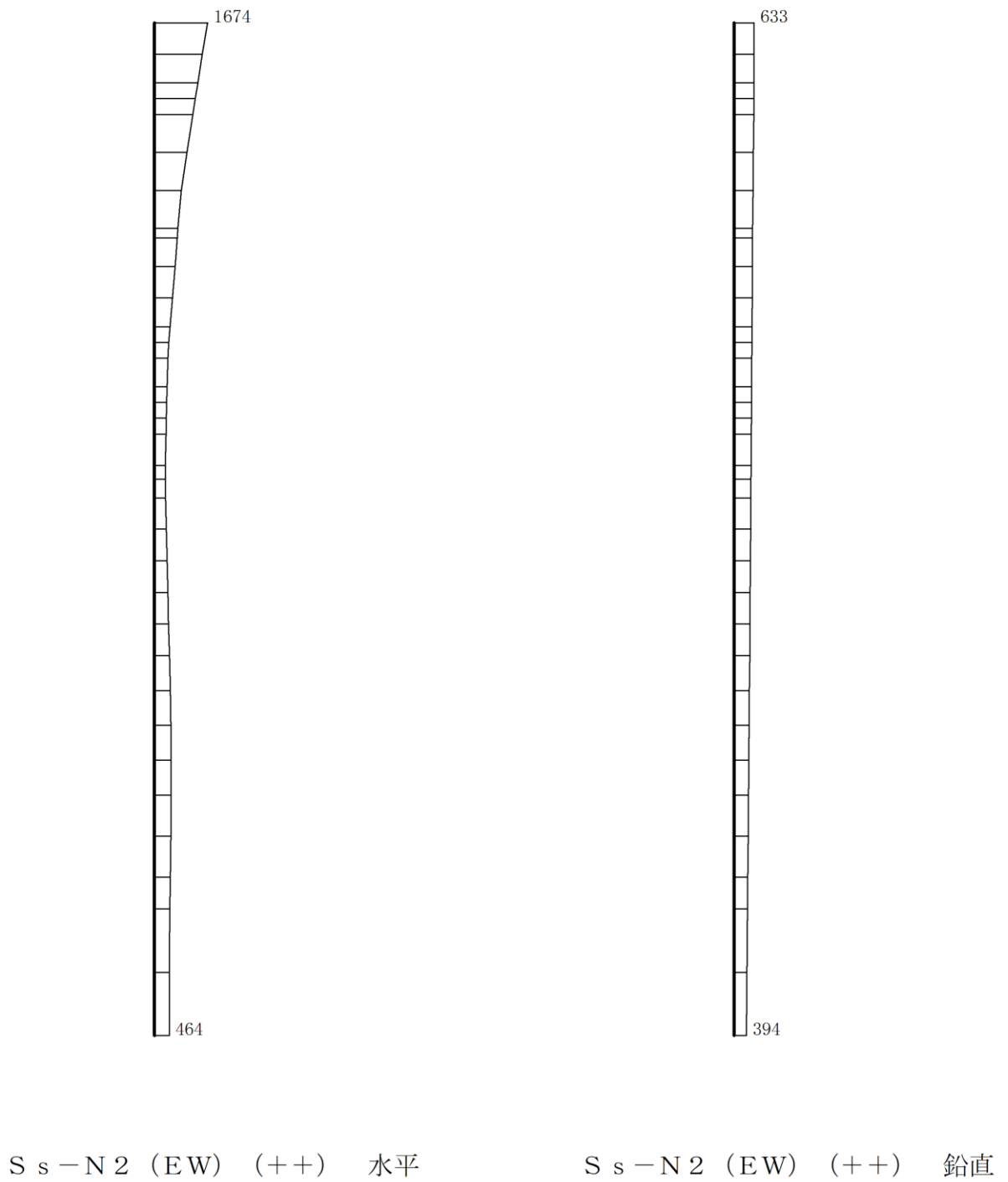
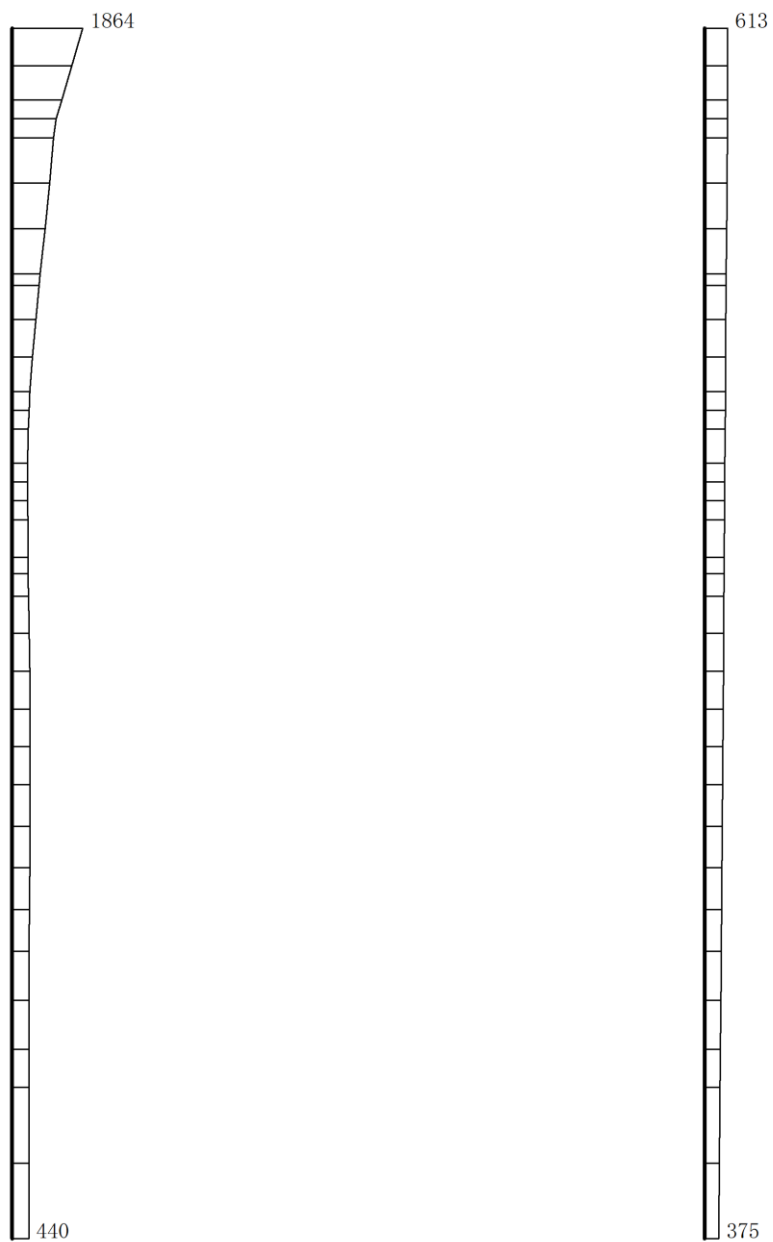
応答値スケール 0  2000(cm/s²)

図 4-24 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-25 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

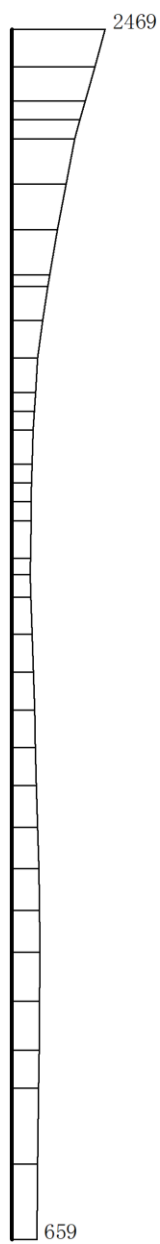


S s - N 2 (EW) (-+) 水平

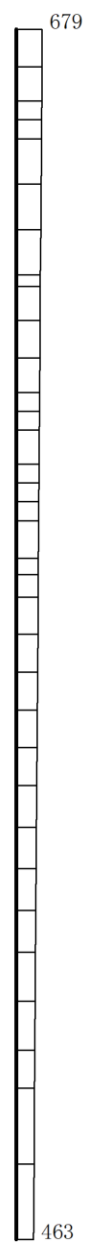
S s - N 2 (EW) (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-26 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)



S s - D (-+) 水平

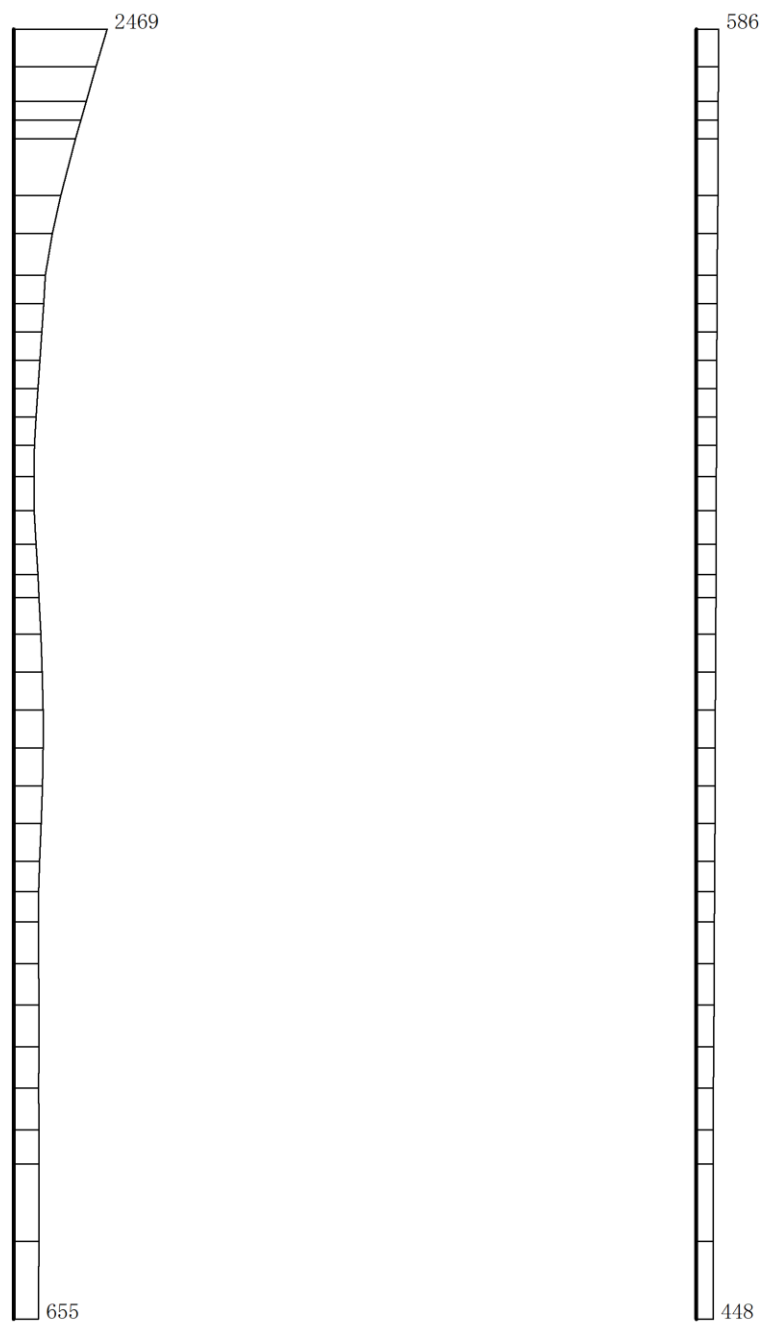


S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-27 最大応答加速度分布図 (解析ケース②)



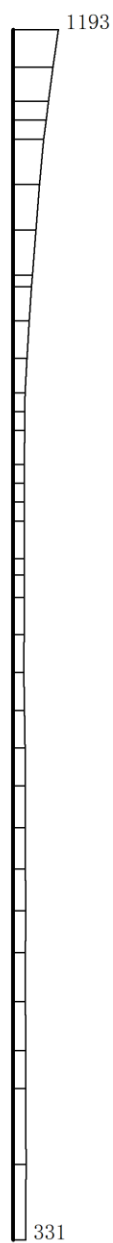
S s - D (- +) 水平

S s - D (- +) 鉛直

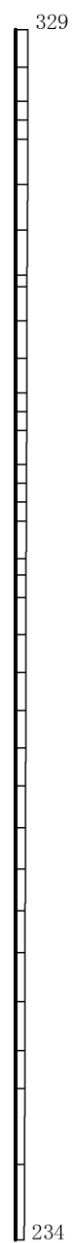
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 2000 (cm/s²)

図 4-28 最大応答加速度分布図 (解析ケース③)



S d - D (++) 水平



S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 2000(cm/s²)

図 4-29 最大応答加速度分布図 (解析ケース①)

VI-2-10-2-3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）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	12
3. 評価対象断面	13
4. 耐震評価	19
4.1 2次元動的有限要素法	19
4.1.1 解析方法	19
4.1.2 荷重及び荷重の組合せ	21
4.1.3 入力地震動	21
4.1.4 解析モデル及び諸元	23
4.1.5 評価対象部位	25
4.1.6 許容限界	26
4.1.7 評価方法	29
4.2 3次元構造解析	32
4.2.1 解析方法	32
4.2.2 荷重及び荷重の組合せ	32
4.2.3 解析モデル及び諸元	32
4.2.4 評価対象部位	35
4.2.5 許容限界	35
4.2.6 評価方法	35
5. 耐震評価結果	36
5.1 鋼管杭	36
5.1.1 曲げ照査	36
5.1.2 せん断力照査	38
5.2 被覆コンクリート壁	41
5.2.1 曲げ照査	43
5.2.2 せん断力照査	47
5.4 改良地盤④	49
5.5 止水目地	50
5.6 基礎地盤	51

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に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、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析又は3次元構造解析に基づく施設・地盤の健全性評価、施設の変形性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、基礎地盤に発生した接地圧を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図を図2-1に示す。

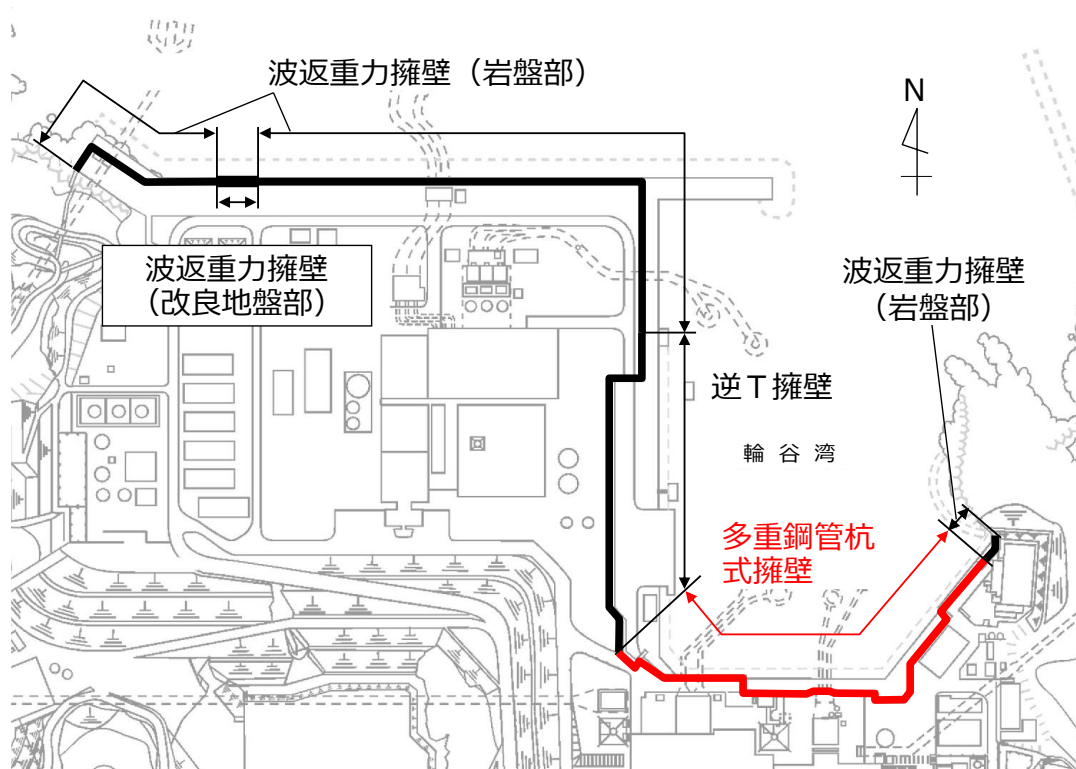


図2-1 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の位置図

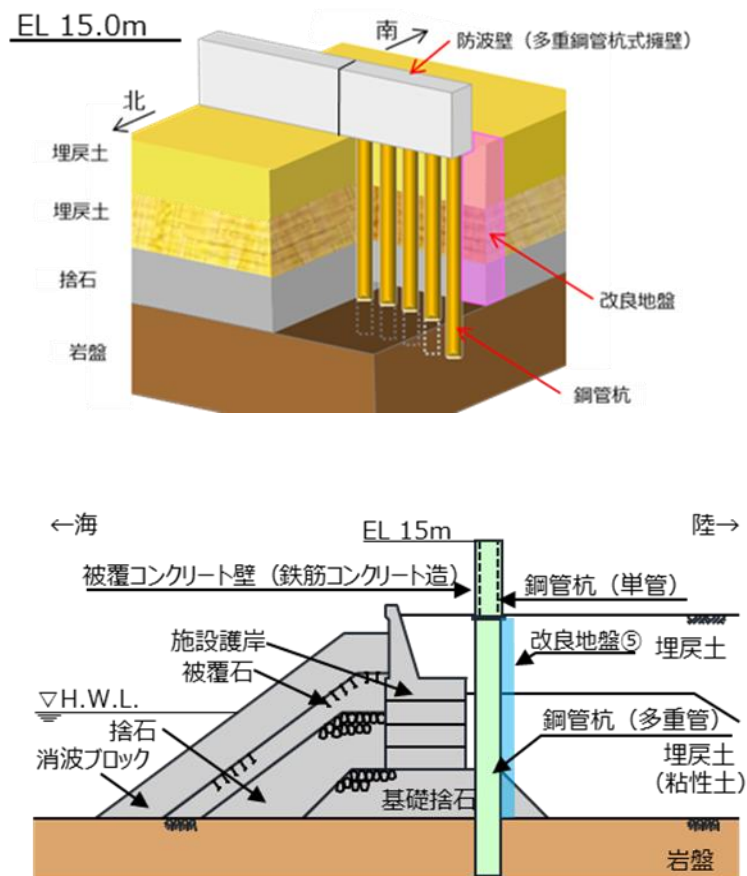
2.2 構造概要

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図を図2-2に、構造図を図2-3及び図2-4に、概略配筋図を図2-5に、止水目地の概念図及び配置位置図を図2-6及び図2-7に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、入力津波高さ（EL 12.6m）に対して余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は、鋼管を多重化して鋼管内をコンクリート又はモルタルで充填した多重鋼管による杭基礎構造及び、鋼管杭と鉄筋コンクリート造の被覆コンクリート壁による上部構造から構成される。鋼管杭は、岩盤に支持させる構造とし、岩盤部では隣り合う多重鋼管杭間をセメントミルクで間詰めする。被覆コンクリート壁の、ブロック間の境界には、止水性を保持するための止水目地を設置する。

また、津波の地盤中からの回り込みに対し、防波壁の背後に地盤改良を実施する。



（正面図及び断面図）

図2-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造概要図

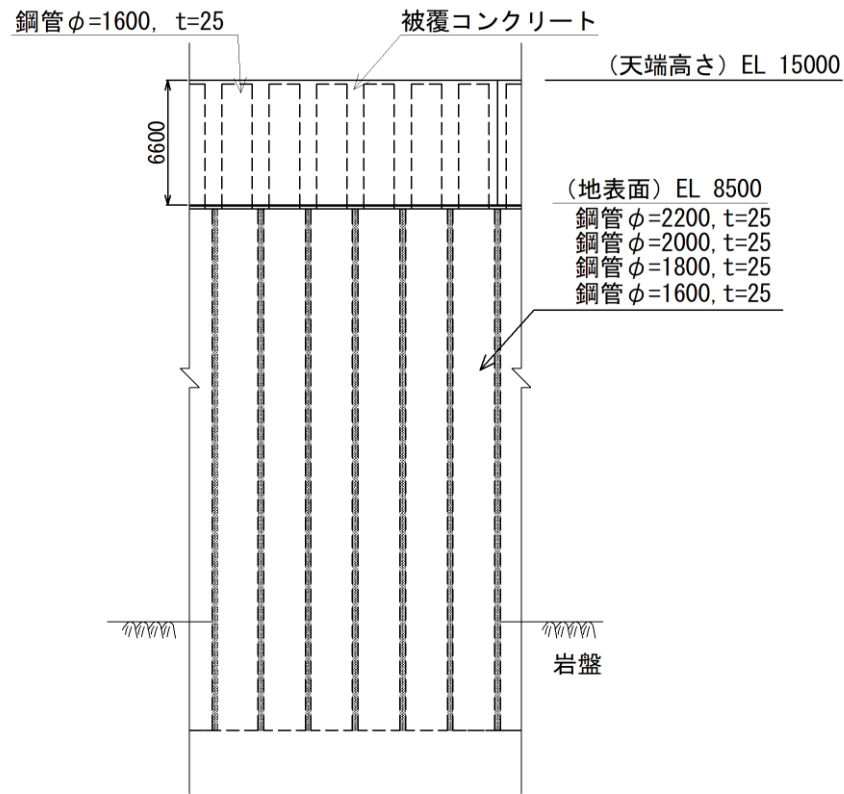


図 2-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（正面図）

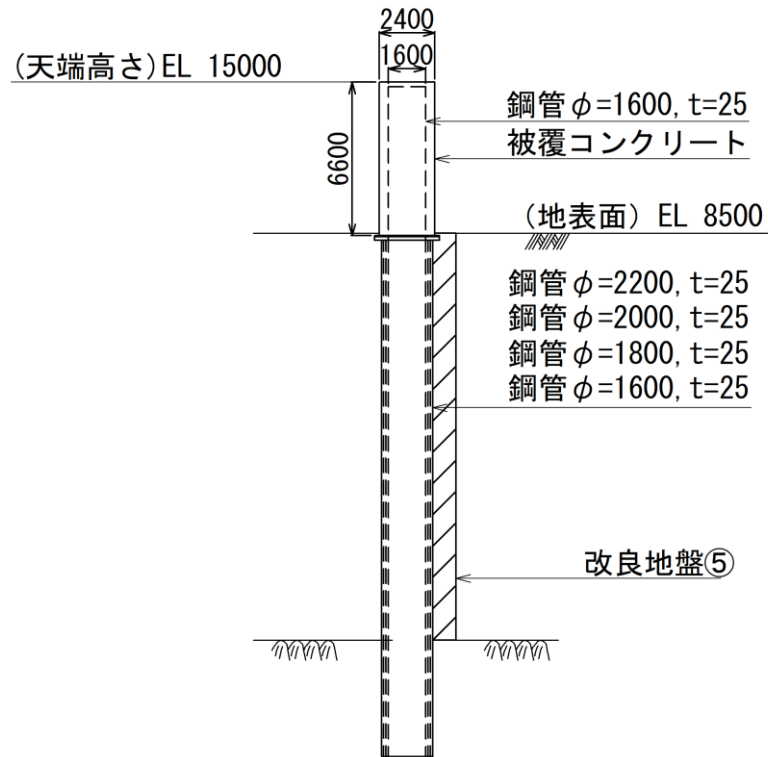


図 2-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造図（断面図）

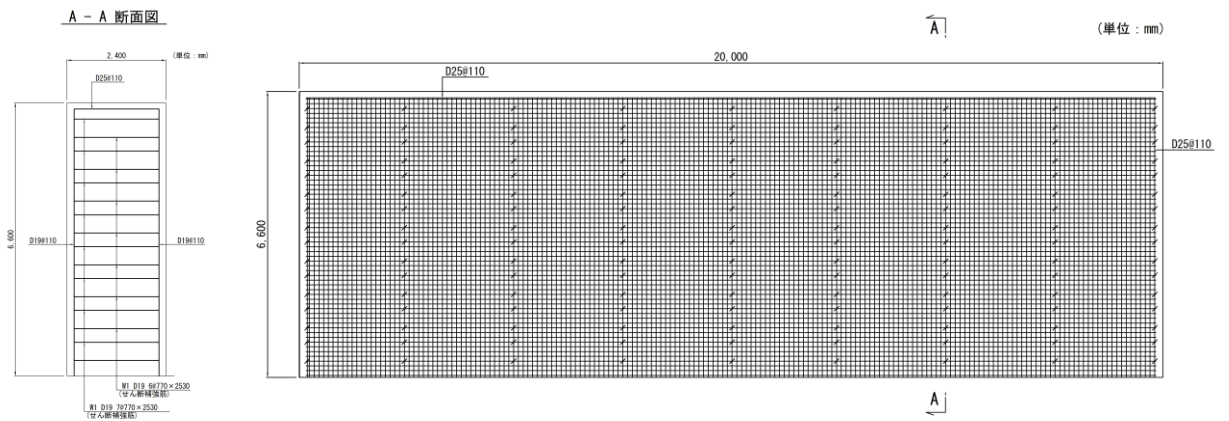


図 2-5 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の概略配筋図

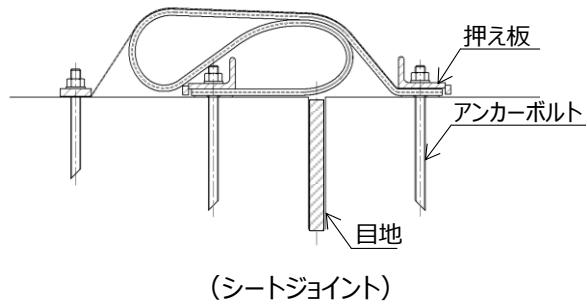


図 2-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の止水目地の概念図

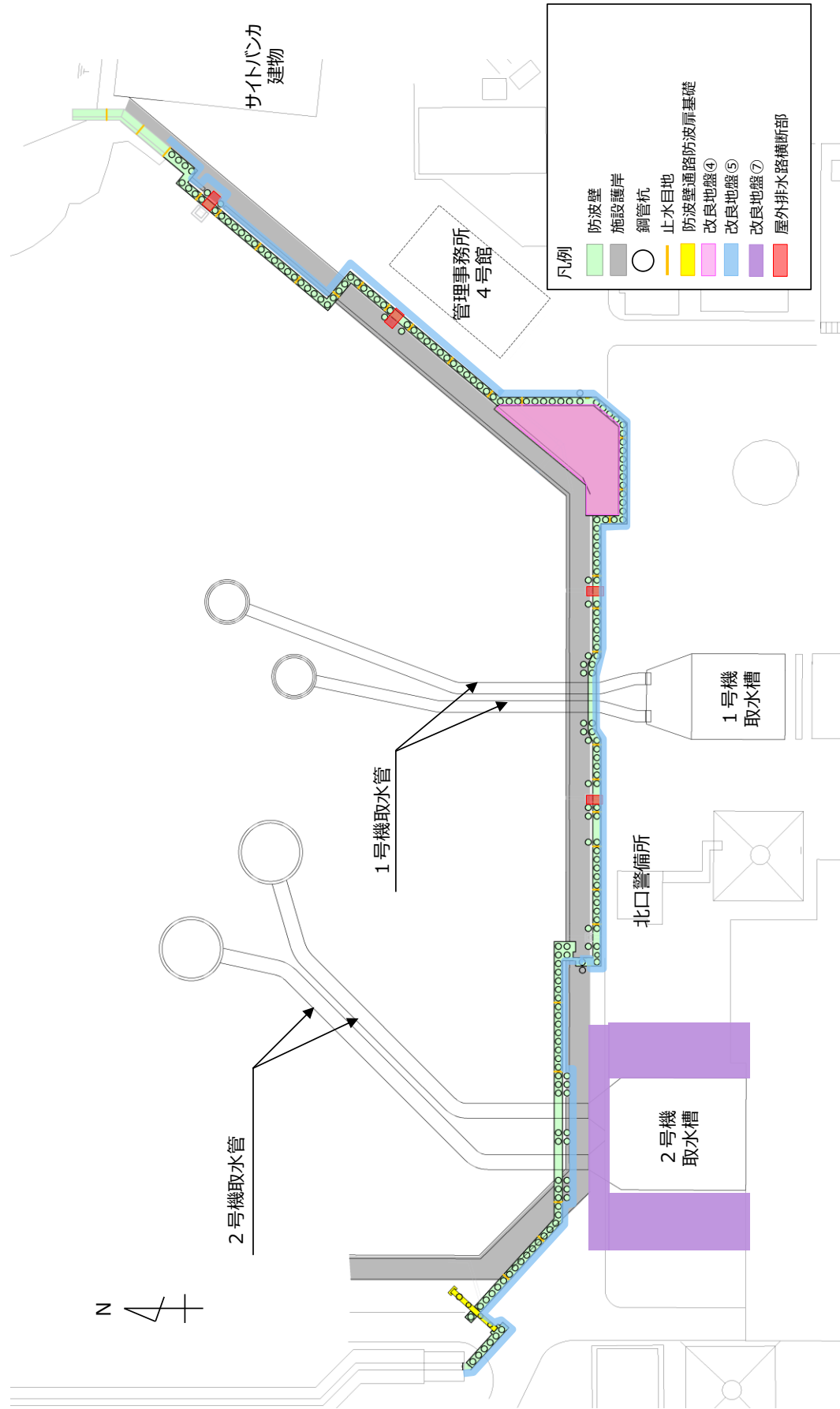


図 2-7 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の止水目地の配置位置図

2.3 評価方針

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）は，Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位の役割及び性能目標を表2-1及び表2-2に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価は，地震応答解析及び3次元構造解析の結果に基づき，設計基準対象施設として，表2-3に示すとおり，施設・地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

施設・地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することで，構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については，施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力，すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては，基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

施設の変形性評価については，止水目地の変形量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界を下回ることを確認する。

防波壁（多重鋼管杭式）の耐震評価フローを図2-8に示す。

表 2-1 防波壁(多重鋼管杭式)の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	鋼管杭	・被覆コンクリート壁を支持する。	・被覆コンクリート壁を支持する。
	被覆コンクリート壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・被覆コンクリート壁間の変形に追従する。	・被覆コンクリート壁間変形に追従し、遮水性を保持する。
地盤	改良地盤④	・鋼管杭の変形を抑制する。	・難透水性を保持する。
	改良地盤⑤	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁への相互作用を考慮する)。	・難透水性を保持する。
	改良地盤⑦	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁への相互作用を考慮する)。	・役割に期待しない。
	岩盤*	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。	・鋼管杭及び被覆コンクリート壁を支持する。 ・鋼管杭の変形を抑制する。
	埋戻土, 埋戻土(粘性土), 砂礫層	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する)。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸, 基礎捨石, 捨石, 被覆石	・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する)。	・役割に期待しない。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	グラウト材(埋戻土部 杭間部充填)	・役割に期待しない。	・難透水性の地盤ではあるが、役割に期待しない。

注記* : 岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは、岩盤に含む。

表 2-2 防波壁(多重鋼管杭式)の各部位の性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (透水性、難透水性)
施設	鋼管杭	—	—	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、鋼管杭がおおむね弾性状態にとどまること。
	被覆コンクリート壁			構造部材の健全性を保持するために、被覆コンクリート壁がおおむね弾性状態にとどまること。	止水目地の支持機能を喪失して被覆コンクリート間から優位な漏えいを生じないために、被覆コンクリート壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	被覆コンクリート壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
地盤	改良地盤④	—	—	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと。(内部安定を保持)	地盤中からの回り込みによる流入を防止(難透水性を保持)するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	改良地盤⑤	—	—	—	地盤中からの回り込みによる流入を防止(難透水性を保持)するため改良地盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)
	岩盤*	鋼管杭を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、岩盤がすべり破壊しないこと。(内的安定を保持)	—

注記*：岩盤部と鋼管杭間に充填するセメントミルクは、岩盤に含む。

表 2-3 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	鋼管杭	発生する応力(曲げ, 軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント(曲げ)及びせん断応力度(せん断)
		被覆コンクリート壁	発生する応力(曲げ, 軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤④	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤⑤		
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	鋼管杭	発生する応力(曲げ, 軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント(曲げ)及びせん断応力度(せん断)
		被覆コンクリート壁	発生する応力(曲げ, 軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤④	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
		改良地盤⑤		
	基礎地盤の支持性能	岩盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
	施設の変形性	止水目地	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

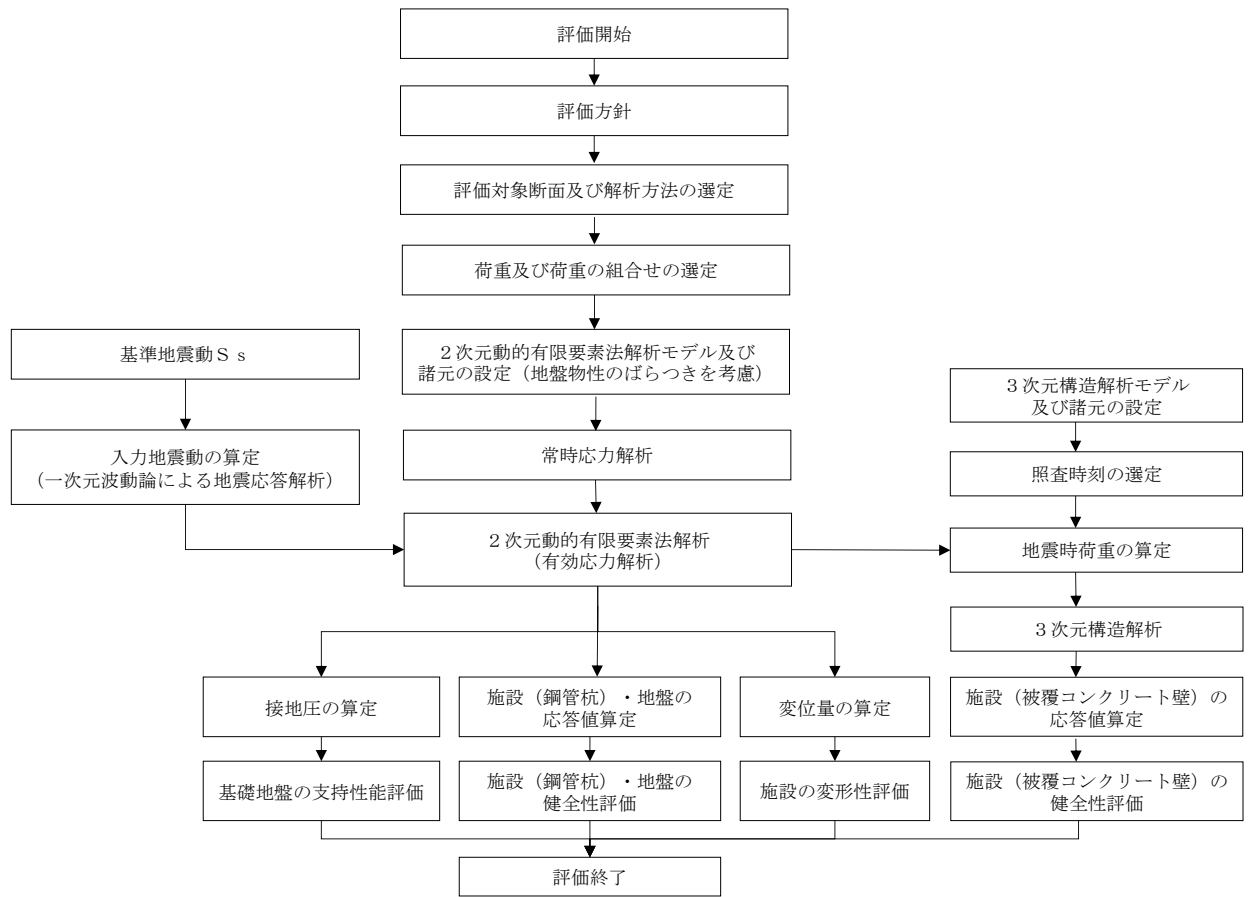


図 2-8 防波壁(多重鋼管杭式擁壁)の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原管地発第1306196号）
- ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成27年12月）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解析（（社）日本港湾協会，H19年版）
- ・港湾構造物設計事例集（沿岸技術研究センター，平成19年3月）

3. 評価対象断面

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象断面は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の評価対象断面位置図を図3-1に、縦断面図を図3-2に、防波壁（多重鋼管式擁壁）の各区分における横断面図を図3-3～図3-8に示す。以下の理由から、②-②断面、③-③断面、④-④断面、及び⑦-⑦断面を評価対象断面として選定する。

- ・②-②断面は、防波壁が施設護岸の背面に設置されている断面のうち、岩盤上面深さが最も深く、改良地盤④が設置されていることから評価対象断面に選定した。
- ・③-③断面は、防波壁が施設護岸の前面に設置されている断面のうち、岩盤上面の深さが最も深いことから、選定した。
- ・④-④断面は、取水管を横断するため、多重鋼管杭の杭間隔が広いことから、選定した。
- ・⑦-⑦断面は②-②断面に直交する縦断方向の断面である。②-②断面位置における縦断方向の止水目地の変形量を求めるため、変形性評価の評価対象断面に選定した。

本資料では、防波壁が施設護岸の背面に設置されている断面である②-②断面と、防波壁が施設護岸の前面に設置されている断面である③-③断面の耐震評価を実施する。また、止水目地の評価において、②-②断面と⑦-⑦断面を選定する。

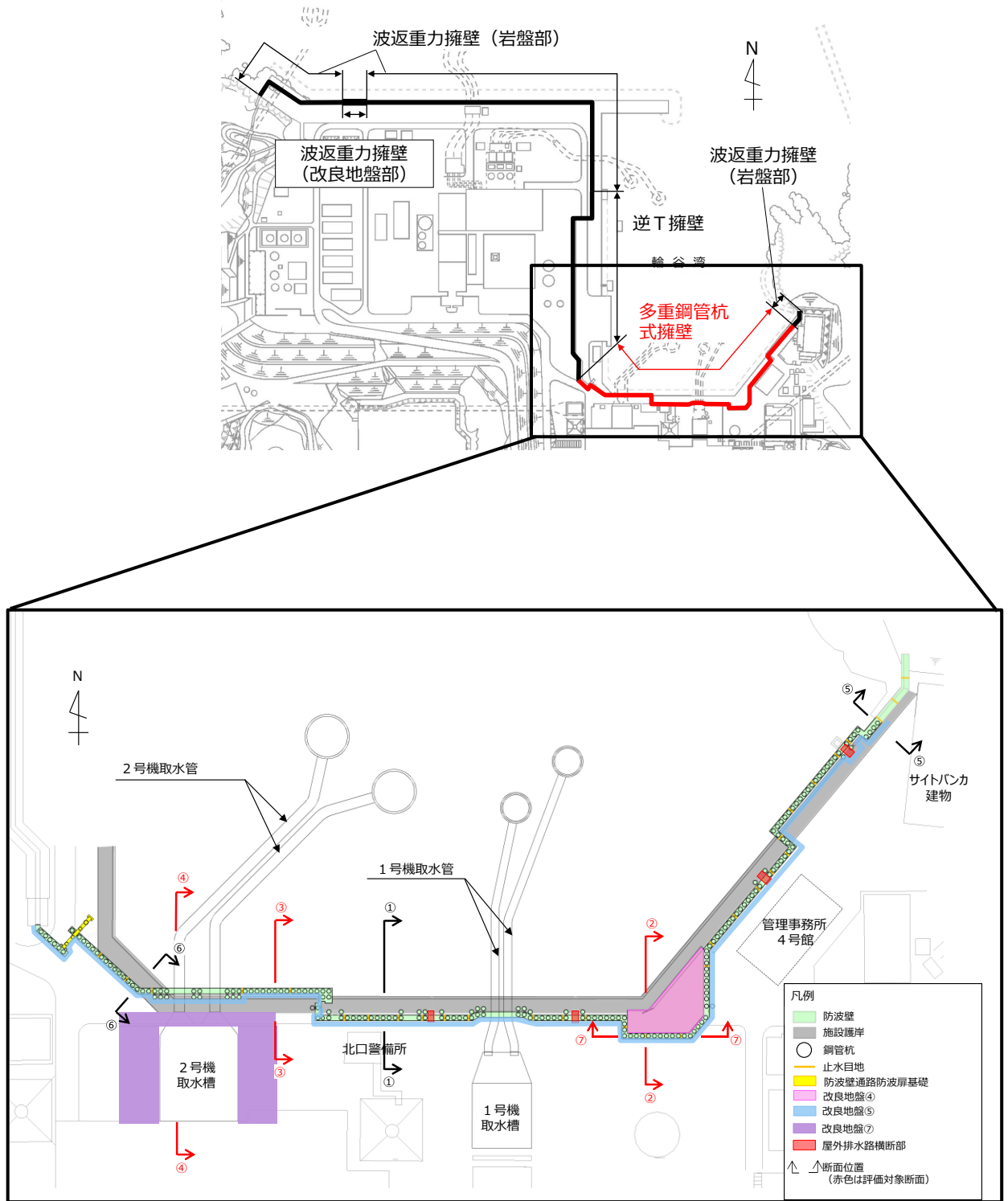


図 3-1 防波壁 (多重鋼管杭式擁壁) の評価対象断面位置図

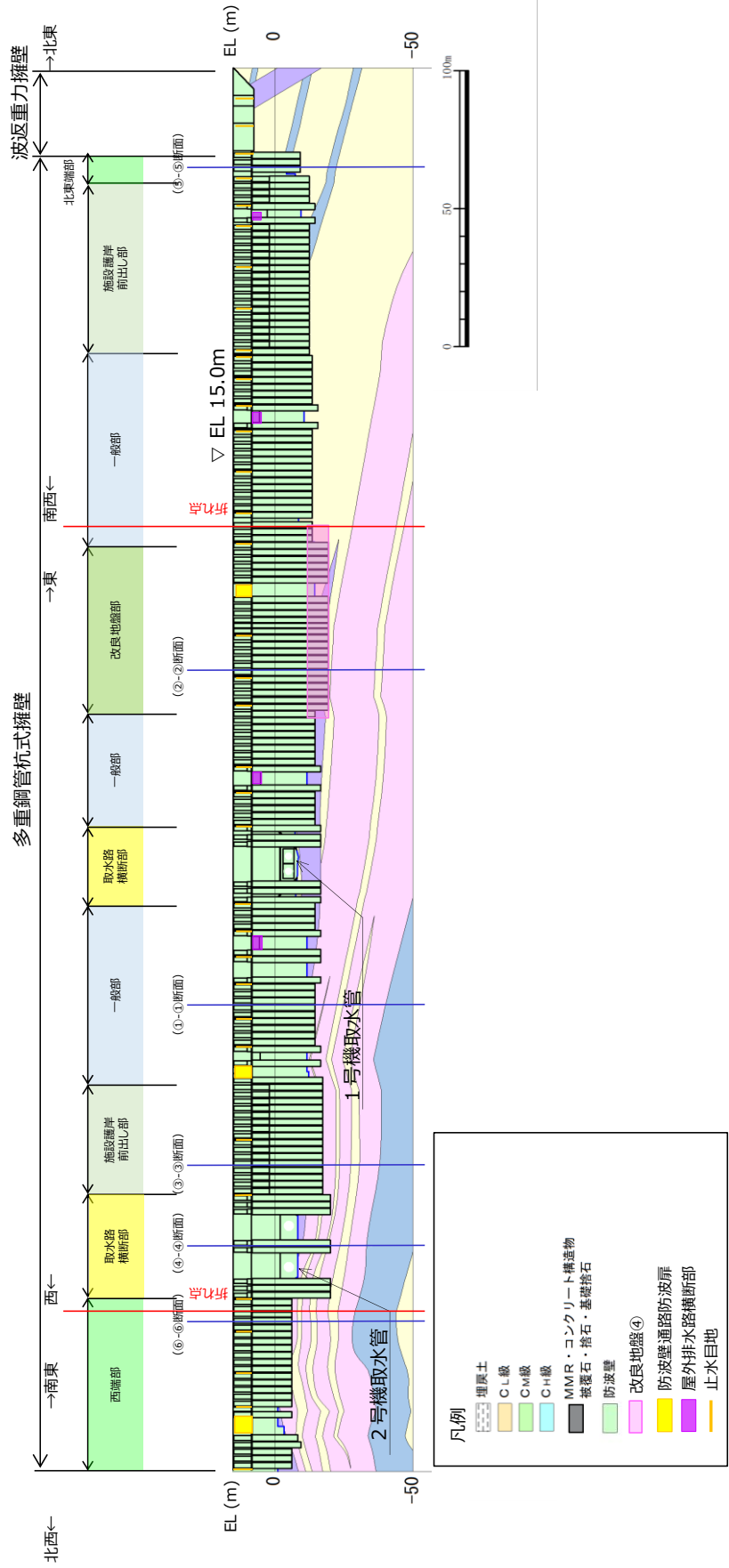


図 3-2 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の縦断面図

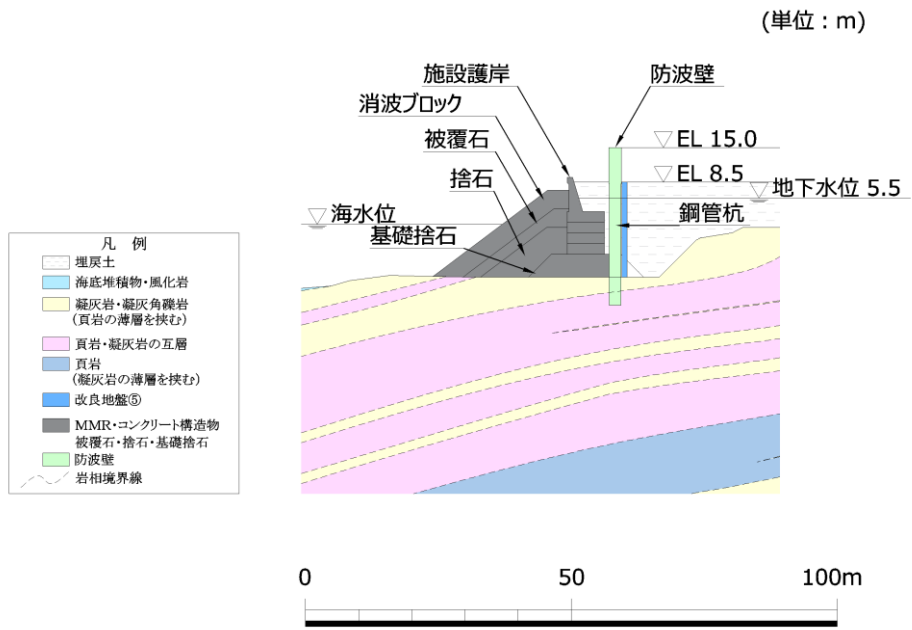


図 3-3 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（①-①断面）

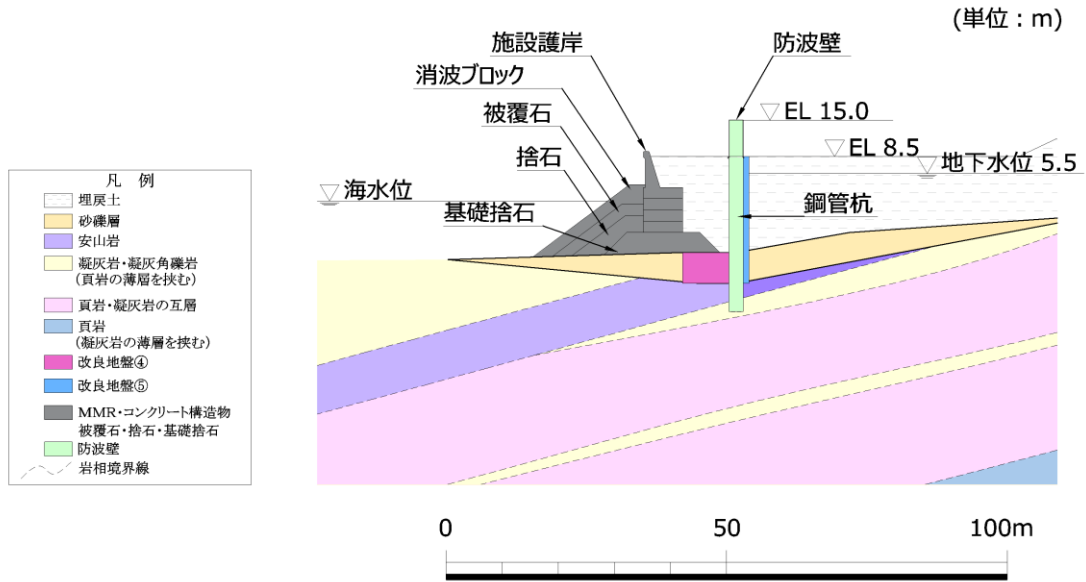


図 3-4 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（②-②断面）

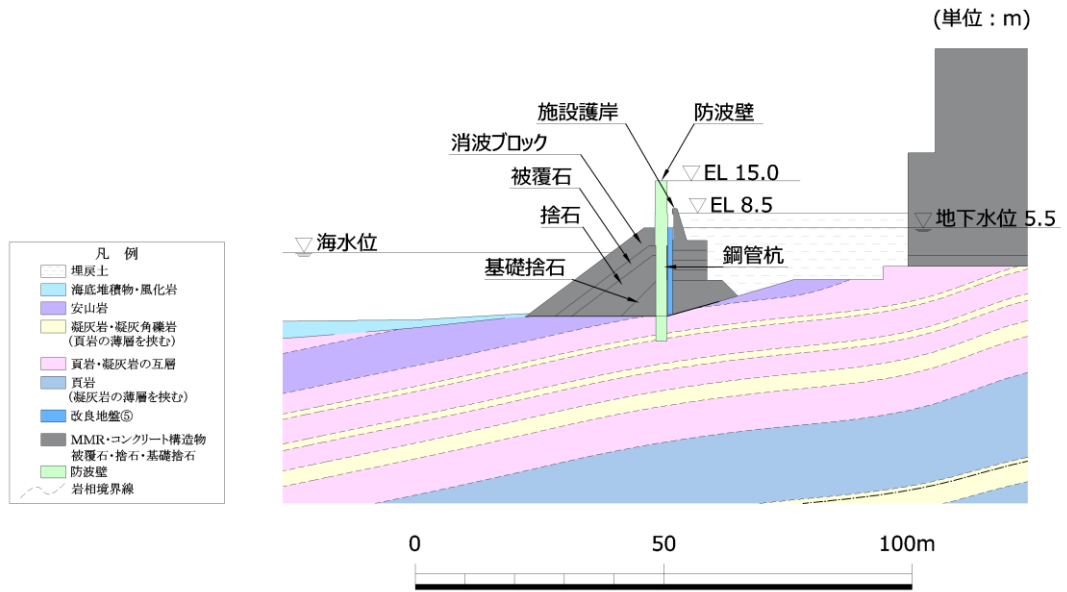


図 3-5 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（③-③断面）

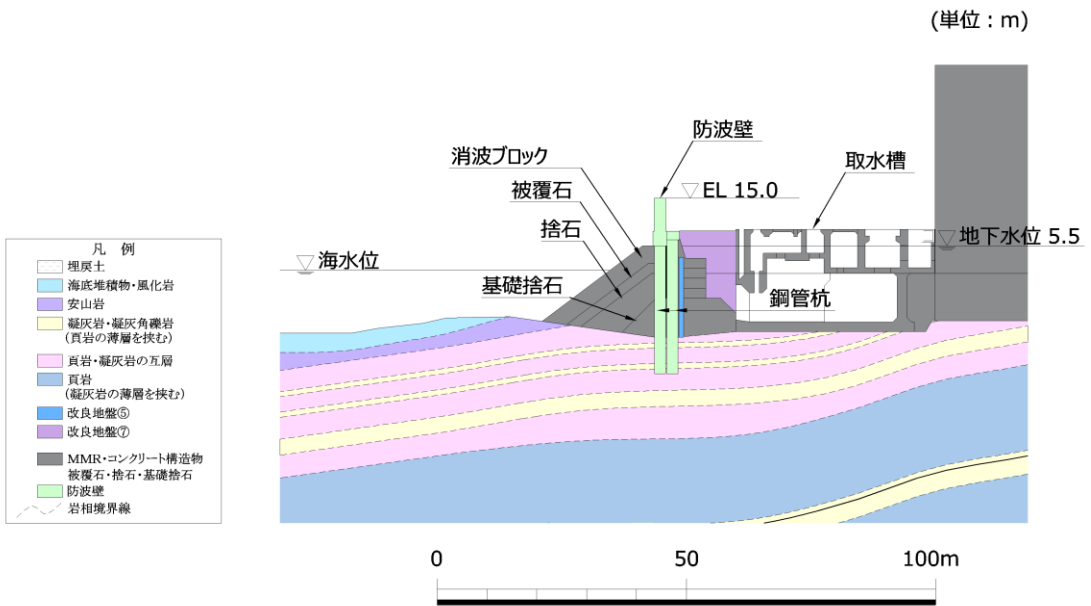


図 3-6 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（④-④断面）

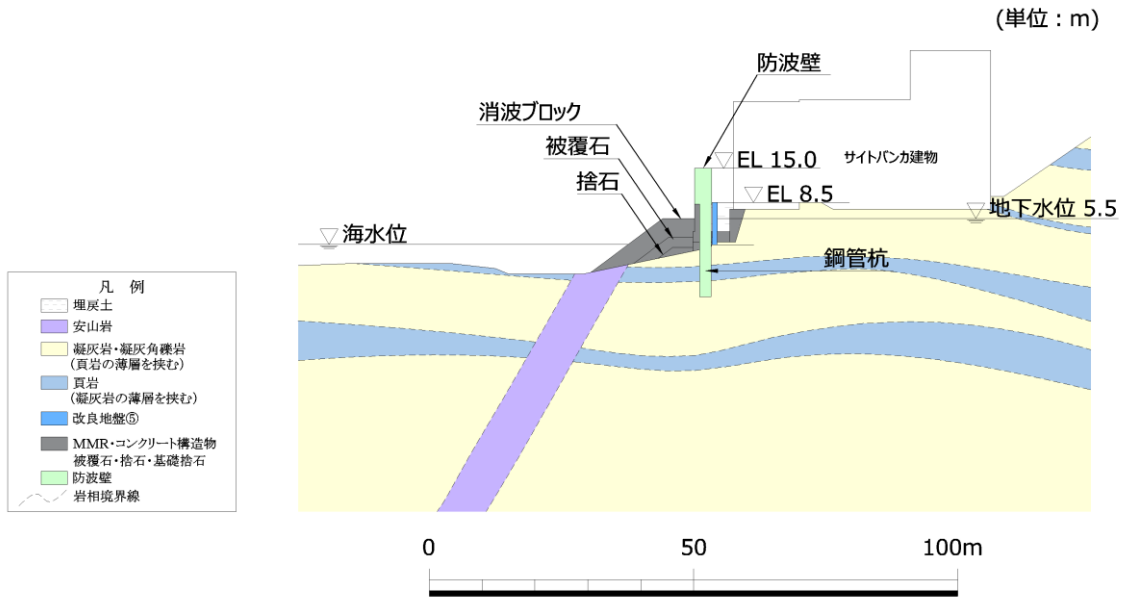


図 3-7 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（⑤-⑤断面）

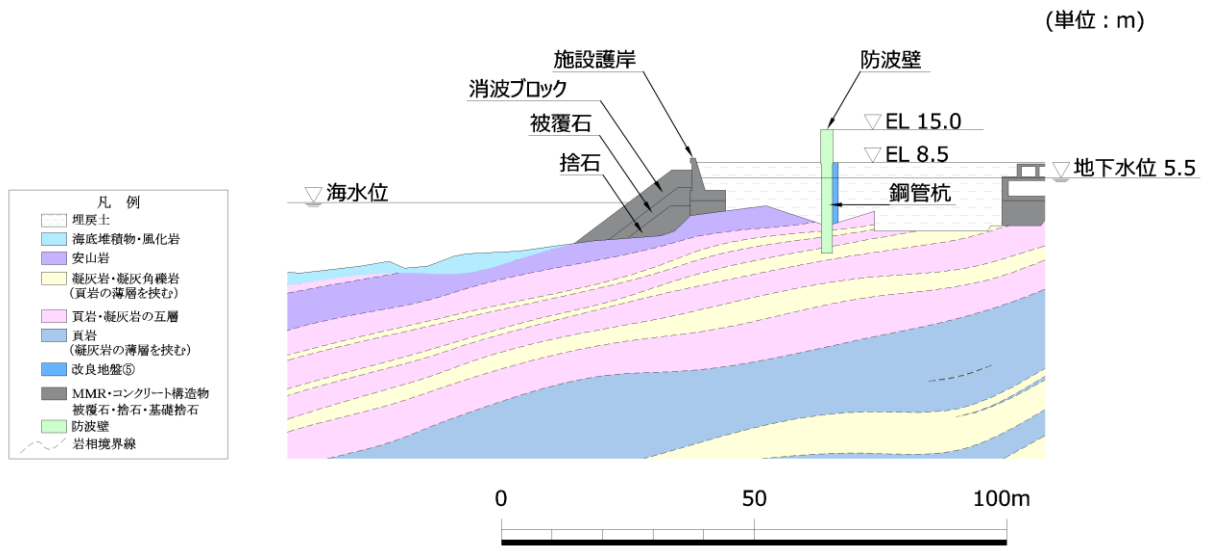


図 3-8 防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の横断面図（⑥-⑥断面）

4. 耐震評価

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の各部位のうち，鋼管杭及び改良地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価，並びに止水目地の変形性評価については2次元動的有限要素法（有効応力解析）による耐震評価を行い，被覆コンクリート壁については，3次元構造解析により健全性評価を行う。

4.1 2次元動的有限要素法

4.1.1 解析方法

解析方法はVI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」と同様とする。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震時の応答は，周辺地盤との相互作用によることから，地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては，表4-1に示す解析ケースにおいて考慮する。

図3-2～図3-8に示すとおり，動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており，これらの地盤のせん断変形が地震時に防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち，広範囲に分布しており，応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

表4-1 有効応力解析における解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

耐震評価における解析ケースを表4-2に示す。耐震評価においては，全ての基準地震動 S_s に対し，解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動 S_s に対して実施したケース①の解析において，各照査値が最も厳しい地震動を用い，解析ケース②及び③を実施する。

表 4-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮し た解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮し た解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1σ	平均値 - 1σ
地震動 (位相)	S _s -D	++*	○	基準地震動 S _s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	
	S _s -F 1	++*	○	
	S _s -F 2	++*	○	
	S _s -N 1	++*	○	
		-+*	○	
	S _s -N 2 (NS)	++*	○	
		-+*	○	
	S _s -N 2 (EW)	++*	○	
		-+*	○	

注記* : 地震動の位相について、(++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

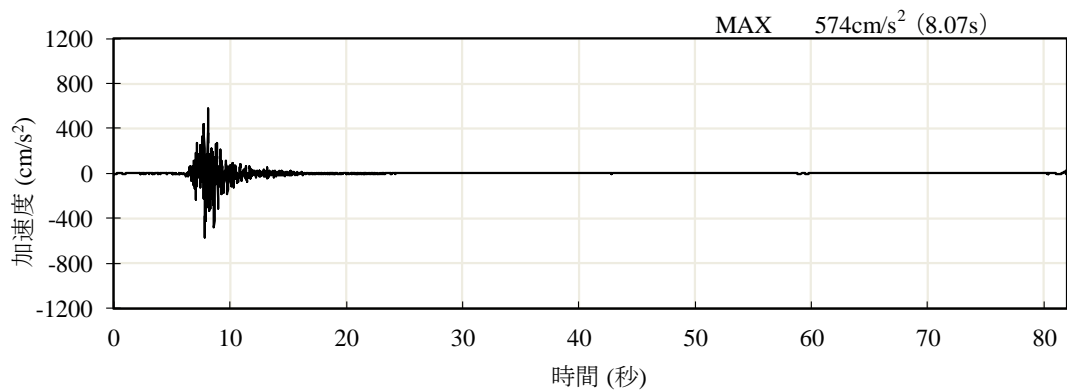
4.1.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した荷重を考慮する。

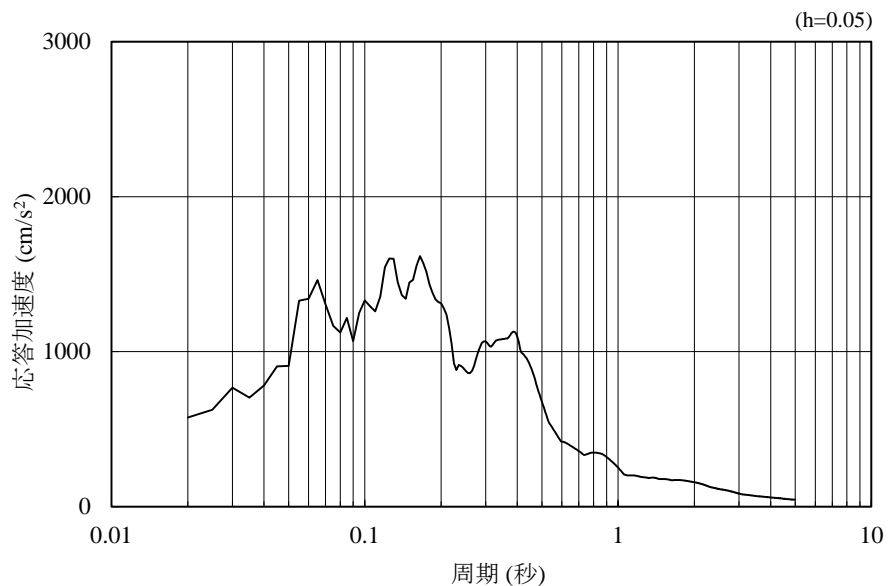
4.1.3 入力地震動

地震応答解析には，VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した入力地震動を用いる。

⑦-⑦断面に用いる $S_s - F 1$ 及び $S_s - F 2$ について，図 4-1 及び図 4-2 に示す。



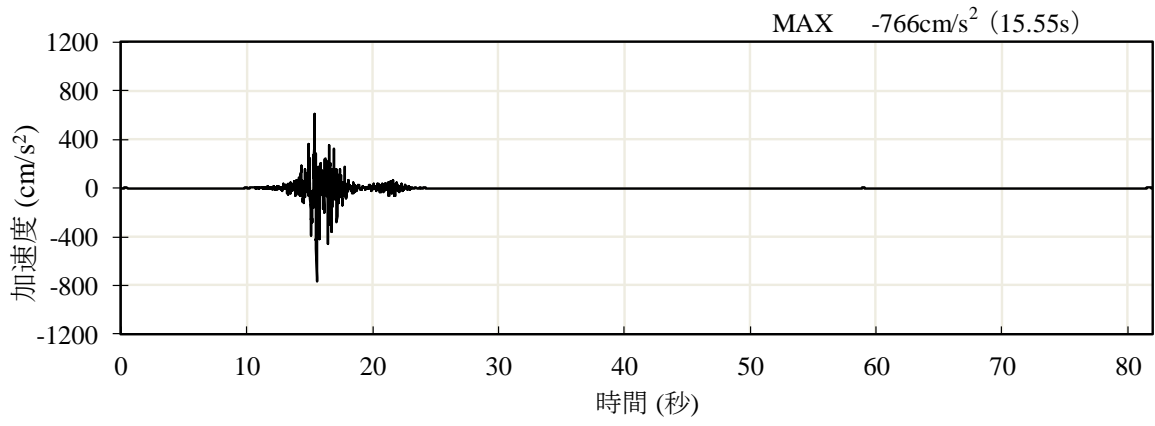
(a) 加速度時刻歴波形



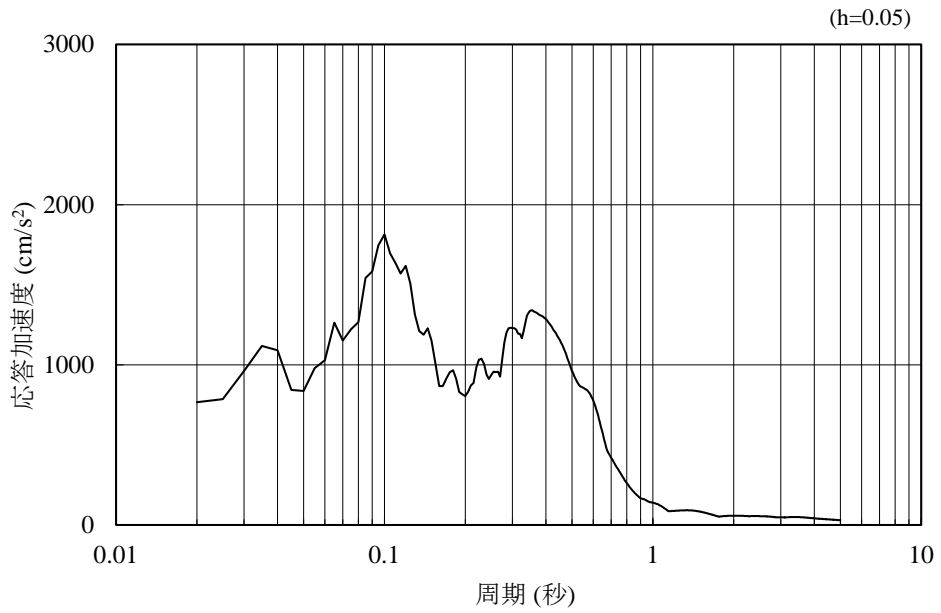
(b) 加速度応答スペクトル

図 4-1 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル

(水平成分： $S_s - F 1$ (EW))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-2 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2 (E W))

4.1.4 解析モデル及び諸元

使用材料及び材料の物性値並びに地下水位については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について、以下に示す。

(1) 解析モデル

評価対象断面のうち②-②断面及び③-③断面の地震応答解析モデルは、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

評価対象断面のうち⑦-⑦断面の地震応答解析モデルを図 4-3 に示す。解析領域、境界条件等の考え方は、②-②断面及び③-③断面と同様である。

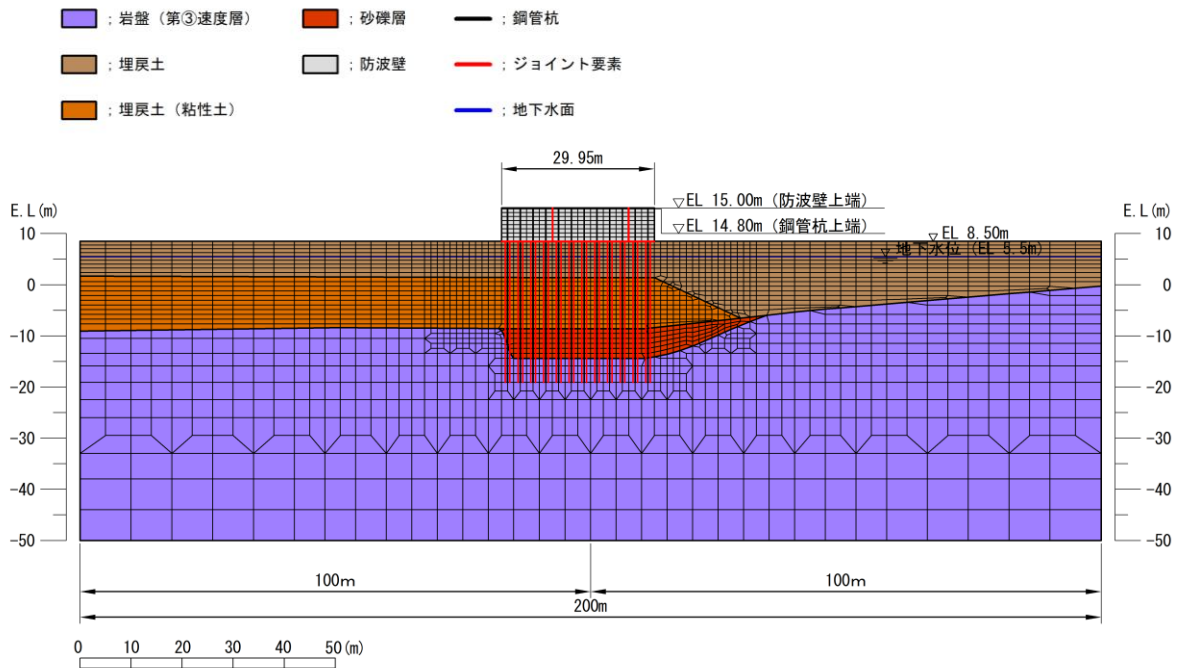


図 4-3 地震応答解析モデル（⑦-⑦断面）

(2) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

(3) 鋼管杭の断面諸元

断面計算に用いた断面諸元を表 4-3 に示す。

表 4-3 鋼管杭断面諸元

断面	杭種	杭位置	杭径	杭板厚	鋼種	断面積 (mm ²)	断面係数 (mm ³)
②-②断面	地下部 (4重管)	最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	1.24×10 ⁵	4.80×10 ⁷
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490	1.39×10 ⁵	6.10×10 ⁷
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490	1.55×10 ⁵	7.56×10 ⁷
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*	SM490Y	1.64×10 ⁵	8.81×10 ⁷
③-③断面		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	1.24×10 ⁵	4.80×10 ⁷
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490	1.39×10 ⁵	6.10×10 ⁷
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490	1.55×10 ⁵	7.56×10 ⁷
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*	SM490Y	1.64×10 ⁵	8.81×10 ⁷

注記*：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）に基づき，腐食代 1mm を考慮する。

(4) 地盤の物性値

地盤の物性値は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤のうち改良地盤④の残留強度及び引張強度を表 4-4 のとおり設定する。

表 4-4 改良地盤④の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 σ _t (N/mm ²)
	c' (N/mm ²)	φ' (°)	
改良地盤④	0.0	43.03	0.11

4.1.5 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1) 施設・地盤の健全性評価

2次元有限要素法による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、鋼管杭及び改良地盤④とする。

(2) 施設の変形性評価

2次元有限要素法による施設の変形性評価に係る評価対象部位は、構造物間に設置する止水目地とする。

(3) 基礎地盤の支持性能評価

2次元有限要素法による基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）を支持する基礎地盤（岩盤）とする。

4.1.6 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 鋼管杭

鋼管杭の許容限界は「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解析（日本道路協会，平成14年3月）」を基に算出した降伏モーメント及び短期許容せん断力とする。表4-5に鋼管杭の許容限界を示す。

降伏モーメントは次式により算定する。

$$M_y = \sum_i (f_{yi} - \frac{|N_i|}{A_i}) Z_{ei}$$

ここで、

M_y ：多重鋼管杭の降伏モーメント（kN・m）

f_{yi} ：多重鋼管杭を構成する各鋼管の降伏基準点（N/mm²）

Z_{ei} ：多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面係数（mm³）

N_i ：多重鋼管杭を構成する各鋼管に発生する軸力（kN）

A_i ：多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積（mm²）

許容せん断力は次式により算定する。

$$Q_a = \sum_i \tau_{ai} A_i$$

ここで、

Q_a ：多重鋼管杭を構成する各鋼管の短期許容せん断力（kN）

τ_a ：多重鋼管杭を構成する各鋼管の短期許容応力度（N/mm²）

A_i ：多重鋼管杭を構成する各鋼管の断面積（mm²）

表 4-5 鋼管杭の許容限界

断面	杭種	杭位置	杭径	杭板厚	鋼種	降伏モーメント*2 (kN・m)	許容せん断力 (kN)
②-②断面	地下部 (4重管)	最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	89015	95166
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490		
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490		
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*1	SM490Y		
③-③断面		最内管	φ 1.6m	25mm	SKK490	88888	95166
		最内管から 2番目の管	φ 1.8m	25mm	SKK490		
		最内管から 3番目の管	φ 2.0m	25mm	SKK490		
		最内管から 4番目の管	φ 2.2m	25mm*1	SM490Y		

注記*1: 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成14年3月) に基づき, 腐食代1mmを考慮する。

*2: 降伏モーメントは, 鋼管杭に発生する軸力を考慮する。

(2) 改良地盤

改良地盤の許容限界は, 「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し, 表 4-6 にすべり安全率を示す。

表 4-6 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

(3) 止水目地

止水目地の許容限界は、メーカ規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。評価対象断面である②-②断面及び⑦-⑦断面位置における止水目地の変位量に対する許容限界を表 4-7 に示す。

表 4-7 止水目地の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1580

(4) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験により設定する。基礎地盤の許容限界を表 4-8 に示す。

表 4-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (kN/mm ²)	
極限支持力	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	C _L 級	3.9	

4.1.7 評価方法

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価は，地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「4.1.6 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

(1) 鋼管杭

a. 曲げ照査

杭体の発生曲げモーメントが降伏モーメント以下であることを確認する。

b. せん断力照査

杭体の発生せん断力が許容せん断力以下であることを確認する。

(2) 改良地盤

改良地盤の評価は，改良地盤を通るすべり線上のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率は，想定したすべり線上の応力状態を基に，すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め，最小すべり安全率を算定する。

(3) 止水目地

止水目地の地震時の評価について、法線直交方向及び法線方向ともに、地震荷重による最大変位が許容限界以下であることを確認する。

x 方向（法線直交方向）及び z 方向（深度方向）の変位は、図 4-4 に示すとおり、多重鋼管杭式擁壁における地震時の変位量とし、保守的に各ブロックの位相が逆になったことを考慮し、時刻歴最大の変位量を 2 倍したものを算定する。

y 方向（法線方向）の変位は、隣接する多重鋼管杭式擁壁の天端間の相対変位とする。

x 方向（法線直交方向）の変位 δ_x : $\delta_x = |\delta_x(T)| \times 2$

y 方向（法線方向）の変位 δ_y : $\delta_y = |\delta_y(T)|$

z 方向（深度方向）の変位 δ_z : $\delta_z = |\delta_z(T)| \times 2$

ここで、

$\delta_x(T)$: x 方向の最大変位

$\delta_y(T)$: y 方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$: z 方向の最大変位

法線直交方向、法線方向及び深度方向の変位量を用い、下式のとおり合成方向（3 方向合成）の変位量を求め、止水目地の地震荷重による最大変位とする。

$$\text{最大変位 } \delta : \delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$

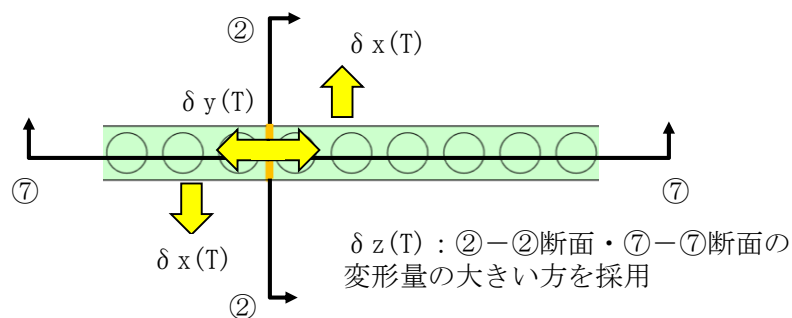


図 4-4 地震時の変位の概念図

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解析（日本道路協会，平成 14 年 3 月）」に従い，杭先端部の軸力を用いて次式により算定される軸応力が基礎地盤の極限支持力以下であることを確認する。

$$R_d = \frac{N_{max}}{A}$$

ここで，

R_d ：鋼管杭先端の軸力より算定される軸応力度（N/mm²）*

N_{max} ：鋼管杭に発生する軸力（kN）*

A ：鋼管杭先端の断面積（mm²）*

注記*：最外の鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

4.2. 3次元構造解析

4.2.1 解析方法

3次元構造解析には、解析コード「F I N A S / S T A R」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、V I -5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3次元構造解析への入力荷重は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析において、防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の耐震評価に支配的な荷重が最大となる時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から地震時土圧及び慣性力を設定する。

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、部材の評価が厳しくなる時刻を地震応答解析の結果から選定する。

4.2.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示した荷重を考慮する。

4.2.3 解析モデル及び諸元

(1) 解析モデル

a. 構造物のモデル化

3次元構造解析モデルにおいて、鋼管杭はシェル要素でモデル化し、被覆コンクリート壁はソリッド要素でモデル化する。3次元構造解析モデルを図4-5及び図4-6に示す。

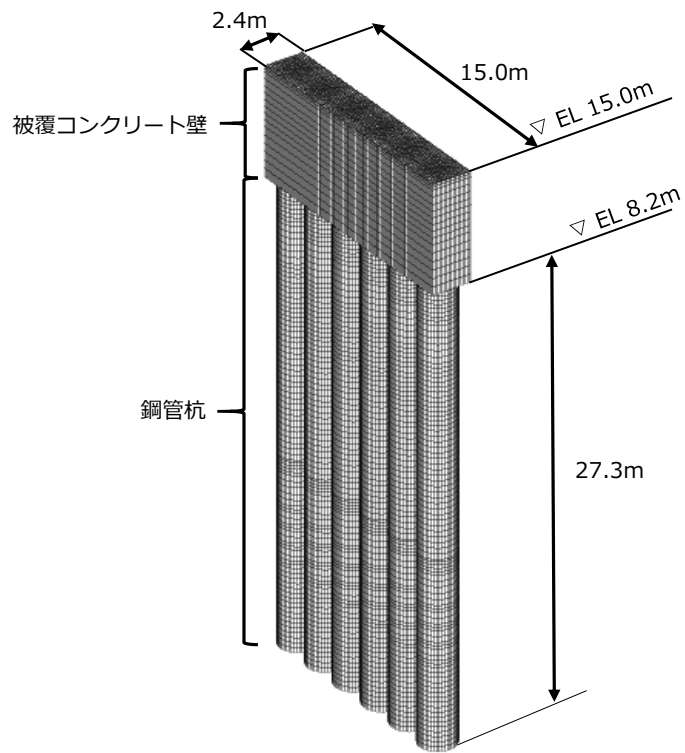


図 4-5 3次元構造解析モデル (②—②断面)

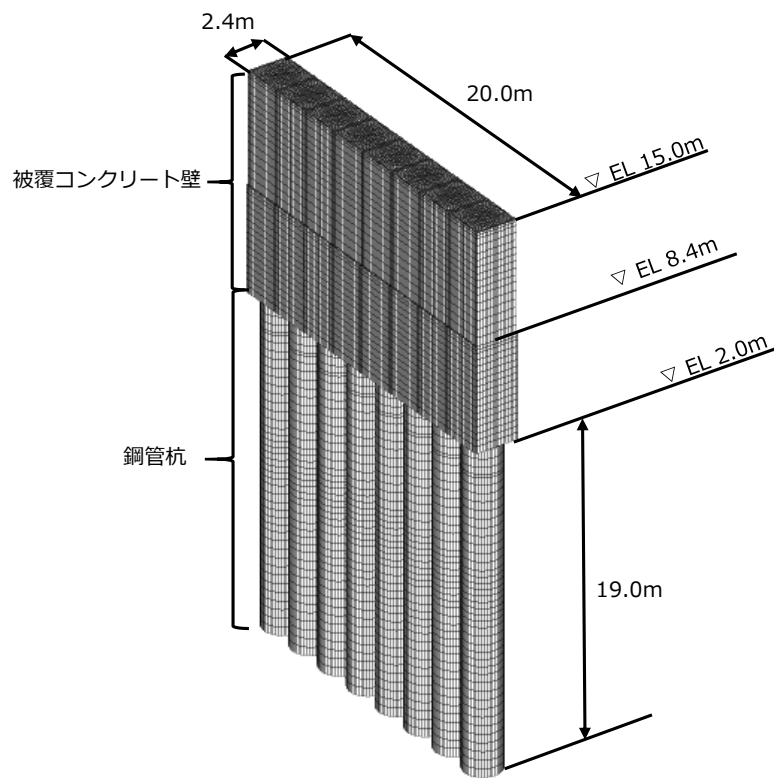


図 4-6 3次元構造解析モデル (③—③断面)

b. 地盤バネ

3次元構造解析モデルのうち地中部の杭には、地盤抵抗を表現するため、地盤バネを設置する。地盤バネは、「4.2.1 解析方法」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。

(2) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。

a. 被覆コンクリート壁

被覆コンクリート壁の使用材料を表 4-9 に、材料の物性値を表 4-10 に示す。鋼管杭の使用材料は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

表 4-9 使用材料

材料		諸元
被覆コンクリート壁	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm ²

表 4-10 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
被覆コンクリート壁	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年）

(3) 設計地下水位

設計地下水位は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

4.2.4 評価対象部位

3次元構造解析による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、被覆コンクリート壁とする。

4.2.5 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 被覆コンクリート壁

被覆コンクリート壁の許容限界は「コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002年制定)」に基づき、表4-11に示す短期許容応力度とする。

表4-11 被覆コンクリート壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート (f'ck=24N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9
許容せん断応力度 τ_{ca}		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*：短期許容応力度は、コンクリート標準示方書より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

4.2.6 評価方法

3次元構造解析に基づいて算定した曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ応力及びせん断力より算定されるせん断応力が「4.2.5 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

応力度算定には、解析コード「EMR G I N G」を使用する。なお、解析コードの検証、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。

5. 耐震評価結果

5.1 鋼管杭

5.1.1 曲げ照査

鋼管杭の曲げ破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図5-1に、曲げに対する照査結果を表5-1に示す。

この結果から鋼管杭の発生断面力が許容限界以下であることを確認した。

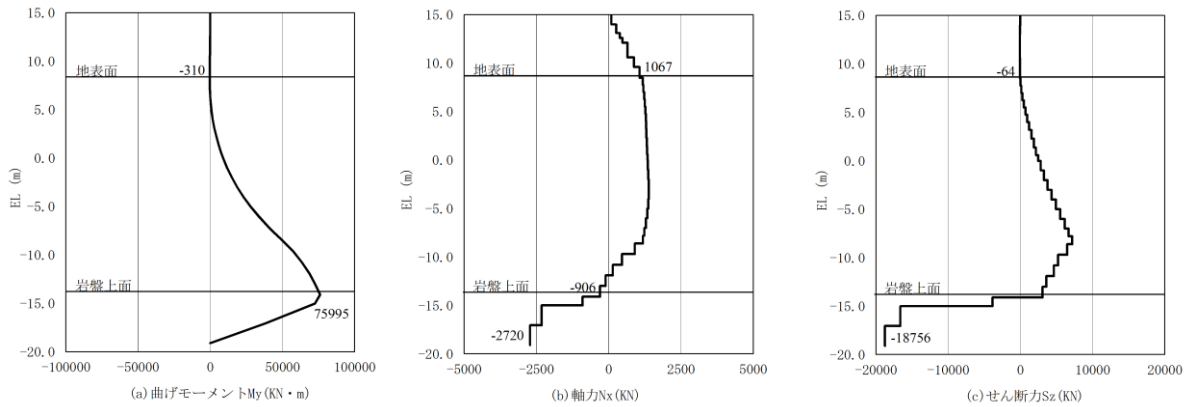


図5-1(1) 鋼管杭の曲げ破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=15.04s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

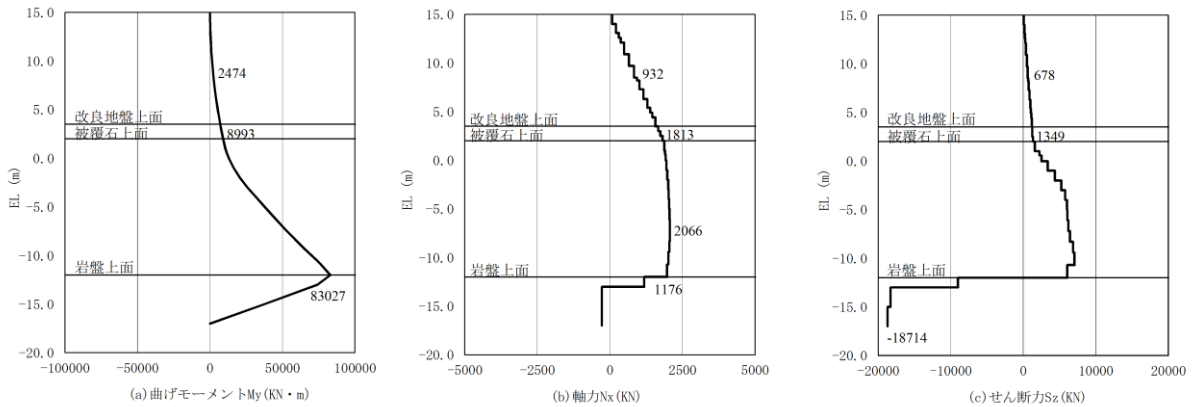


図5-1(2) 鋼管杭の曲げ破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=13.21s$)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1 σ)

表 5-1(1) 鋼管杭の曲げ破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (N/mm ²)	照査値 M_{max}/M_y
		曲げモーメント M_{max} (kN・m)	軸力 N (kN)		
S s - D (-+)	②	75995	906	89015	0.86

表 5-1(2) 鋼管杭の曲げ破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		降伏 モーメント M_y (N/mm ²)	照査値 M_{max}/M_y
		曲げモーメント M_{max} (kN・m)	軸力 N (kN)		
S s - D (-+)	②	83027	1176	88888	0.94

5.1.2 せん断力照査

鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図5-2に、せん断力に対する照査結果を表5-2に示す。鋼管杭の発生断面力が許容限界以下であることを確認した。

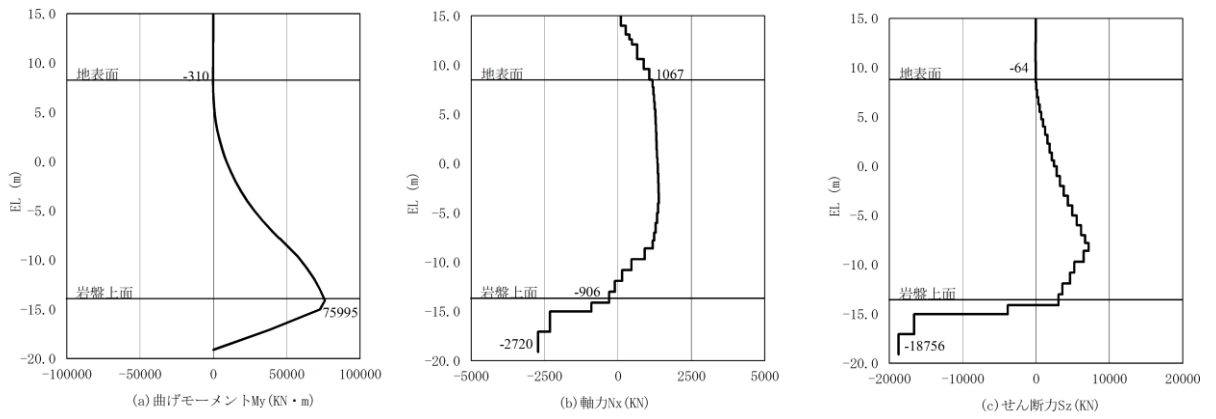


図 5-2(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (②-②断面, S s - D (-+), t=15.04s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

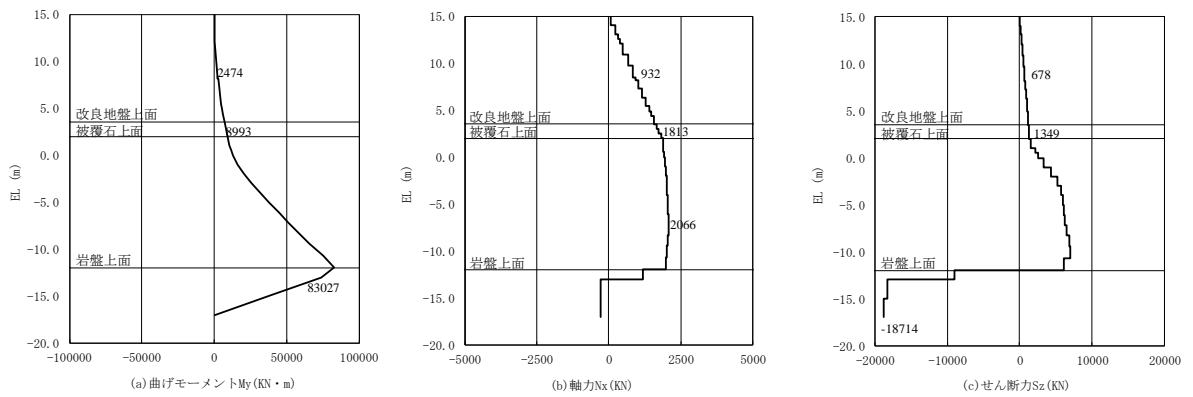


図 5-2(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (③-③断面, S s - D (-+), t=13.21s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値+1σ)

表 5-2(1) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	許容せん断力 Q_a (kN)	照査値 Q_{max}/Q_a
		せん断力 Q_{max} (kN)		
S s - D (-+)	②	18756	95166	0.20

表 5-2(2) 鋼管杭のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	許容せん断力 Q_a (kN)	照査値 Q_{max}/Q_a
		せん断力 Q_{max} (kN)		
S s - D (-+)	②	18714	95166	0.20

5.2 被覆コンクリート壁

3次元構造解析に基づく、被覆コンクリート壁の照査結果を示す。評価対象位置は、評価の厳しくなる杭間とした。評価対象位置図を図5-3に示す。評価対象位置は、②-②断面においては①～⑤で番号付けた各々の赤枠の範囲とし、③-③断面においては①～⑦で番号付けた各々の赤枠の範囲とする。

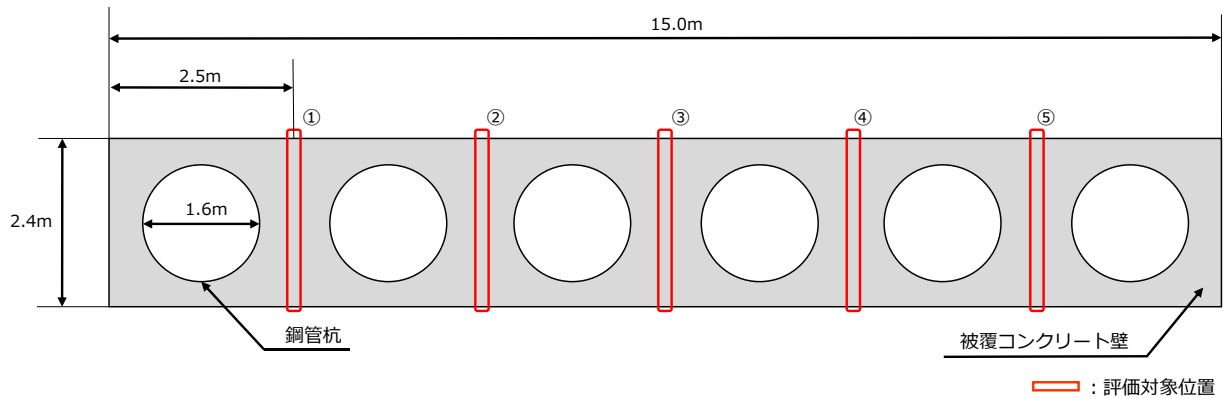


図5-3(1) 評価対象位置図 (②-②断面 平面図)

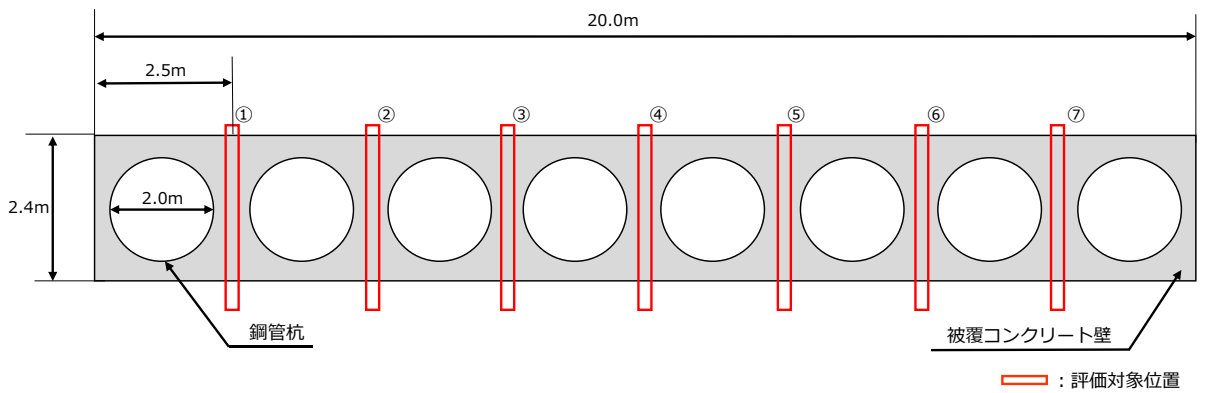


図5-3(2) 評価対象位置図 (③-③断面 平面図)

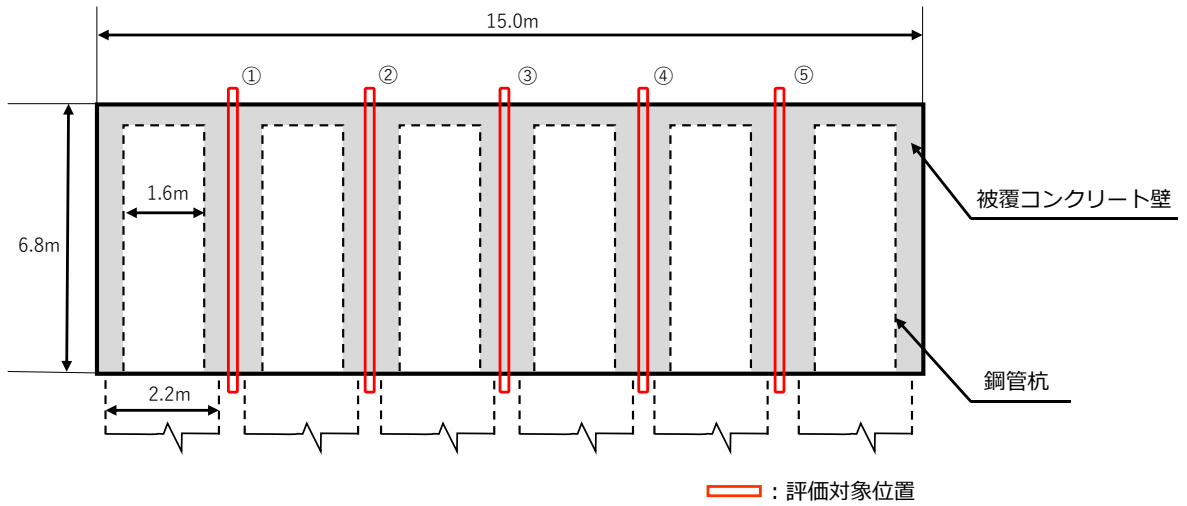


図 5-3(3) 評価対象位置図 (②-②断面 正面図)

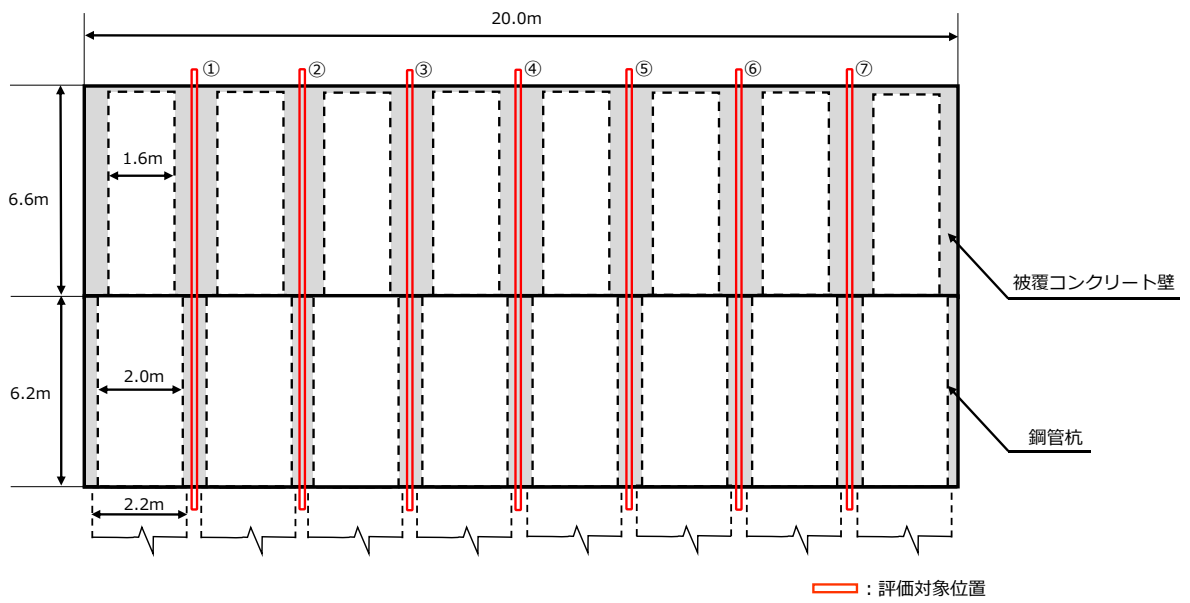


図 5-3(4) 評価対象位置図 (③-③断面 正面図)

5.2.1 曲げ照査

コンクリートの曲げ照査の最大照査値が発生している評価対象位置での断面力を図5-4に、曲げ圧縮応力に対する照査結果を表5-3に、鉄筋の曲げ照査の最大照査値が発生している評価対象位置での断面力を図5-5に、曲げ引張応力に対する照査結果を表5-4に示す。

この結果から被覆コンクリート壁の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

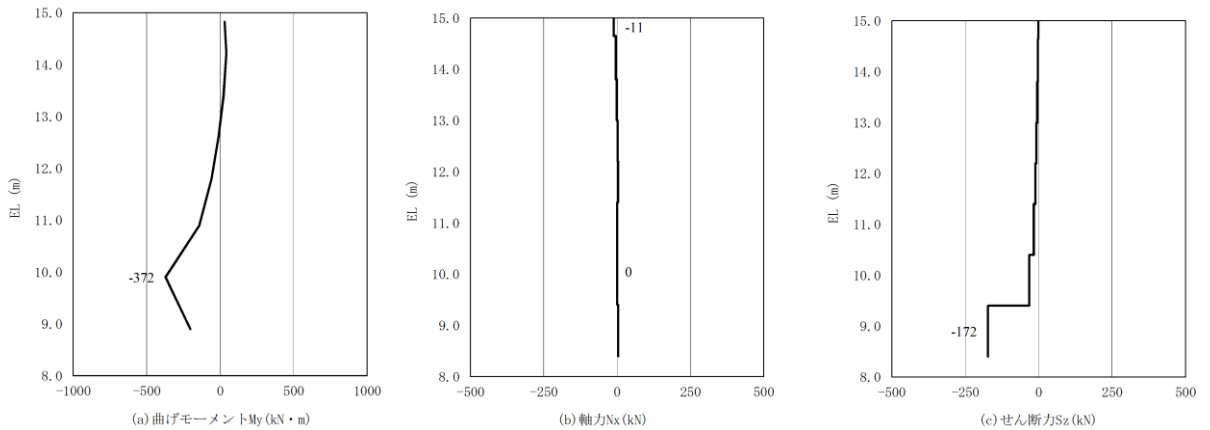


図5-4(1) コンクリートの曲げ圧縮応力に対する照査において用いる断面力
 (②-②断面, S s - D (-+), t=9.15s, 評価対象位置③)

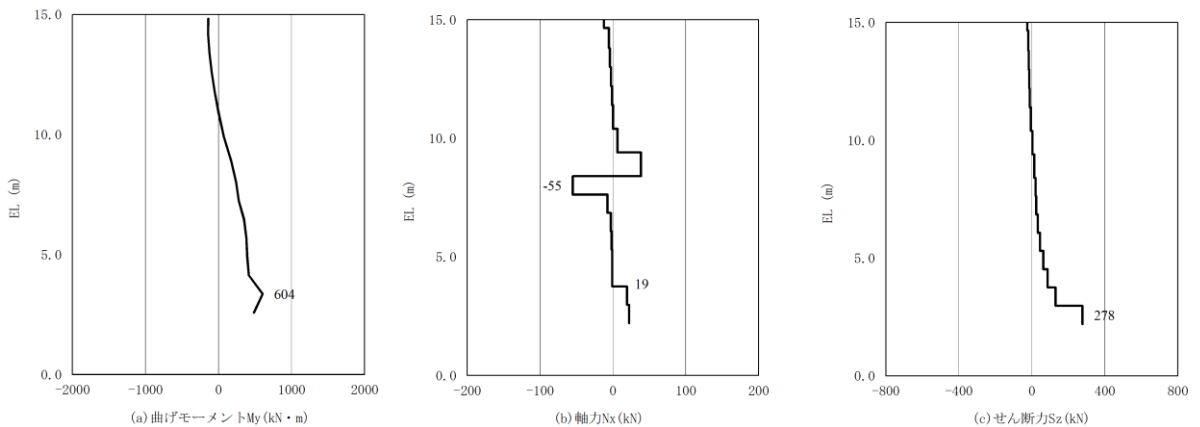


図5-4(2) コンクリートの曲げ圧縮応力に対する照査において用いる断面力
 (③-③断面, S s - D (-+), t=9.56s, 評価対象位置③)

表 5-3(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, S s - D (-+), t=9.15s, 評価対象位置③)

評価対象位置	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
③	-372	0	0.9	13.5	0.07

表 5-3(2) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, S s - D (-+), t=9.56s, 評価対象位置③)

評価対象位置	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
③	604	19	1.2	13.5	0.10

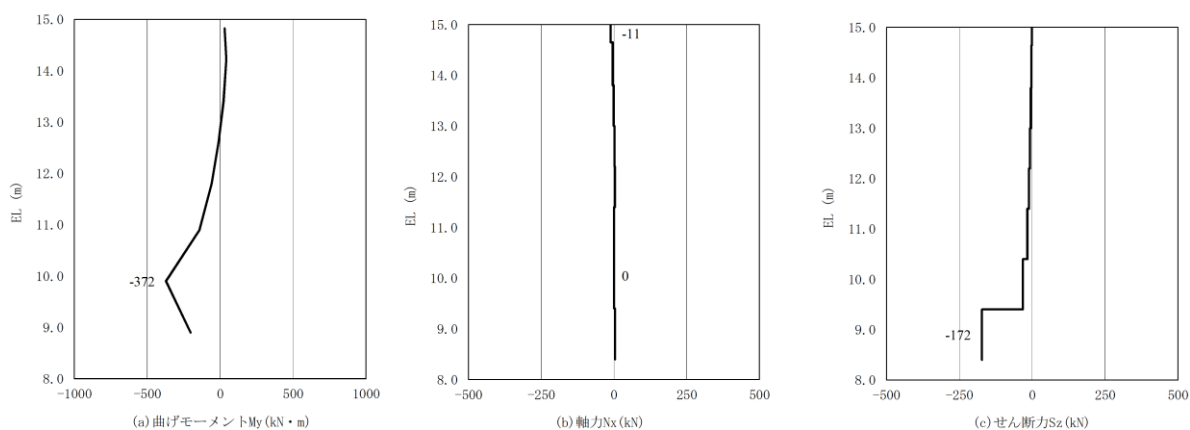


図 5-5(1) 鉄筋の曲げ引張応力に対する照査において用いる断面力
 (②-②断面, S s - D (-+), t=9.15s, 評価対象位置③)

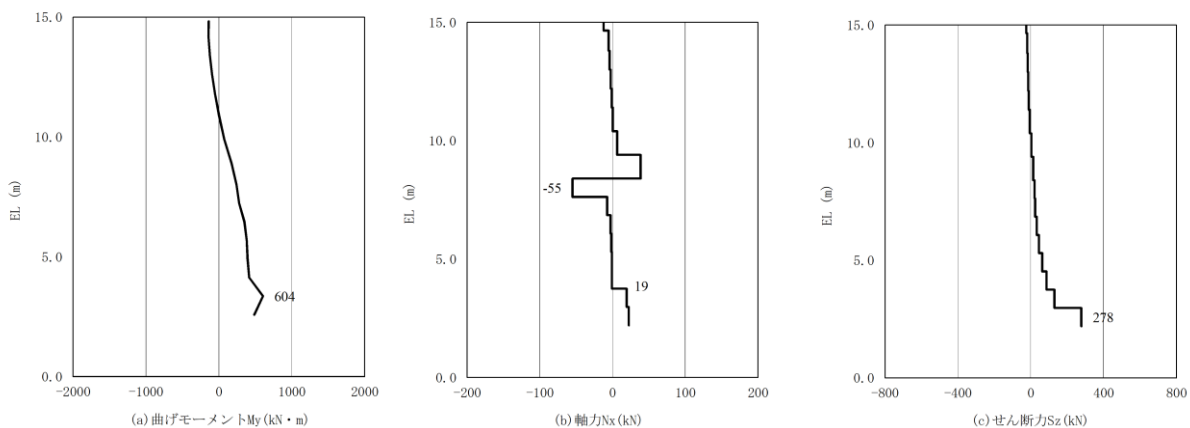


図 5-5(2) 鉄筋の曲げ引張応力に対する照査において用いる断面力
 (③-③断面, S s - D (-+), t=9.56s, 評価対象位置③)

表 5-4(1) 鉄筋に対する照査における最大照査値
 (②-②断面, S s - D (-+), t=9.15s, 評価対象位置③)

評価対象位置	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
③	-372	0	67.2	294	0.23

表 5-4(2) 鉄筋に対する照査における最大照査値
 (③-③断面, S s - D (-+), t=9.56s, 評価対象位置③)

評価対象位置	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
	曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
③	604	19	99.0	294	0.34

5.2.2 せん断力照査

せん断力照査の最大照査値が発生している評価対象位置での断面力図 5-6 に、コンクリートのせん断力に対する照査結果を表 5-5 に示す。

この結果から被覆コンクリート壁の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

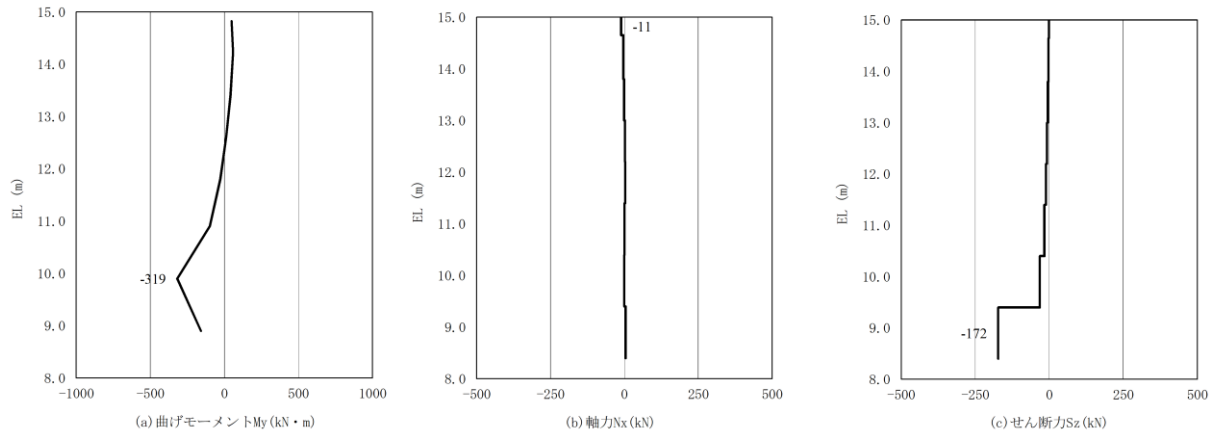


図 5-6(1) コンクリートのせん断破壊に対する照査において用いる断面力
(②-②断面, $S_s - D(-+)$, $t=9.15s$, 評価対象位置②)

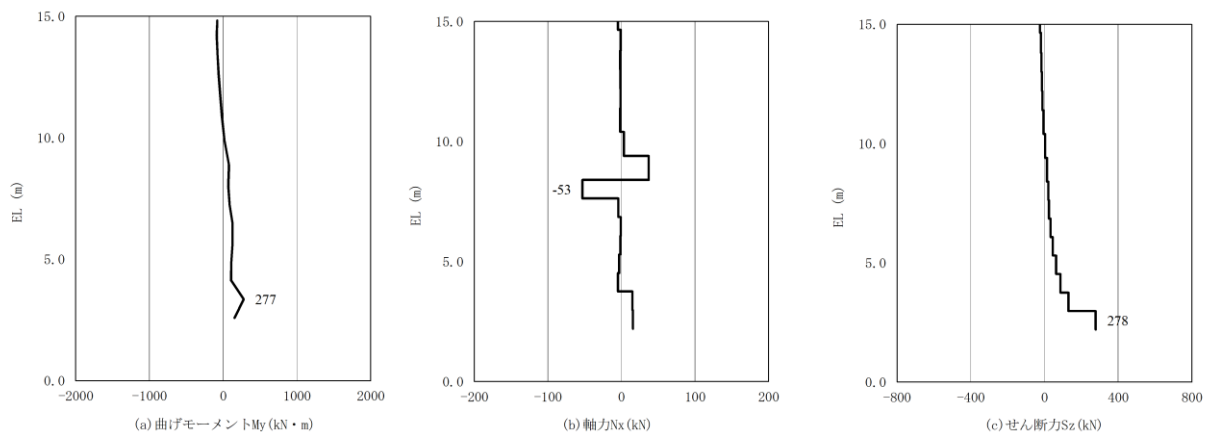


図 5-6(2) コンクリートのせん断破壊に対する照査において用いる断面力
(③-③断面, $S_s - D(-+)$, $t=9.56s$, 評価対象位置①)

表 5-5(1) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値

(②-②断面, S s - D (- +), t=9.15s, 評価対象位置②)

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{ca}
	せん断力 Q (kN)			
②	-172	0.09	0.67	0.14

表 5-5(2) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値

(③-③断面, S s - D (- +), t=9.56s, 評価対象位置①)

評価対象位置	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{ca}
	せん断力 Q (kN)			
①	278	0.13	0.67	0.20

5.4 改良地盤④

改良地盤④のすべり安全率による評価結果を表 5-6 に、最小すべり安全率となる時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布を図 5-7 に示す。これらの結果から、改良地盤④のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-6 改良地盤④のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - D (--)	①	14.97	1.73

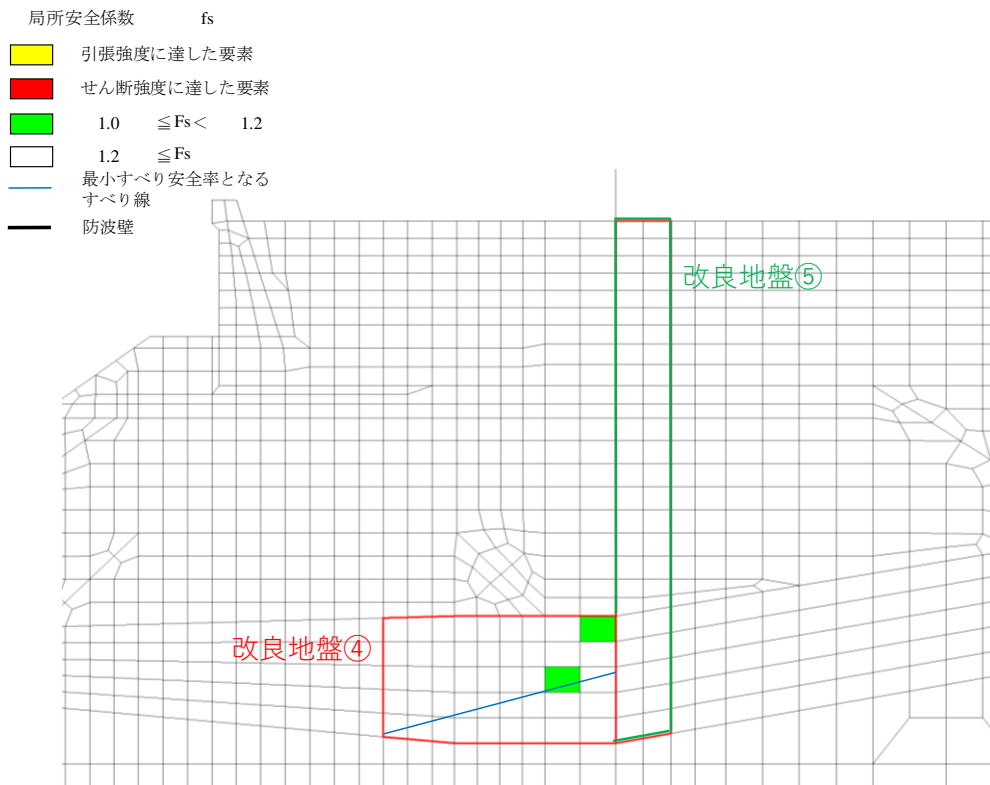


図 5-7 改良地盤④の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
(②-②断面, S s - D (--), $t=14.97s$)

解析ケース①: 基本ケース (平均値)

5.5 止水目地

地震時の止水目地の相対変位量に対する照査結果を表 5-7 に示す。

地震時の止水目地の相対変位量に対する照査を行った結果、変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-7 ジョイント設置箇所地震時相対変位量

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ②-②断面 (横断方向)	S s - D (- +)	②	988.14	-
δy : ⑦-⑦断面 (縦断方向)	S s - D (+ +)	①	10.52	-
δz : ⑦-⑦断面 (縦断方向)	S s - D (+ -)	①	14.04	-
合成方向 (3方向合成)	-	-	988.30	1580

5.6 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-8 に示す。

防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の杭先端部に生じる最大軸力が極限支持力以下であることを確認した。

表 5-8(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（②-②断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸心力度 R_d (kN/mm ²)	極限支持力 R_u (kN/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N_{max} (kN)			
S s - D (-+)	②	5783	1.5	9.8	0.16

表 5-8(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（③-③断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	軸心力度 R_d (kN/mm ²)	極限支持力 R_u (kN/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N_{max} (kN)			
S s - D (-+)	③	5832	1.5	9.8	0.16

VI-2-10-2-4 防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書

防波壁通路防波扉の耐震性についての計算書

1. 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）に関する耐震計算書
2. 防波壁通路防波扉（荷揚場南）に関する耐震計算書
3. 防波壁通路防波扉（3号機東側）に関する耐震計算書

1. 防波壁通路防波扉（1号機北側，2号機北側）
に関する耐震計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	検討対象防波扉一覧	2
2.2	配置概要	3
2.3	構造計画	6
2.4	評価方針	7
2.5	適用規格・基準等	8
2.6	記号の説明	8
3.	固有値解析	11
3.1	固有振動数の算出方法	11
3.1.1	解析モデルの設定	11
3.2	固有振動数の算出条件等	12
3.2.1	記号の説明	12
3.2.2	固有振動数の算出方法	12
3.2.3	固有振動数の算出条件	13
3.3	固有振動数の算出結果	13
4.	耐震評価	14
4.1	評価対象部位	14
4.2	荷重及び荷重の組合せ	15
4.2.1	荷重の設定	15
4.2.2	荷重の組合せ	15
4.3	許容限界	16
4.3.1	使用材料	16
4.3.2	許容限界	16
4.4	設計用地震力	18
4.5	評価方法	19
4.5.1	応力算定	19
4.5.2	断面検定	25
5.	評価条件	30
6.	評価結果	31

1. 概要

本資料は、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、津波防護施設である防波壁通路防波扉（以下「防波扉」という。）のうち、防波壁通路防波扉（1号機北側）（以下「防波扉（1号機北側）」という。）及び防波壁通路防波扉（2号機北側）（以下「防波扉（2号機北側）」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。

防波扉に要求される機能の維持を確認するに当たっては、応力評価に基づく、構造部材の健全性評価を行う。

2. 一般事項

2.1 検討対象防波扉一覧

検討対象の防波扉を表 2-1 に示す。

表 2-1 検討対象防波扉一覧

扉名称	設置高さ
	EL (m)
防波扉 (1号機北側)	9.5
防波扉 (2号機北側)	9.5

2.2 配置概要

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の設置位置を図2-1に、防波扉（1号機北側）の構造概要を図2-2に、防波扉（2号機北側）の構造概要を図2-3に示す。

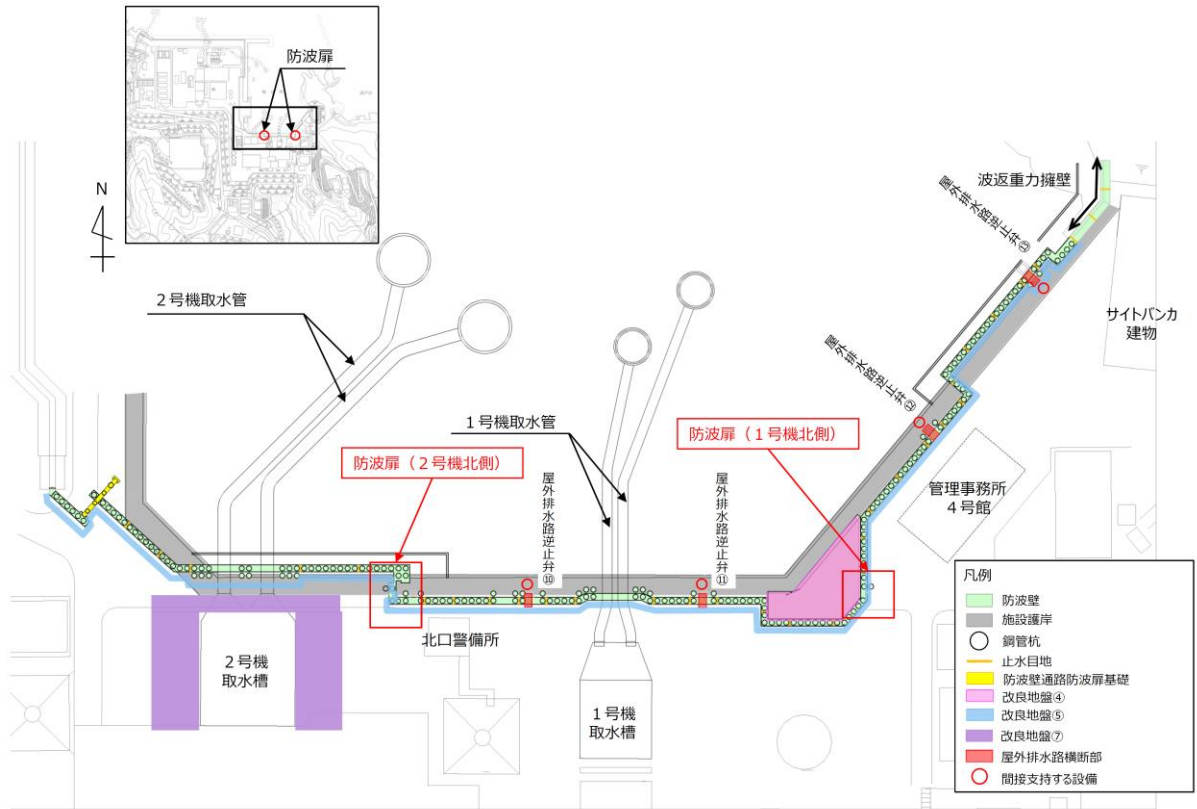


図 2-1 防波扉設置位置

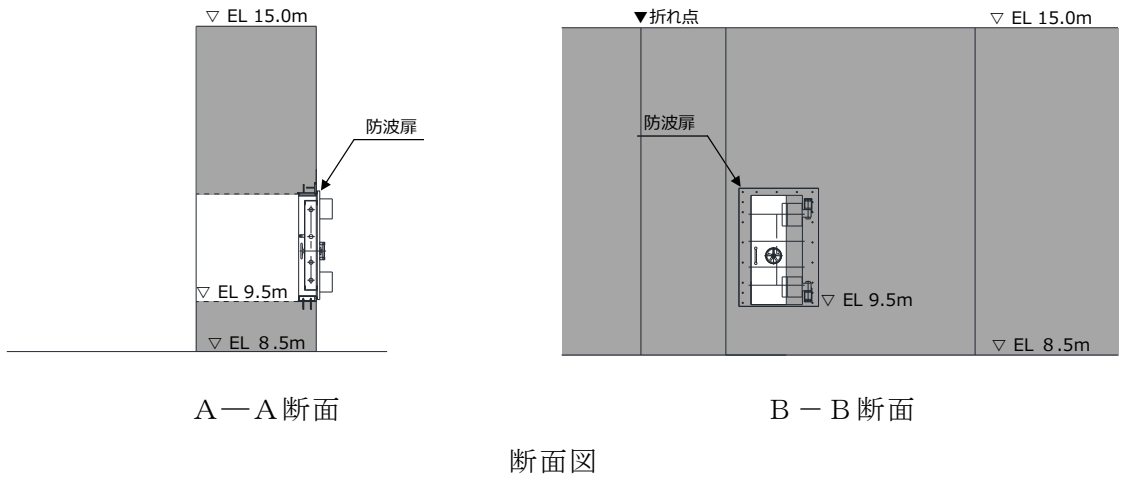
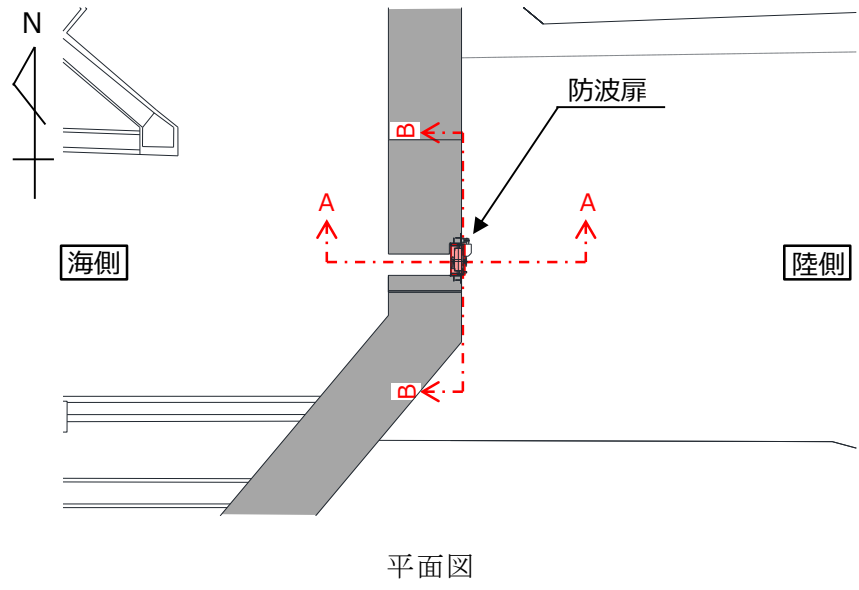
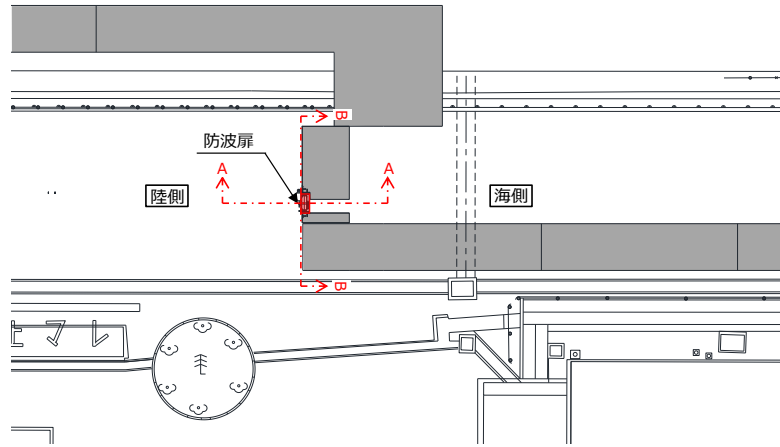
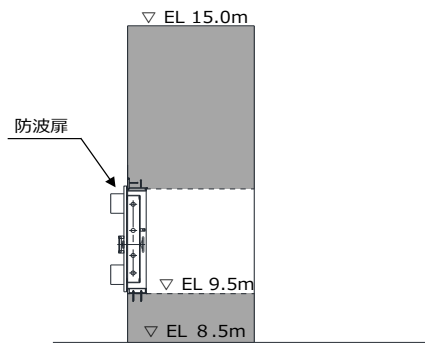


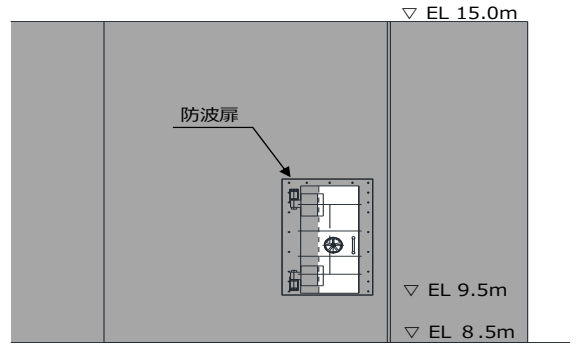
図 2-2 防波扉（1号機北側）構造概要



平面図



A-A断面



B-B断面

断面図

図 2-3 防波扉（2号機北側）構造概要

2.3 構造計画

防波扉の構造計画を表 2-2 に示す。防波扉は扉板、芯材、カンヌキ、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）、扉枠、アンカーボルトにより構成され、アンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。なお、固定する躯体は防波壁（多重鋼管杭式擁壁）である。

表 2-2 防波扉の構造計画（防波扉（1号機北側）、防波扉（2号機北側））

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>扉開放時においては、ヒンジにより扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、カンヌキ（差込形）により扉と扉枠を一体化する構造とする。</p> <p>扉枠はアンカーボルトにより躯体（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））へ固定する構造とする。</p>	<p>片開型の鋼製扉とし、鋼製の扉板に芯材を取付け、扉に設置されたカンヌキ（差込形）を鋼製の扉枠に差込み、扉体と扉枠を一体化させる構造とする。</p> <p>また、扉と躯体の接続はヒンジ部を介する構造とする。</p>	<p>正面図</p> <p>断面図</p>

2.4 評価方針

防波扉の耐震評価は、V-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「2.3 構造計画」に示す防波扉の構造を踏まえ、

「4.1 評価対象部位」にて設定する評価部位において、設計用地震力により算出した応力等が許容限界内に収まることを、「4.5 評価方法」に示す方法にて確認する。応力評価の確認結果を「5. 評価結果」にて示す。

耐震評価フローを図 2-4 に示す。

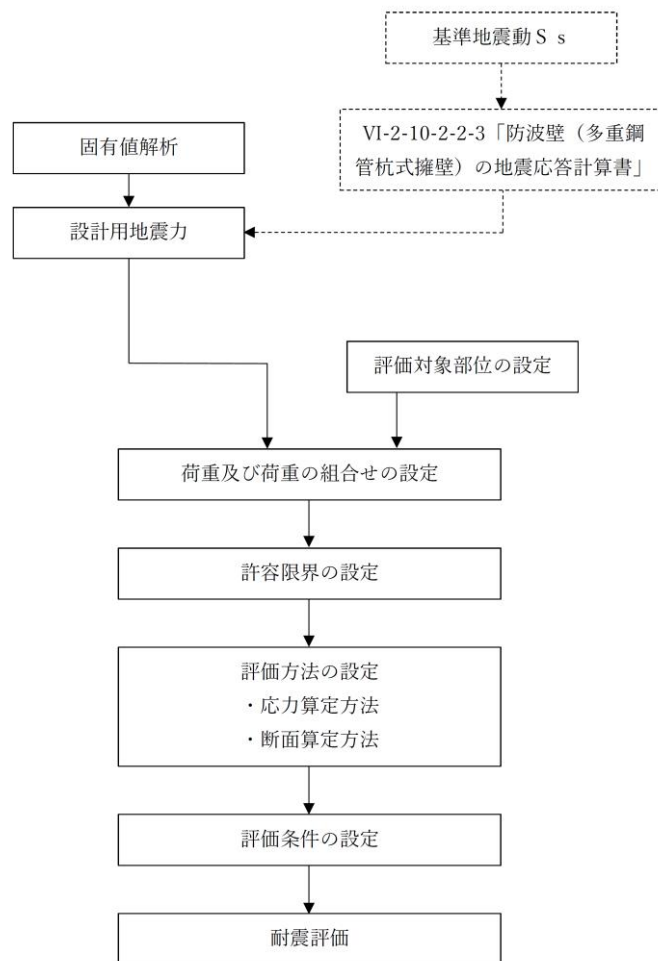


図 2-4 防波扉の耐震評価フロー

2.5 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 機械工学便覧（日本機械学会，2005年改訂）
- ・ 各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010年改定）
- ・ 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005年改定）
- ・ J I S G 4 3 0 3－2012 ステンレス鋼棒
- ・ J I S G 4 0 5 1－2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- ・ J I S G 4 0 5 3－2016 機械構造用合金鋼鋼材
- ・ 防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省港湾局，平成25年9月（平成27年12月一部改訂）

2.6 記号の説明

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の耐震評価に用いる記号を表2-3に示す。

表2-3 (1) 耐震評価に用いる記号 (1/2)

記号	単位	定義
G	kN	扉の固定荷重
P_k	kN	風荷重
S_s	kN	基準地震動 S_s による地震荷重
k	G	設計震度
W_1	kN	スラスト荷重
k_{UD}	G	鉛直震度
F_1	kN	扉幅方向転倒力
F_2	kN	扉厚方向転倒力
k_H	G	水平震度
W_2	kN/m ²	風圧力
L_1	m	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_2	m	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離
L_3	m	ヒンジ芯間距離
L_4	m	扉幅
L_5	m	扉高さ
M_1	kN・m	ヒンジ板の曲げモーメント
L_6	m	ヒンジ板の2軸間距離
Q_1	kN	ヒンジ板に生じるせん断力
T_1	kN	ヒンジ板に生じる引張力
M_2	kN・m	ヒンジピンの曲げモーメント
L_7	mm	ヒンジ板と受板間距離
Q_2	kN	ヒンジピンに生じるせん断力
C_1	kN	ヒンジピンに生じる圧縮力
Q_3	kN/本	ヒンジボルトに生じるせん断力
n_1	本	ヒンジボルトの本数
T_2	kN/本	ヒンジボルトに生じる引張力
R_1	kN/本	カンヌキ1本あたりに作用する荷重
n_2	本	カンヌキの本数
M_3	kN・m	カンヌキの曲げモーメント

表 2-3 (2) 耐震評価に用いる記号 (2/2)

記号	単位	定義
L_8	m	カンヌキの扉外間距離
Q_4	kN	カンヌキに生じるせん断力
W_{1a}	kN	扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重
F_{1a}	kN	扉と扉枠の重量を含んだ扉幅方向転倒力
G_a	kN	ヒンジ側枠の固定荷重
N	本	ヒンジ側のアンカーボルト総本数
T_3	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力
Q_5	kN	アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力
σ_1	N/mm ²	ヒンジ板に生じる曲げ応力度
Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数
τ_1	N/mm ²	ヒンジ板に生じるせん断応力度
A_1	mm ²	ヒンジ板の断面積
σ_{T1}	N/mm ²	ヒンジ板に生じる引張応力度
x_1	N/mm ²	ヒンジ板に生じる組合せ応力度
σ_2	N/mm ²	ヒンジピンに生じる曲げ応力度
Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数
τ_2	N/mm ²	ヒンジピンに生じるせん断応力度
A_2	mm ²	ヒンジピンの断面積
σ_{c1}	N/mm ²	ヒンジピンに生じる圧縮応力度
C_1	kN	ヒンジピンに生じる圧縮力
x_2	N/mm ²	ヒンジピンに生じる組合せ応力度
τ_3	N/mm ²	ヒンジボルトに生じるせん断応力度
A_3	mm ²	ヒンジボルトの断面積
σ_{T2}	N/mm ²	ヒンジボルトに生じる引張応力度
σ_3	N/mm ²	カンヌキに生じる曲げ応力度
Z_3	mm ³	カンヌキの断面係数
τ_4	N/mm ²	カンヌキに生じるせん断応力度
A_4	mm ²	カンヌキの断面積
x_3	N/mm ²	カンヌキに生じる組合せ応力度
T_{3A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力
Q_{5A}	kN	アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力

3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造に応じた解析モデルを設定し、1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）は、ヒンジ部及びカンヌキにより扉と扉枠を固定する構造であることから、扉閉止時については両端固定梁に、扉開放時については単純化したモデルとし、モデル化に用いる芯材の長さは扉板幅とする。解析モデル図を図3-1に示す。

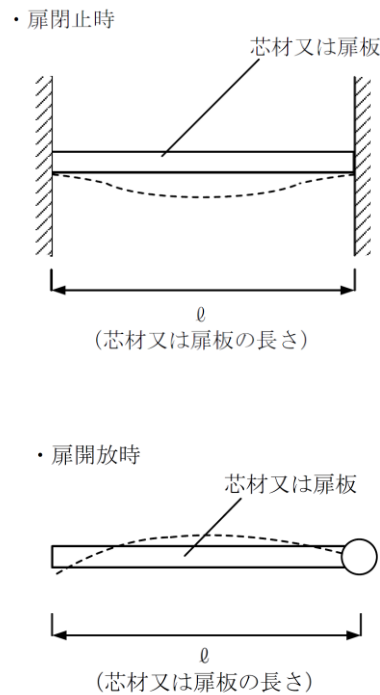


図3-1 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有値解析モデル

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数算出に用いる記号を表3-1に示す。

表3-1 防波扉の固有振動数に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の1次固有振動数
ℓ	mm	モデル化に用いる芯材の長さ
E	N/m ²	ヤング率
I	mm ⁴	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.2.2 固有振動数の算出方法

1次固有振動数 f を「機械工学便覧（日本機械学会，2005 改訂）」に基づき以下の式より計算する。ここで，防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし，鉛直方向（扉体面内方向）については，扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が，面外方向の剛性に比べて十分に大きいため，固有振動数の算出を省略する。

(1) 扉閉止時

$$f = \frac{4.730^2}{2\pi\ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

(2) 扉開放時

扉開放時においては，面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり，これに伴う荷重の増幅は生じないが，本評価においては保守的に芯材が自由振動するものとして，下記の評価式にて固有振動数を算出する。

$$f = \frac{3.927^2}{2\pi\ell^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

3.2.3 固有振動数の算出条件

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数の算出条件を表3-2に示す。

表 3-2 固有振動数の算出条件

部位	モデル化に 用いる芯材 長さ l (mm)	ヤング率 E (N/m ²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	質量分布 m (kg/m)
防波扉（1号機北側）及び 防波扉（2号機北側）	1020	2.05×10^{11}	2260×10^4	1666.7

3.3 固有振動数の算出結果

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数の算出結果を表3-3に示す。防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数は20Hz以上であり、剛構造であることを確認した。

表 3-3 固有振動数の算出結果

部位	固有振動数 f (Hz)	
	扉閉止時	扉開放時
防波扉（1号機北側）及び 防波扉（2号機北側）	180.50	124.14

4. 耐震評価

4.1 評価対象部位

評価対象部位は「2.3 構造計画」に示す防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の構造上の特徴を踏まえ選定する。

基準地震動 S_s による地震荷重により防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）に生じる慣性力は、ヒンジ部（ヒンジ板、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキから扉枠に伝わり、扉枠を固定するアンカーボルトを介し、開口部周囲の躯体（防波壁（多重鋼管杭式擁壁））に伝達されることから、評価対象部位をヒンジ部、カンヌキ及びアンカーボルトとする。

図4-1に防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）閉止時の荷重の作用イメージと評価対象部位を示す。

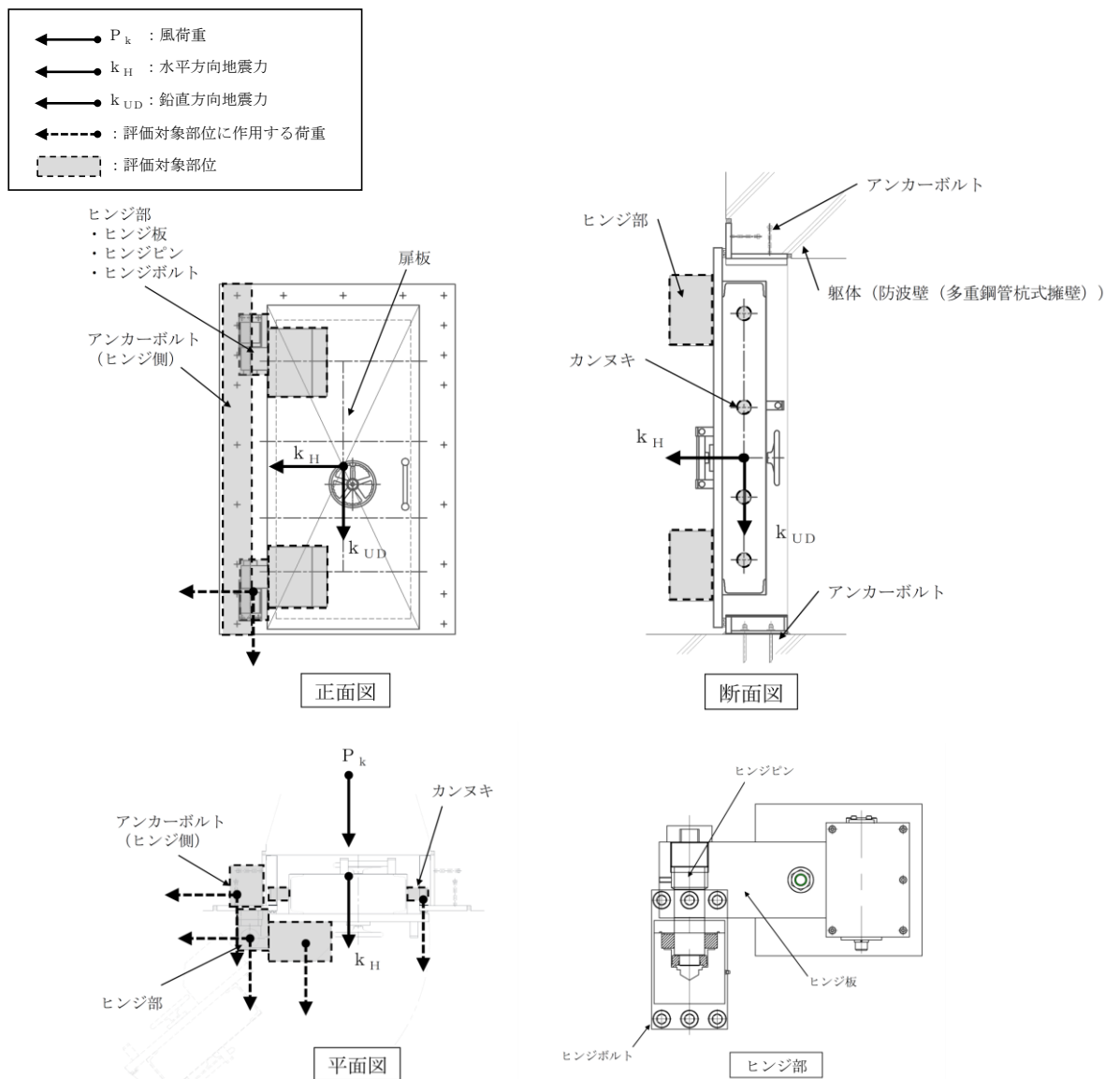


図4-1 防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）閉止時に作用する荷重の作用図

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の設定

(1) 扉の固定荷重 (G)

固定荷重として防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の自重を考慮する。

(2) 風荷重 (P_k)

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。「4.4 設計用地震力」で設定した設計震度を用いて次式により算出する。

$$S_s = G \cdot k$$

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重 (kN)

G : 扉の固定荷重 (kN)

k : 設計震度 (G)

なお、水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位は、水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 S_s	$G + P_k + S_s$

G : 扉の固定荷重

P_k : 風荷重

S_s : 基準地震動 S_s による地震荷重

4.3 許容限界

許容限界は V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）を構成するヒンジ部、カンヌキ、アンカーボルトの使用材料を表 4-2 に示す。

表 4-2 使用材料

評価対象部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジ板	SS400	PL-70×150
	ヒンジピン	S45C	60φ
	ヒンジボルト	SCM435	M22
カンヌキ		SUS304	80φ
アンカーボルト		SS400	M16×160

4.3.2 許容限界

(1) 鋼材

鋼材の許容限界は「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年改定）」（以下「S規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度とする。表 4-3 に値を示す。

表 4-3 鋼材の許容応力度

材質		短期許容応力度 (N/mm ²)* ¹			
		引張	曲げ	圧縮	せん断
SS400	$t \leq 40$ * ²	235	235	235	135
	$40 < t \leq 100$ * ²	215	215	215	124
SUS304		205	205	205	118
SCM435		651	651	651	375
S45C		345	345	345	199

注記*1：許容応力度を決定する場合の基準値 F は，日本産業規格（J I S）に基づく。

*2：t は板厚 (mm) を示す。

(2) アンカーボルト

アンカーボルトの許容限界は、「3.1 評価対象部位」に記載したアンカーボルトに作用する荷重の向きを踏まえて、「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した表 4-4 の値とする。

なお，評価対象部位のアンカーボルトが引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる耐力及び付着力により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を許容限界に設定する。また，評価対象部位のアンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルトのせん断強度により決まる耐力，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる耐力及びコーン状破壊により決まる耐力を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4-4 アンカーボルトの許容限界

材質	許容耐力 (kN/本)	
	引張	せん断
SS400 (t ≤ 40*)	47	33

注記* : t は板厚 (mm) を示す。

4.4 設計用地震力

「3. 固有値解析」に示したとおり、防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の固有振動数が20Hz以上であることを確認したため、防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-10-2-2-3「防波壁（多重鋼管杭式擁壁）の地震応答計算書」に示す防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）設置位置の最大応答加速度に基づき設定した表4-5の値とする。

表4-5 設計用地震力

地震動	設置場所及び 設置高さ (m)	地震による設計震度	
		水平方向 k_H	鉛直方向 k_{UD}
基準地震動 S_s	防波扉（1号機北側）及び 防波扉（2号機北側） : EL 9.5m	3.5	1.0

4.5 評価方法

4.5.1 応力算定

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジ板、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定するスラスト荷重（回転軸線方向荷重）及び転倒力から、各部材に発生する応力を算定する。ヒンジ部に作用する荷重の例を図4-2に示す。

$$W_1 = G + k_{UD} \cdot G$$

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_3 + k_H \cdot G / 2$$

$$F_2 = W_1 \cdot L_2 / L_3 + W_2 \cdot L_4 \cdot L_5$$

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G : 扉の固定荷重 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度 (G)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向転倒力 (kN)

k_H : 水平震度 (G)

W_2 : 風圧力 (kN/m²)

L_1 : 扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (m)

L_2 : 扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離 (m)

L_3 : ヒンジ芯間距離 (m)

L_4 : 扉幅 (m)

L_5 : 扉高さ (m)

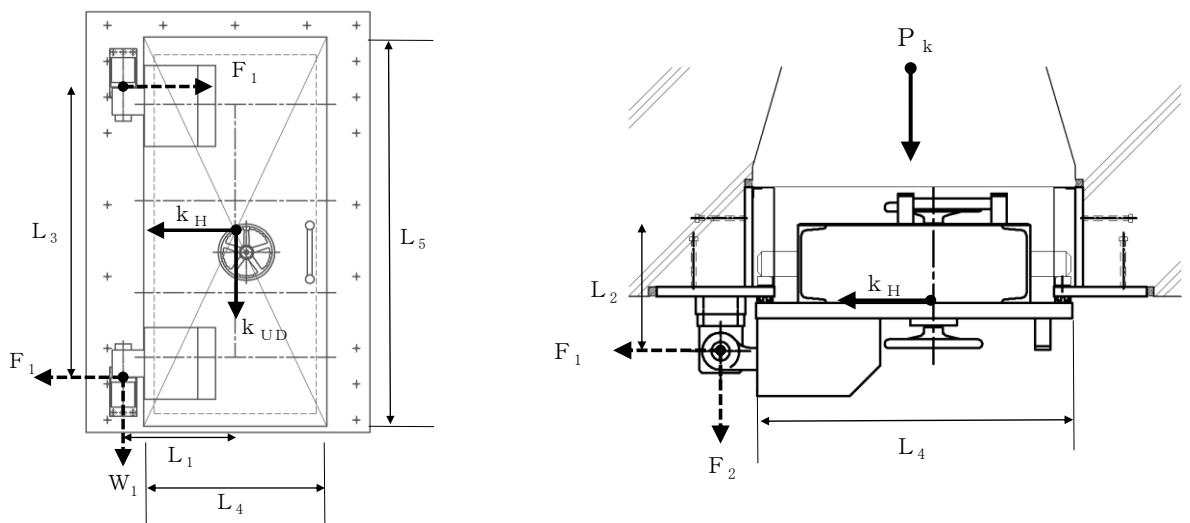


図4-2 ヒンジ部に作用する荷重の例

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる応力は、次式により算定する。ヒンジ板に作用する荷重の例を図4-3に示す。

$$M_1 = W_1 \cdot L_6$$

$$Q_1 = W_1$$

$$T_1 = F_1$$

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

L_6 : ヒンジ板の2軸間距離 (m)

Q_1 : ヒンジ板に生じるせん断力 (kN)

T_1 : ヒンジ板に生じる引張力 (kN)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

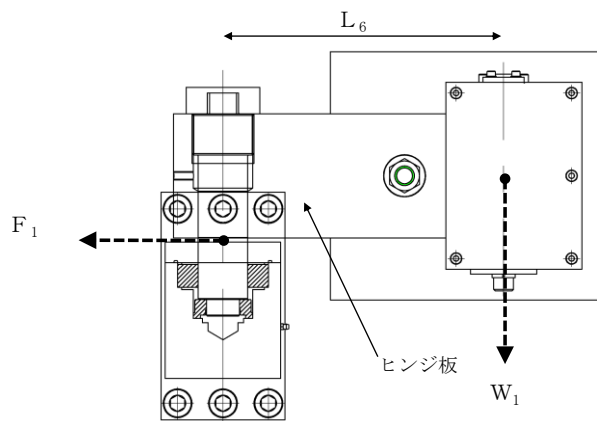


図4-3 ヒンジ板に作用する荷重の例

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジピンに作用する荷重の例を図 4-4 に示す。

$$M_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \cdot L_7$$

$$Q_2 = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$C_1 = W_1$$

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

F_2 : 扉厚方向転倒力 (kN)

L_7 : ヒンジ板と受板間距離 (mm)

Q_2 : ヒンジピンに生じるせん断力 (kN)

C_1 : ヒンジピンに生じる圧縮力 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

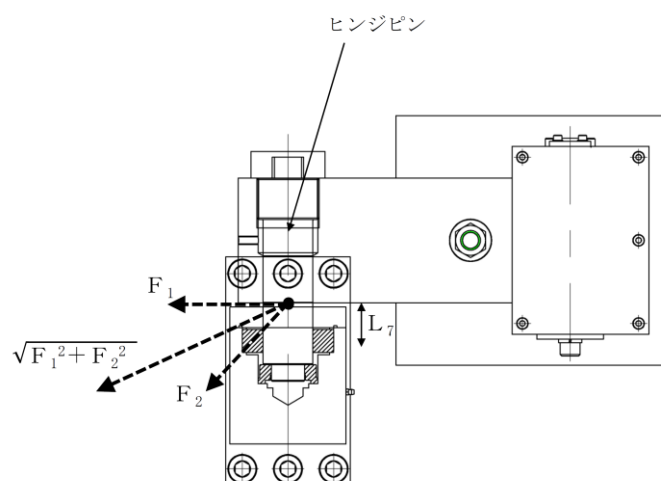


図 4-4 ヒンジピンに作用する荷重の例

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる応力は、次式により算定する。ヒンジボルトに作用する荷重の例を図4-5に示す。

$$Q_3 = \frac{\sqrt{W_1^2 + F_1^2}}{n_1}$$

$$T_2 = F_1 / n_1$$

Q_3 : ヒンジボルトに生じるせん断力 (kN/本)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジボルトの本数

T_2 : ヒンジボルトに生じる引張力 (kN/本)

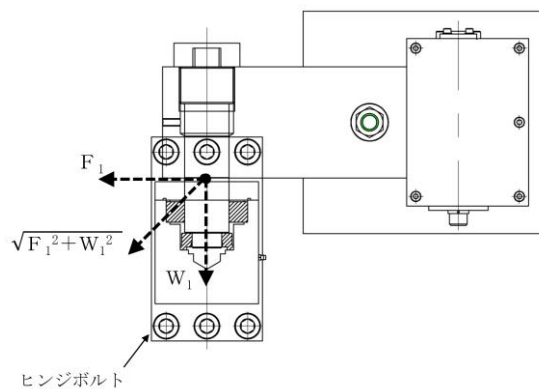


図4-5 ヒンジボルトに作用する荷重の例

(2) カンヌキ

カンヌキに生じる応力は、次式により算定する。カンヌキに作用する荷重の例を図4-6に示す。

$$R_1 = k_H \cdot G / n_2$$

R_1 : カンヌキ 1 本あたりに作用する荷重 (kN/本)

k_H : 水平震度 (G)

G : 扉の固定荷重 (kN)

n_2 : カンヌキの本数 (本)

$$M_3 = R_1 \cdot L_8$$

$$Q_4 = R_1$$

M_3 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

L_8 : カンヌキの扉外間距離 (m)

Q_4 : カンヌキに生じるせん断力 (kN)

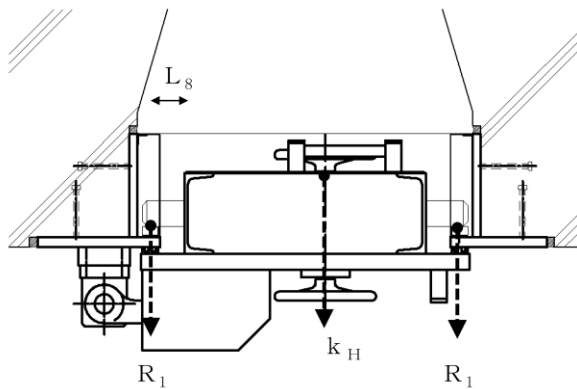


図 4-6 カンヌキに作用する荷重の例

(3) アンカーボルト

アンカーボルトに生じる応力は、ヒンジ側で荷重を負担するものとして、次式により算出する。ここで、アンカーボルトに作用する荷重は、扉の開閉状況に応じ、せん断又は引張りに作用する。アンカーボルトに作用する荷重の例を図 4-7 に示す。

$$W_{1a} = (W_1 + k_{UD} \cdot G_a) / N$$

$$F_{1a} = (F_1 + k_H \cdot G_a) / N$$

W_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだスラスト荷重 (kN)

W_1 : スラスト荷重 (kN)

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ扉幅方向転倒力 (kN)

F_1 : 扉幅方向転倒力 (kN)

G_a : ヒンジ側枠の固定荷重 (kN)

k_{UD} : 鉛直震度 (G)

k_H : 水平震度 (G)

N : ヒンジ側のアンカーボルト総本数 (本)

$$T_3 = Q_5 = \sqrt{W_{1a}^2 + F_{1a}^2}$$

T_3 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

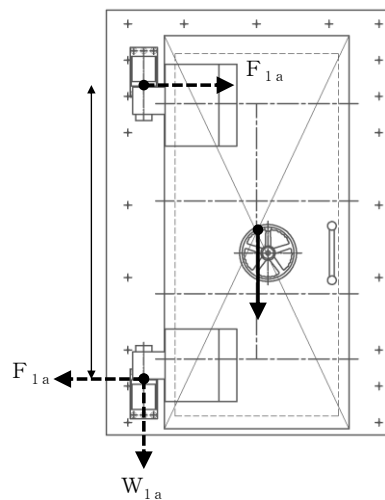


図 4-7 アンカーボルトに作用する荷重の例

4.5.2 断面検定

各部材に生じる応力より算定する応力度等が，許容限界を下回ることを確認する。なお，異なる荷重が同時に作用する部材については，組合せを考慮する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジ板

ヒンジ板に生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算定し，ヒンジ板の短期許容応力度を下回ることを確認する。

(a) 曲げ応力度

$$\sigma_1 = M_1 / Z_1$$

σ_1 : ヒンジ板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_1 : ヒンジ板の曲げモーメント (kN・m)

Z_1 : ヒンジ板の断面係数 (mm³)

(b) せん断応力度

$$\tau_1 = Q_1 / A_1$$

τ_1 : ヒンジ板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_1 : ヒンジ板に生じるせん断力 (kN)

A_1 : ヒンジ板の断面積 (mm²)

(c) 引張応力度

$$\sigma_{T1} = T_1 / A_1$$

σ_{T1} : ヒンジ板に生じる引張応力度 (N/mm²)

T_1 : ヒンジ板に生じる引張力 (kN)

A_1 : ヒンジ板の断面積 (mm²)

(d) 組合せ曲げ応力度

$$x_1 = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2}$$

x_1 : ヒンジ板に生じる組合せ応力度 (N/mm²)

σ_1 : ヒンジ板に生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_1 : ヒンジ板に生じるせん断応力度 (N/mm²)

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「S 規準」に基づく次式により算定し、ヒンジピンの短期許容応力度を下回ることを確認する。

(a) 曲げ応力度

$$\sigma_2 = M_2 / Z_2$$

σ_2 : ヒンジピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_2 : ヒンジピンの曲げモーメント (kN・m)

Z_2 : ヒンジピンの断面係数 (mm³)

(b) せん断応力度

$$\tau_2 = Q_2 / A_2$$

τ_2 : ヒンジピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_2 : ヒンジピンに生じるせん断力 (kN)

A_2 : ヒンジピンの断面積 (mm²)

(c) 圧縮応力度

$$\sigma_{c1} = C_1 / A_2$$

σ_{c1} : ヒンジピンに生じる圧縮応力度 (N/mm²)

C_1 : ヒンジピンに生じる圧縮力 (kN)

A_2 : ヒンジピンの断面積 (mm²)

(d) 組合せ曲げ応力度

$$x_2 = \sqrt{\sigma_2^2 + 3\tau_2^2}$$

x_2 : ヒンジピンに生じる組合せ応力度 (N/mm²)

σ_2 : ヒンジピンに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_2 : ヒンジピンに生じるせん断応力度 (N/mm²)

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの短期許容応力度を下回ることを確認する。

(a) せん断応力度

$$\tau_3 = Q_3 / A_3$$

τ_3 : ヒンジボルトに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_3 : ヒンジボルトに生じるせん断力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトの断面積 (mm²)

(b) 引張応力度

$$\sigma_{T2} = T_2 / A_3$$

σ_{T2} : ヒンジボルトに生じる引張応力度 (N/mm²)

T_2 : ヒンジボルトに生じる引張力 (kN)

A_3 : ヒンジボルトの断面積 (mm²)

(2) カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を「S規
準」に基づく次式により算定し，カンヌキの短期許容応力度を下回ることを確認
する。

(a) 曲げ応力度

$$\sigma_3 = M_3 / Z_3$$

σ_3 : カンヌキに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

M_3 : カンヌキの曲げモーメント (kN・m)

Z_3 : カンヌキの断面係数 (mm³)

(b) せん断応力度

$$\tau_4 = Q_4 / A_4$$

τ_4 : カンヌキに生じるせん断応力度 (N/mm²)

Q_4 : カンヌキに生じるせん断力 (kN)

A_4 : カンヌキの断面積 (mm²)

(c) 組合せ曲げ応力度

$$x_3 = \sqrt{\sigma_3^2 + 3\tau_4^2}$$

x_3 : カンヌキに生じる組合せ応力度 (N/mm²)

σ_3 : カンヌキに生じる曲げ応力度 (N/mm²)

τ_4 : カンヌキに生じるせん断応力度 (N/mm²)

(3) アンカーボルト

アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力及びせん断力が「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定したアンカーボルトの短期許容荷重以下であることを確認する。

$$(T_3 / T_{3A})^2 + (Q_5 / Q_{5A})^2 \leq 1.0$$

$$T_3 / T_{3A} \leq 1.0$$

T_3 : アンカーボルト 1 本あたりに生じる引張力 (kN)

T_{3A} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容引張力 (kN)

$$Q_5 / Q_{5A} \leq 1.0$$

Q_5 : アンカーボルト 1 本あたりに生じるせん断力 (kN)

Q_{5A} : アンカーボルト 1 本あたりの短期許容せん断力 (kN)

5. 評価条件

耐震評価に用いる評価条件を表 5-1 に示す。

表 5-1 耐震評価に用いる条件

対象部位		記号	単位	定義	値
共通		G	kN	扉重量	16.67
		k_{UD}	G	鉛直震度	1.0
		k_H	G	水平震度	3.5
		W_2	kN/m ²	風圧力	1.713
		L_1	m	扉幅方向の扉重心とヒンジ芯間距離	0.623
		L_2	m	扉厚方向の扉重心とヒンジ芯間距離	0.407
		L_3	m	ヒンジ芯間距離	1.621
		L_4	m	扉幅	1.02
		L_5	m	扉高さ	2.171
ヒンジ部	ヒンジ板	L_6	m	ヒンジ板の 2 軸間距離	0.34
		Z_1	mm ³	ヒンジ板の断面係数	262500
		A_1	mm ²	ヒンジ板の断面積	10500
	ヒンジピン	L_7	mm	ヒンジ板と受板間距離	0.046
		Z_2	mm ³	ヒンジピンの断面係数	21210
		A_2	mm ²	ヒンジピンの断面積	2827
	ヒンジボルト	n_1	本	ヒンジボルトの本数	6
A_3		mm ²	ヒンジボルトの断面積	303	
カンヌキ		n_2	本	カンヌキの本数	8
		L_8	m	カンヌキの扉外間距離	0.131
		Z_3	mm ³	カンヌキの断面係数	50270
		A_4	mm ²	カンヌキの断面積	5027
アンカーボルト		G_a	kN	ヒンジ側枠の固定荷重	8.336
		N	本	ヒンジ側アンカーボルト総本数	9

6. 評価結果

防波扉（1号機北側）及び防波扉（2号機北側）の評価結果を表6-1に示す。各部材の断面検定を行った結果、発生応力度又は荷重が許容限界を下回る。

表6-1 断面検定結果

扉名称	評価対象部位		分類	発生応力度 又は荷重 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	発生応力度/ 許容限界
防波扉 (1号機 北側) 及 び防波扉 (2号機 北側)	ヒ ン ジ 部	ヒンジ板	組合せ	45	215	0.21
			引張	4	215	0.02
		ヒンジピン	組合せ	99	345	0.29
			圧縮	12	345	0.04
		ヒンジボルト	せん断	30	375	0.08
			引張	24	651	0.04
	カンヌキ		組合せ	30	205	0.15
	アンカーボルト		引張	9.163	47	0.20
			せん断	9.163	33	0.28

2. 防波壁通路防波扉（荷揚場南）に関する耐震計算書

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	12
2.4	適用規格・基準等	18
3.	固有値解析	19
3.1	固有振動数の算出方法	19
3.1.1	解析モデルの設定	19
3.2	固有振動数の算出条件等	20
3.2.1	記号の説明	20
3.2.2	固有振動数の算出方法	20
3.2.3	固有振動数の計算条件	21
3.3	固有振動数の算出結果	21
4.	耐震評価	22
4.1	記号の定義	22
4.2	評価対象断面	30
4.3	解析方法	32
4.3.1	施設	32
4.3.2	減衰係数	32
4.3.3	解析ケース	33
4.4	荷重及び荷重の組合せ	34
4.4.1	耐震評価上考慮する状態	34
4.4.2	荷重	34
4.4.3	荷重の組合せ	35
4.5	入力地震動	36
4.6	解析モデル及び諸元	49
4.6.1	解析モデル	49
4.6.2	使用材料及び材料の物性値	51
4.6.3	地盤の物性値	52
4.6.4	地下水位	52
4.7	評価対象部位	53
4.7.1	施設・地盤の健全性評価	53
4.7.2	基礎地盤の支持性能評価	53

4.8	許容限界	54
4.8.1	防波扉	54
4.8.2	漂流物対策工	58
4.9	評価方法	62
4.9.1	防波扉	62
4.9.2	漂流物対策工	75
5.	評価条件	91
6.	耐震評価結果	97
6.1	防波扉	97
6.2	漂流物対策工	109

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に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、防波壁通路防波扉（荷揚場南）（以下「防波扉（荷揚場南）」という。）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防波扉（荷揚場南）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、地震応答解析により基礎地盤に発生した接地圧を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

防波扉（荷揚場南）の位置図を図2-1に示す。

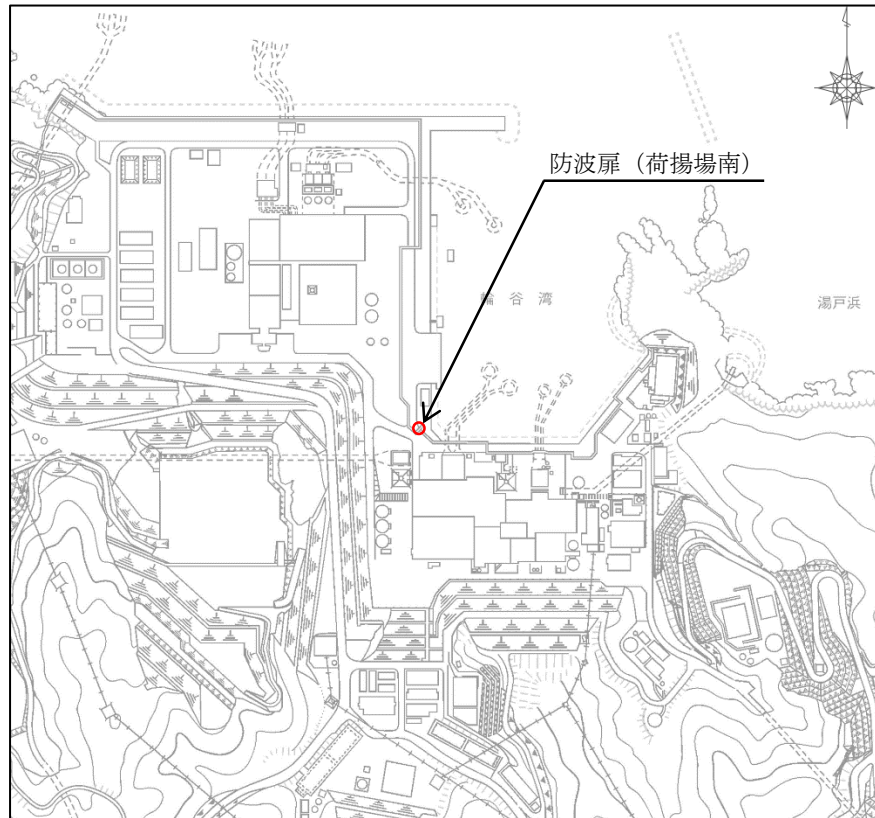


図2-1 防波扉（荷揚場南）位置図

2.2 構造概要

防波扉（荷揚場南）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とする。

防波扉は、入力津波高さ（EL 11.9m）に参照する裕度（0.64m）を加えた津波高さ（EL 12.6m）に対して、余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波扉（鋼製扉体）、戸当り（RC支柱）及び基礎スラブは、鋼管杭により岩盤に支持される構造とし、防波扉（鋼製扉体）と戸当り（RC支柱）及び基礎スラブとの間には水密ゴム（側部水密ゴム及び底部水密ゴム）を設置し、止水性を確保する。

防波扉（荷揚場南）の構造概要図を図2-2及び図2-3に示す。

防波扉の構造図を図2-4及び図2-5に、戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図2-6に、水密ゴムの概念図を図2-7に示す。

漂流物対策工は、漂流物対策工（鋼製扉体）、戸当り（RC支柱）及び基礎スラブから構成され、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図2-8及び図2-9に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図2-10に示す。

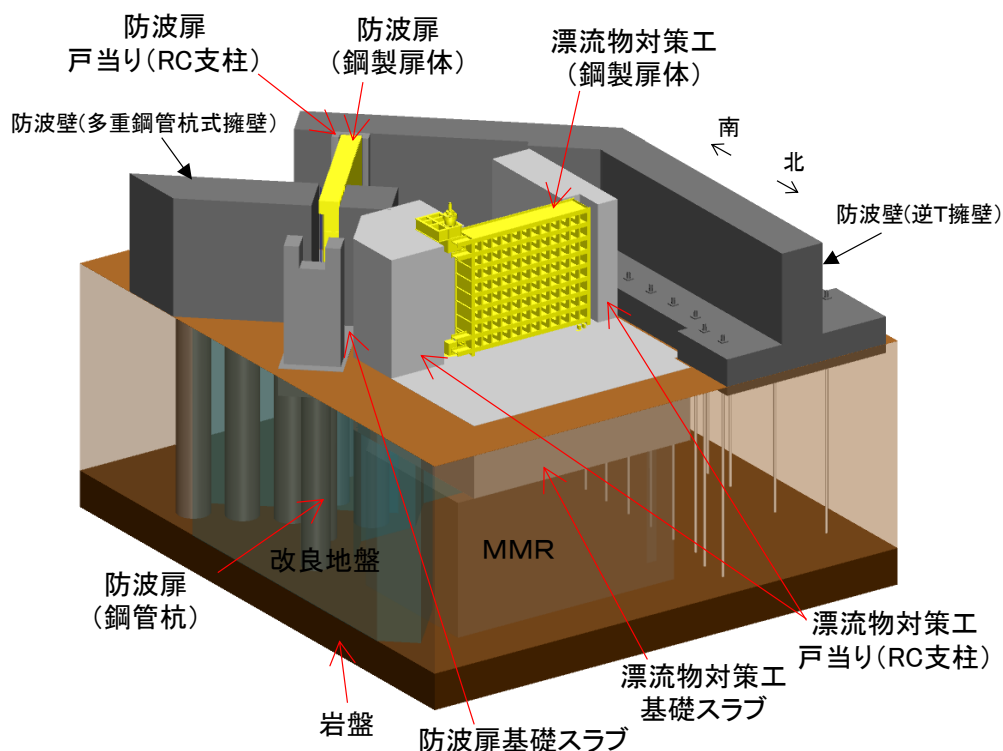


図2-2 防波扉（荷揚場南）の構造概要図

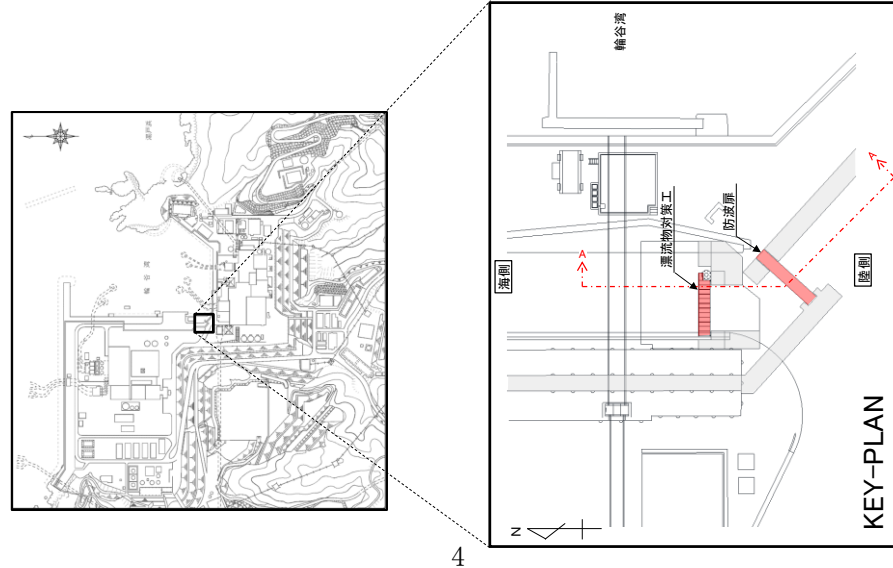
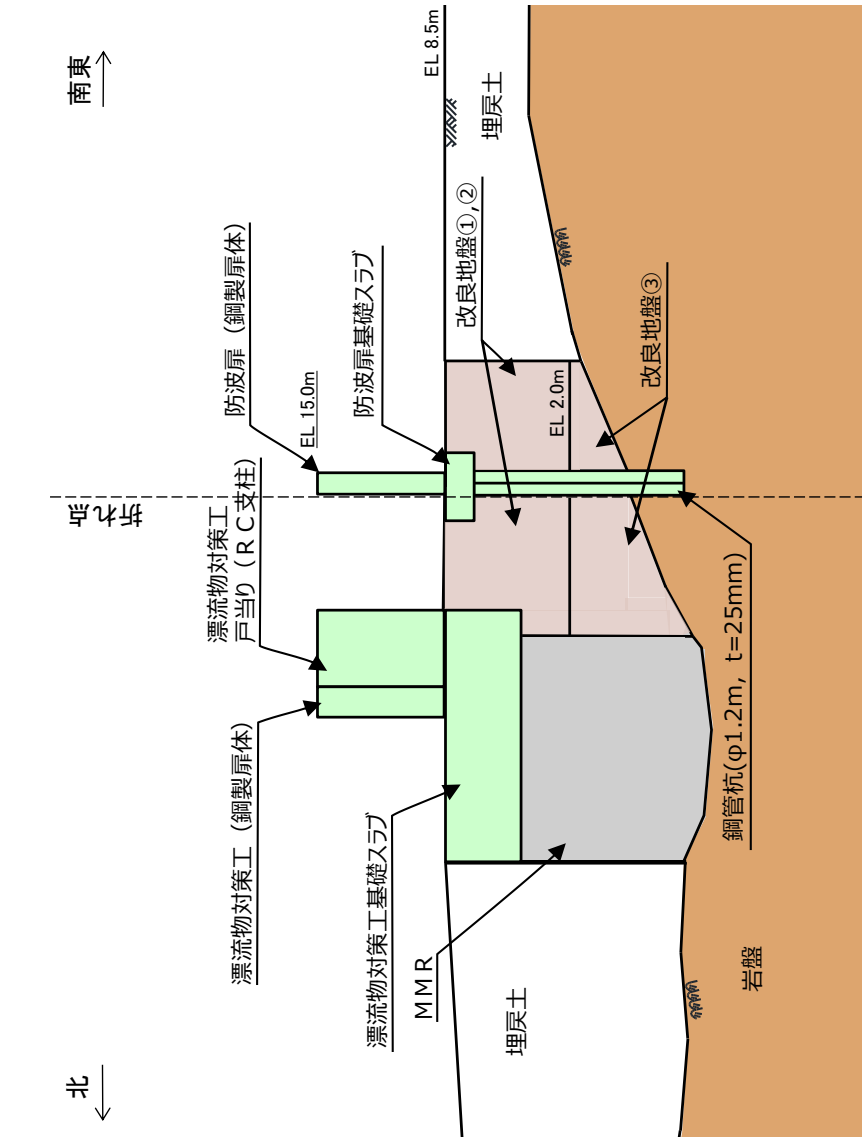


図 2-3 防波扉 (荷揚場南) の構造概要図 (断面図)

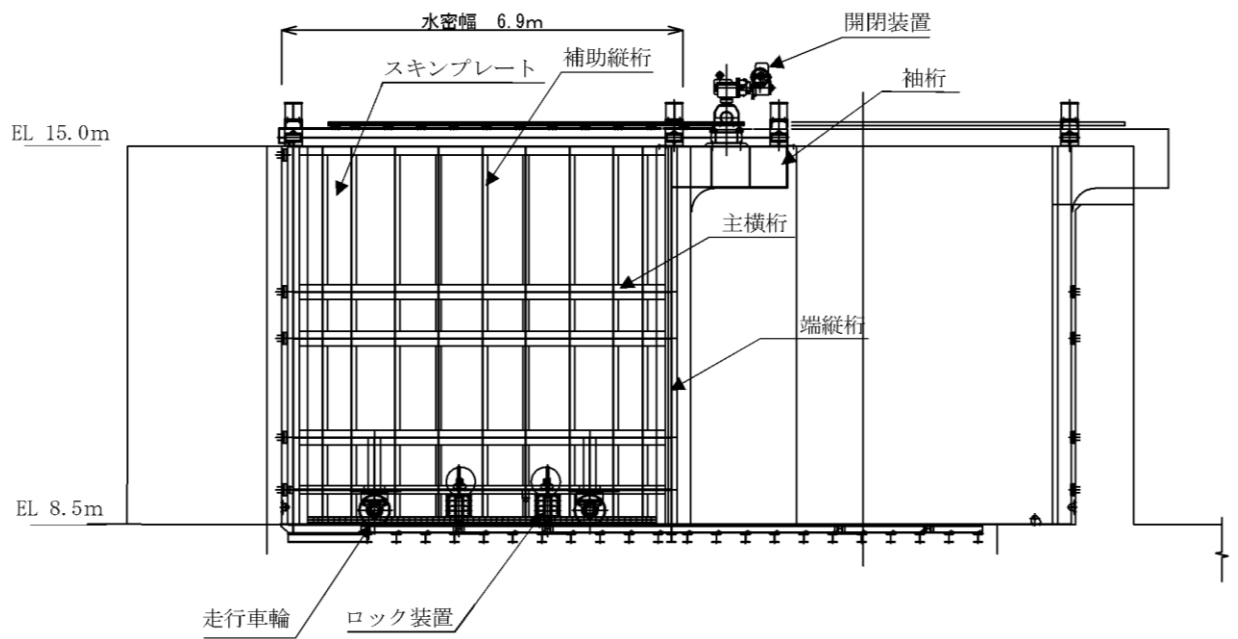


図 2-4(1) 防波扉の構造図 (鋼製扉体, 正面図)

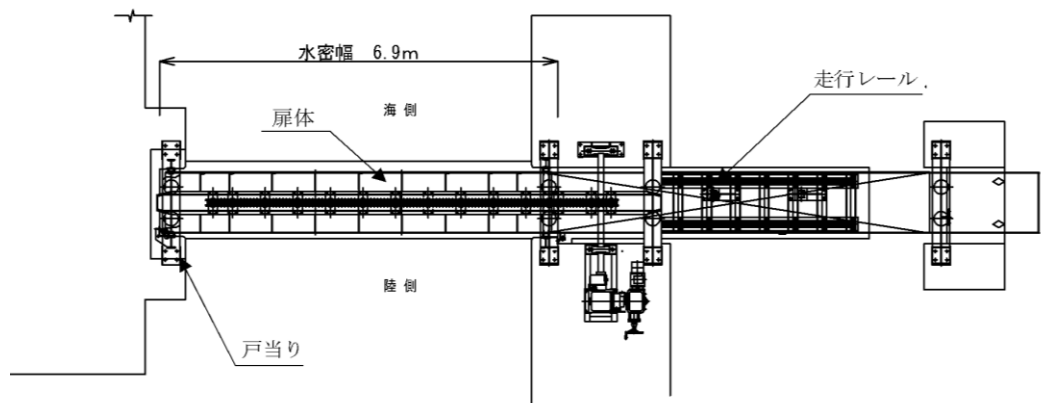


図 2-4(2) 防波扉の構造図 (鋼製扉体, 平面図)

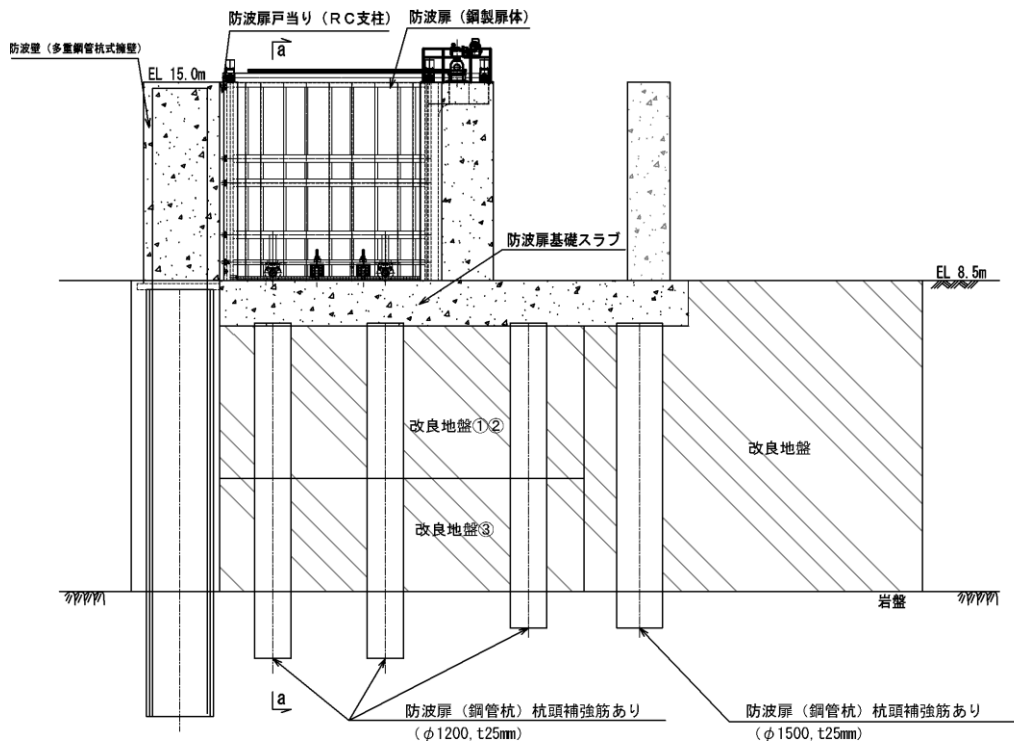


図 2-5(1) 防波扉の構造図 (基礎, 正面図)

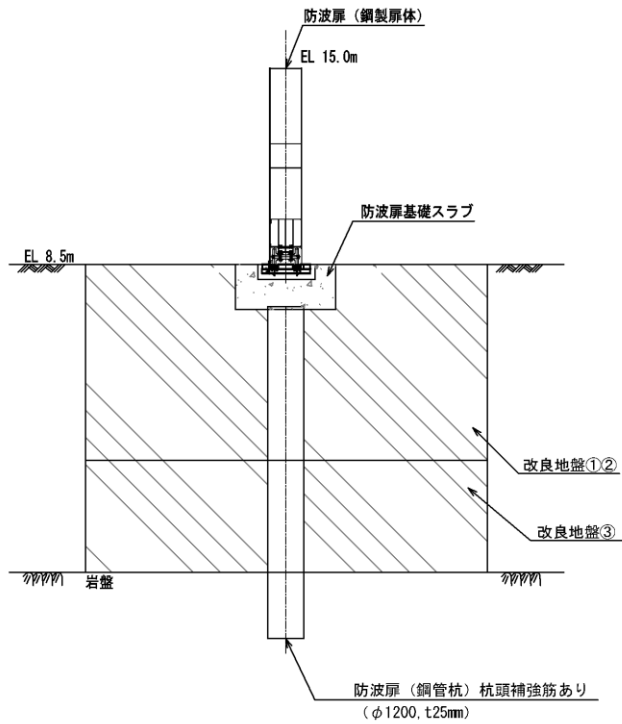


図 2-5(2) 防波扉の構造図 (基礎, 断面図)

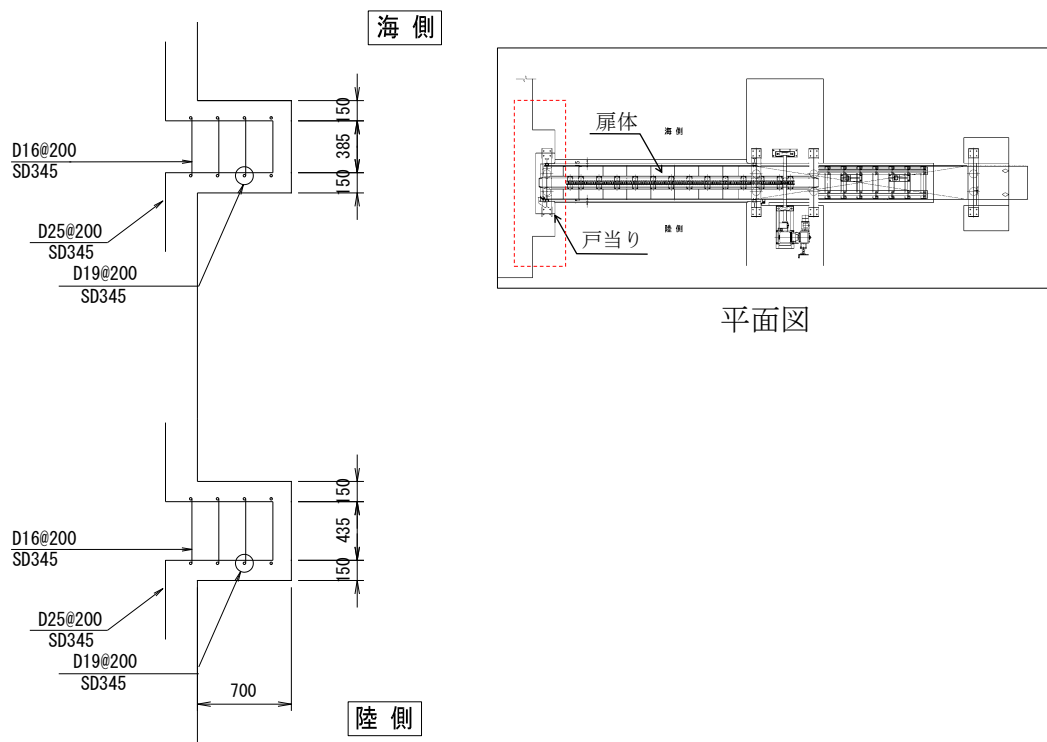


図 2-6(1) 防波扉戸当り (RC支柱) の概略配筋図

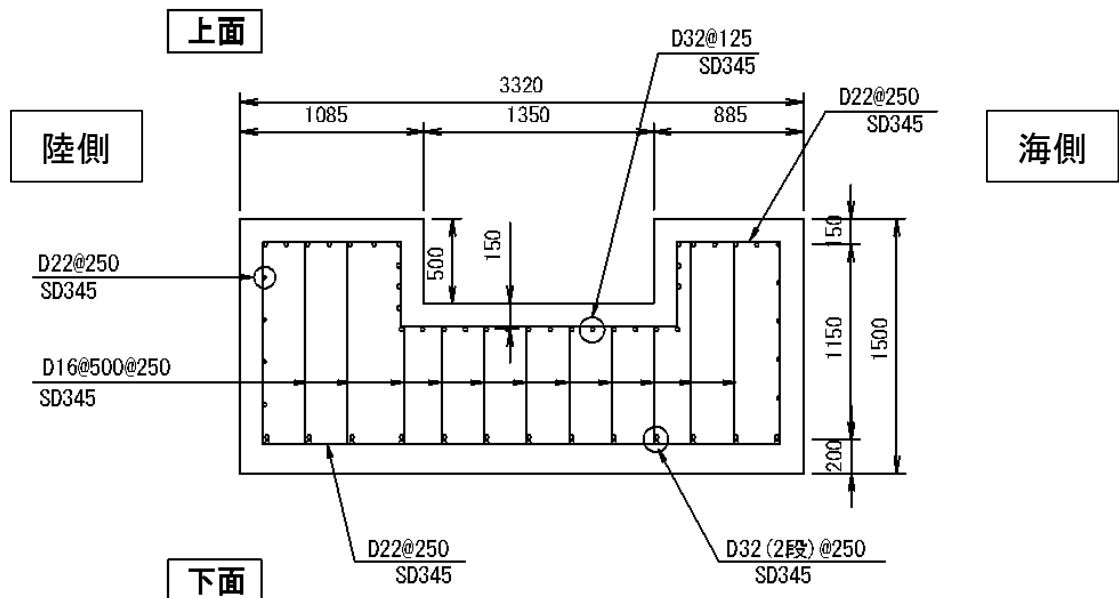


図 2-6(2) 防波扉基礎スラブの概略配筋図

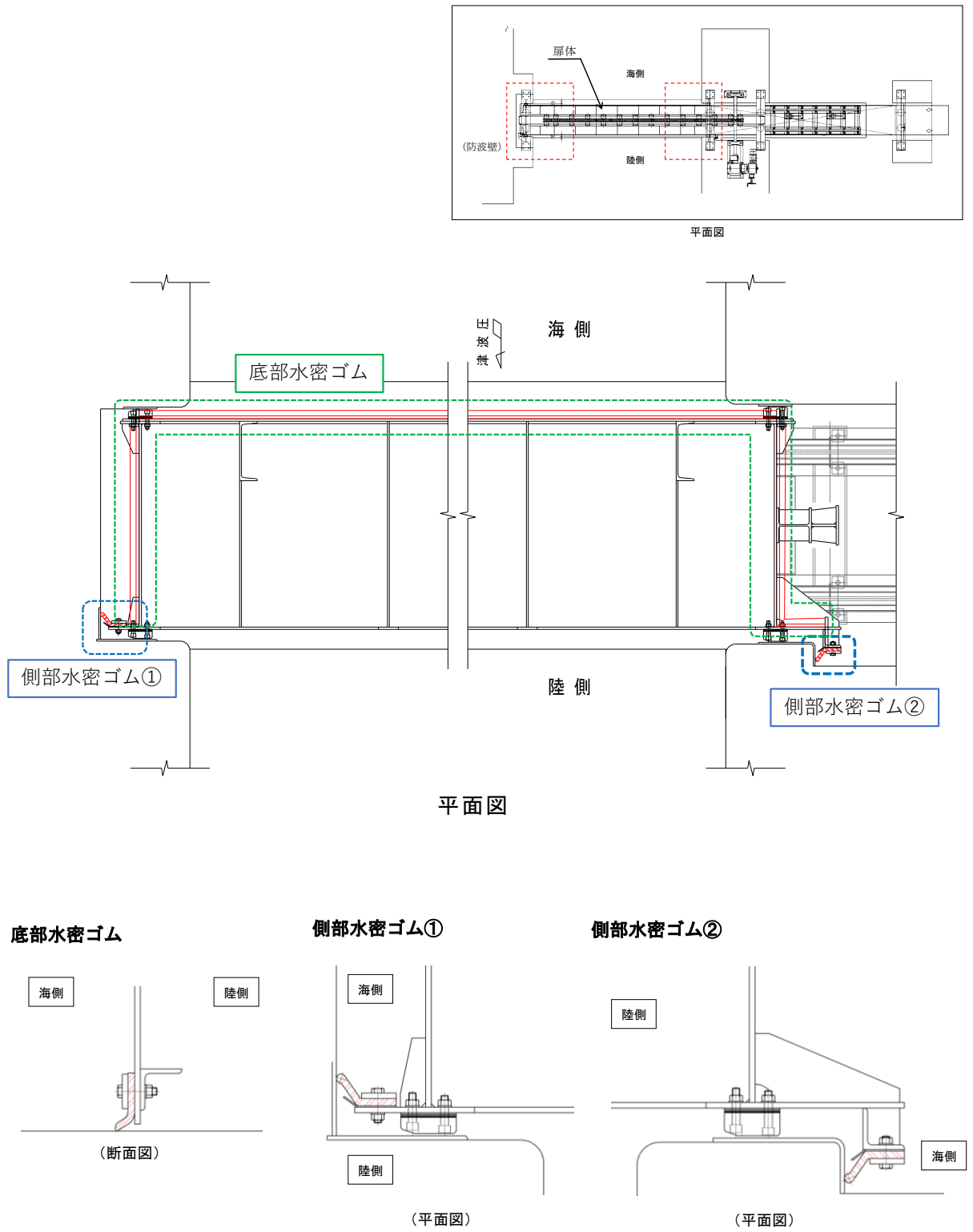


図 2-7 防波扉の水密ゴム概念図

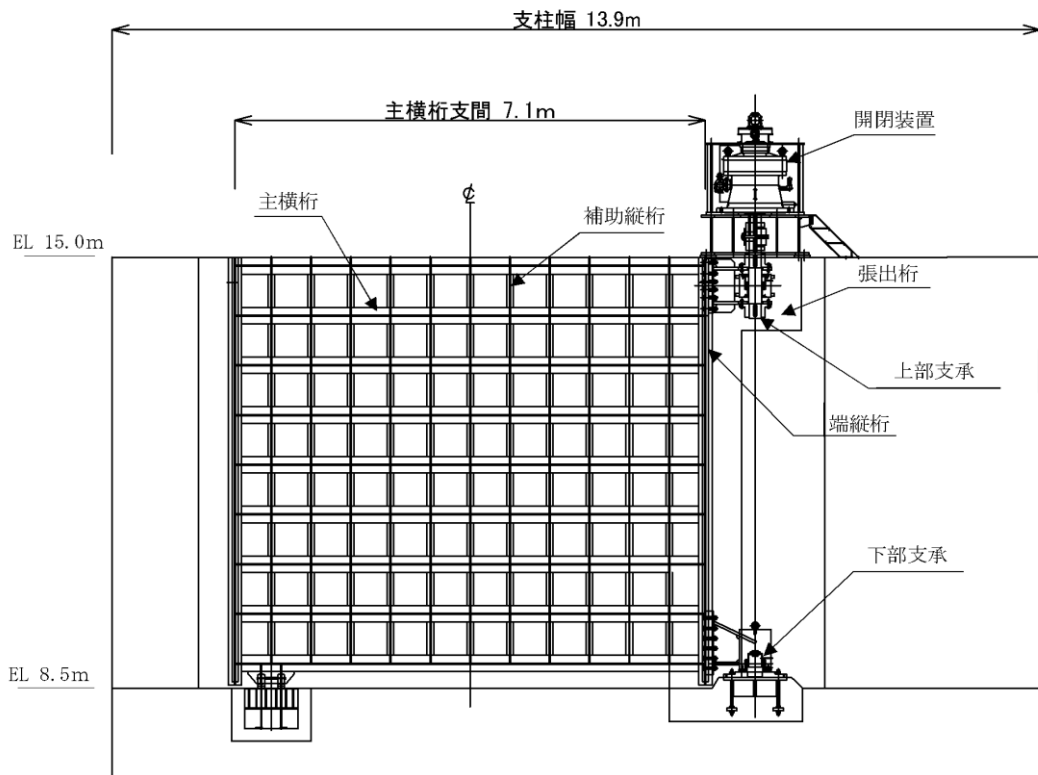


図 2-8(1) 漂流物対策工の構造図（鋼製扉体，正面図）

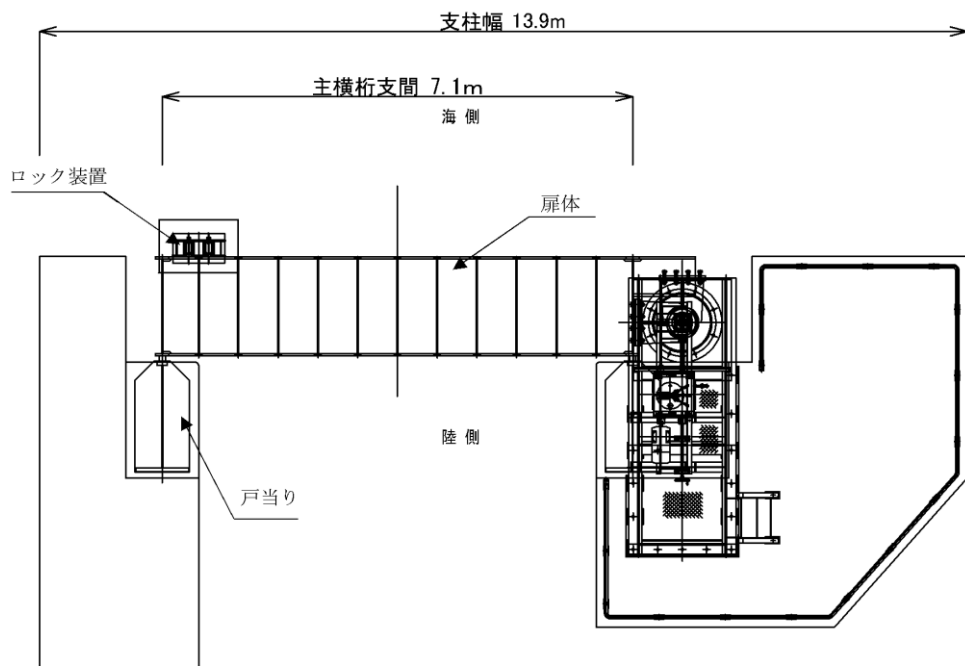


図 2-8(2) 漂流物対策工の構造図（鋼製扉体，平面図）

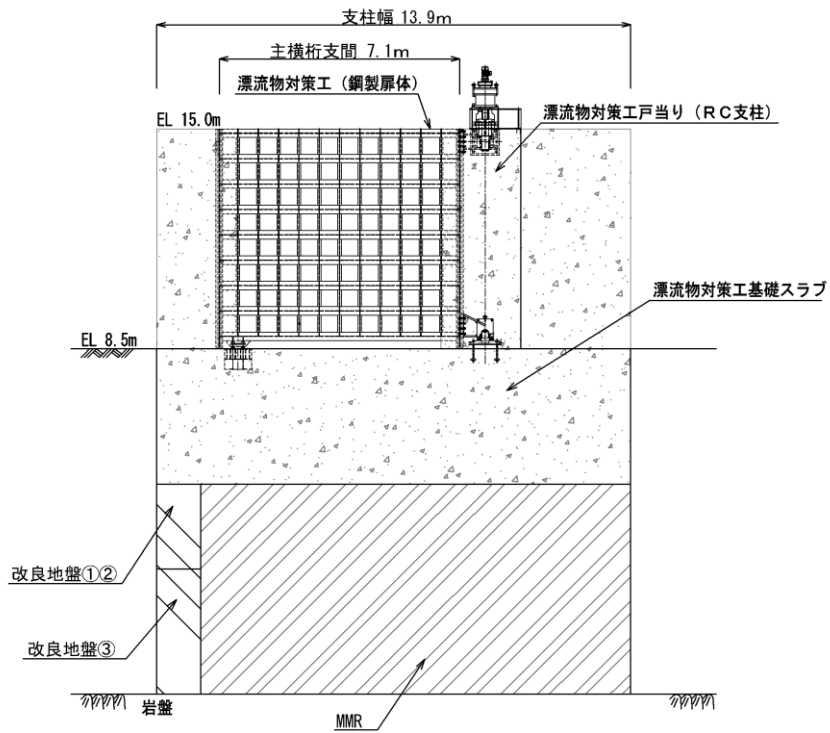


図 2-9(1) 漂流物対策工の構造図 (基礎, 正面図)

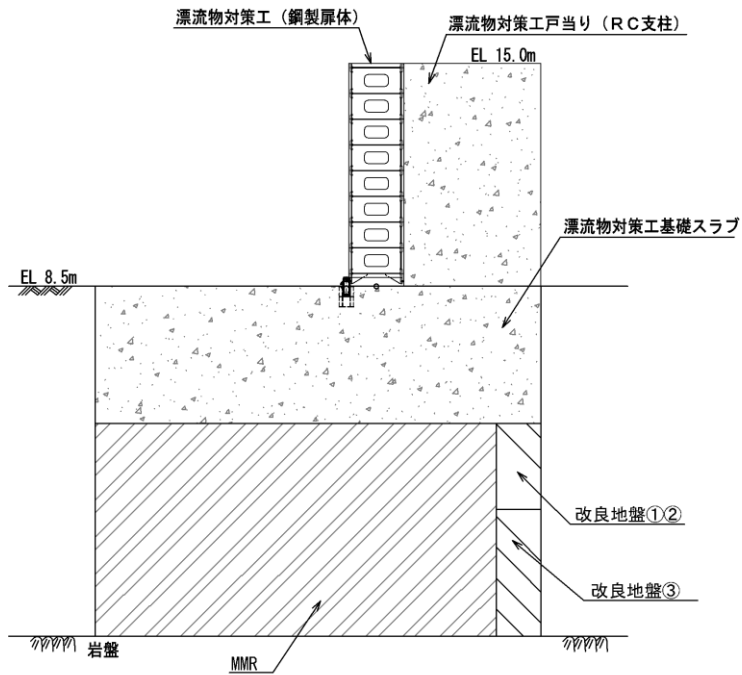


図 2-9(2) 漂流物対策工の構造図 (基礎, 断面図)

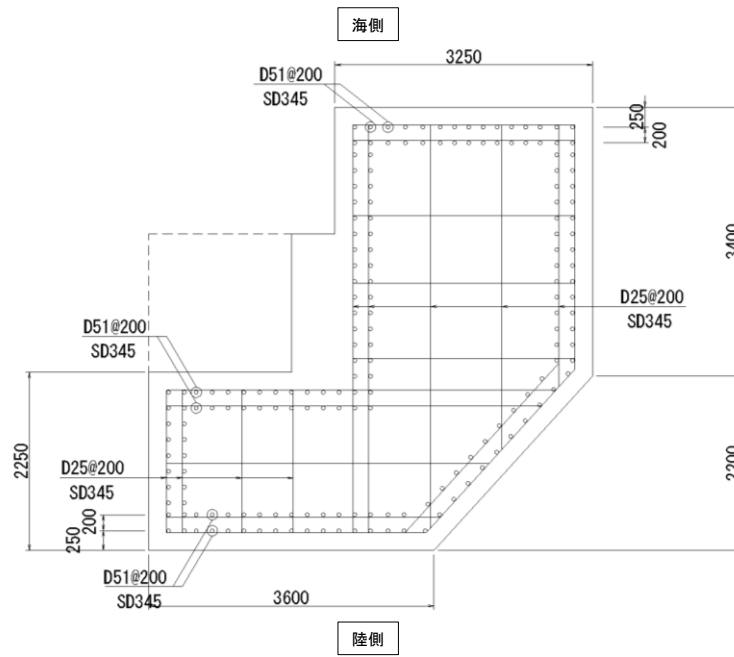


図 2-10(1) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の概略配筋図

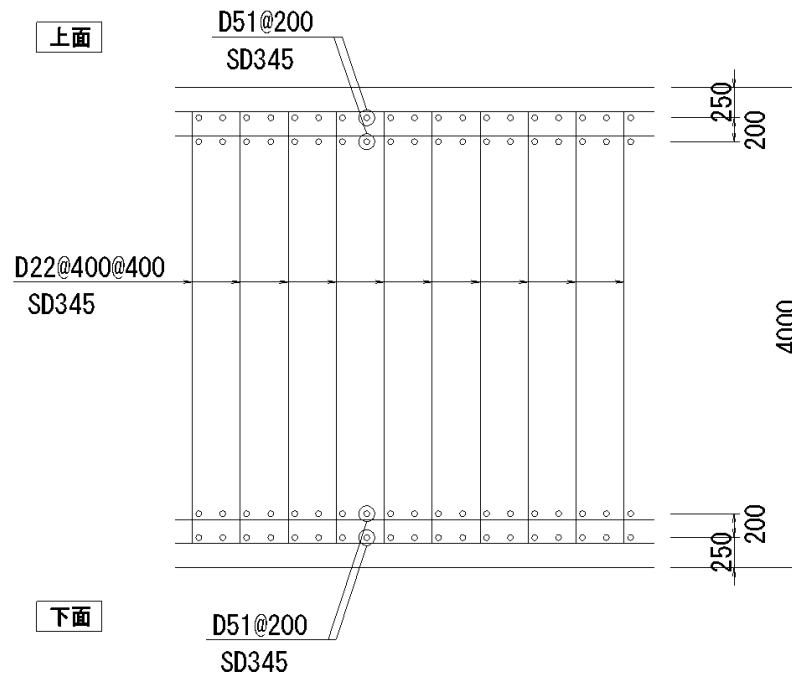


図 2-10(2) 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図

2.3 評価方針

防波扉（荷揚場南）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とする。

防波扉（荷揚場南）の各部位の役割及び性能目標を表2-1及び表2-2に示す。

防波扉（荷揚場南）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設として、表2-3に示すとおり、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力、すべり安全率）が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

防波扉（荷揚場南）の耐震評価フローを図2-11に示す。

表 2-1(1) 防波扉の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	防波扉 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水性を保持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)を支持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉基礎 スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)及び防波扉戸当り(RC支柱)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)及び防波扉戸当り(RC支柱)を支持する。
	防波扉 (鋼管杭)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを支持する。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭の変形を抑制する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭の変形を抑制する。 ・地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。 ・津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管杭を鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波扉への相互作用を考慮する)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波扉への相互作用を考慮する)。

表 2-1(2) 漂流物対策工の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工(鋼製扉体)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物対策工(鋼製扉体)を支持する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工(鋼製扉体)及び漂流物対策工戸当り(RC支柱)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工(鋼製扉体)及び漂流物対策工戸当り(RC支柱)を支持する。
地盤	MMR	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブ並びにMMR又は改良地盤を鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブ並びにMMR又は改良地盤を鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、漂流物対策工への相互作用を考慮する)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、漂流物対策工への相互作用を考慮する)。

表 2-2(1) 防波扉の各部位の性能目標

部位	性能目標	鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (遮水性, 難透水性)
施設	防波扉 (鋼製扉体)	-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	防波扉から有意な漏えいを生じさせないために、おおむね弾性状態に留まること。 防波扉 (鋼製扉体) の支持機能を喪失して防波扉 (鋼製扉体) との間から有意な漏えいを生じさせないために、おおむね弾性状態に留まること。
	防波扉戸当り (RC支柱)				
	防波扉基礎 スラブ				
地盤	防波扉 (鋼管杭)	-	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安定性を保持すること。	鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと (内的安定を保持)。	構造部材の健全性を保持するために、おおむね弾性状態に留まること。 鋼管杭の変形を抑制するため、改良地盤がすべり破壊しないこと (内的安定を保持)。 地盤中からの回り込みによる浸水を防止 (難透水性を維持) するため、改良地盤がすべり破壊しないこと (内的安定を保持)。
	改良地盤				
	岩盤				

表 2-2(2) 漂流物対策工の各部位の性能目標

部位	性能目標	鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性
施設	漂流物対策工 (鋼製扉体)	-	-	-	防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させないために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)				
	漂流物対策工 基礎スラブ				
地盤	MMR	漂流物対策工を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	-	-	構造部材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	改良地盤				
	岩盤				

表 2-3(1) 防波扉の評価項目

評価方針	評価項目	部位		評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	防波扉 (鋼製扉体)	主横桁, 補助縦桁, 端縦桁, 車輪, レール, ロック装置, 支圧板, 戸当り	発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り (RC支柱)		発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ		発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉 (鋼管杭)		発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント (曲げ) 及びせん断応力度 (せん断)
		改良地盤		すべり破壊しないこと (内的安定を保持) を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力 (接地圧) が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	防波扉 (鋼製扉体)	主横桁, 補助縦桁, 端縦桁, 車輪, レール, ロック装置, 支圧板, 戸当り	発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り (RC支柱)		発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ		発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉 (鋼管杭)		発生する応力 (曲げ・軸力, せん断力) が許容限界以下であることを確認	降伏モーメント (曲げ) 及びせん断応力度 (せん断)
		改良地盤		すべり破壊しないこと (内的安定を保持) を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力 (接地圧) が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-3(2) 漂流物対策工の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	漂流物対策工（鋼製扉体）	主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁，支承部，支承アンカー，ロック装置，戸当り	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度	
		漂流物対策工基礎スラブ	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度	
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上	
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

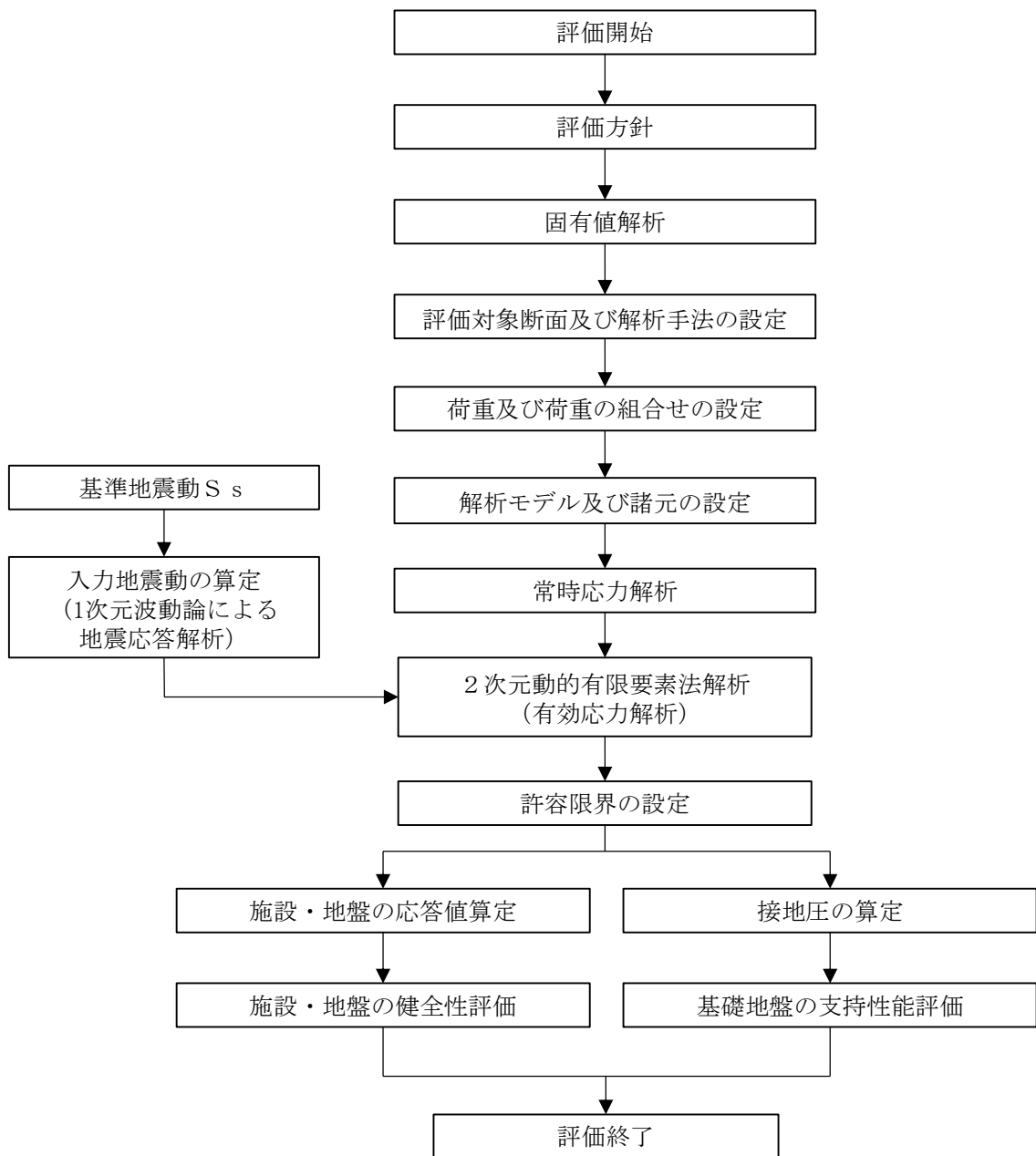


図 2-11 防波壁（荷揚場南）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年)
- ・松江市建築基準法施行細則 (2005 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号)
- ・日本機械学会 機械工学便覧
- ・ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・設備計画マニュアル編) (ダム・堰施設技術基準協会, 2016 年)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 2002 年)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会, 1999 年)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド (2013 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター 平成 19 年 3 月)

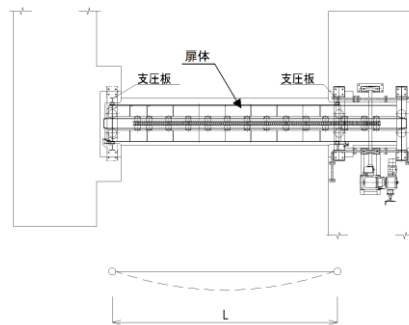
3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の構造に応じて解析モデルを設定し、1次固有振動数を算出する。

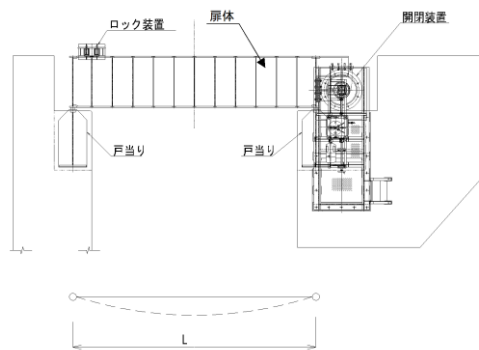
3.1.1 解析モデルの設定

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）は、左右端のRC支柱及びロック装置により扉体を支持する構造であることから、両端ヒンジ梁として計算する。解析モデル図を図3-1に示す。



平面図及び固有値解析モデル

図3-1(1) 防波扉（鋼製扉体）の固有値解析モデル図



平面図及び固有値解析モデル

図3-1(2) 漂流物対策工（鋼製扉体）の固有値解析モデル図

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	m	スパン長
λ	—	支持条件によって定まる係数
γ	kN/m ³	単位体積重量
A	m ²	断面積
E	kN/m ²	縦弾性係数
I	m ⁴	断面二次モーメント
g	m/s ²	重力加速度

3.2.2 固有振動数の算出方法

1 次固有振動数 f を「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき以下の式より計算する。

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{EIg}{\gamma A}}$$

3.2.3 固有振動数の計算条件

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の算出条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

記号	定義	数値		単位
		防波扉 (鋼製扉体)	漂流物対策工 (鋼製扉体)	
L	スパン長	6.7	7.3	m
λ	支持条件によって 定まる係数	3.14	3.14	—
γ	単位体積重量	77	77	kN/m ³
A	断面積	0.165	0.0418	m ²
E	縦弾性係数	2.00×10^8	2.00×10^8	kN/m ²
I	断面二次モーメント	0.0238	0.0140	m ⁴
g	重力加速度	9.81	9.81	m/s ²

3.3 固有振動数の算出結果

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の算出結果を表 3-3 に示す。防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数は 20Hz 以上であり，剛構造として扱う。

表 3-3 固有振動数の計算結果

部位	固有振動数 (Hz)
防波扉（鋼製扉体）	67.2
漂流物対策工（鋼製扉体）	86.1

4. 耐震評価

4.1 記号の定義

耐震評価に用いる記号を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1(1) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (1/4)

部材	記号	単位	定義
主横桁	M_1	$\text{kN} \cdot \text{m}$	曲げモーメント
	S_1	kN	せん断力
	W	kN/m	地震時慣性力
	W'	kN/m	風荷重
	L	m	支間
	a	m	張り出し部
	L_1	m	正面水密幅
	Z	mm^3	断面係数
	A_w	mm^2	腹板断面積
	σ_c	N/mm^2	曲げ応力度
	τ	N/mm^2	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm^2	許容せん断応力度	
補助縦桁	ℓ	m	主横桁間隔
	m	m	補助縦桁間隔
	P	kN/m^2	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	M	$\text{kN} \cdot \text{m}$	曲げモーメント
	S	kN	せん断力
	Z	mm^3	断面係数
	A_w	mm^2	腹板断面積
	σ	N/mm^2	曲げ応力度
	τ	N/mm^2	せん断応力度
	σ_a	N/mm^2	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm^2	許容せん断応力度	
端縦桁	R	kN	主横桁の支点反力
	A_q	mm^2	補剛材の有効総断面積
	σ_c	N/mm^2	圧縮応力度
	σ_{ca}	N/mm^2	許容圧縮応力度

表 4-1(2) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (2/4)

部材	記号	単位	定義
車輪	F	kN	鉛直荷重 (扉体自重+積雪荷重+地震時慣性力)
	F_v	kN	鉛直方向地震時慣性力
	R_1	kN	海側車輪荷重
	R_2	kN	陸側車輪荷重
	L	m	レール支間
	L_1	m	扉体重心から海側車輪までの距離
	L_2	m	扉体重心から陸側車輪までの距離
	P_r	N	車輪荷重
	E_1	N/mm ²	車輪の弾性係数
	E_2	N/mm ²	レールの弾性係数
	B_0	mm	車輪有効踏面幅
	R	mm	車輪半径
	C	mm	接触幅の 1/2
	p	N/mm ²	ヘルツの接触応力度
p_a	N/mm ²	許容接触応力度	
車輪軸	M	kN・m	曲げモーメント
	L_3	m	張出長さ
	Z	mm ³	軸の断面係数
	S	kN	せん断力
	A_1	mm ²	軸の断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
車輪 軸受	R_a	kN	軸受け荷重
	c_{cr}	kN	基本静定格荷重

表 4-1(3) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (3/4)

部材	記号	単位	定義
レール	M_5	kN・m	レールの曲げモーメント
	R_1	kN	車輪 1 輪に作用する最大荷重
	L_M	m	レール基礎材間隔
	S_5	kN	レールのせん断力
	Z_1	mm ³	引張側断面係数
	Z_2	mm ³	圧縮側断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	b_p	mm	腹板の受圧幅
	C	mm	接触幅の 1/2
	t_w	mm	腹板の厚さ
	t_f	mm	レール踏面板の厚さ
	σ_c	N/mm ²	曲げ圧縮応力度
	σ_t	N/mm ²	曲げ引張応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_b	N/mm ²	腹板の支圧応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ圧縮応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ引張応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
σ_{ba}	N/mm ²	許容支圧応力度	
ロック装置	P_2	kN	ロックピン反力
	F_h	kN	地震時慣性力
	n	本	ロックピン数
	L_7	m	片持ち梁長さ
	M	kN・m	曲げモーメント
	Z	mm ³	断面係数
	S	kN	せん断力
	A	mm ²	ロックピンのせん断面積
	b	mm	ロックピン受圧幅
	h	mm	ロックピン受圧長さ
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_b	N/mm ²	支圧応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
σ_{ba}	N/mm ²	許容支圧応力度	

表 4-1(4) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (4/4)

部材	記号	単位	定義
支圧板	P_1	kN	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	C	mm	支圧板の有効幅
	L_2	mm	扉体高さ
	σ_p	N/mm ²	支圧板の支圧応力度
	σ_{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度
戸当り	P_1	kN	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	L_2	mm	扉体高さ
	b_f	mm	底面フランジの幅
	t_f	mm	底面フランジの厚さ
	ℓ_1	mm	戸当り深さ
	ℓ_2	mm	底面フランジのコンクリートまでの距離
	M_f	N・mm	底面フランジに作用する曲げモーメント
	$\Sigma \ell$	mm	せん断抵抗長さ ($=\ell_1+2\ell_2$)
	σ_f	N/mm ²	底面フランジの曲げ応力度
	σ_{cb}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	

表 4-2(1) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (1/4)

部材	記号	単位	定義
主横桁	M_1	kN・m	曲げモーメント
	S_1	kN	せん断力
	W	kN/m	地震時慣性力
	W'	kN/m	風荷重
	L	m	支間
	a	m	張り出し部
	L_1	m	扉体幅
	M_1'	kN・m	曲げモーメント
	S_1'	kN	せん断力
	L'	m	張出長さ
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	
張出桁	M_2	kN・m	曲げモーメント
	S_2	kN	せん断力
	W	kN/m	地震時慣性力
	W'	kN/m	風荷重
	L_2	m	張出長さ
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	
補助縦桁	M_3	kN・m	曲げモーメント
	S_3	kN	せん断力
	W	kN/m	地震時慣性力
	W'	kN/m	風荷重
	ℓ	m	主横桁の間隔
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	

表 4-2(2) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (2/4)

部材	記号	単位	定義
端縦桁	R	kN	主横桁の支点反力
	A_q	mm ²	補剛材の有効総断面積
	σ_c	N/mm ²	圧縮応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
上部 支承軸	M_4	kN・m	支承軸の曲げモーメント
	R_{H1}	kN	上部支承水平作用荷重
	L_4	m	支承軸支持間隔
	S_4	kN	支承軸のせん断力
	Z_4	mm ³	支承軸の断面係数
	A_4	mm ²	支承軸の断面積
	σ_b	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
下部 支承軸	M_5	kN・m	支承軸の曲げモーメント
	R_{H3}	kN	下部支承水平作用荷重
	L_5	m	支承軸片持ち梁長さ
	S_5	kN	支承軸のせん断力
	Z_5	mm ³	支承軸の断面係数
	A_5	mm ²	支承軸の断面積
	σ_b	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
下部 支承軸受	R_v	kN	下部支承鉛直作用荷重
	R	mm	軸受（壺金）の球面の半径
	E	N/mm ²	軸受（壺金）の弾性係数
	p	N/mm ²	軸受（壺金）の支圧応力度
	p_a	N/mm ²	許容接触応力度
支承軸受	R_2	kN	軸受け荷重
	C_{cr}	kN	基本静定格荷重

表 4-2(3) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (3/4)

部材	記号	単位	定義
上部支承 アンカー	F	kN	アンカーボルト 1 本当りの軸力
	R_{H1}	kN	上部支承水平作用荷重
	ℓ	mm	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離
	m	mm	アンカーボルトの間隔
	n	本	アンカーボルトの片側本数
	A_5	mm ²	アンカーボルトの断面積
	d	mm	アンカーボルト埋込深さ
	a, b	mm	アンカープレートの寸法
	c, e	mm	支圧板の寸法
	σ_t	N/mm ²	アンカーボルトの軸方向引張応力度
	σ_a	N/mm ²	許容軸方向引張応力度
	σ_{c1}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(アンカープレート)
	σ_{c2}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(支圧板)
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度(アンカープレート)
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	
下部支承 アンカー	F	kN	アンカーボルト 1 本当りの軸力
	R_{H3}	kN	下部支承水平作用荷重
	L_5	mm	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離
	2y	mm	アンカーボルトの間隔
	n	—	アンカーボルトの片側本数
	A_5	mm ²	アンカーボルトの断面積
	d	mm	アンカーボルト埋込深さ
	a, b	mm	アンカープレートの寸法
	c, e	mm	支圧板の寸法
	σ_t	N/mm ²	アンカーボルトの軸方向引張応力度
	σ_a	N/mm ²	許容軸方向引張応力度
	σ_{c1}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(アンカープレート)
	σ_{c2}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(支圧板)
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度(アンカープレート)
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	

表 4-2(4) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (4/4)

部材	記号	単位	定義
ロック装置	M	kN・m	曲げモーメント
	R_r	kN	ロック反力
	a	m	ロックビームの片持ち梁長さ
	n	本	ロックビーム数
	Z	mm ³	ロックビームの断面係数
	S	kN	ロックビームのせん断力
	A	mm ²	ロックビームのせん断面積
	σ	N/mm ²	ロックビーム曲げ応力度
	τ	N/mm ²	ロックビームせん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
戸当り	W	kN/m	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	C	mm	支圧板の有効幅
	L_1	mm	扉体幅
	L_2	mm	主横桁の荷重分担長さ
	t_w	mm	腹板の厚さ
	b_f	mm	底面フランジの幅
	t_f	mm	底面フランジの厚さ
	ℓ_1	mm	戸当り深さ
	ℓ_2	mm	底面フランジのコンクリートまでの距離
	M_f	N・mm	底面フランジに作用する曲げモーメント
	$\Sigma \ell$	mm	せん断抵抗長さ ($=\ell_1+2\ell_2$)
	σ_p	N/mm ²	支圧板の支圧応力度
	σ_b	N/mm ²	腹板の支圧応力度
	σ_f	N/mm ²	底面フランジの曲げ応力度
	σ_{cb}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度
	σ_{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度
	σ_{ba}	N/mm ²	腹板の許容支圧応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	

4.2 評価対象断面

防波扉（荷揚場南）の評価対象断面は，防波扉（荷揚場南）の構造上の特徴を踏まえ，弱軸方向となる扉体直交方向に加振した場合の影響を評価する。防波扉（荷揚場南）の評価対象断面位置図を図 4-1 に，縦断面図を図 4-2 に示す。

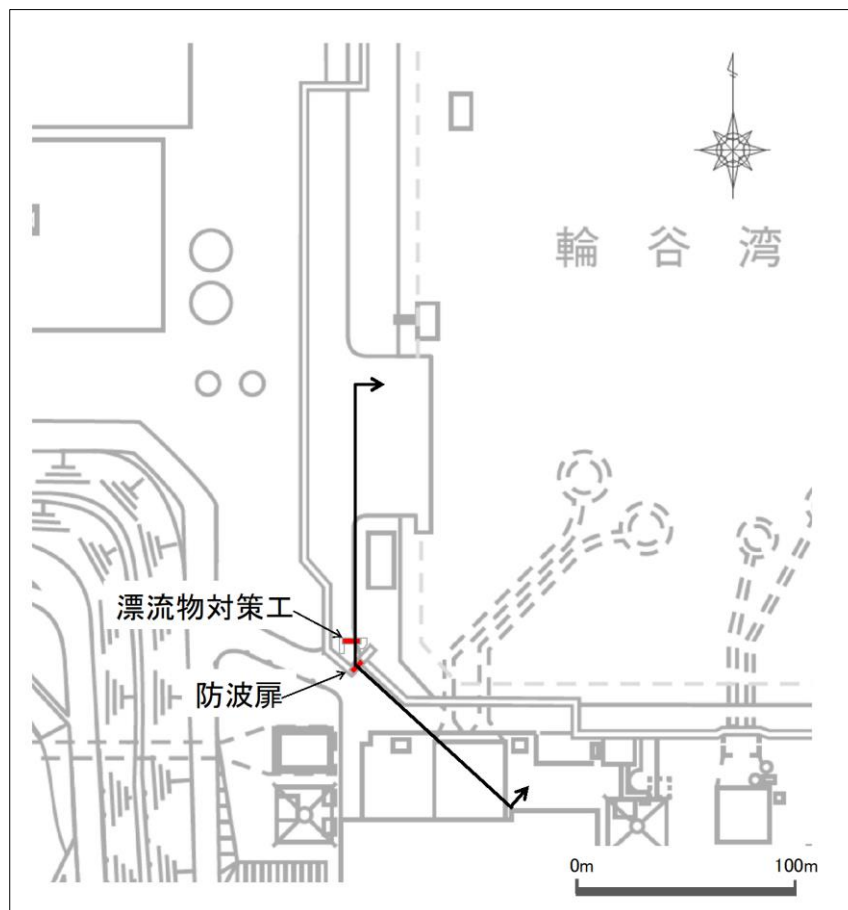


図 4-1 防波扉（荷揚場南）の評価対象断面位置図

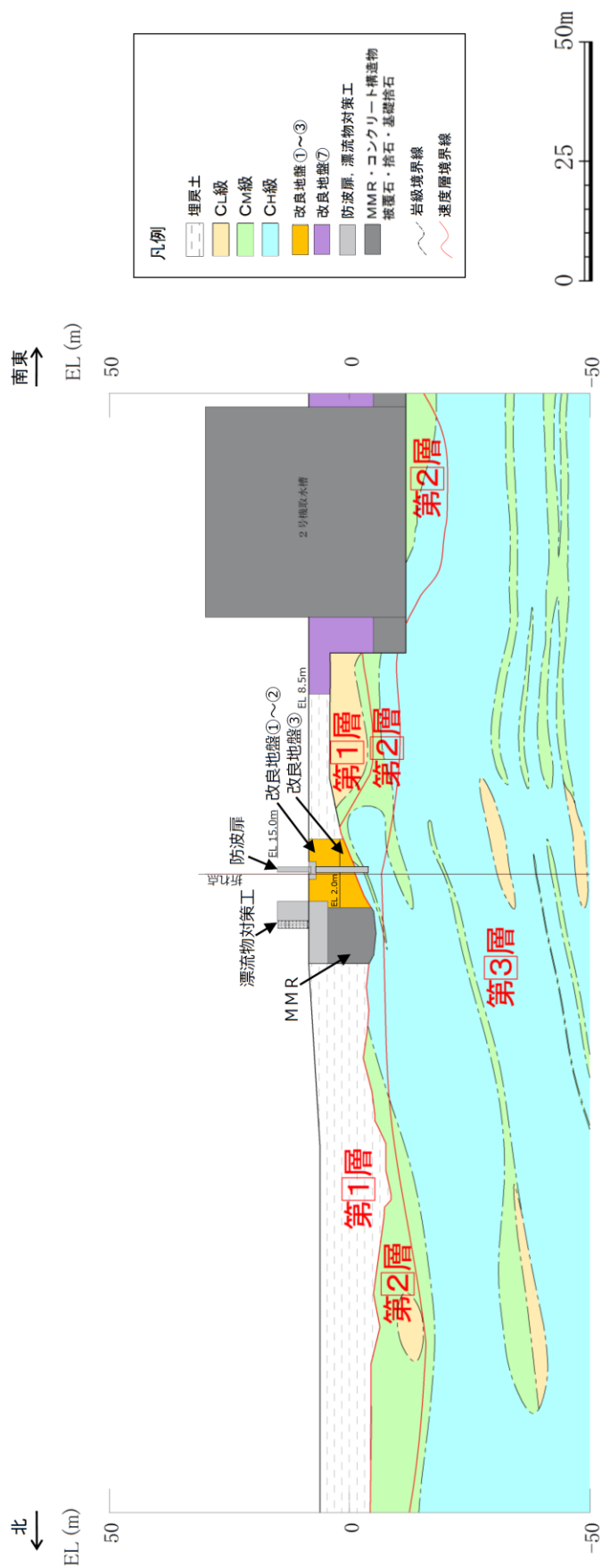


図 4-2 防波扉（荷揚場南）の縦断面図

4.3 解析方法

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素及び平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、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。

4.3.1 施設

防波扉基礎スラブ及び防波扉（鋼管杭）は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。漂流物対策工基礎スラブは、平面ひずみ要素（ソリッド要素）としてモデル化する。

4.3.2 減衰係数

Rayleigh減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰を設定する。

4.3.3 解析ケース

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波を用いて、表4-3に示す解析ケース①（基本ケース）を実施する。

表4-3 耐震計価における解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ -*	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○
		-+*	○

注記*：地震動の位相について、(++)の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

4.4 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」に基づき設定する。

4.4.1 耐震評価上考慮する状態

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風の荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

4.4.2 荷重

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（ G ）

固定荷重として、躯体自重（鋼製扉体を含む）を考慮する。

(2) 積雪荷重（ P_s ）

積雪荷重は、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重（ P_k ）

平成12年5月31日建設省告示第1454号に定められた松江市の基準風速 30m/s を使用する。浸水防護施設が設置される状況に応じて、建築基準法及び建設省告示第1454号に基づき、ガスト影響係数等を適切に設定して算出する。

(4) 地震荷重（ S_s ）

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

4.4.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震荷重

4.5 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図4-3に入力地震動算定の概念図を、図4-4～図4-15に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

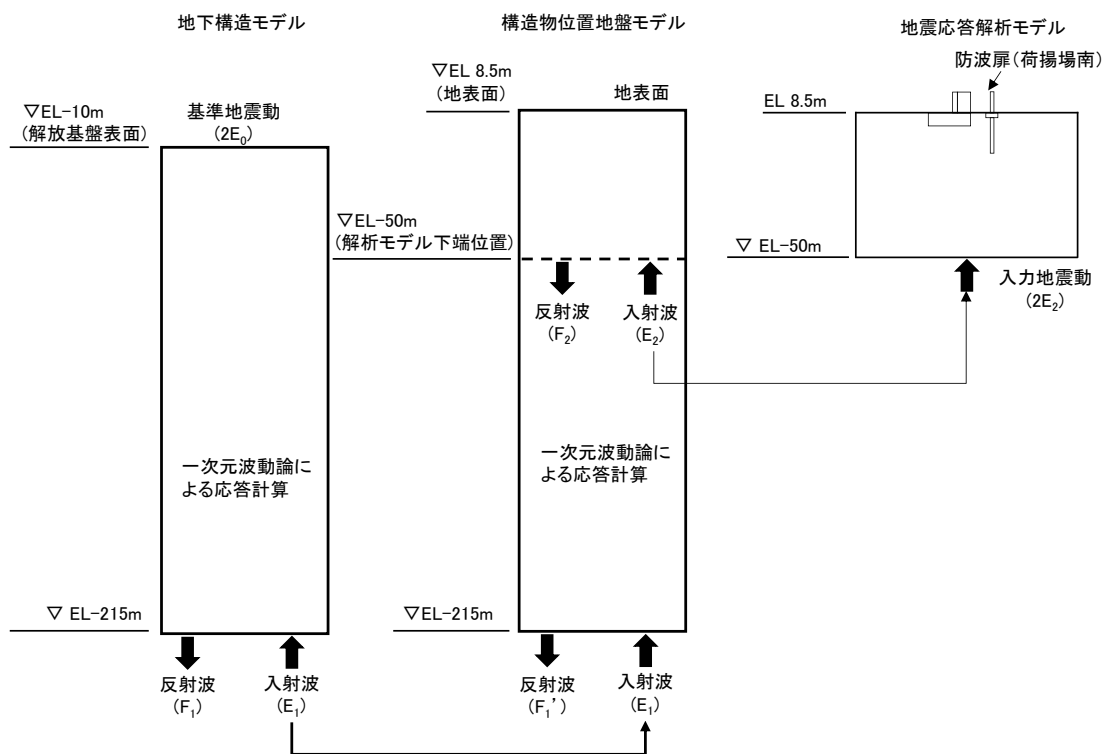
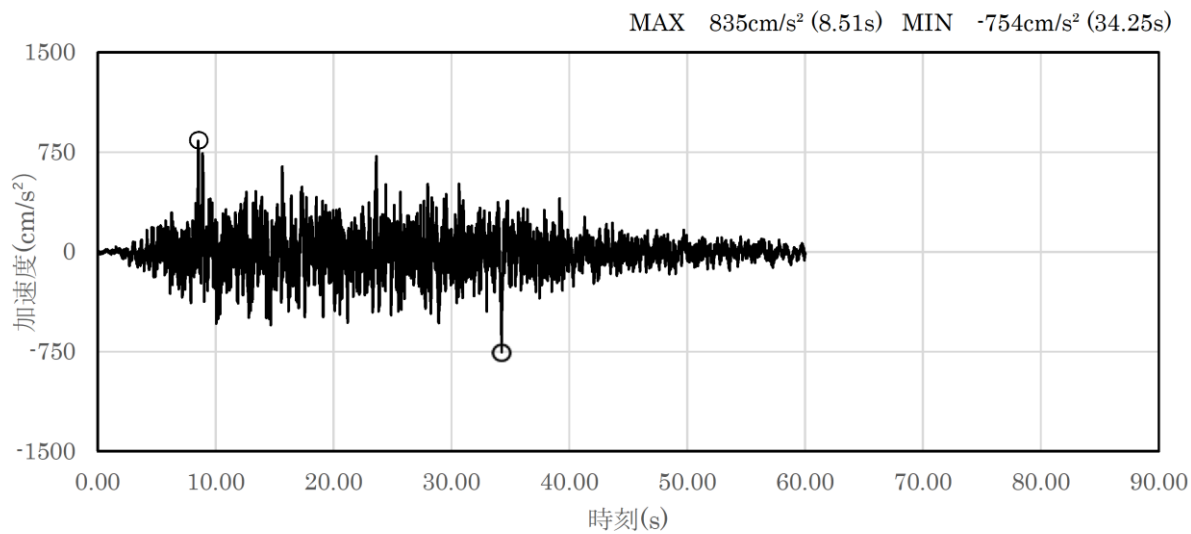
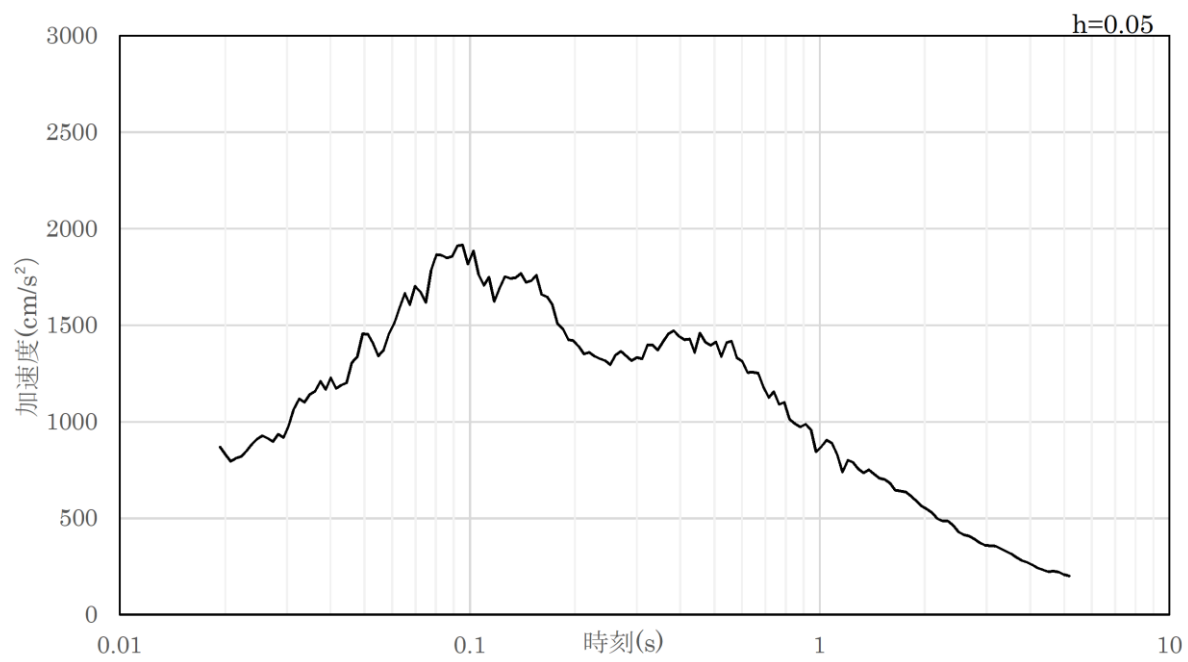


図4-3 入力地震動算定の概念図

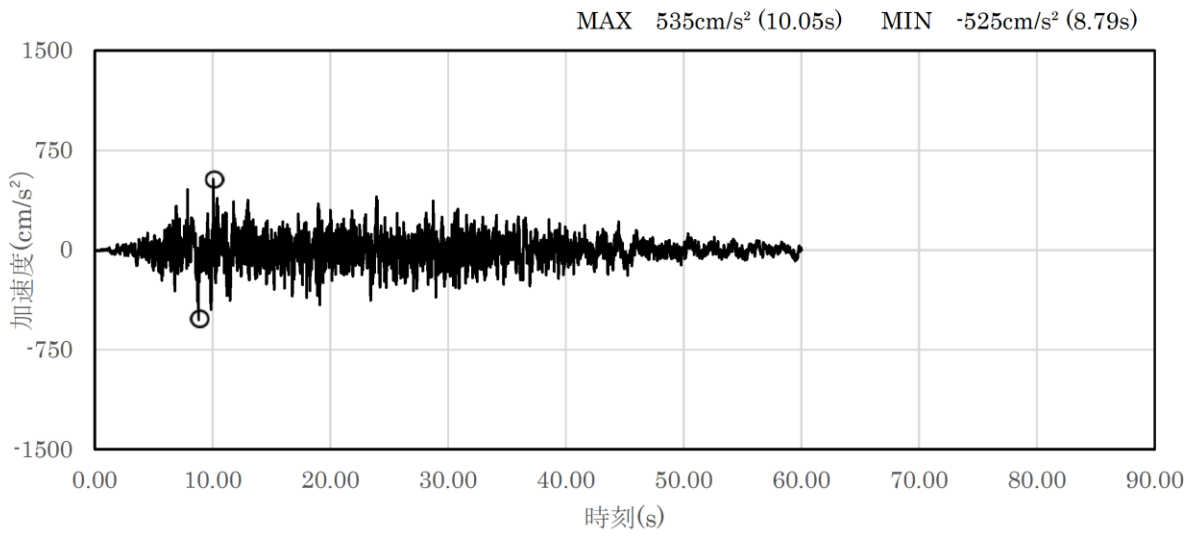


(a) 加速度時刻歴波形

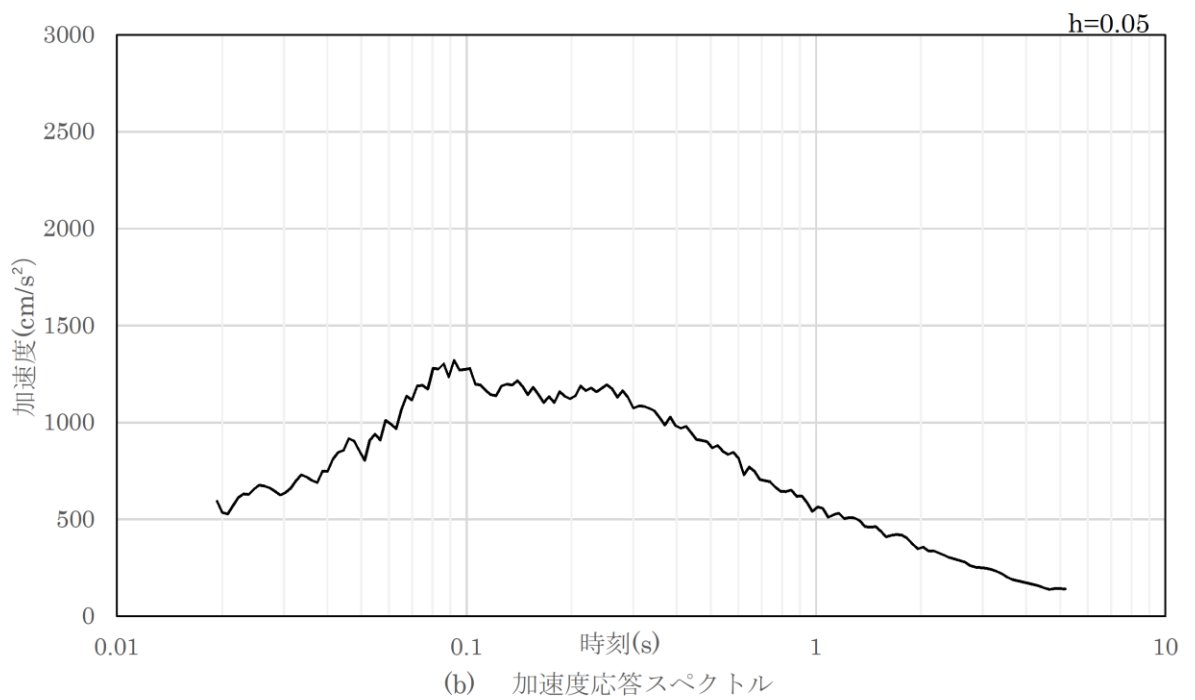


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

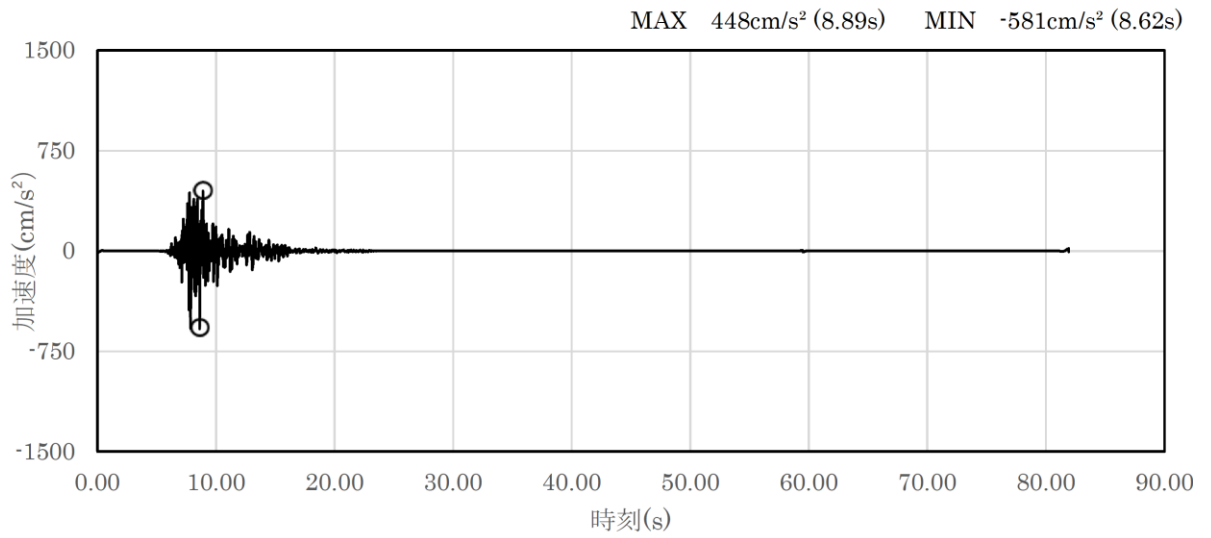


(a) 加速度時刻歴波形

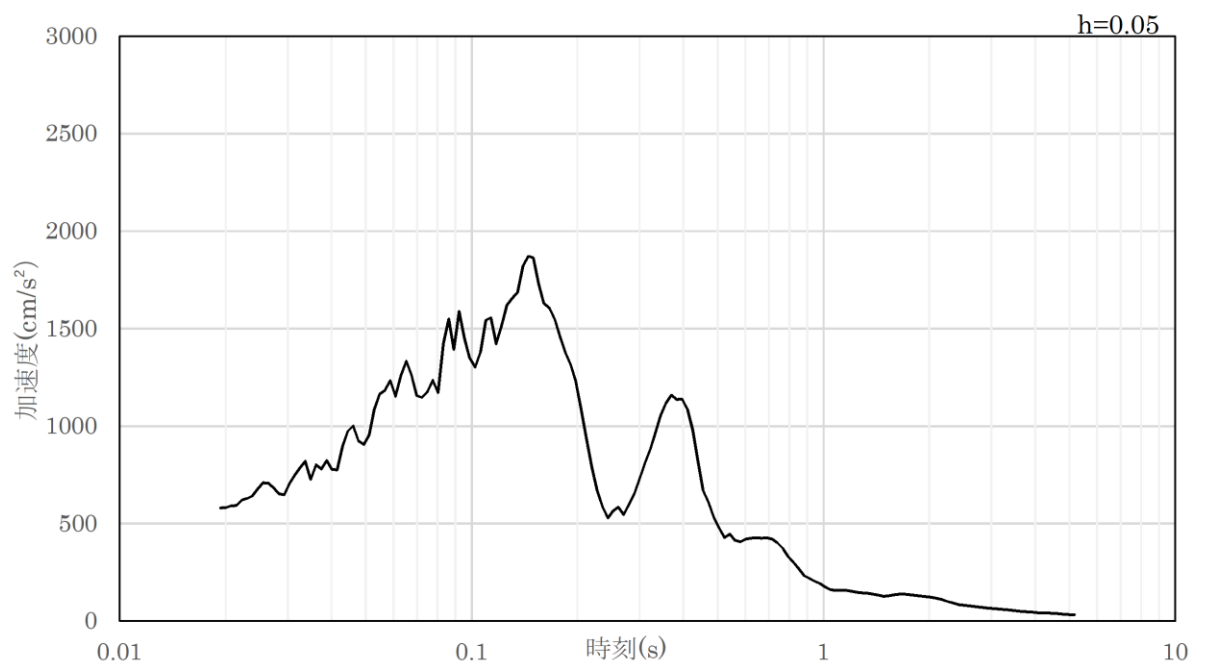


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - F 1)

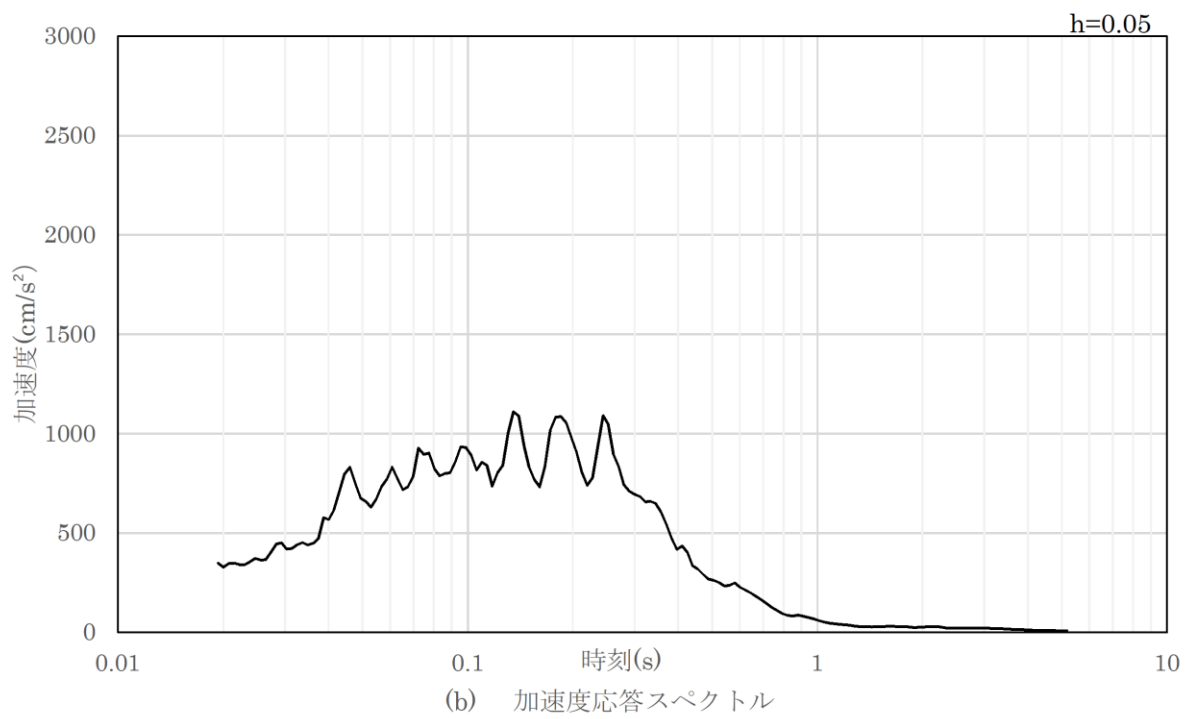
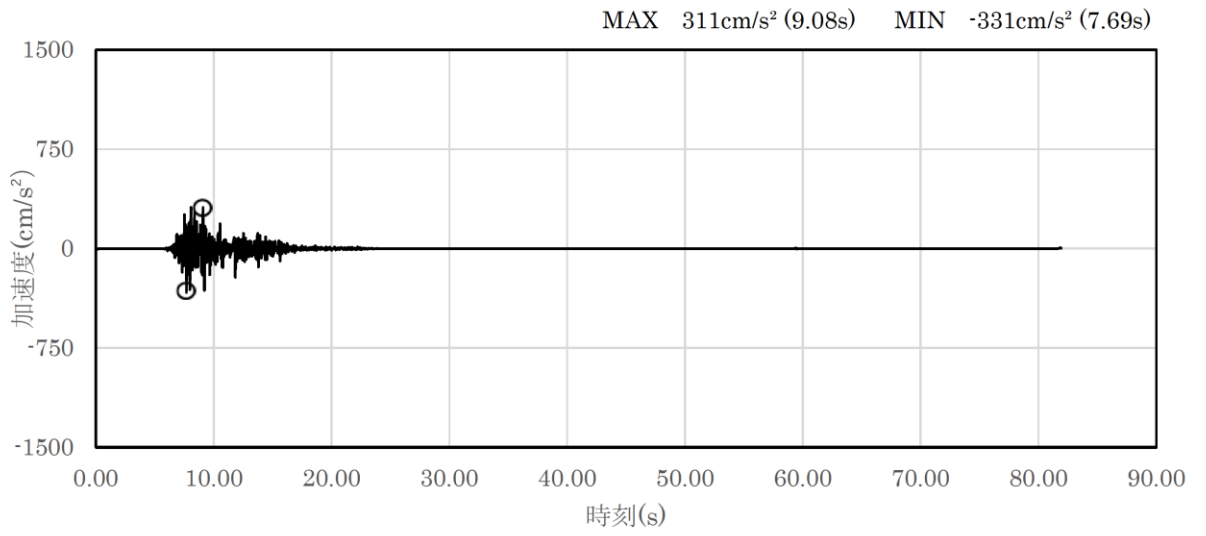
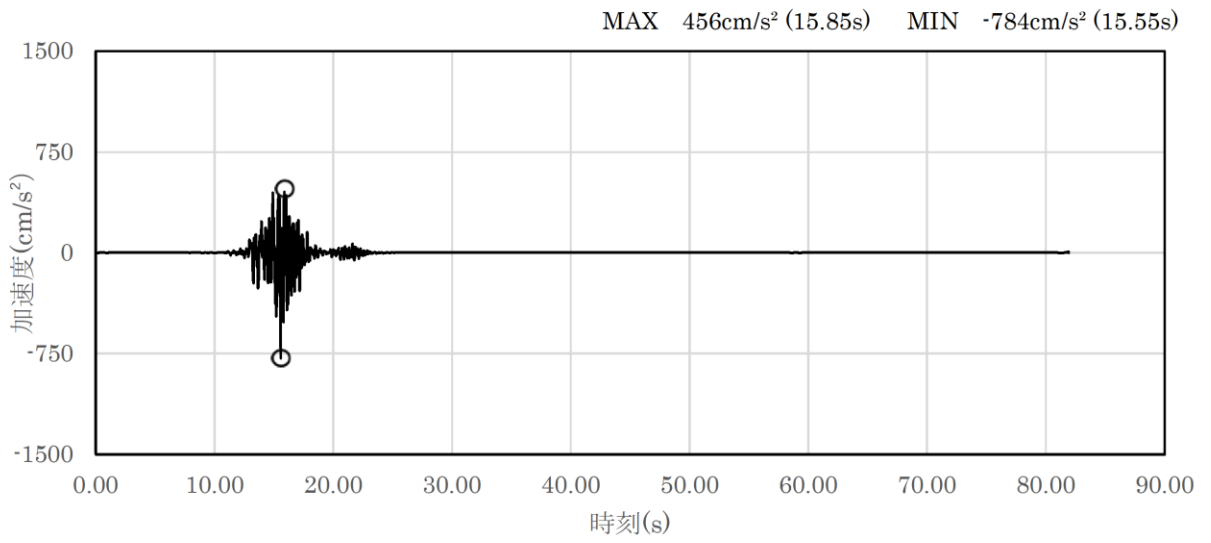
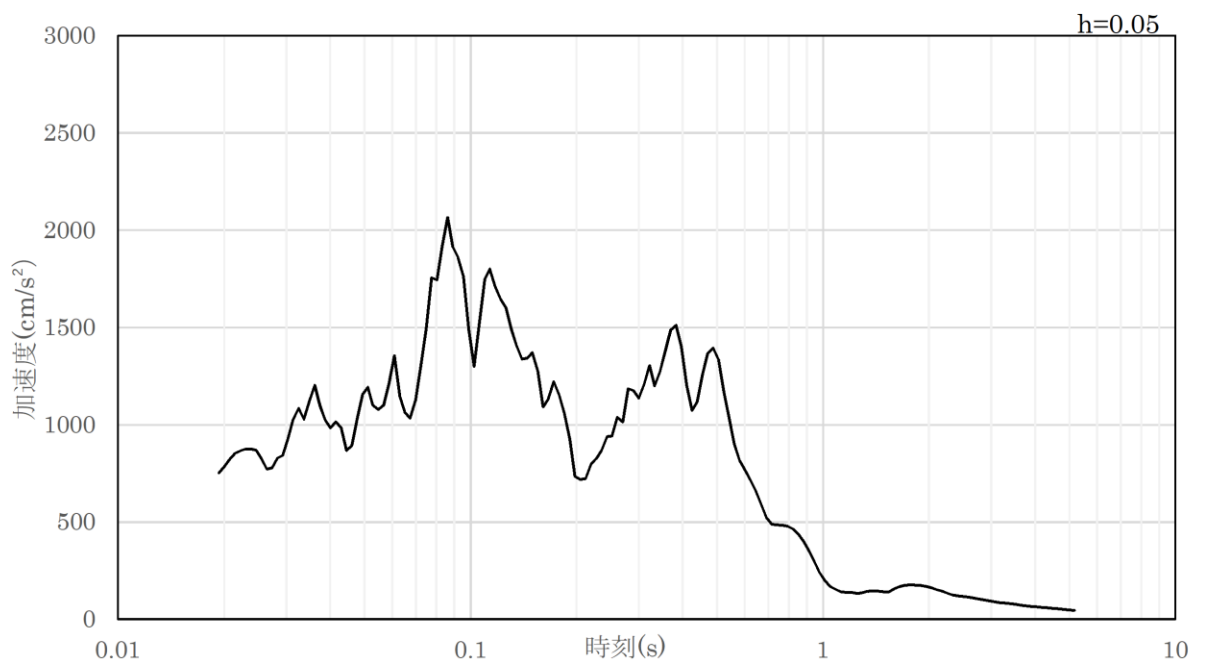


図 4-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

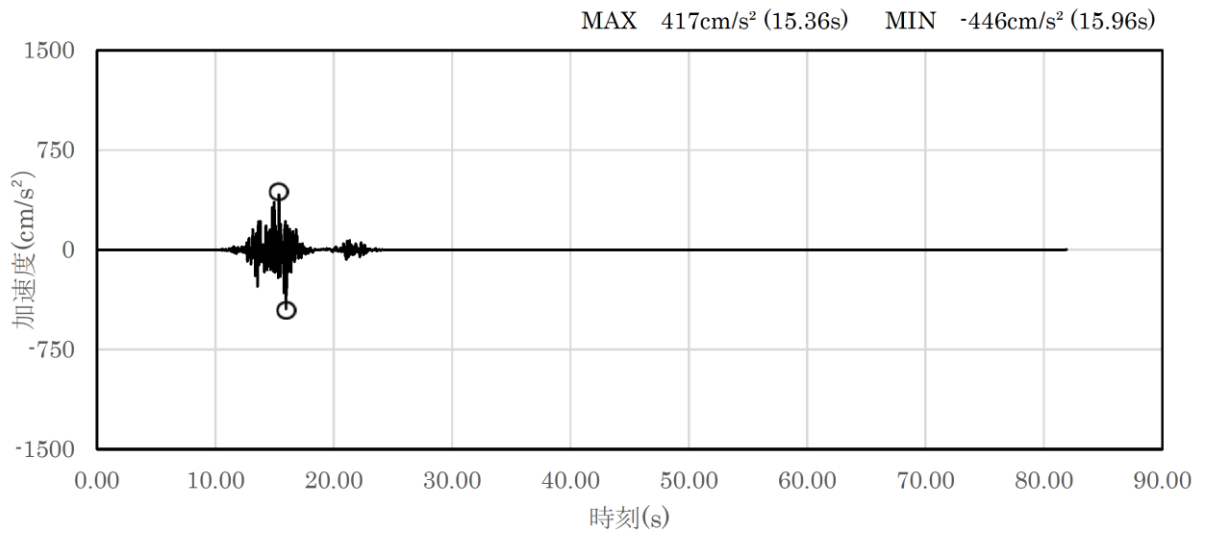


(a) 加速度時刻歴波形

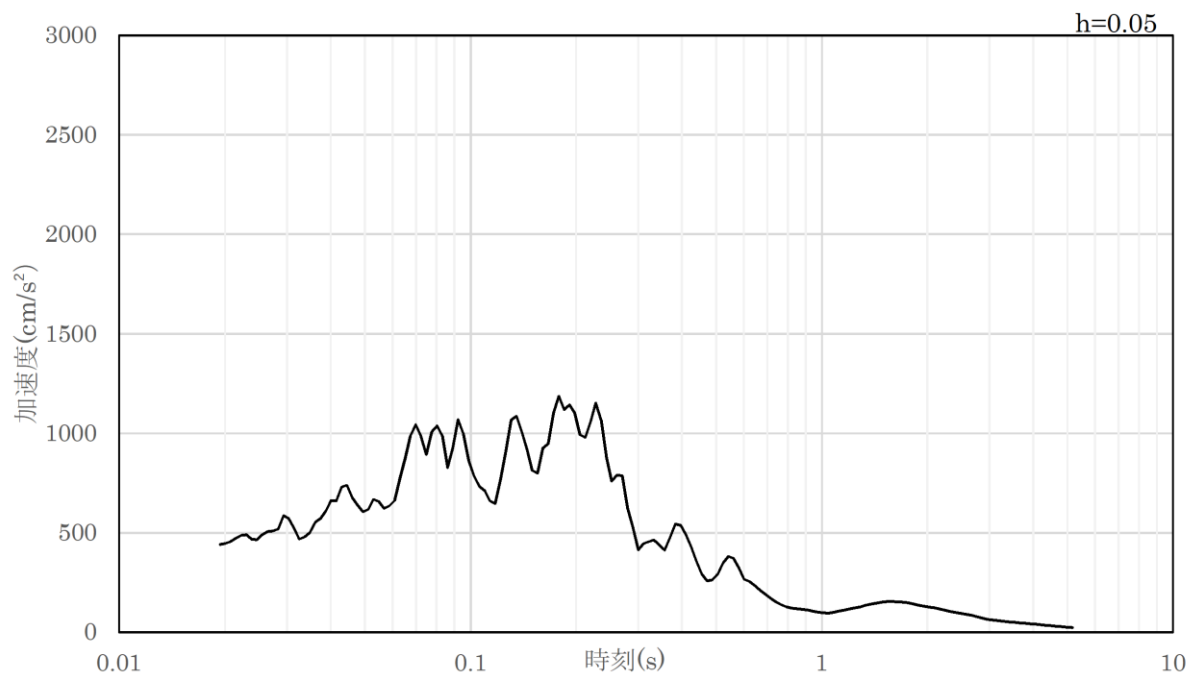


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

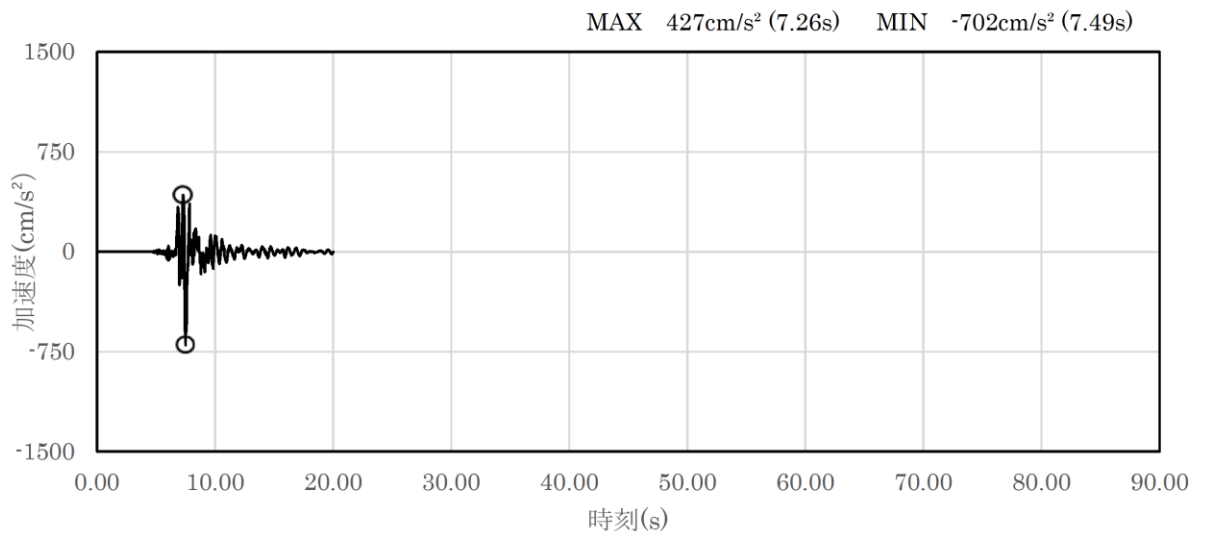


(a) 加速度時刻歴波形

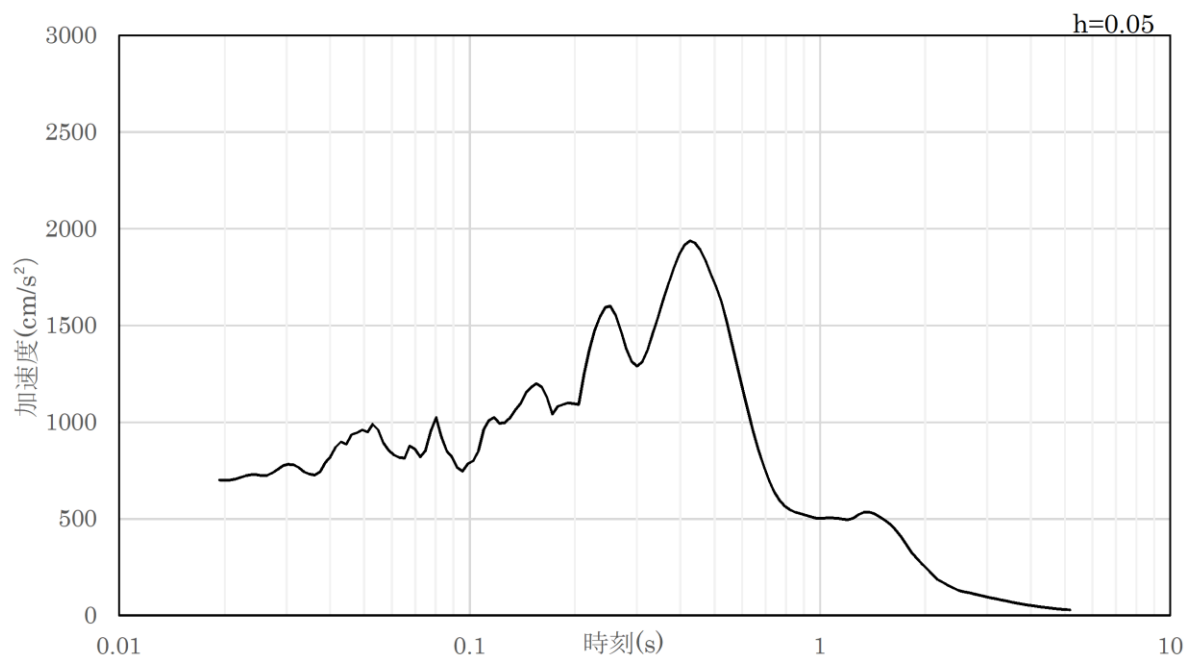


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 2)

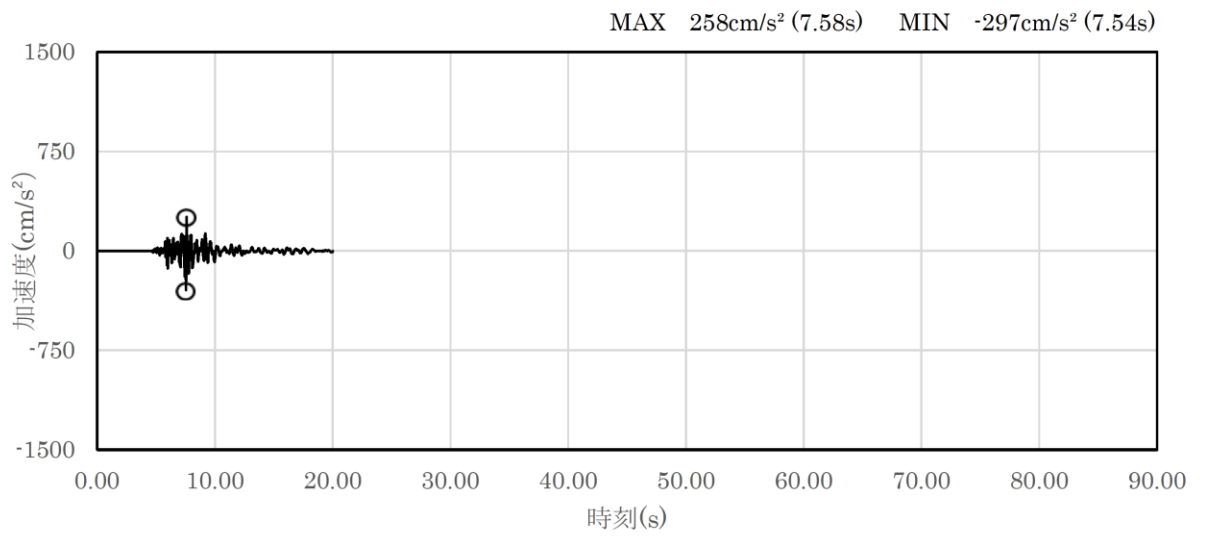


(a) 加速度時刻歴波形

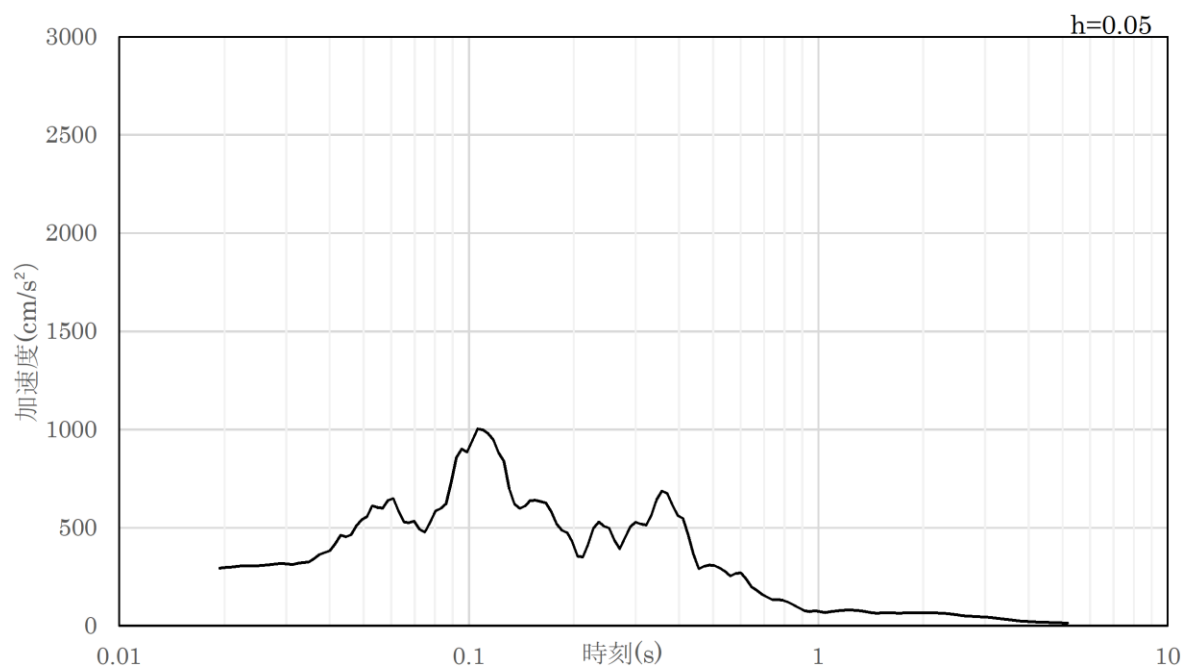


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1)

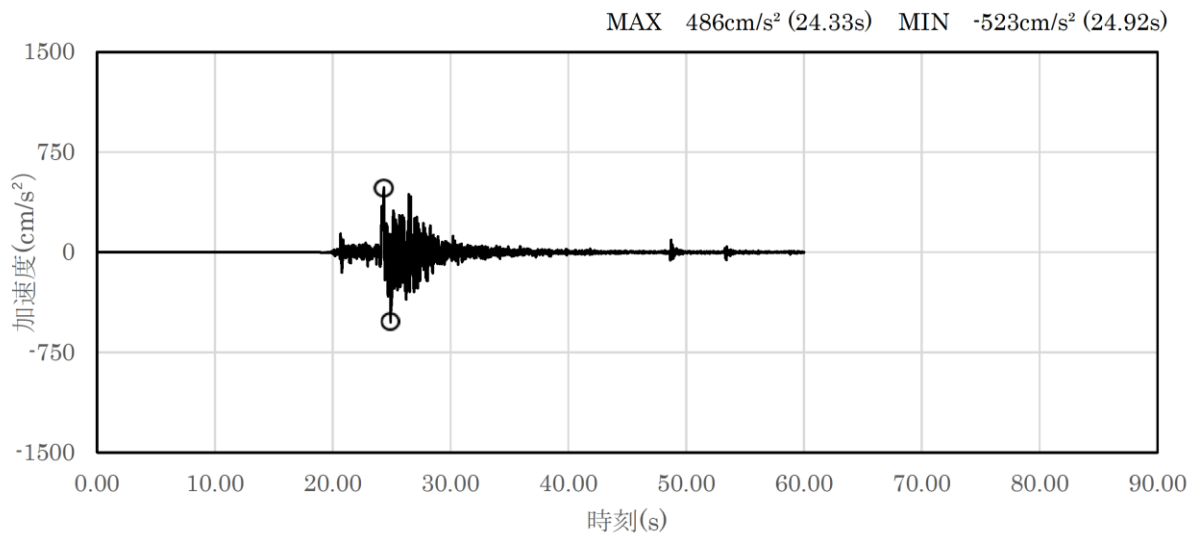


(a) 加速度時刻歴波形

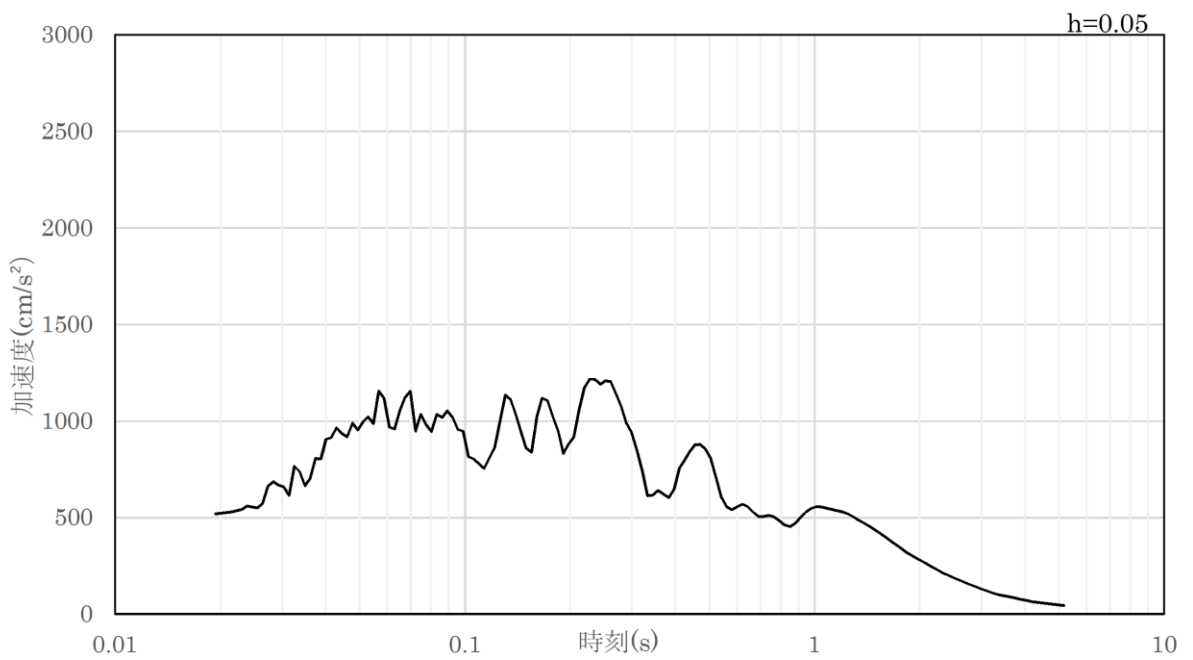


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

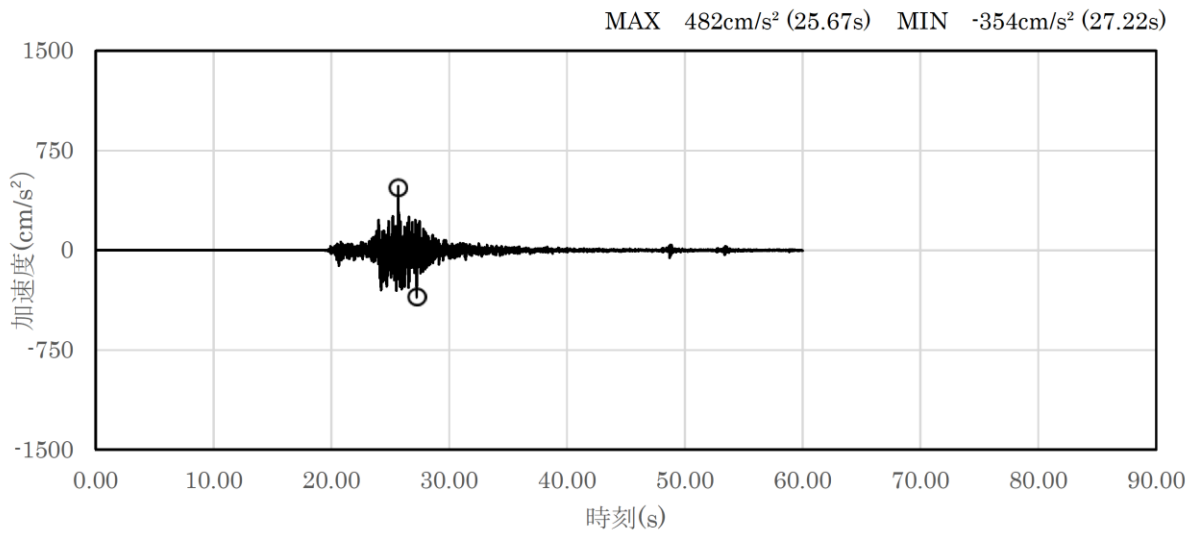


(a) 加速度時刻歴波形

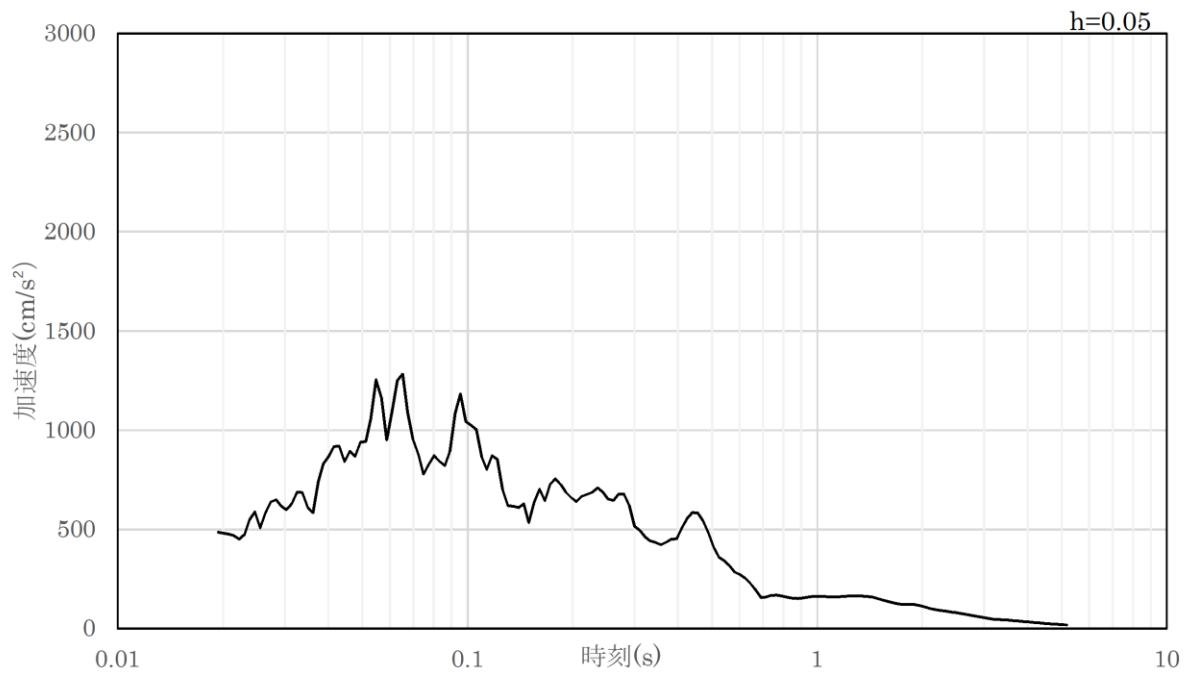


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S 方向))

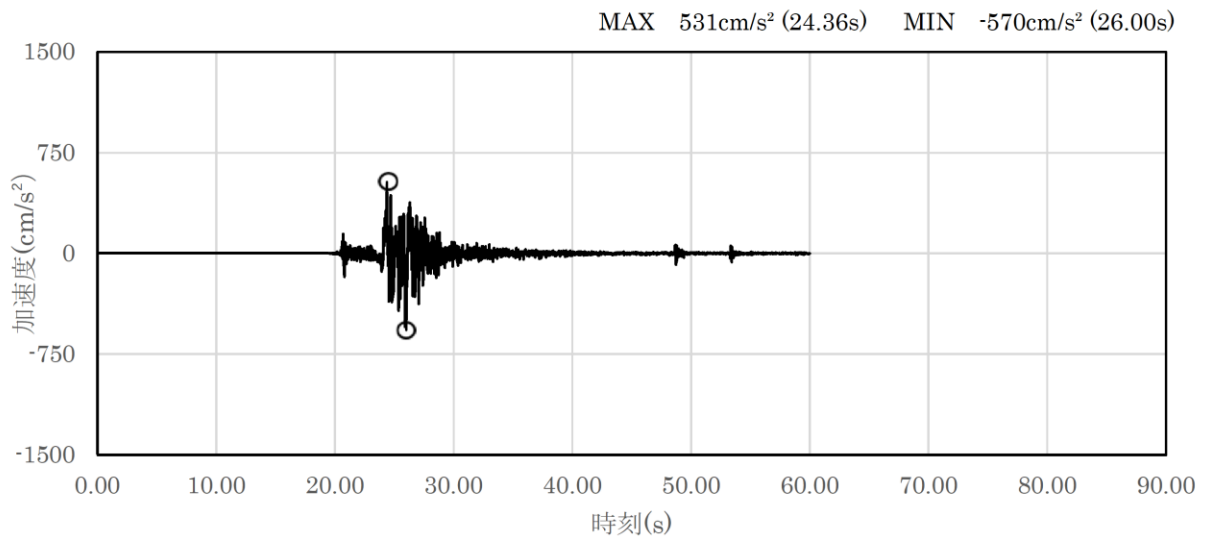


(a) 加速度時刻歴波形

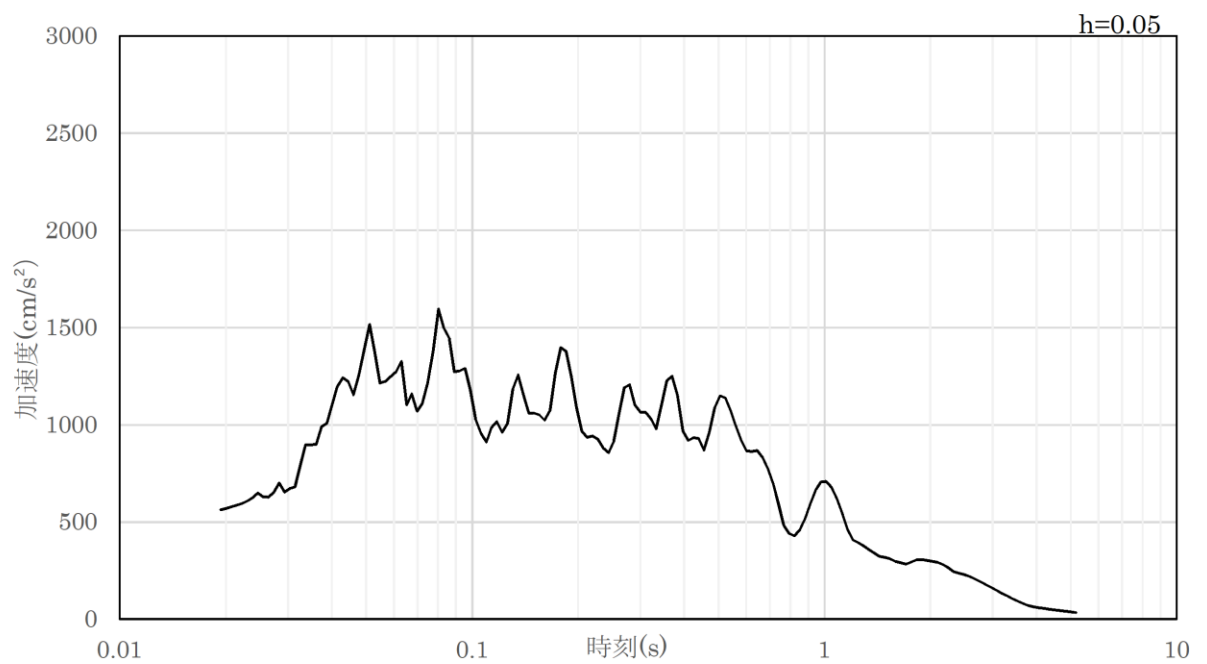


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (NS 方向))

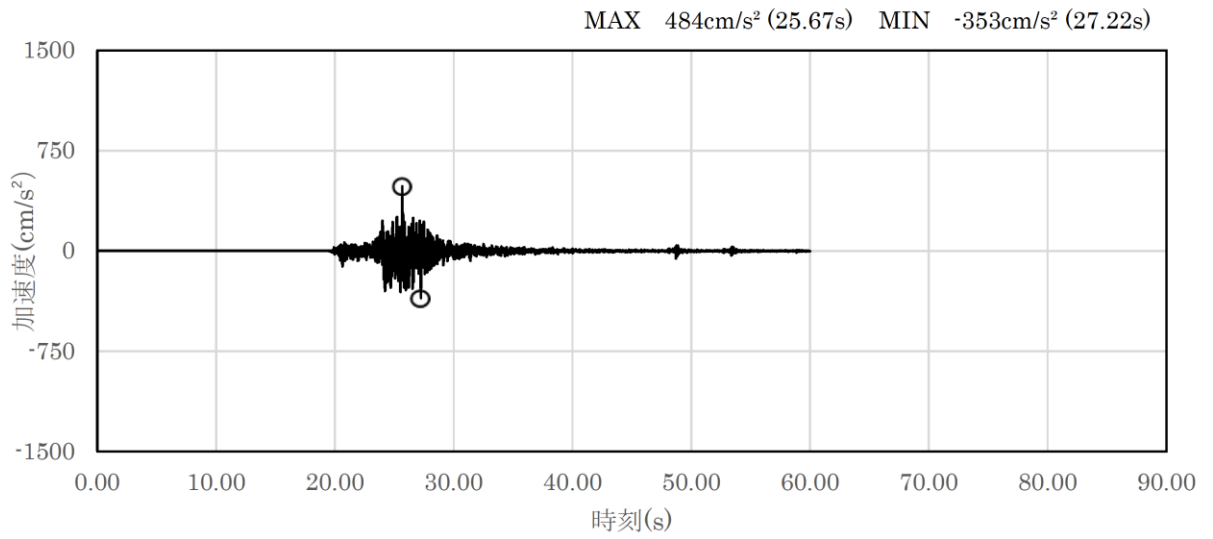


(a) 加速度時刻歴波形

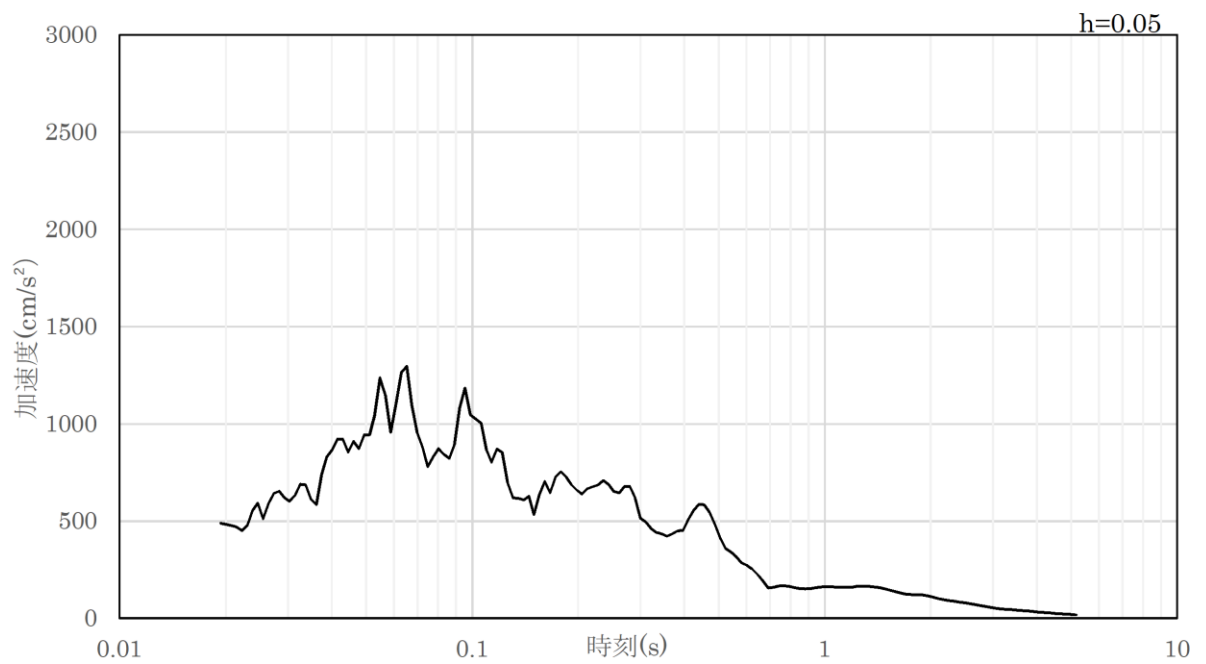


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W方向))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (E W方向))

4.6 解析モデル及び諸元

4.6.1 解析モデル

防波扉（荷揚場南）の地震応答解析モデルを図4-16に示す。

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

防波扉基礎スラブ及び防波扉（鋼管杭）は、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。漂流物対策工基礎スラブは、平面ひずみ要素（ソリッド要素）としてモデル化する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「構造物とMMR」、「構造物と改良地盤」、「構造物と埋戻土」、「MMRと改良地盤」、「MMRと埋戻土」、「改良地盤と埋戻土」及び「改良地盤と岩盤」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

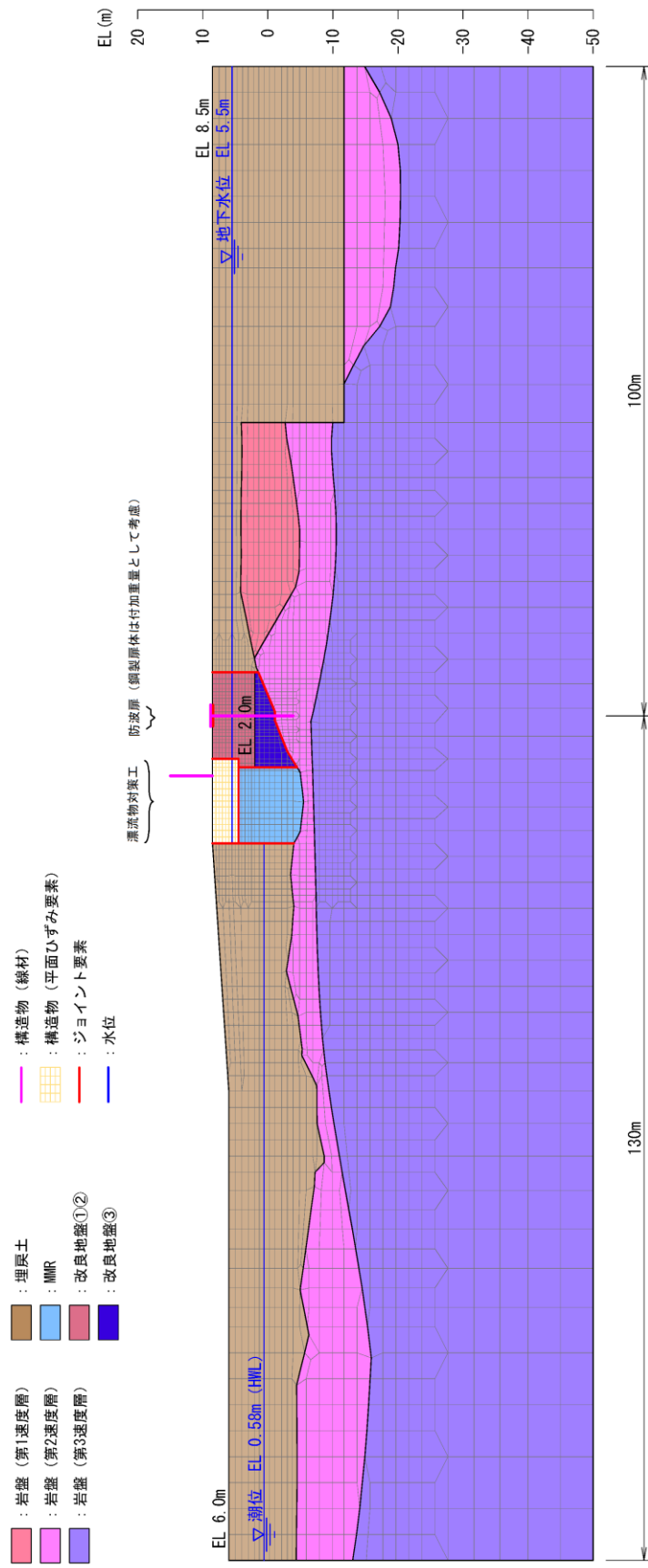


図 4-16 防波扉 (荷揚場南) の解析モデル (評価対象断面)

4.6.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 4-5 に、材料の物性値を表 4-6 に示す。

表 4-5(1) 使用材料 (防波扉)

材料		諸元
コンクリート	防波扉戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブ	設計基準強度 : 24N/mm ²
鋼材	防波扉 (鋼製扉体)	SM490, SS400
	防波扉 (鋼管杭) *	φ 1200mm, t=25mm (SKK490)
	鉄筋	SD345

注記* : 「道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (日本道路協会, 2002 年)」に基づき腐食代 1mm を考慮する。杭体の断面照査において、腐食代 1mm による断面積の低減を考慮する。

表 4-5(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
コンクリート	漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブ	設計基準強度 : 40N/mm ²
鋼材	漂流物対策工 (鋼製扉体)	SBHS700, SM570
	鉄筋	SD345

表 4-6(1) 材料の物性値 (防波扉)

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0* ¹	2.5×10 ⁴ * ¹	0.2* ¹
鋼管杭	77.0* ²	2.0×10 ⁵ * ²	0.3* ²

注記*1 : 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (日本道路協会, 2002 年)

*2 : コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年)

表 4-6(2) 材料の物性値 (漂流物対策工)

材料	単位体積重量 (kN/m ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	3.1×10 ⁴ *	0.2*

注記* : 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (日本道路協会, 2002 年)

4.6.3 地盤の物性値

地盤の物性値は, VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表 4-7 のとおり設定する。

表 4-7 改良地盤①～③の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 (N/mm ²)
	C' (N/mm ²)	φ' (°)	
改良地盤①, ②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

4.6.4 地下水位

設計用地地下水位は, VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地地下水位を表 4-8 に示す。

表 4-8 設計用地下水位の一覧

施設名称	設計用地下水位
防波扉 (荷揚場南)	漂流物対策工より陸側 : EL 5.5m 漂流物対策工より海側 : EL 0.58m

4.7 評価対象部位

評価対象部位は、防波扉（荷揚場南）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

4.7.1 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）、防波扉基礎スラブ、防波扉（鋼管杭）、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブ及び改良地盤①～③とする。

4.7.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉（荷揚場南）を支持する基礎地盤（鋼管杭を支持する岩盤、MMR、改良地盤並びにMMR及び改良地盤直下の岩盤）とする。

4.8 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

4.8.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術基準協会，2016年3月）」に基づき、表4-9に示すとおりとする。

表4-9(1) 防波扉（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（1/2）

部材	材質	許容応力度(N/mm ²)		短期許容応力度(N/mm ²)
主横桁	SM490	許容曲げ応力度 σ_{ca}	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度 σ_{ca}	120	180
		許容せん断応力度 τ_a	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度 σ_{ca}	160	240
車輪	SCS3	許容接触応力度 p_a	640* ¹	960
車輪軸	S45C-H	許容曲げ応力度 σ_a	245	367
		許容せん断応力度 τ_a	140	210
車輪軸受け	自動調心ころ軸受	基本静定格荷重 C_{cr}	1050(kN)	700* ² (kN)

注記*1：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき、 $p_a=(9.8H_B)/(2v)$ より算出する。 H_B はローラのブリネル硬さ（170）， v は安全率（線接触：1.3）で次のように算出される。

$$p_a=(9.8 \times 170)/(2 \times 1.3)=640 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

*2：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき、許容荷重は以下の式により算出する。

$$C_{cr}' = C_{cr} / f$$

ここに、 C_{cr}' ：車輪軸受けの許容荷重（700kN）

C_{cr} ：基本静定格荷重（1050kN）

f ：安全係数（1.5）

表 4-9(2) 防波扉（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（2/2）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
レール	SUS304N2	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	170*	255
	SM490	許容曲げ引張応力度 σ_a	160	240
		許容せん断応力度 τ_a	90	135
レール(腹板)	SM490	許容支圧応力度 σ_{ba}	240	360
ロック装置	SUS630	許容曲げ応力度 σ_{ca}	360*	540
	H1150	許容せん断応力度 τ_a	207*	310
	SUS304	許容支圧応力度 σ_{ba}	150	225
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
海側戸当り (底面フランジ)	SS400	許容曲げ応力度 σ_{ca}	120	180
海側戸当り (コンクリート)	Fc24	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容曲げ応力度は降伏点の応力度を安全率 2.0 で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

(2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ

防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕」（土木学会，2002年）に基づき，表4-10に示す短期許容応力度とする。

表4-10 防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
	コンクリート (Fc24)	許容曲げ圧縮応力度	9
許容せん断応力度		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度	196	294
	許容せん断応力度	196	294

(3) 防波扉（鋼管杭）

防波扉（鋼管杭）の許容限界は、「道路橋示方書（I共通編・IV下部構造編）・同解説（日本道路協会，2002年3月）」及び「港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会，1999年4月）」に基づき，表4-11に示す降伏点強度及び短期許容応力度とする。

表4-11 防波扉（鋼管杭）の許容限界

種別	杭径 (mm)	杭板厚 (mm)	鋼種	降伏基準点 f_y (N/mm ²)	せん断許容応力度 r_a (N/mm ²)
鋼管杭	1200	25*	SKK490	315	157

注記*：「道路橋示方書（I共通編・IV下部構造編）・同解説（日本道路協会，2002年3月）」に基づき，腐食代1mmを考慮する。杭の断面計算及び杭の曲げ剛性の算出をする際は腐食代の断面積の低減を考慮する。

(4) 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 4-12 に示すすべり安全率を設定する。

表 4-12 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

(5) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，2002 年 3 月）」により設定する。基礎地盤の許容限界を表 4-13 に示す。

表 4-13 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	

4.8.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）」（ダム・堰施設技術基準協会，2016年3月）に基づき，表4-14に示す短期許容応力度とする。

表4-14(1) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（1/3）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
		許容曲げ応力度 σ_{ca}	許容せん断応力度 τ_a	
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
	SM570	許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
		許容せん断応力度 τ_a	202 ^{*1}	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	207 ^{*1, *2}	310
		許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 σ_{ca}	225 ^{*1}	337

注記*1：ダム・堰施設技術基準（案）の解説に示す通り，許容曲げ応力度は降伏点の応力度を安全率 2.0 で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，ダム・堰施設技術基準（案）及び道路橋示方書に基づき，横倒れ座屈に対する配慮として許容応力度を下記の計算式により算出する。

圧縮フランジがスキンプレート等で固定されていない場合

$$L/b \leq 10/K : \sigma_{ca} = 225 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$10/K < L/B \leq 25 : \sigma_{ca} = 225 - 2.9(KL/b - 10) \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$$

但し， $A_w/A_c < 2$ の場合は $K=2$ とする

ここに，L：圧縮フランジの固定点間距離 (mm)

b：圧縮フランジの幅 (mm)

A_w ：腹板の総断面積 (mm²)

A_c ：圧縮フランジの総断面積 (mm²)

表 4-14(2) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（2/3）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
支承部 (上部支承軸)	SUS630	許容曲げ応力度 σ_a	360* ¹	540
	H1150	許容せん断応力度 τ_a	207* ¹	310
支承部 (下部支承軸)	SUS304N2	許容曲げ応力度 σ_a	170* ¹	255
		許容せん断応力度 τ_a	98* ¹	147
支承部 (下部支承軸受)	SUS630 H1150	許容接触応力度 p_a	1357* ²	2035
支承軸受け	自動調心 ころ軸受	基本静定格荷重 C_{cr}	3210 (kN)	2140* ³ (kN)
支承アンカー (上部アンカーボルト)	S45C-H	許容軸方向 引張応力度 σ_a	245	367
支承アンカー (下部アンカーボルト)	S45C-H	許容軸方向 引張応力度 σ_a	245	367
上部支承アンカー (コンクリート)	Fc40	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60
下部支承アンカー (コンクリート)	Fc40	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*1：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容曲げ応力度は降伏点の応力度を安全率 2.0 で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

*2：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき， $p_a=(9.8H_B)/(2v)$ より算出する。 H_B はローラのブリネル硬さ（277）， v は安全率（点接触：1.0）で次のように算出される。 $p_a=(9.8 \times 277)/(2 \times 1.0)=1357$ (N/mm²)

*3：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容荷重は以下の式により算出する。

$$C_{cr}' = C_{cr} / f$$

ここに， C_{cr}' ：車輪軸受けの許容荷重（2140kN）

C_{cr} ：基本静定格荷重（3210kN）

f ：安全係数（1.5）

表 4-14(3) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（3/3）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容 応力度 (N/mm ²)
ロックビーム	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	225*	337
		許容せん断応力度 τ_a	129*	193
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 σ_{ba}	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350*	525
戸当り （コンクリート）	Fc40	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容曲げ応力度は降伏点の応力度を安全率 2.0 で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

(2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ

漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕」（土木学会，2002年）に基づき，表4-15に示す短期許容応力度とする。

表4-15 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
	コンクリート (Fc40)	許容曲げ圧縮応力度	14
許容せん断応力度		0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度	196	294
	許容せん断応力度	196	294

(3) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，支持力試験及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，2002年3月）」により設定する。基礎地盤の許容限界を表4-16に示す。

表4-16 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4
	MMR		18.0

4.9 評価方法

防波扉（荷揚場南）の耐震評価は，地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「4.8 許容限界」で設定した許容限界以下となることを確認する。応力算定式以外の方法による応力度の算定には，解析コード「RC断面計算」を使用する。なお，解析コードの検証，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。

4.9.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）

防波扉（鋼製扉体）は，扉体（スキンプレート，主横桁，補助縦桁，端縦桁，及び袖桁），車輪，レール，ガイドローラ，ロック装置，支圧板，戸当り及び防波扉戸当り（RC支柱）で構成されている。地震時荷重に対して，応力算定式により，扉体（主横桁，補助縦桁及び端縦桁），車輪，レール，ロック装置，支圧板及び戸当り並びに防波扉戸当り（RC支柱）の耐震評価を行う。

a. 主横桁

主横桁は，扉体の支圧板と側部戸当りとの接触位置を支点とする両端ピン支持の単純梁にモデル化し，水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

主横桁の照査対象部を図4-17に，主横桁のモデル図及び応力算定式を図4-18に示す。

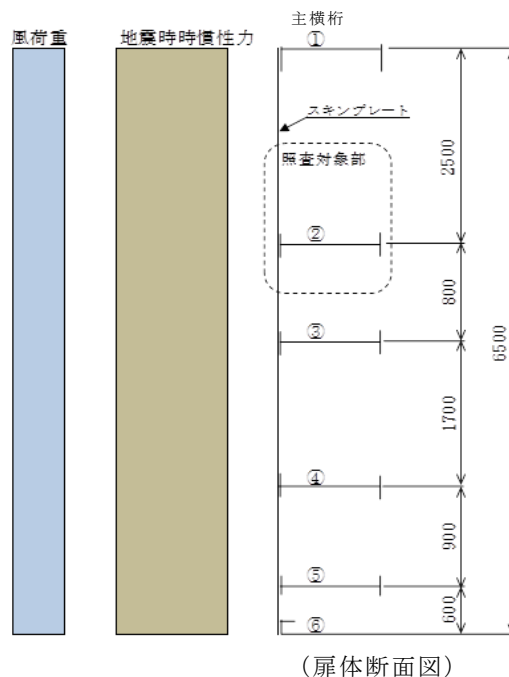
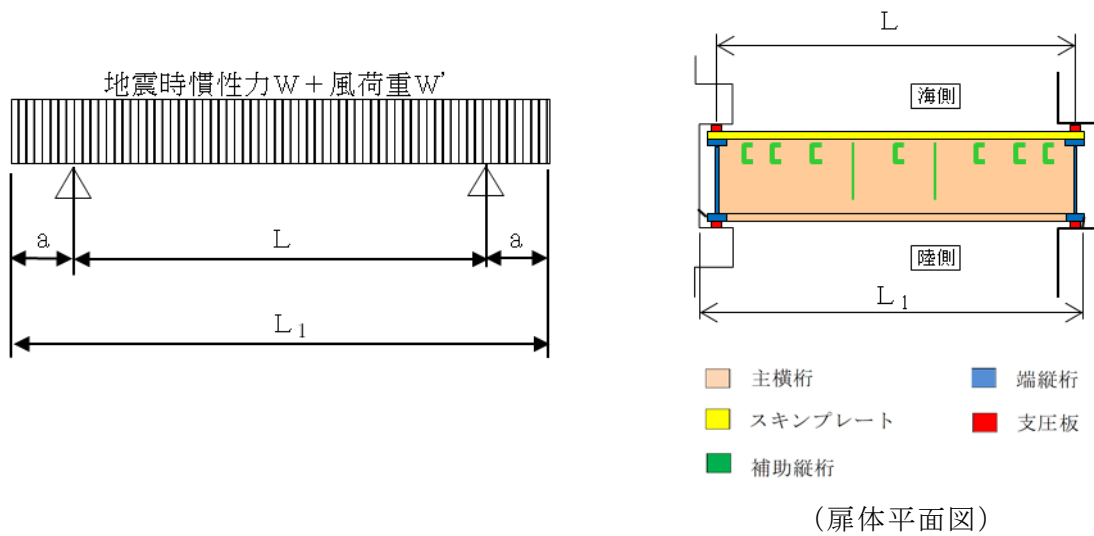


図4-17 主横桁の照査対象部



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2\left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4}\right)$$

- ・ せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W')L$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{M_1}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

ここに,

M_1 : 曲げモーメント (kN・m)

S_1 : せん断力 (kN)

W : 地震時慣性力 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L : 支間 (m)

a : 張り出し部 (m)

L_1 : 正面水密幅 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

A_w : 腹板断面積 (mm²)

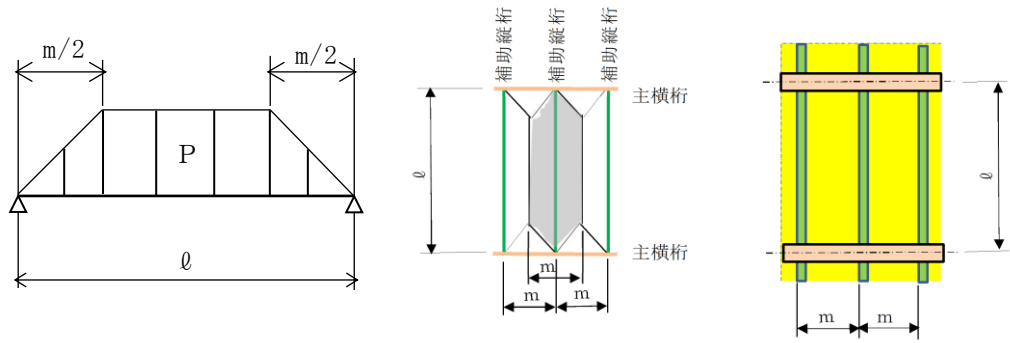
図 4-18 主横桁のモデル図及び応力算定式

b. 補助縦桁

補助縦桁は、水平荷重(地震時慣性力+風荷重)を受ける単純梁として計算し、その応力が許容限界以下であることを確認する。

また、補助縦桁の照査対象部は、荷重と主横桁間隔を考慮し選定する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図4-19に示す。



断面力の計算

- 曲げモーメント M (kN・m)

$$M = \frac{P \cdot m}{24} (3 \cdot l^2 - m^2)$$

- せん断力 S (kN)

$$S = \frac{P \cdot m}{2} (l - m/2)$$

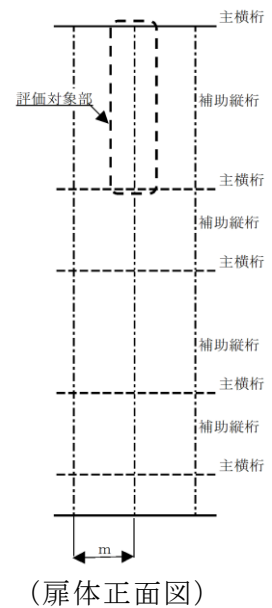
応力度の計算

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

- せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S}{A_w}$$



ここに、

P : 水平荷重 (kN/m²)
(地震時慣性力+風荷重)

l : 主横桁間隔 (m)

m : 補助縦桁間隔 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

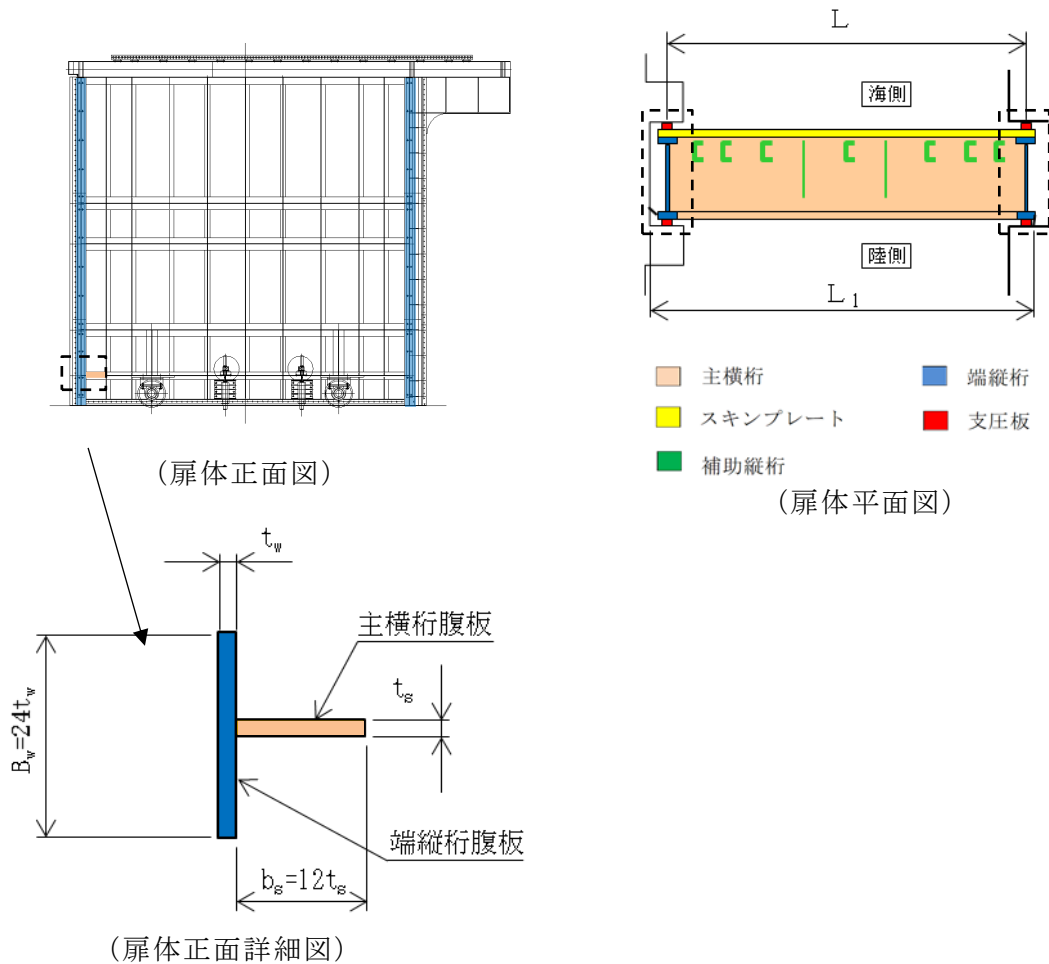
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図4-19 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

c. 端縦桁

端縦桁は、主横桁反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する。そのため、垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点として腹板強度の計算を行い、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の構造図及び応力算定式を図 4-20 に示す。



端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

ここに、

R : 主横桁の支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm²)

$$A_q = A_w + A_s$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_s = b_s \cdot t_s \quad (\text{主横桁腹板})$$

但し、 $A_q \leq 1.7 A_s$

図 4-20 端縦桁の構造図及び応力算定式

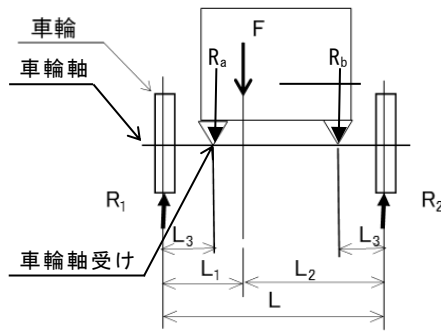
d. 車輪

車輪は、左右 2 輪ずつ計 4 輪あり、鉛直荷重（扉体自重＋積雪荷重＋地震時慣性力）に対して、接触応力度が許容限界以下であることを確認する。

車輪軸は、車輪を支点とした両端ピン支持の単純梁にモデル化し、鉛直荷重から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

また、車輪軸受けには自動調心ころ軸受けを使用し、基本静定格荷重に対して許容限界以下であることを確認する。

車輪の構造図及び応力算定式を図 4-21 に示す。



(扉体側面図)

ここに、

F : 鉛直荷重 (kN)
 (扉体自重＋積雪荷重＋地震時慣性力)

F_v : 鉛直方向地震時慣性力 (kN)

R_1 : 海側車輪荷重 (kN)

R_2 : 陸側車輪荷重 (kN)

L : レール支間 (m)

L_1 : 扉体重心から海側車輪までの距離 (m)

L_2 : 扉体重心から陸側車輪までの距離 (m)

p : ヘルツの接触応力度 (N/mm²)

P_r : 車輪荷重 (N)

E_1 : 車輪の弾性係数 (N/mm²)

E_2 : レールの弾性係数 (N/mm²)

B_0 : 車輪有効踏面幅 (mm)

R : 車輪半径 (mm)

C : 接触幅の 1/2 (mm)

車輪荷重

$$R_1 = \frac{FL_2}{2L}$$

$$R_2 = \frac{FL_1}{2L}$$

車輪強度の照査 (線接触の場合)

$$p = 0.591 \sqrt{\frac{P_r E_1 E_2}{B_0 R (E_1 + E_2)}}$$

$$C = 1.080 \sqrt{\frac{P_r R (E_1 + E_2)}{B_0 E_1 E_2}}$$

図 4-21 (1) 車輪の構造図及び応力算定式

車輪軸の断面力

$$M = R_1 L_3 \quad S = R_1$$

曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{4S}{3A_1}$$

軸受け荷重 R_a (自動調心ころ軸受)

$$R_a = R_1$$

ここに、

M : 曲げモーメント (kN・m)

L_3 : 張出長さ (m)

Z : 軸の断面係数 (mm³)

S : せん断力 (kN)

A_1 : 軸の断面積 (mm²)

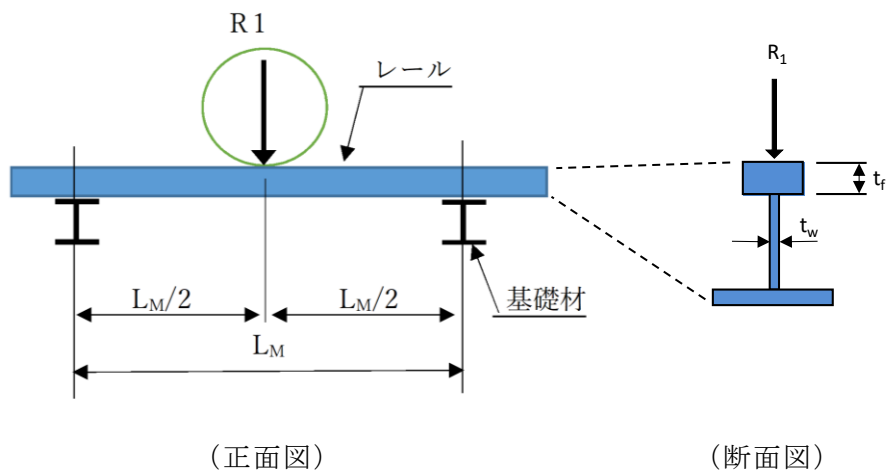
R_a : 軸受け荷重 (kN)

図 4-21(2) 車輪の応力算定式

e. レール

レールは、図のような車輪荷重を受ける基礎材をピン支持とした単純梁として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

レールの構造図及び応力算定式を図 4-22 に示す。



曲げモーメント

$$M_5 = \frac{R_1 L_M}{4}$$

せん断力

$$S_5 = R_1$$

曲げ圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{M_5}{Z_2}$$

曲げ引張応力度 σ_t (N/mm²)

$$\sigma_t = \frac{M_5}{Z_1}$$

せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_5}{A_w}$$

腹板の支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{R_1}{b_p t_w}$$

$$b_p = 2C + 2t_f$$

ここに、

M_5 : レールの曲げモーメント (kN・m)

R_1 : 車輪 1 輪に作用する最大荷重 (kN)

L_M : レール基礎材間隔 (m)

S_5 : レールのせん断力 (kN)

Z_1 : 引張側断面係数 (mm³)

Z_2 : 圧縮側断面係数 (mm³)

A_w : 腹板断面積 (mm²)

b_p : 腹板の受圧幅 (mm)

C : 接触幅の 1/2 (mm)

t_w : 腹板の厚さ (mm)

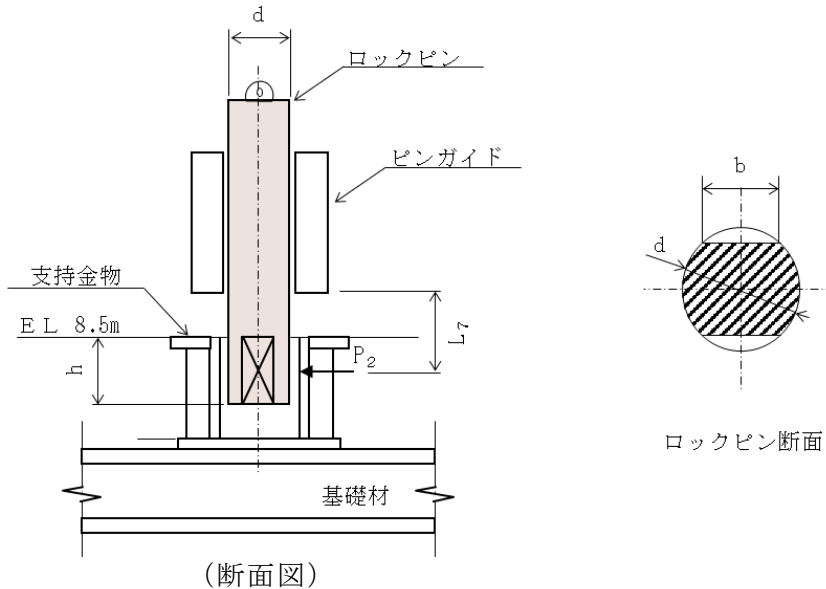
t_f : レール踏面板の厚さ (mm)

図 4-22 レールの構造図及び応力算定式

f. ロック装置

ロック装置は、図のように扉体に作用する水圧直角方向の地震時荷重を2組のロックピンから支持金物へ伝達し、扉体の移動を制限する。ロックピンは片持ち梁にモデル化して算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

ロックピンの構造図及び応力算定式を図4-23に示す。



$$\text{ロックピン反力} \quad P_2 = \frac{F_h}{n}$$

ロックピン断面力

$$M = P_2 L_7 \quad S = P_2$$

曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S}{A}$$

支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{P_2}{bh}$$

ここに、

P_2 : ロックピン反力 (kN)

F_h : 地震時慣性力 (kN)

n : ロックピン数

L_7 : 片持ち梁長さ (m)

M : 曲げモーメント (kN・m)

Z : 断面係数 (mm³)

S : せん断力 (kN)

A : ロックピンのせん断面積 (mm²)

b : ロックピン受圧幅 (mm)

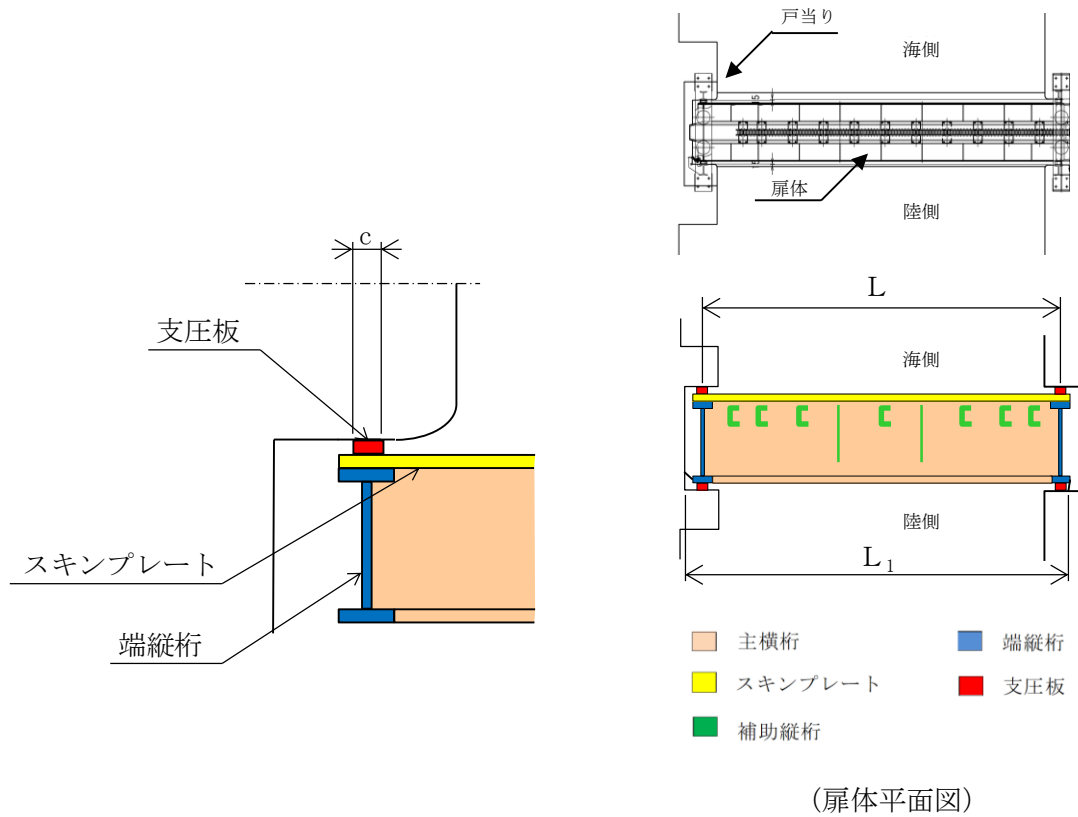
h : ロックピン受圧長さ (mm)

図4-23 ロック装置の構造図及び応力算定式

g. 支圧板

支圧板の面圧は扉体に作用する水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）から求め、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の構造図及び応力算定式を図 4-24 に示す。



支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{P_1}{2CL_2}$$

ここに、

P_1 : 水平荷重 (kN)
(地震時慣性力＋風荷重)

C : 支圧板の有効幅

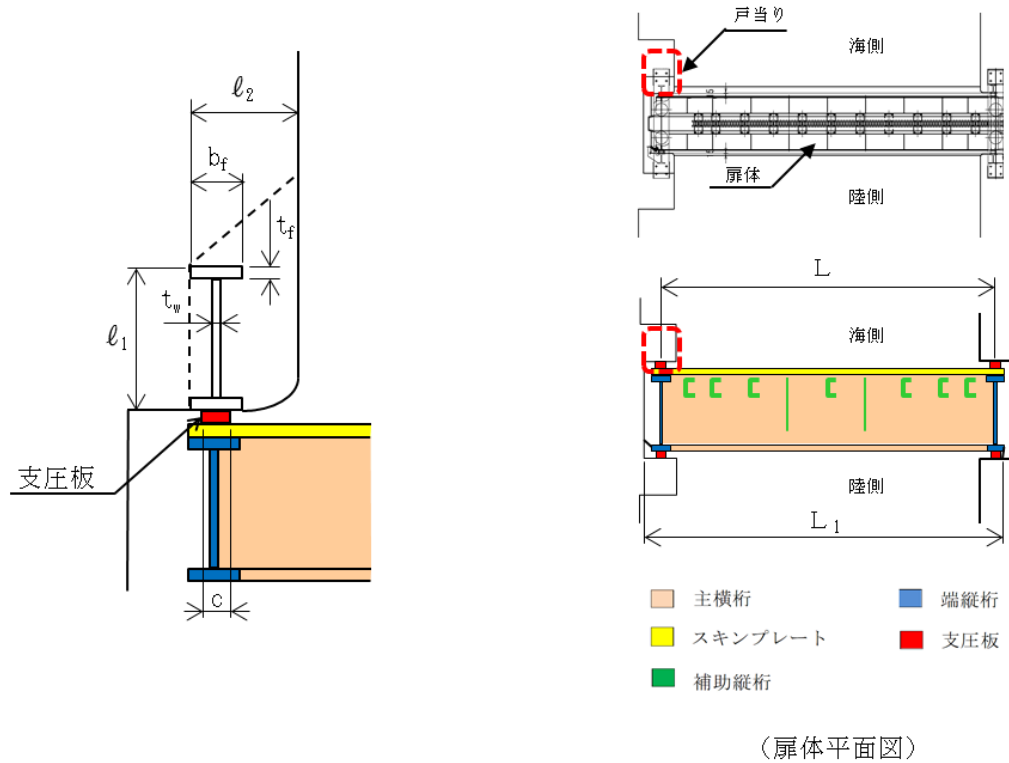
L_2 : 扉体高さ (mm)

図 4-24 支圧板の構造図及び応力算定式

h. 戸当り

地震時の作用荷重は、陸側及び海側の側部戸当りに同様に作用するので、使用断面の小さい海側戸当りについて許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図及び応力算定式図 4-25 に示す。



コンクリートの支圧応力度 σ_{cb} (N/mm²)

$$\sigma_{cb} = \frac{P_1}{2bf \cdot L_2}$$

底面フランジの曲げ応力度 σ_f (N/mm²)

$$\sigma_f = \frac{6M_f}{t_f^2} \quad M_f = \frac{\sigma_{cb} \cdot b_f^2}{8}$$

コンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{P_1}{2 \sum \ell L_2}$$

ここに、

P_1 : 水平荷重 (kN)
(地震時慣性力+風荷重)

L_2 : 扉体高さ (mm)

b_f : 底面フランジの幅 (mm)

t_f : 底面フランジの厚さ (mm)

ℓ_1 : 戸当り深さ (mm)

ℓ_2 : 底面フランジの
コンクリートまでの距離 (mm)

M_f : 底面フランジに作用する
曲げモーメント (N・mm)

$\sum \ell$: せん断抵抗長さ ($= \ell_1 + 2\ell_2$) (mm)

図 4-25 戸当りの構造図及び応力算定式

i. 防波扉戸当り（RC支柱）

地震時の作用荷重は、陸側及び海側の側部戸当りに同様に作用するので、断面の小さい海側戸当りを対象として評価する。防波扉戸当り（RC支柱）の海側について、防波壁側を固定として水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）を受ける片持梁にモデル化して計算し、その応力が許容限界以下であることを確認する。

防波扉戸当り（RC支柱）の位置図を図4-26に示す。

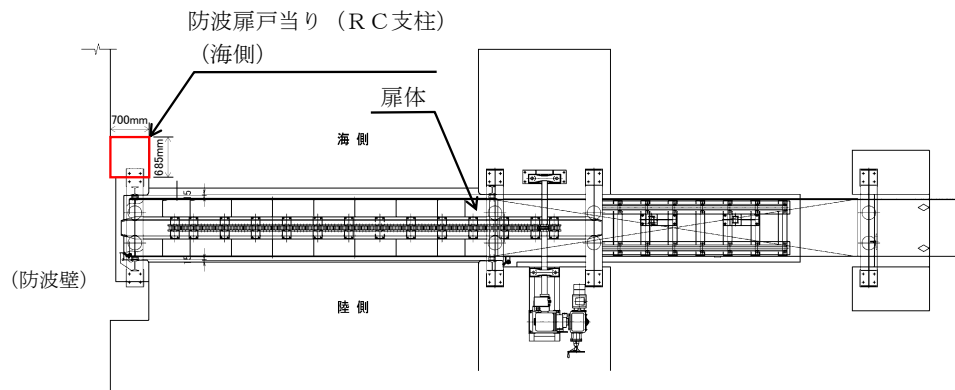


図4-26 防波扉戸当り（RC支柱）の位置図

(2) 防波扉基礎スラブ

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、2次元動的有限要素法により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

(3) 防波扉（鋼管杭）

鋼管杭の評価は、杭体の曲げモーメント及び軸力より算定される応力及びせん断力より算定されるせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

a. 曲げ軸力照査

発生曲げモーメントが次式により算定される降伏曲げモーメント以下であることを確認する。

$$M_y = \left(f_y - \frac{|N|}{A} \right) Z_e$$

ここに、

M_y : 鋼管杭の降伏曲げモーメント (kN・m)

f_y : 鋼管杭の降伏基準点 (N/mm²)

Z_e : 鋼管杭の断面係数 (mm³) *

N : 鋼管杭に発生する軸力 (kN)

A : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

注記* : 鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

b. せん断力照査

せん断力を用いて次式により算定されるせん断応力がせん断強度に基づく許容限界以下であることを確認する。

$$\tau = \frac{S}{A}$$

ここに、

τ : 鋼管杭のせん断力より算定されるせん断応力度 (N/mm²)

S : 鋼管杭に発生するせん断力 (kN)

A : 鋼管杭の断面積 (mm²) *

注記* : 鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

(4) 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり面のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め、最小すべり安全率を算定する。

また、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示すとおり、改良地盤の解析用物性値のうちせん断強度は、室内配合試験結果よりも保守的な強度を設定していることから、強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値－1σ）は実施しない。

すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」を使用する。なお、解析コードの検証、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。

(5) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，2002 年 3 月）」に従い、杭先端部の軸力を用いて次式により算定される軸応力が基礎地盤の極限支持力度以下であることを確認する。

$$R_d = \frac{N_{\max}}{A}$$

ここに、

R_d ：鋼管杭先端の軸力より算定される軸応力度（N/mm²）

N_{\max} ：鋼管杭に発生する軸力（kN）

A ：鋼管杭先端の断面積（mm²）*

注記*：鋼管杭の外側 1 mm を腐食代として考慮する。

4.9.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

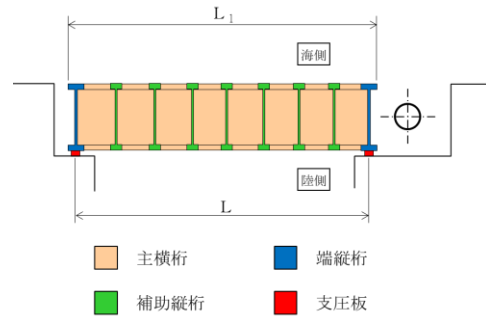
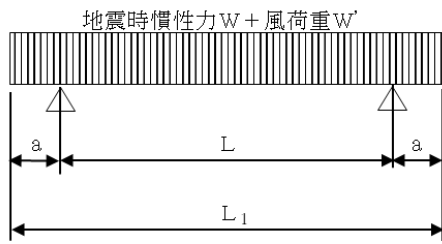
漂流物対策工（鋼製扉体）は、扉体（主横桁、張出桁、補助縦桁、端縦桁及び支圧板）、支承部、支承アンカー、ロック装置及び戸当りで構成されている。地震時荷重に対しては、主横桁、張出桁、補助縦桁、端縦桁、支承部、支承アンカー、ロック装置及び戸当り（支圧板含む）の耐震評価を行う。

a. 主横桁

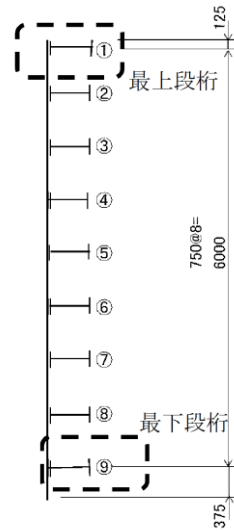
主横桁は、扉体の支圧板と戸当りとの接触位置を支点とする両端ピン支持の単純梁にモデル化し、水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。主横桁の照査対象部は、荷重分担幅が大きい最下段桁とした。

また、最上段の主横桁においては、保守的に支承部を固定端とした片持ち梁にモデル化し、水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

最下段主横桁のモデル図及び応力算定式を図4-27に、最上段主横桁のモデル図及び応力算定式を図4-28に示す。



(扉体平面図)



(扉体側面図)

最下段主横桁の断面力計算

- 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

- せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W')L$$

応力度の計算

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_1}{Z}$$

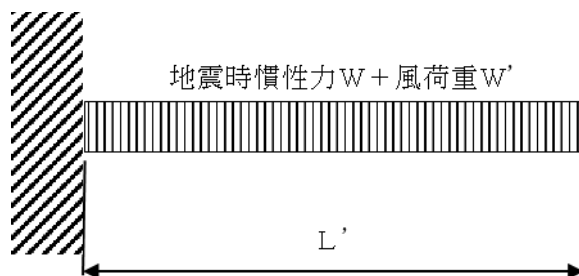
- せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

ここに、

- M_1 : 曲げモーメント (kN・m)
- S_1 : せん断力 (kN)
- W : 地震時慣性力 (kN/m)
- W' : 風荷重 (kN/m)
- L : 支間 (m)
- a : 張り出し部 (m)
- L_1 : 扉体幅 (m)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 4-27 最下段主横桁のモデル図及び応力算定式



最上段主横桁の断面力計算

- 曲げモーメント

$$M_1' = \frac{1}{2}(W + W')L'^2$$

ここに,

M_1' : 曲げモーメント (kN・m)

- せん断力

$$S_1' = \frac{1}{2}(W + W')L'$$

S_1' : せん断力 (kN)

W : 地震時慣性力 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

応力度の計算

L' : 張出長さ (m)

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

Z : 断面係数 (mm³)

$$\sigma = \frac{M_1'}{Z}$$

A_w : 腹板断面積 (mm²)

- せん断応力度 τ (N/mm²)

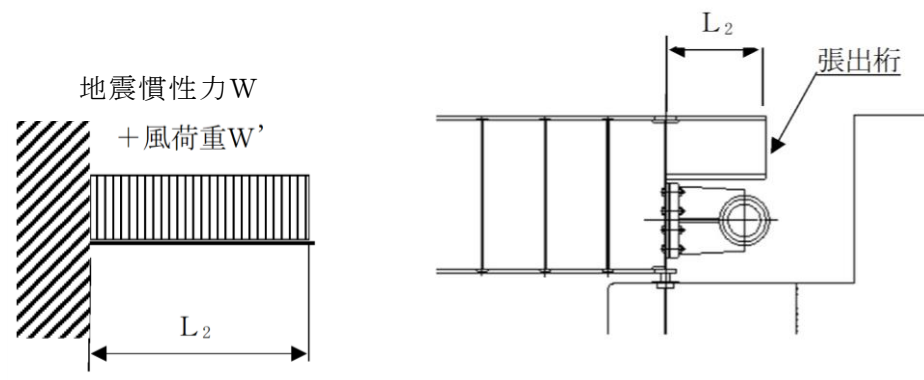
$$\tau = \frac{S_1'}{A_w}$$

図 4-28 最上段主横桁のモデル図及び応力算定式

b. 張出桁

張出桁は、水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）を受ける扉体支持部を固定とする片持梁にモデル化して計算し、その応力が許容限界以下であることを確認する。

張出桁のモデル図及び応力算定式を図 4-29 に示す。



(扉体張出桁平面図)

断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_2 = \frac{1}{2}(W + W')L_2^2 + P_c L_2$$

- ・ せん断力

$$S_2 = (W + W')L_2 + P_c$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_2}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_2}{A_w}$$

ここに、

M_2 : 曲げモーメント (kN・m)

S_2 : せん断力 (kN)

W : 地震時慣性力 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L_2 : 張出長さ (m)

Z : 断面係数 (mm³)

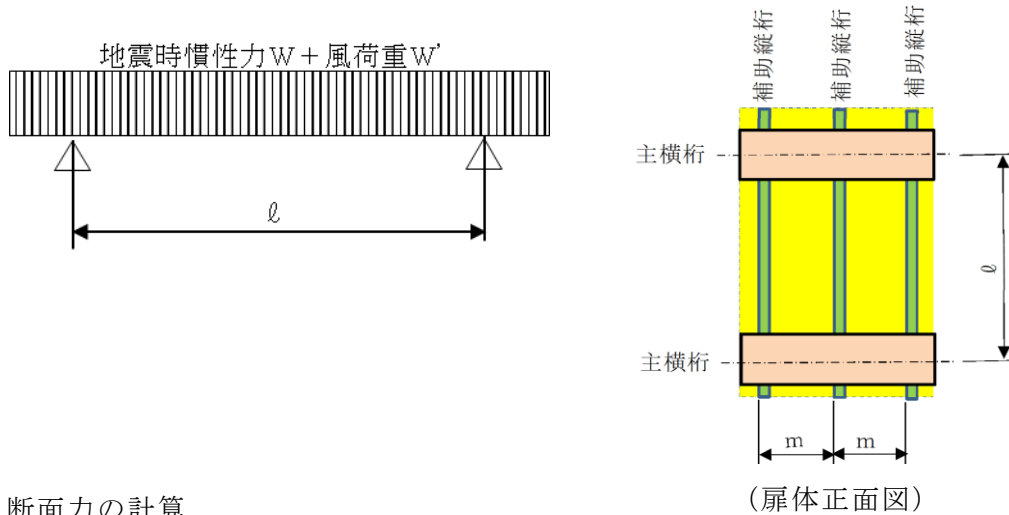
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 4-29 張出桁のモデル図及び応力算定式

c. 補助縦桁

補助縦桁は、図のような荷重を受ける主横桁で支持された単純梁として計算し、その応力が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 4-30 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント (桁中央)

$$M_3 = \frac{1}{8}(W + W')\ell^2$$

- ・ せん断力 (桁端部)

$$S_3 = \frac{1}{2}(W + W')\ell$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_3}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_3}{A_w}$$

ここに、

M_3 : 曲げモーメント (kN・m)

S_3 : せん断力 (kN)

W : 地震時慣性力 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

ℓ : 主横桁の間隔 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

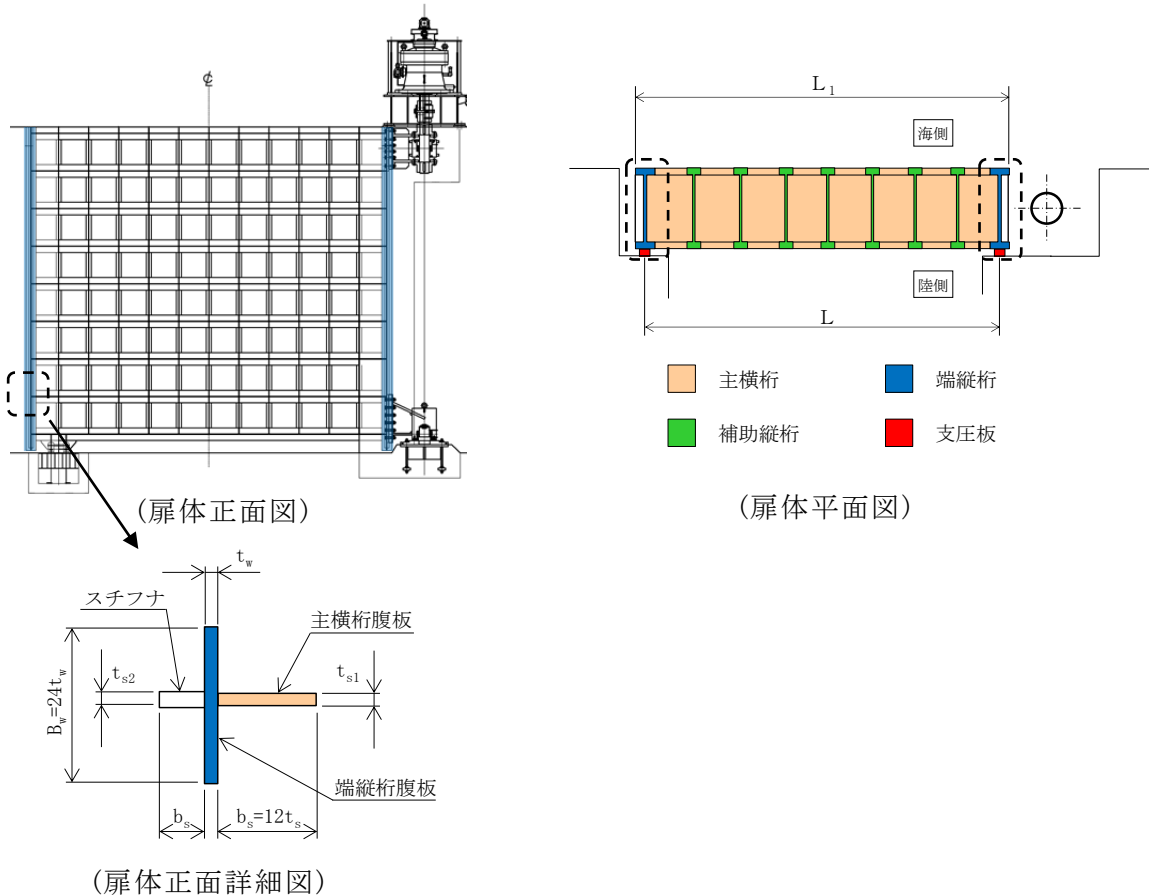
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 4-30 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する。そのため、垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点として腹板強度の計算を行い、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の構造図及び応力算定式を図4-31に示す。



端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm^2)

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

ここに、

R : 主横桁の支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm^2)

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{リブ})$$

$$\text{但し, } A_q \leq 1.7 (A_{s1} + A_{s2})$$

図4-31 端縦桁の構造図及び応力算定式

e. 支承部

支承部は、上部支承部と下部支承部から構成され、地震時の水平荷重及び鉛直荷重に対しての発生応力が許容限界以下であることを確認する。

水平方向と鉛直方向の地震荷重の組合せは、組合せ係数法により以下のとおりとした。

組合せ①： $1.0 \times$ 水平地震荷重 $+ 0.4 \times$ 鉛直地震荷重

組合せ②： $0.4 \times$ 水平地震荷重 $+ 1.0 \times$ 鉛直地震荷重

上部支承部及び下部支承部の構造正面図を図 4-32 に示す。

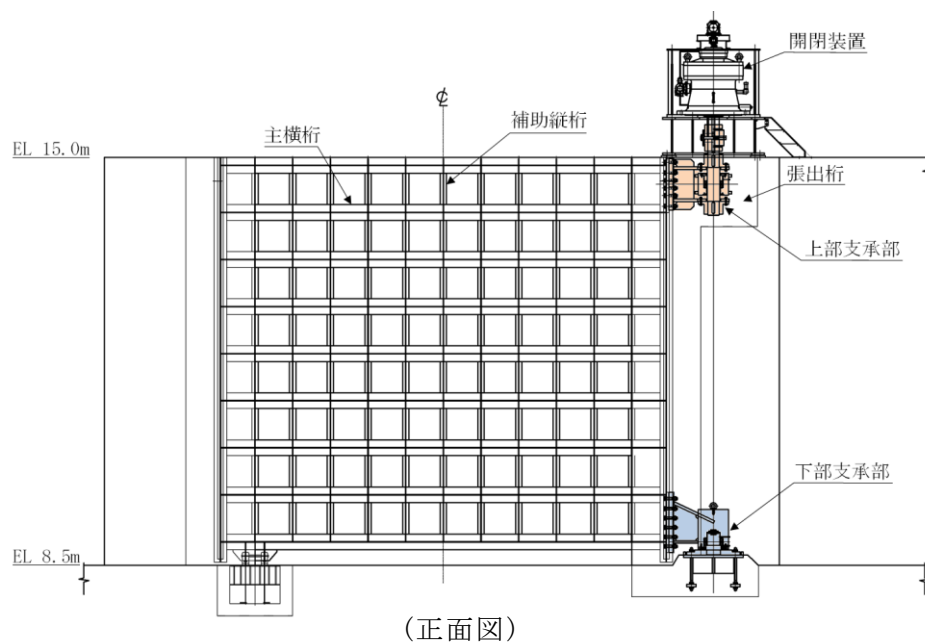
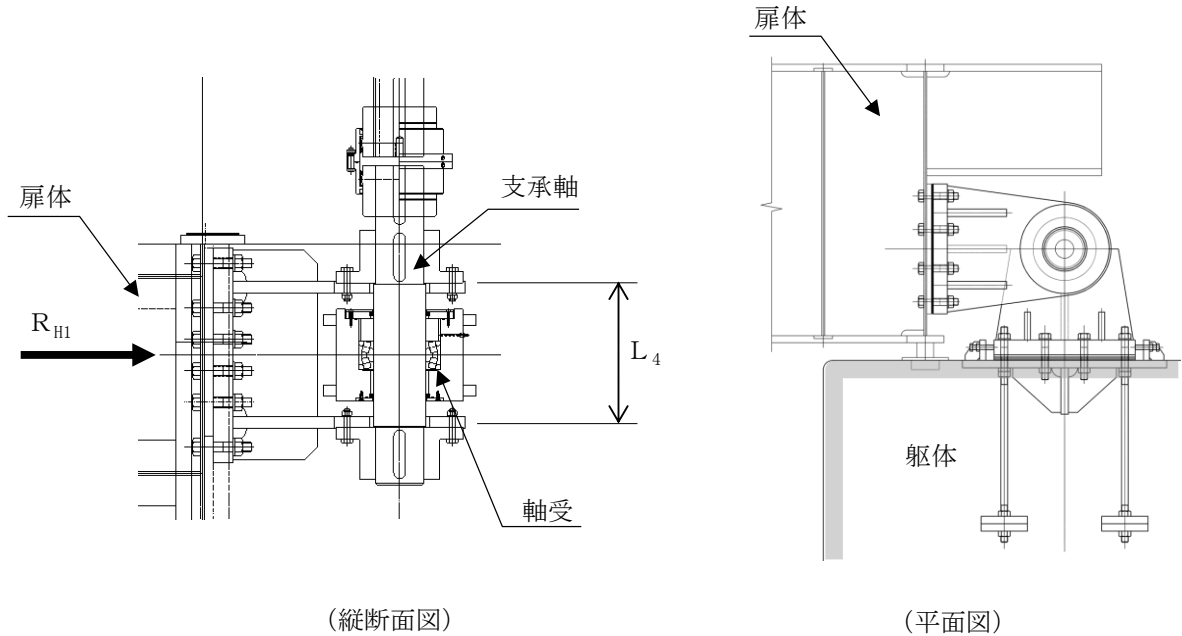


図 4-32 上部支承部及び下部支承部の構造正面図

(a) 上部支承部

上部支承部は、支承軸を両端ピン支持の単純梁として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

上部支承部の構造図及び応力算定式を図 4-33 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_4 = \frac{R_{H1}L_4}{4}$$

- ・ せん断力

$$S_4 = R_{H1}$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{M_4}{Z_4}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{4S_4}{3A_4}$$

ここに、

M_4 : 支承軸の曲げモーメント (kN・m)

R_{H1} : 上部支承水平作用荷重 (kN)

L_4 : 支承軸支持間隔 (m)

S_4 : 支承軸のせん断力 (kN)

Z_4 : 支承軸の断面係数 (mm³)

A_4 : 支承軸の断面積 (mm²)

図 4-33 上部支承部の構造図及び応力算定式

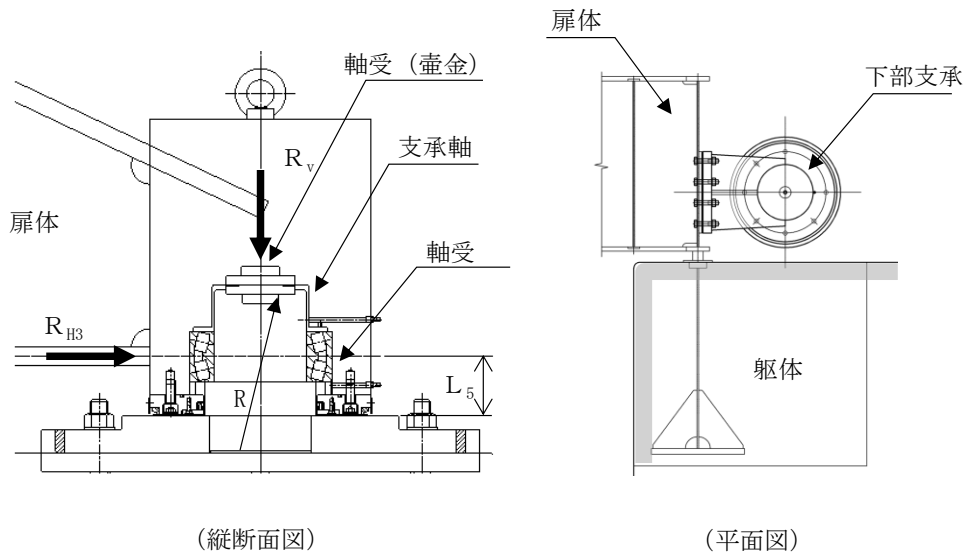
(b) 下部支承部

下部支承部は、支承軸を下端固定の片持ち梁として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

鉛直荷重を支持する軸受（壺金）は、接触面の支圧応力度により照査する。

また、水平荷重を支持する上部及び下部軸受けには同一の自動調心ころ軸受けを使用し、許容限界以下であることを確認する。

下部支承部の構造図及び応力算定式を図 4-34 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_5 = R_{H3}L_5$$

- ・ せん断力

$$S_5 = R_{H3}$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{M_5}{Z_5}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{4S_5}{3A_5}$$

ここに、

M_5 : 支承軸の曲げモーメント (kN・m)

R_{H3} : 下部支承水平作用荷重 (kN)

L_5 : 支承軸片持ち梁長さ (m)

S_5 : 支承軸のせん断力 (kN)

Z_5 : 支承軸の断面係数 (mm³)

A_5 : 支承軸の断面積 (mm²)

R_v : 下部支承鉛直作用荷重 (kN)

R : 軸受（壺金）の球面の半径 (mm)

E : 軸受（壺金）の弾性係数 (N/mm²)

R_2 : 軸受け荷重 (kN)

図 4-34(1) 下部支承部の構造図及び応力算定式

- ・軸受（壺金）の支圧応力度 p (N/mm^2)

$$p = 0.388 \left(\frac{R_v E^2}{R^2} \right)^{1/3}$$

- ・軸受け荷重（自動調心ころ軸受）

$$R_2 = R_{H3}$$

ここに、

R_{H3} : 下部支承水平作用荷重 (kN)

R_v : 下部支承鉛直作用荷重 (kN)

R : 軸受（壺金）の球面の半径 (mm)

E : 軸受（壺金）の弾性係数 (N/mm^2)

R_2 : 軸受け荷重 (kN)

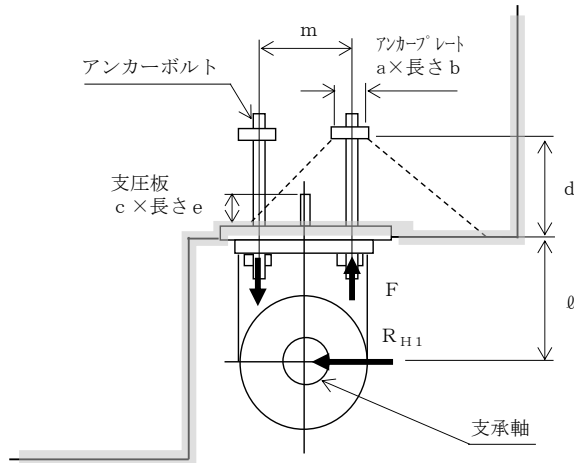
図 4-34(2) 下部支承部の応力算定式

f. 支承アンカー

(a) 上部支承アンカー

上部支承部は図に示す構造であることから、支承軸に作用する荷重は、アンカーボルトとアンカープレート及び支圧板によりコンクリートに伝達する構造として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

上部支承アンカーの構造図及び応力算定式を図 4-35 に示す。



(平面図)

アンカーボルト 1 本当りの軸力

$$F = \frac{R_{H1} \ell}{m n}$$

応力度の計算

- ・アンカーボルトの軸方向引張応力度 σ_t (N/mm²)

$$\sigma_t = \frac{F}{A_5}$$

ここに、

- ・コンクリートの支圧

応力度 (アンカープレート) σ_{c1} (N/mm²)

$$\sigma_{c1} = \frac{n F}{a b}$$

F : アンカーボルト
1 本当りの軸力 (kN)

R_{H1} : 上部支承水平作用荷重 (kN)

ℓ : 支承軸からアンカーボルト
固定部までの距離 (mm)

- ・コンクリートの支圧

応力度 (支圧板) σ_{c2} (N/mm²)

$$\sigma_{c2} = \frac{R_{H1}}{c e}$$

m : アンカーボルトの間隔 (mm)

n : アンカーボルトの片側本数

A_5 : アンカーボルトの断面積 (mm²)

d : アンカーボルト埋込深さ (mm)

a, b : アンカープレートの寸法 (mm)

c, e : 支圧板の寸法 (mm)

図 4-35(1) 上部支承アンカーの構造図及び応力算定式

・コンクリートのせん断

応力度(アンカープレート) τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{n F}{2 b \cdot 2 d}$$

図 4-35(2) 上部支承アンカーの応力算定式

(b) 下部支承アンカー

下部支承部は、支承軸に作用する荷重は、アンカーボルトとアンカープレート及び支圧板によりコンクリートに伝達する構造として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

下部支承アンカーの構造図及び応力算定式を図 4-36 に示す。

アンカーボルト 1 本当りの軸力 (kN)

$$F = \frac{R_{H3} L_5}{2 y n}$$

応力度の計算

- アンカーボルトの

軸方向引張応力度 σ_t (N/mm²)

$$\sigma_t = \frac{F}{A_5}$$

- コンクリートの支圧応力度

(アンカープレート) σ_{c1} (N/mm²)

$$\sigma_{c1} = \frac{n F}{a b}$$

- コンクリートの支圧応力度

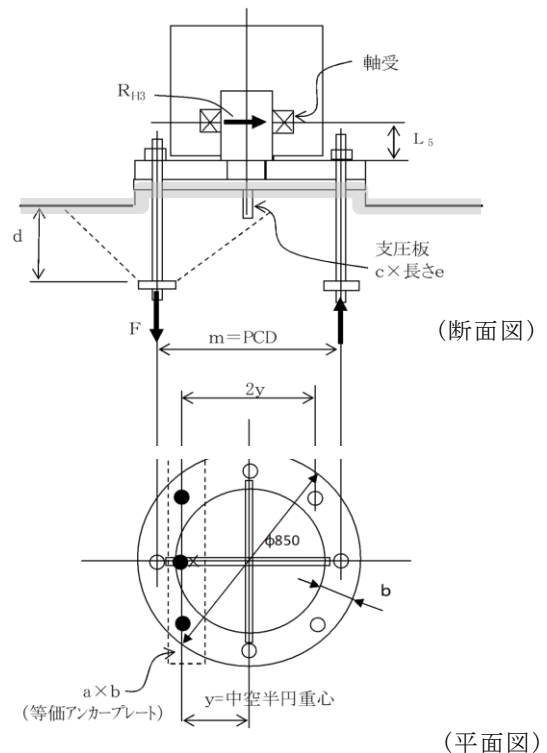
(支圧板) σ_{c2} (N/mm²)

$$\sigma_{c2} = \frac{R_{H3}}{c e}$$

- コンクリートのせん断応力度

(アンカープレート) τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{n F}{2 b \cdot 2 d}$$



ここに、

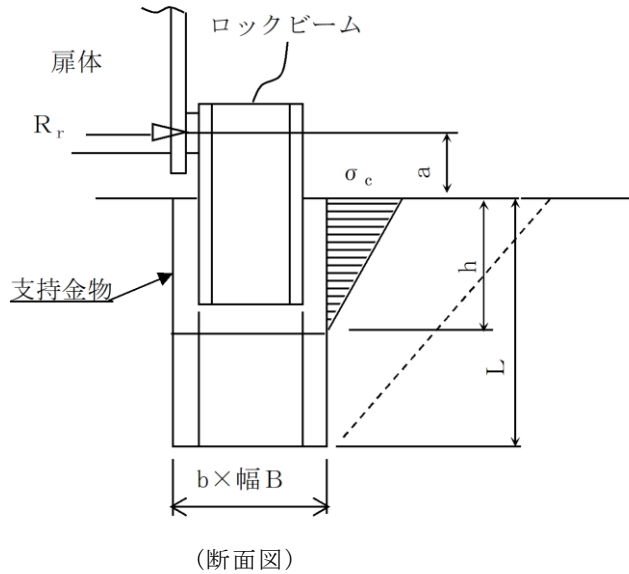
- F : アンカーボルト 1 本当りの軸力 (kN)
- R_{H3} : 下部支承水平作用荷重 (kN)
- L_5 : 軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離 (mm)
- $2 y$: アンカーボルトの間隔 (mm)
- n : アンカーボルトの片側本数
- A_5 : アンカーボルトの断面積 (mm²)
- d : アンカーボルト埋込深さ (mm)
- a, b : アンカープレートの寸法 (mm)
- c, e : 支圧板の寸法 (mm)

図 4-36 下部支承アンカーの構造図及び応力算定式

g. ロック装置

ロック装置は、扉体に作用する地震時荷重をロックビームから支持金物及びコンクリートへ伝達し、扉体を全閉位置に固定する。ロックビームを片持ち梁にモデル化して算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

ロック装置の構造図及び応力算定式を図4-37に示す。



断面力の計算

- 曲げモーメント

$$M = P_r a$$

- せん断力

$$S = P_r$$

応力度の計算

- ロックビーム曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M}{2Z}$$

- ロックビームせん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S}{2A}$$

ここに、

M : 曲げモーメント (kN・m)

R_r : ロック反力 (kN)

a : ロックビームの片持ち梁長さ (m)

n : ロックビーム数

Z : ロックビームの断面係数 (mm³)

S : ロックビームのせん断力 (kN)

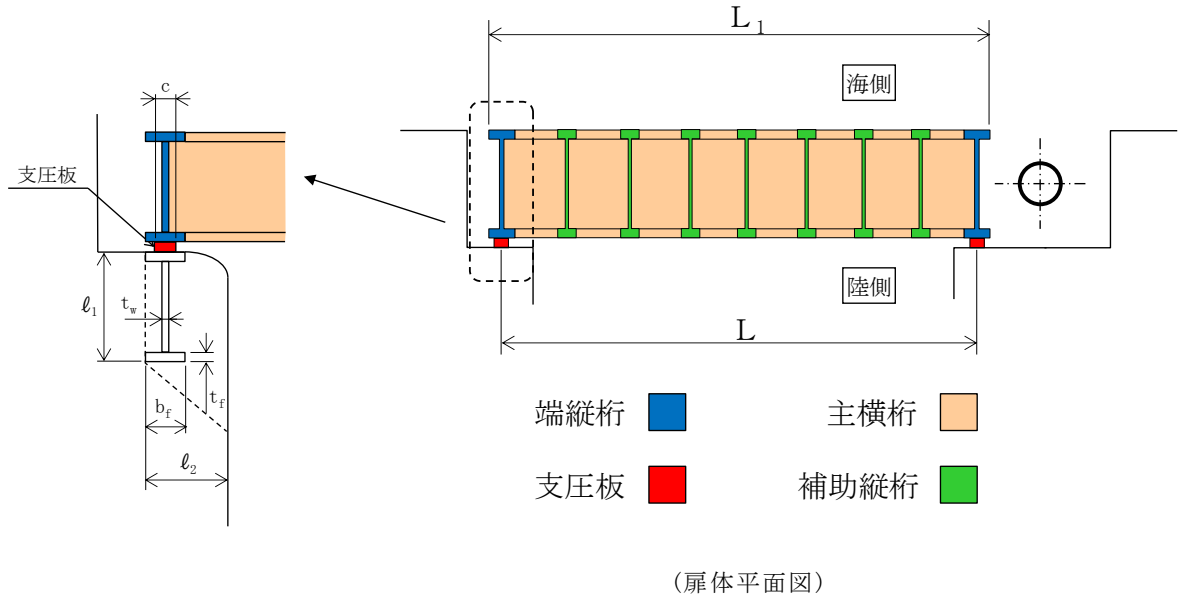
A : ロックビームのせん断面積 (mm²)

図4-37 ロック装置の構造図及び応力算定式

h. 戸当り

戸当りは、最も水平荷重（地震時慣性力+風荷重）が大きい最下段の主横桁からの荷重により応力を算定し許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図及び応力算定式を図 4-38 に示す。



(扉体平面図)

応力度の計算

- 支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{W L_1}{2 C L_2}$$

- 腹板の支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{W L_1}{2 t_w L_2}$$

- コンクリートの支圧応力度 σ_{cb} (N/mm²)

$$\sigma_{cb} = \frac{W L_1}{2 b_f L_2}$$

- 底面フランジの曲げ応力度 σ_f (N/mm²)

$$\sigma_f = \frac{6 M_f}{t_f^2}$$

$$M_f = \frac{\sigma_c \cdot b_f^2}{8}$$

- コンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{W L_1}{2 \Sigma \ell L_2}$$

ここに、

W : 水平荷重 (kN/m)

(地震時慣性力+風荷重)

C : 支圧板の有効幅 (mm)

L₁ : 扉体幅 (mm)

L₂ : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

t_w : 腹板の厚さ (mm)

b_f : 底面フランジの幅 (mm)

t_f : 底面フランジの厚さ (mm)

ℓ₁ : 戸当り深さ (mm)

ℓ₂ : 底面フランジの

コンクリートまでの距離 (mm)

M_f : 底面フランジに作用する

曲げモーメント (N・mm)

Σℓ : せん断抵抗長さ (=ℓ₁+2ℓ₂) (mm)

図 4-38 戸当りの構造図及び応力算定式

(2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して，2次元動的有限要素法により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

(3) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては，漂流物対策工直下のMMR及び改良地盤並びにMMR及び改良地盤の直下の岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

5. 評価条件

「4. 耐震評価」に用いる評価条件を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1(1) 防波扉の耐震評価に用いる条件 (1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M ₁	曲げモーメント	119.009	kN・m
	S ₁	せん断力	73.515	kN
	W	地震時慣性力	19.642	kN/m
	W'	風荷重	2.256	kN/m
	L	支間	6.500	m
	a	張り出し部	0.200	m
	L ₁	正面水密幅	6.900	m
	Z	断面係数	5136000	mm ³
	A _w	腹板断面積	11350	mm ²
補助縦桁	ℓ	主横桁間隔	2.5	m
	m	補助縦桁間隔	0.7545	m
	P	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)	13.709	kN/m ²
	M	曲げモーメント	7.835	kN・m
	S	せん断力	10.978	kN
	Z	断面係数	424000	mm ³
	A _w	腹板断面積	2470	mm ²
端縦桁	R	主横桁の支点反力	73.515	kN
	A _q	補剛材の有効総断面積	2938	mm ²
車輪	F	鉛直荷重 (扉体自重+積雪荷重+地震時慣性力)	497.5	kN
	F _v	鉛直方向地震時慣性力	281.2	kN
	R ₁	海側車輪荷重	189.9	kN
	R ₂	陸側車輪荷重	58.8	kN
	L	レール支間	0.74	m
	L ₁	扉体重心から海側車輪までの距離	0.175	m
	L ₂	扉体重心から陸側車輪までの距離	0.565	m
	P _r	車輪荷重	189900	N
	E ₁	車輪の弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
	E ₂	レールの弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
	B ₀	車輪有効踏面幅	60	mm
	R	車輪半径	250	mm
C	接触幅の 1/2	3.09	mm	

表 5-1(2) 防波扉の耐震評価に用いる条件 (2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
車輪軸	M	曲げモーメント	38.0	kN・m
	L ₃	張出長さ	0.2	m
	Z	軸の断面係数	130700	mm ³
	S	せん断力	189.9	kN
	A ₁	軸の断面積	9500	mm ²
車輪軸受	R _a	軸受け荷重	189.9	kN
レール	M ₅	レールの曲げモーメント	23.7	kN・m
	R ₁	車輪1輪に作用する最大荷重	189.9	kN
	L _M	レール基礎材間隔	0.5	m
	S ₅	レールのせん断力	189.9	kN
	Z ₁	引張側断面係数	175800	mm ³
	Z ₂	圧縮側断面係数	198800	mm ³
	A _w	腹板断面積	2020	mm ²
	b _p	腹板の受圧幅	66.18	mm
	C	接触幅の1/2	3.09	mm
	t _w	腹板の厚さ	20	mm
	t _f	レール踏面板の厚さ	30	mm
ロック装置	P ₂	ロックピン反力	259.5	kN
	F _h	地震時慣性力	519.0	kN
	n	ロックピン数	2	本
	L ₇	片持ち梁長さ	0.088	m
	M	曲げモーメント	22.8	kN・m
	Z	断面係数	71569	mm ³
	S	せん断力	259.5	kN
	A	ロックピンのせん断面積	5100	mm ²
	b	ロックピン受圧幅	65	mm
	h	ロックピン受圧長さ	70	mm
支圧板	P ₁	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)	597.7	kN
	C	支圧板の有効幅	85	mm
	L ₂	扉体高さ	6500	mm

表 5-1(3) 防波扉の耐震評価に用いる条件 (3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
戸当り	P_1	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)	597.7	kN
	L_2	扉体高さ	6500	mm
	b_f	底面フランジの幅	125	mm
	t_f	底面フランジの厚さ	18.3	mm
	l_1	戸当り深さ	150	mm
	l_2	底面フランジのコンクリートまでの距離	312.5	mm
	M_f	底面フランジに作用する曲げモーメント	781	N・mm
	Σl	せん断抵抗長さ ($=l_1+2l_2$)	775	mm

表 5-2(1) 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M_1	曲げモーメント	115.7	kN・m
	S_1	せん断力	65.2	kN
	W	地震時慣性力	17.015	kN/m
	W'	風荷重	1.354	kN/m
	L	支間	7.1	m
	a	張り出し部	0.1	m
	L_1	扉体幅	7.3	m
	M_1'	曲げモーメント	580.5	kN・m
	S_1'	せん断力	146.0	kN
	L'	張出長さ	7.95	m
	Z	断面係数	18674000	mm ³
	A_w	腹板断面積	21500	mm ²
張出桁	M_2	曲げモーメント	2.8	kN・m
	S_2	せん断力	5.8	kN
	W	地震時慣性力	5.672	kN/m
	W'	風荷重	0.451	kN/m
	L_2	張出長さ	0.95	m
	Z	断面係数	6527000	mm ³
	A_w	腹板断面積	16870	mm ²
補助縦桁	M_3	曲げモーメント	0.2	kN・m
	S_3	せん断力	0.9	kN
	W	地震時慣性力	2.269	kN/m
	W'	風荷重	0.181	kN/m
	ℓ	主横桁の間隔	0.75	m
	Z	断面係数	7567000	mm ³
	A_w	腹板断面積	21500	mm ²
端縦桁	R	主横桁の支点反力	146.0	kN
	A_q	補剛材の有効総断面積	10747	mm ²
上部 支承軸	M_4	支承軸の曲げモーメント	144.9	kN・m
	R_{H1}	上部支承水平作用荷重	1053.9	kN
	L_4	支承軸支持間隔	0.55	m
	S_4	支承軸のせん断力	527.0	kN
	Z_4	支承軸の断面係数	572600	mm ³
	A_4	支承軸の断面積	25450	mm ²

表 5-2(2) 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
下部 支承軸	M ₅	支承軸の曲げモーメント	137.0	kN・m
	R _{H3}	下部支承水平作用荷重	1053.9	kN
	L ₅	支承軸片持ち梁長さ	0.130	m
	S ₅	支承軸のせん断力	1053.9	kN
	Z ₅	支承軸の断面係数	1045400	mm ³
	A ₅	支承軸の断面積	38010	mm ²
下部 支承軸受	R _v	下部支承鉛直作用荷重	1033	kN
	R	軸受（壺金）の球面の半径	900	mm
	E	軸受（壺金）の弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
支承軸受	R ₂	軸受け荷重	1053.9	kN
上部支承 アンカー	F	アンカーボルト 1 本当りの軸力	162.1	kN
	R _{H1}	上部支承水平作用荷重	1053.6	kN
	ℓ	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離	600	mm
	m	アンカーボルトの間隔	650	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	6	本
	A ₅	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルト埋込深さ	800	mm
	a, b	アンカープレートの寸法	250, 800	mm
	c, e	支圧板の寸法	250, 800	mm
下部支承 アンカー	F	アンカーボルト 1 本当りの軸力	102.4	kN
	R _{H3}	下部支承水平作用荷重	1053.9	kN
	L ₅	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離	130	mm
	2y	アンカーボルトの間隔	446	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	3	本
	A ₅	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルト埋込深さ	300	mm
	a, b	アンカープレートの寸法	150, 850	mm
	c, e	支圧板の寸法	250, 650	mm

表 5-2(3) 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
ロック装置	M	曲げモーメント	60.6	kN・m
	R_r	ロック反力	404.1	kN
	a	ロックビームの片持ち梁長さ	0.15	m
	n	ロックビーム数	2	本
	Z	ロックビームの断面係数	238000	mm ³
	S	ロックビームのせん断力	404.1	kN
	A	ロックビームのせん断面積	1872	mm ²
戸当り	W	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)	18.369	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L_1	扉体幅	7300	mm
	L_2	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	t_w	腹板の厚さ	14	mm
	b_f	底面フランジの幅	800	mm
	t_f	底面フランジの厚さ	50	mm
	l_1	戸当り深さ	1650	mm
	l_2	底面フランジのコンクリートまでの距離	950	mm
	M_f	底面フランジに作用する曲げモーメント	8000	N・mm
	Σl	せん断抵抗長さ ($=l_1+2l_2$)	3550	mm

6. 耐震評価結果

6.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）

「3. 固有値解析」に示したとおり防波扉（鋼製扉体）の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、防波扉（鋼製扉体）の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示すとおり防波扉（鋼製扉体）の設置床である防波扉基礎スラブの最大応答加速度を基に設定する。設計震度は表 6-1 に示すとおり、最大応答加速度から算出される水平震度及び鉛直震度より保守的に設定した。

防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）の主部材の照査結果を表 6-2 に示す。この結果から、防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 設計用地震力

設置標高	最大応答加速度に基づく震度		設計震度	
	EL 8.5m	水平	1.09	水平 K_h
鉛直		0.82	鉛直 K_v	1.3

表 6-2(1) 防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）の主部材の照査結果（1/2）

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
防波扉 (鋼製 扉体)	主横桁	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	23	240	0.096
			せん断応力度 (N/mm ²)	6	135	0.046
	補助 縦桁	SS400	曲げ応力度 (N/mm ²)	18	180	0.100
			せん断応力度 (N/mm ²)	4	105	0.039
	端縦桁	SM490	圧縮応力度 (N/mm ²)	25	240	0.105
	車輪	SCS3	接触応力度 (N/mm ²)	653	960	0.681
	車輪軸	S45C-H	曲げ応力度 (N/mm ²)	291	367	0.793
			せん断応力度 (N/mm ²)	27	210	0.129
	車輪 軸受	自動調心 ころ軸受	基本静定格荷重 (kN)	189.9	700	0.272
	レール	SUS304N2	曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	119	255	0.467
		SM490	曲げ引張応力度 (N/mm ²)	135	240	0.563
			せん断応力度 τ (N/mm ²)	94	135	0.697

表 6-2(2) 防波扉（鋼製扉体）及び戸当り（RC支柱）の主部材の照査結果（2/2）

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
防波扉 (鋼製 扉体)	レール (腹板)	SM490	支圧応力度 (N/mm ²)	143	360	0.398
	ロック 装置	SUS630	曲げ応力度 (N/mm ²)	319	540	0.591
		H1150	せん断応力度 (N/mm ²)	68	310	0.220
		SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	57	225	0.254
	支圧板	SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	0.5	225	0.003
	海側戸当り (底面フラ ンジ)	SS400	曲げ応力度 (N/mm ²)	14	180	0.078
	海側戸当り (コンクリ ート)	Fc24	支圧応力度 (N/mm ²)	0.4	8.8	0.046
せん断応力度 (N/mm ²)			0.06	0.6	0.100	
防波扉戸当り (RC支柱)		Fc24, SD345	曲げ引張応力度 (N/mm ²)	17	294	0.059
			曲げ圧縮応力度 (N/mm ²)	0.5	13.5	0.038
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.10	0.67	0.148

(2) 防波扉基礎スラブ

a. 曲げ軸力照査

防波扉基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-1 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-3 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

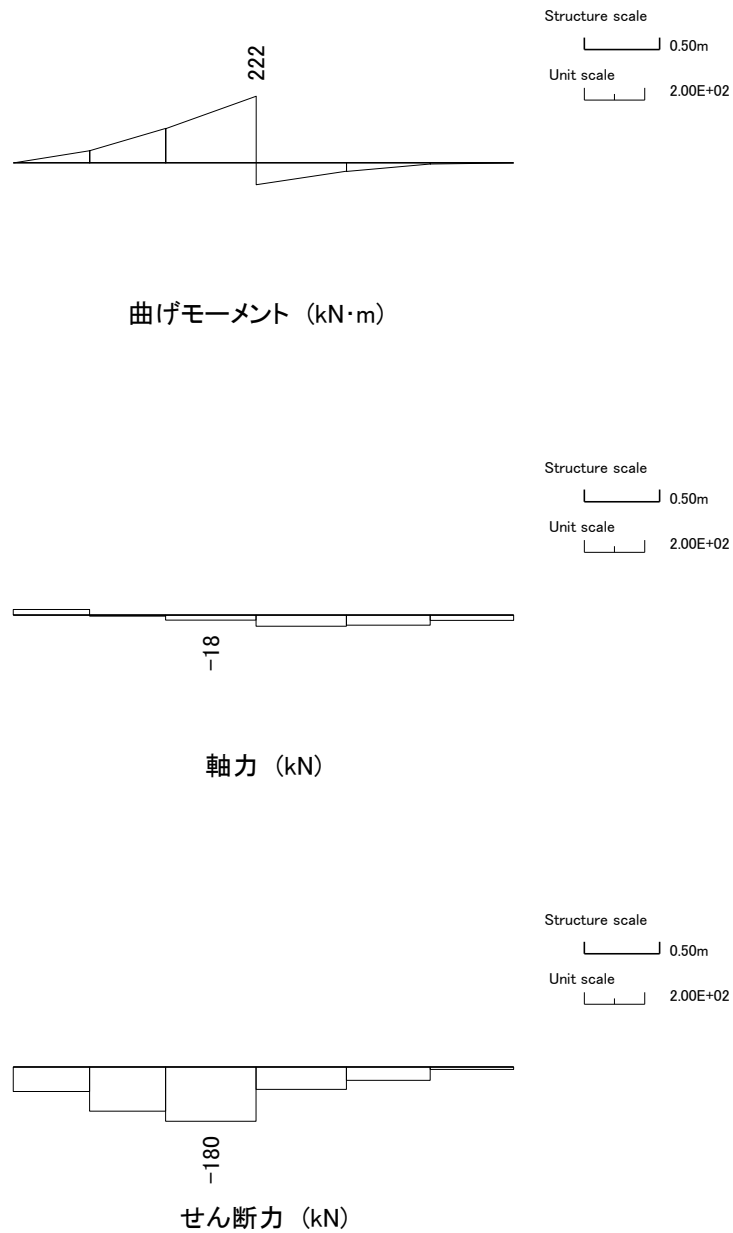
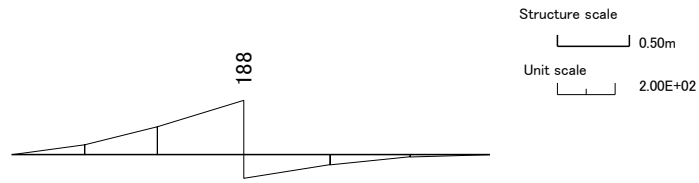
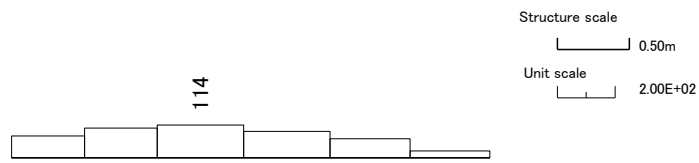


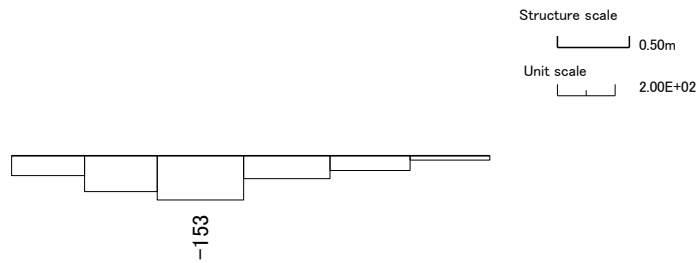
図 6-1(1) 防波扉基礎スラブの曲げ圧縮照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (+ -) , 解析ケース①, t=8.58s)



曲げモーメント (kN・m)



軸力 (kN)



せん断力 (kN)

図 6-1(2) 防波扉基礎スラブの曲げ引張照査における最大照査値の評価時刻での断面力
(S s - D (-+), 解析ケース①, t=19.18s)

表 6-3(1) 防波扉基礎スラブの曲げ圧縮照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (+ -)	①	222	-18	0.7	13.5	0.049

表 6-3(2) 防波扉基礎スラブの曲げ引張照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (- +)	①	188	114	41	294	0.142

b. せん断力照査

防波扉基礎スラブのせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-2 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-4 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

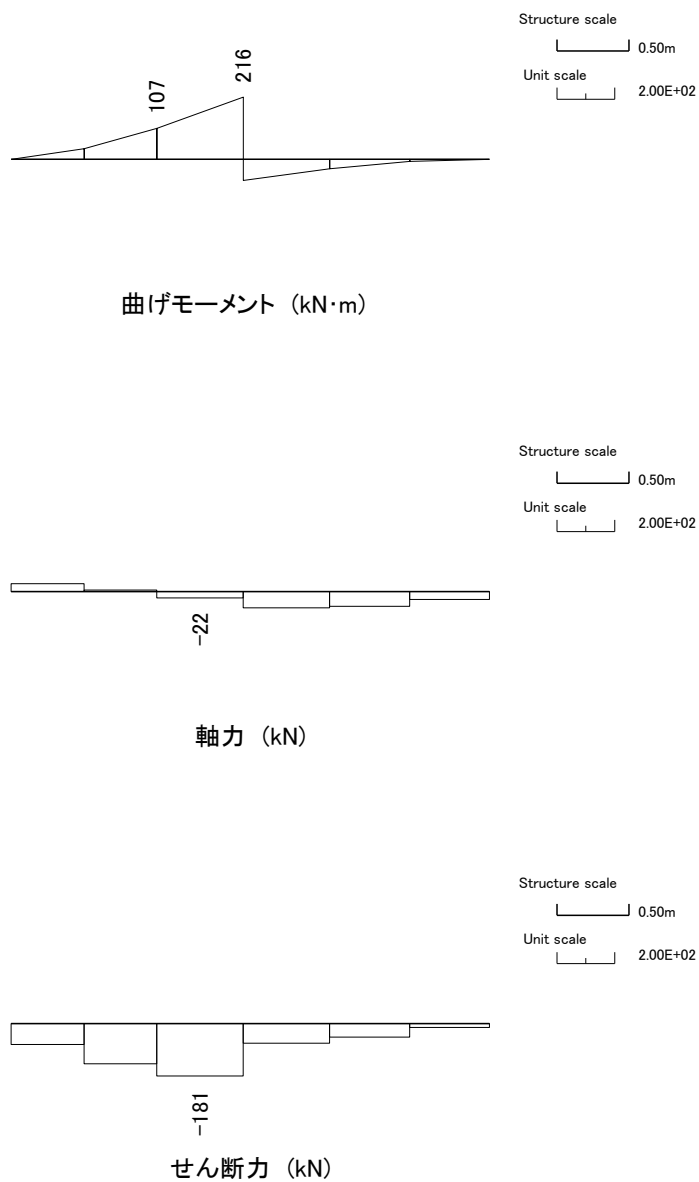


図 6-2 防波扉基礎スラブのせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (++) , 解析ケース①, t=8.57s)

表 6-4 防波扉基礎スラブのせん断力照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -D (++)	①	181	0.05	0.67	0.079

(3) 防波扉（鋼管杭）

a. 曲げ軸力照査

防波扉（鋼管杭）の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図6-3に、曲げ軸力照査における最大照査値を表6-5に示す。

この結果から、防波扉（鋼管杭）に発生する曲げモーメントが許容限界以下であることを確認した。

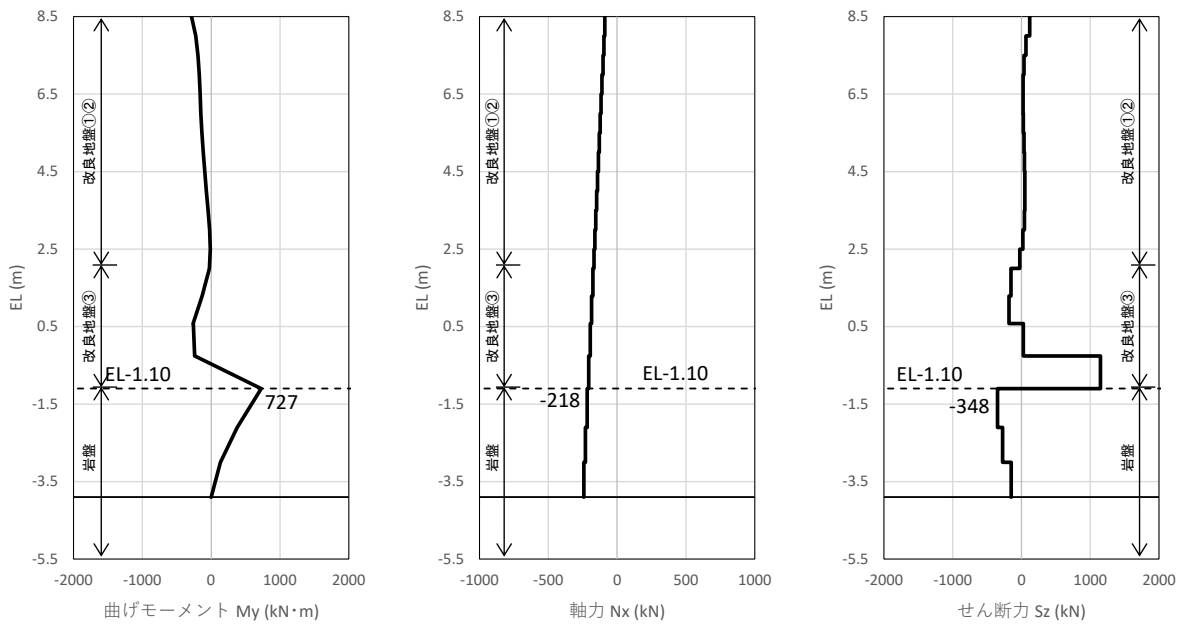


図6-3 防波扉（鋼管杭）の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力（S s - D（+-），解析ケース①，t=8.57s）

表6-5 防波扉（鋼管杭）の曲げ軸力照査における最大照査値

地震動	解析ケース	発生断面力		降伏モーメント M_y (kN・m)	照査値 M_{max}/M_y
		曲げモーメント M_{max} (kN・m)	軸力 (kN)		
S s - D（+-）	①	727	-218	7960	0.092

b. せん断力照査

防波扉（鋼管杭）のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-4 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-6 に示す。

この結果から、防波扉（鋼管杭）の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

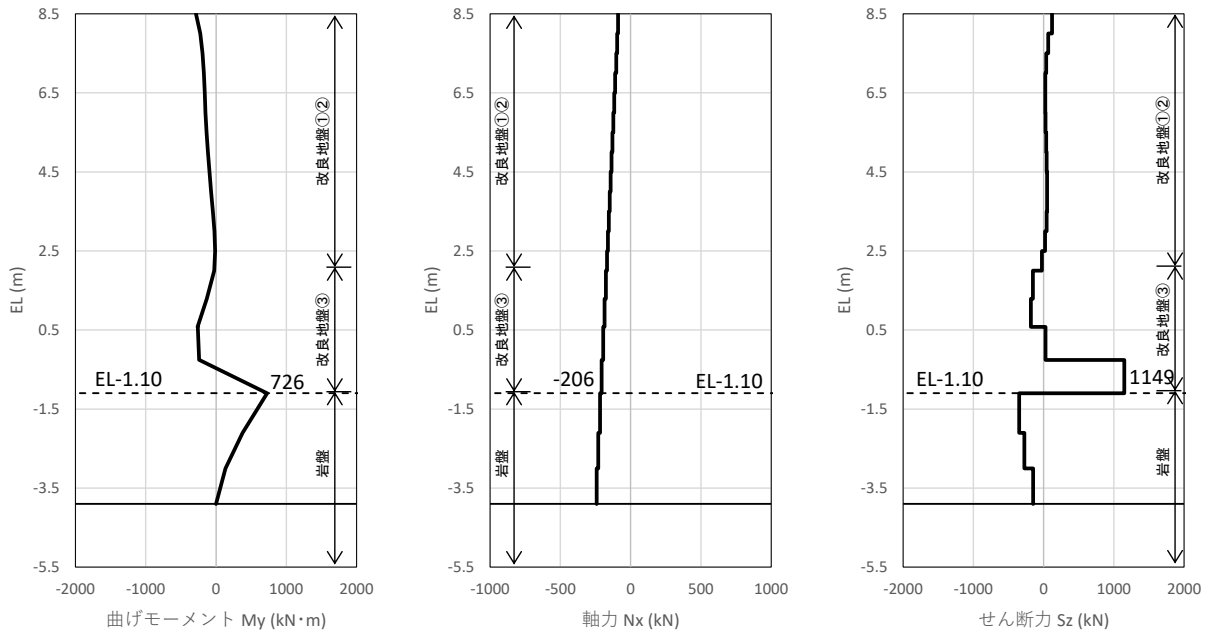


図 6-4 防波扉（鋼管杭）のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力
 (S s - D (+ -) , 解析ケース①, t=8.57s)

表 6-6 防波扉（鋼管杭）のせん断力照査における最大照査値

地震動	解析ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S s - D (+ -)	①	1149	26	157	0.166

(4) 改良地盤

改良地盤におけるすべり安全率による評価結果を表 6-7 に，最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図 6-5 に示す。

これらの結果から，改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 6-7 改良地盤のすべり安全率評価結果

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - D (- +)	①	8.58	2.87

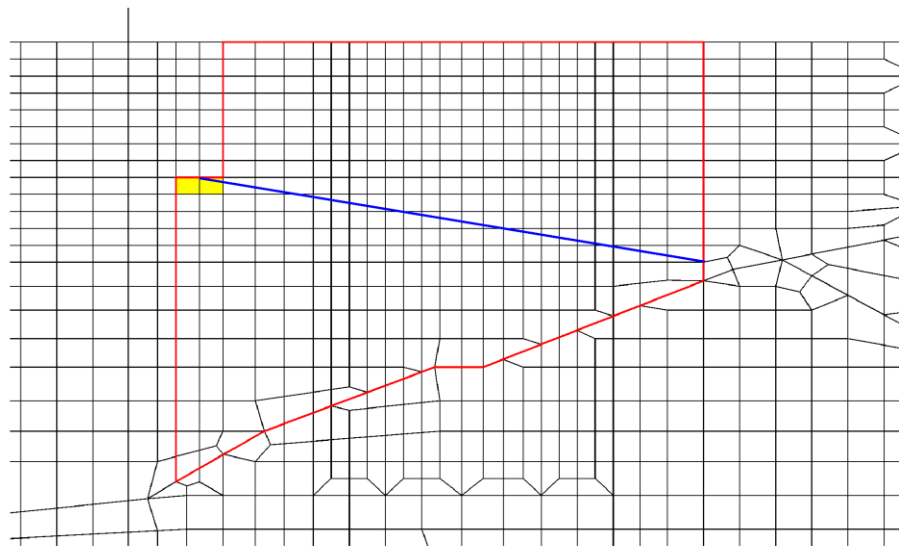
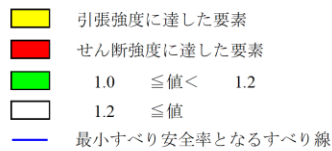


図 6-5 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(S s - D (- +) , 解析ケース①, t=8.58s)

(5) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-8 に示す。

防波扉（鋼管杭）の杭先端部に生じる最大軸応力度が極限支持力度以下であることを確認した。

表 6-8 基礎地盤の支持性能照査結果（鋼管杭直下の岩盤）

地震動	解析ケース	発生断面力	最大軸応力度 R_d (N/mm ²)	極限支持力度 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
		軸力 N_{max} (kN)			
S s - D (+-)	①	494	0.4	9.8	0.045

6.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

「3. 固有値解析」に示したとおり漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数が 20Hz 以上であるため、漂流物対策工（鋼製扉体）の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示すとおり漂流物対策工（鋼製扉体）の設置床における最大応答加速度を基に設定する。設計震度は表 6-9 に示すとおり、最大応答加速度から算出される水平震度及び鉛直震度より保守的に設定した。

漂流物対策工（鋼製扉体）の主部材の照査結果を表 6-10 に示す。この結果から、漂流物対策工（鋼製扉体）の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-9 設計用地震力

設置標高	最大応答加速度に基づく震度		設計震度	
	EL 8.5m	水平	1.19	水平 K_h
鉛直		0.74	鉛直 K_v	1.3

表 6-10(1) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の主部材の照査結果（1/2）

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	主横桁 (最下段)	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	6	525	0.012
		SM570	せん断応力度 (N/mm ²)	3	193	0.016
	主横桁 (最上段)	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	31	525	0.060
		SM570	せん断応力度 (N/mm ²)	7	193	0.037
	張出桁	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	0.4	525	0.001
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.3	303	0.001
	補助縦桁	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	0.03	310	0.001
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.04	193	0.001
	端縦桁	SM570	圧縮応力度 (N/mm ²)	14	337	0.042
	支承部 (上部支承 軸)	SUS630 H1150	曲げ応力度 (N/mm ²)	253	540	0.469
			せん断応力度 (N/mm ²)	28	310	0.091
	支承部 (下部支承 軸)	SUS304N2	曲げ応力度 (N/mm ²)	131	255	0.514
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	147	0.089
	支承部 (下部支承 軸受)	SUS630 H1150	接触応力度 (N/mm ²)	1405	2035	0.691
支承軸受け	自動調心 ころ軸受	軸受荷重 (kN)	1053.9	2140	0.493	

表 6-10(2) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の主部材の照査結果（2/2）

部材	材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)	
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	支承アンカー (上部アンカー ボルト)	S45C-H	軸方向引張 応力度 (N/mm ²)	187	367	0.510
	支承アンカー (下部アンカー ボルト)	S45C-H	軸方向引張 応力度 (N/mm ²)	118	367	0.322
	上部支承アン カー(コンクリ ート)	Fc40	支圧応力度 アンカープレート (N/mm ²)	4.9	8.8	0.557
			支圧応力度 支圧板 (N/mm ²)	5.3	8.8	0.603
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.38	0.60	0.634
	下部支承アン カー(コンクリ ート)	Fc40	支圧応力度 アンカープレート (N/mm ²)	2.4	8.8	0.273
			支圧応力度 支圧板(N/mm ²)	6.5	8.8	0.739
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.30	0.60	0.500
	ロック装置	SM570	曲げ圧縮 応力度 (N/mm ²)	127	337	0.377
			せん断応力度 (N/mm ²)	108	193	0.560
	支圧板	SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	1.1	225	0.005
	戸当り（腹板）	SM400	支圧応力度 (N/mm ²)	6	270	0.023
	戸当り（底面フ ランジ）	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	19	525	0.037
戸当り（コンク リート）	Fc40	支圧応力度 (N/mm ²)	0.1	8.8	0.012	
		せん断応力度 (N/mm ²)	0.03	0.60	0.050	

(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱)

a. 曲げ軸力照査

漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-6 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-11 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り (RC支柱) の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

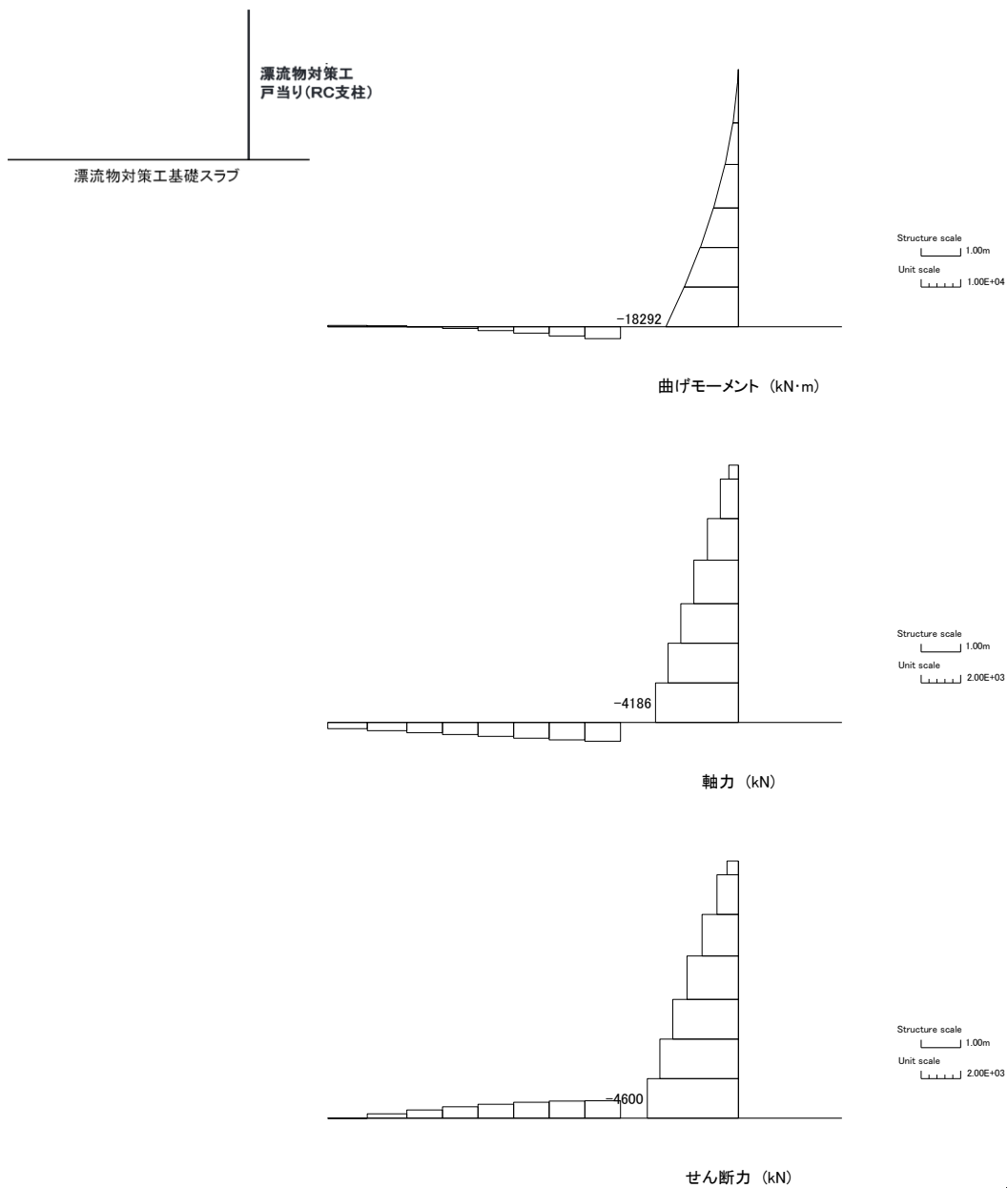


図 6-6(1) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ圧縮照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (—), 解析ケース①, t=8.58s)

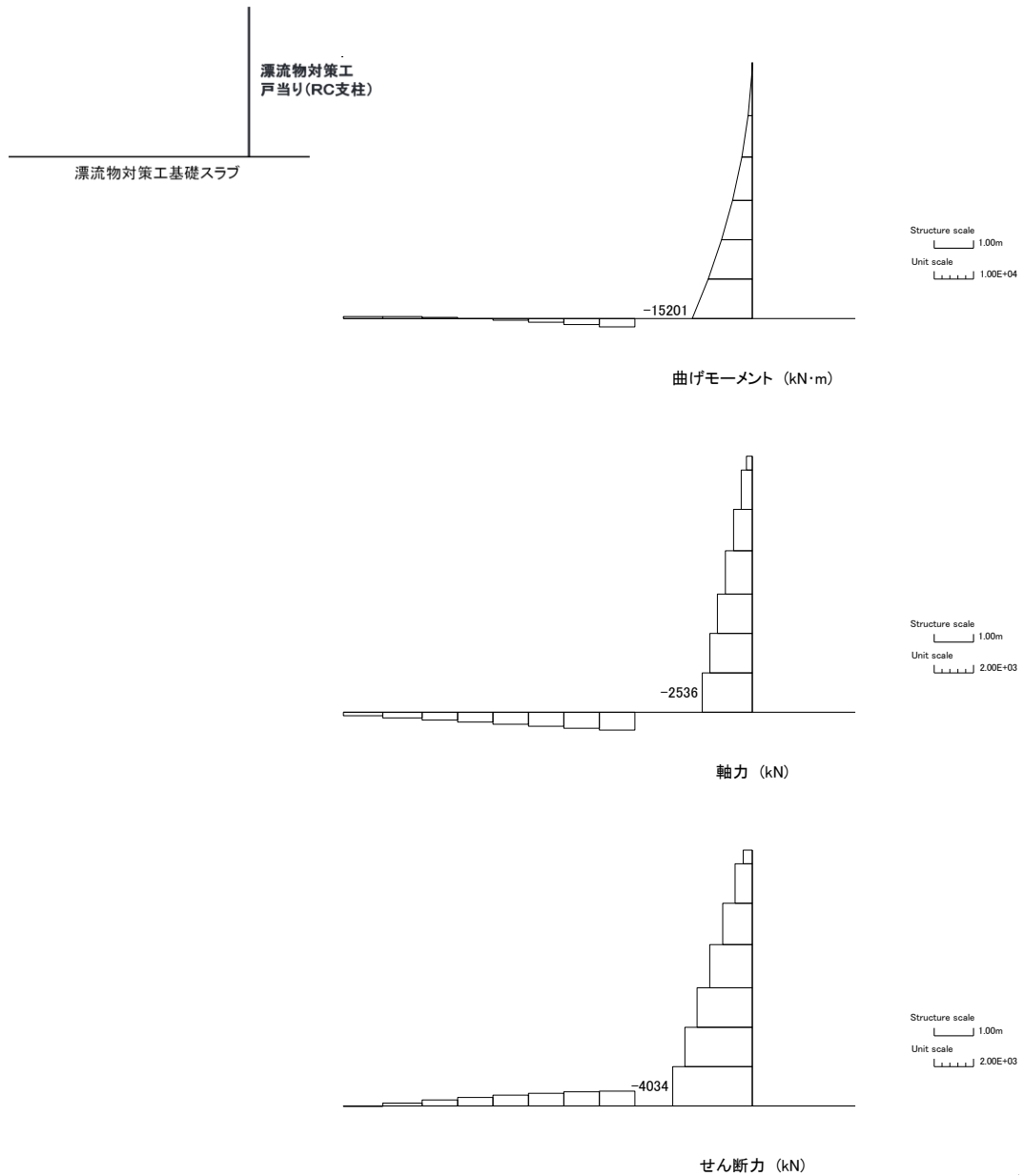


図 6-6(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ引張照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S_s-D (-+)) , 解析ケース①, t=8.58s)

表 6-11(1) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ圧縮照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (- -)	①	-18292	-4186	1.8	21.0	0.087

表 6-11(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ引張照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (- +)	①	-15201	-2536	46	294	0.159

b. せん断力照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-7 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-12 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

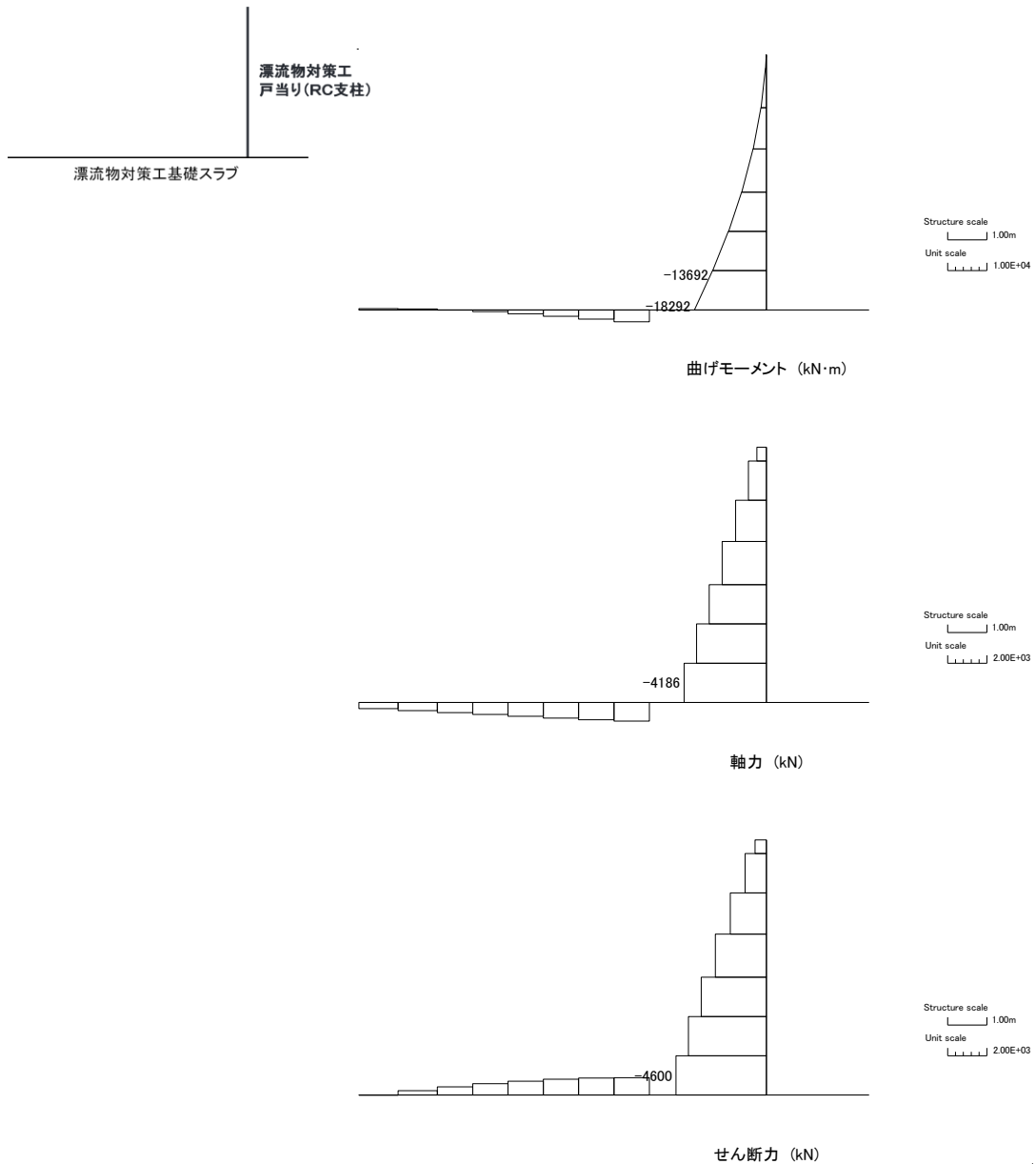


図 6-7 漂流物対策工戸当り（RC支柱）のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力（S s - D (—) , 解析ケース①, t=8.58s)

表 6-12 漂流物対策工戸当り（RC支柱）のせん断力照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -D (--)	①	4600	0.37	0.82	0.451

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

a. 曲げ軸力照査

漂流物対策工基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-8 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-13 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

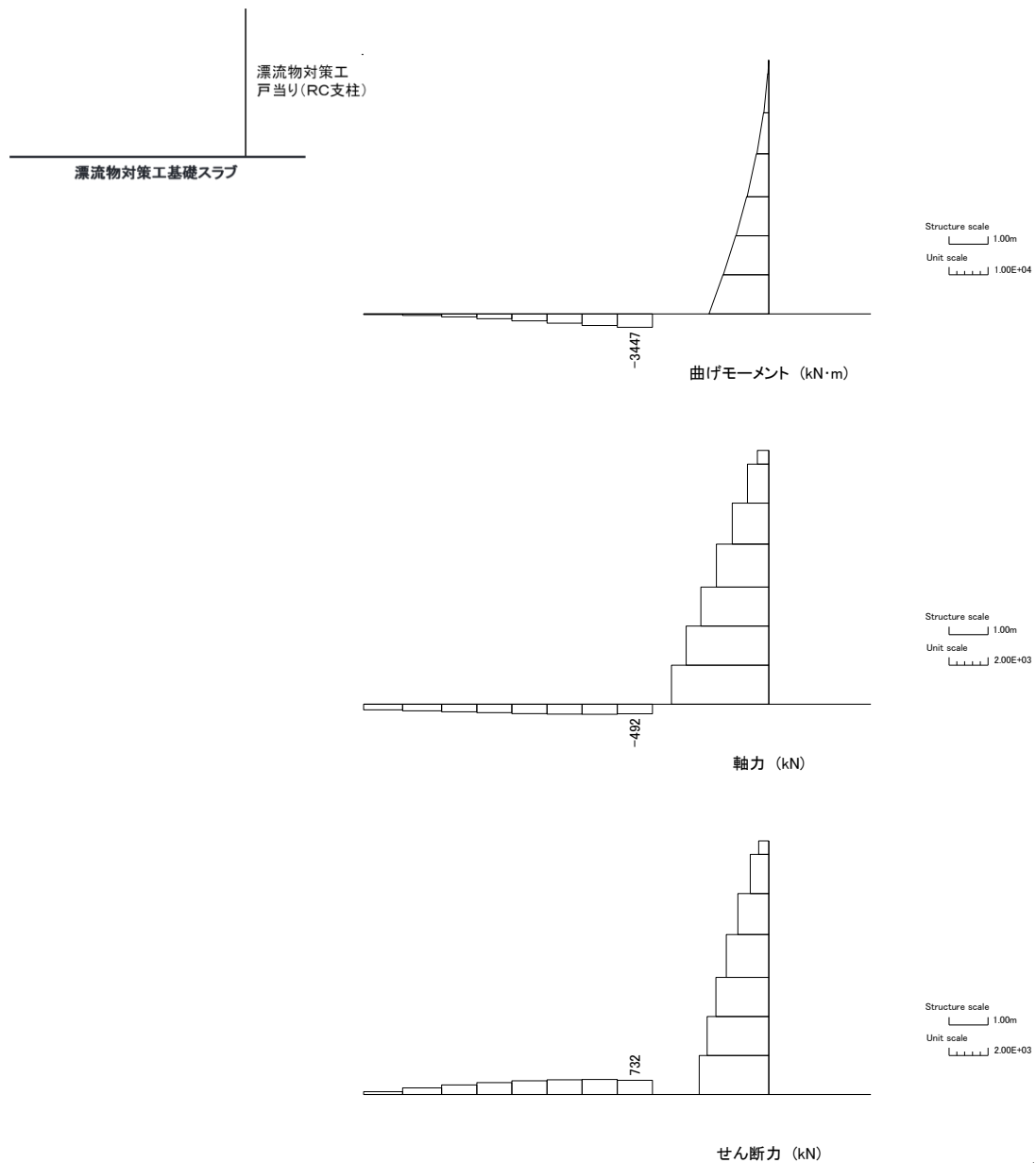


図 6-8 漂流物対策工基礎スラブの曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (+ -) , 解析ケース①, t = 18.93s)

表 6-13(1) 漂流物対策工基礎スラブの曲げ圧縮照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (+ -)	①	-3447	-492	1.5	21.0	0.072

表 6-13(2) 漂流物対策工基礎スラブの曲げ引張照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (+ -)	①	-3447	-492	42	294	0.144

b. せん断力照査

漂流物対策工基礎スラブのせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-9 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-14 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

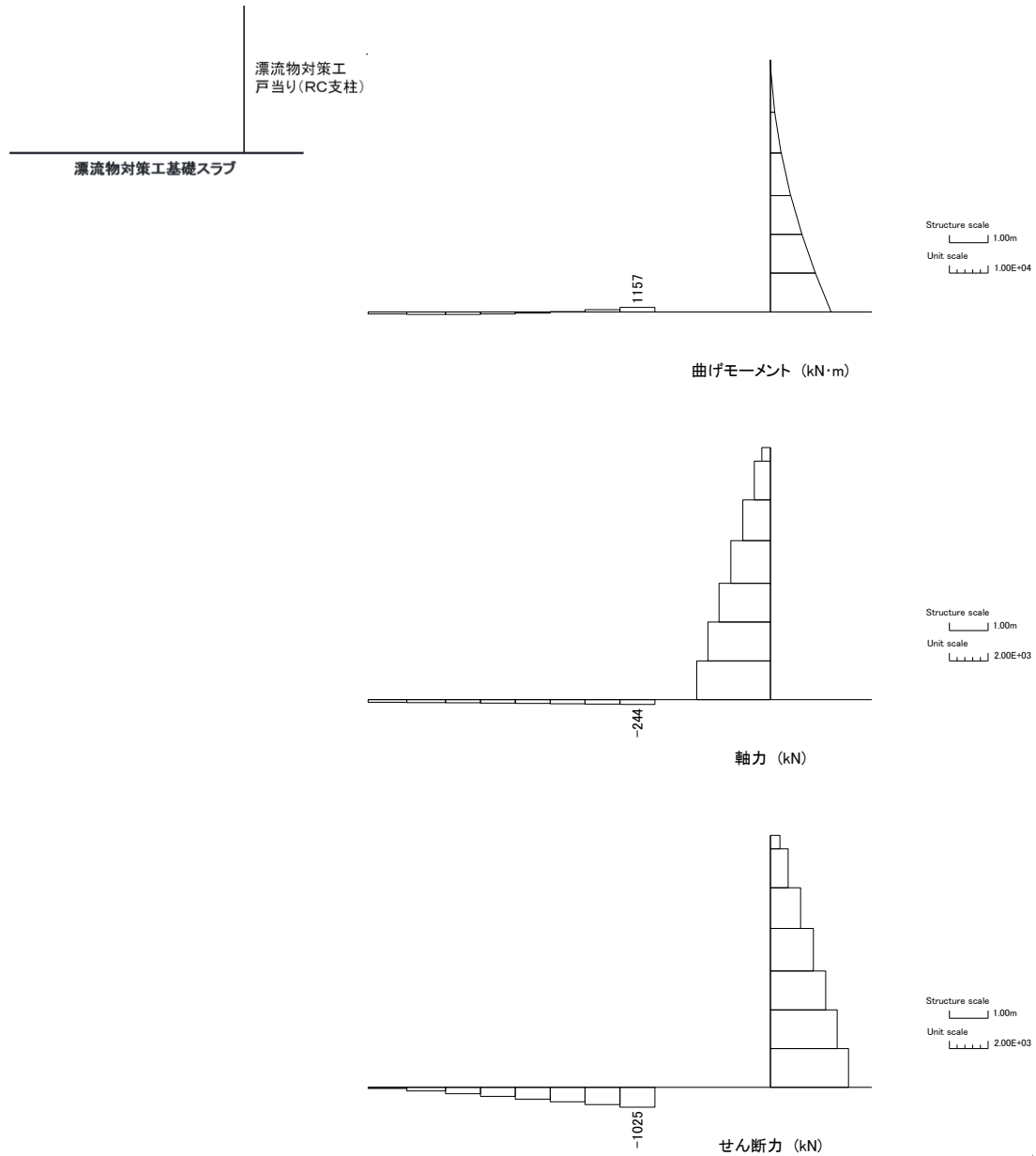


図 6-9 漂流物対策工基礎スラブのせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (+ -) , 解析ケース①, t=8.58s)

表 6-14 漂流物対策工基礎スラブのせん断力照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -D (+-)	①	1025	0.32	0.82	0.394

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-15 に、最大接地圧分布を図 6-10 に示す。
漂流物対策工の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度を下回ることを確認した。

表 6-15(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -D (+-)	①	0.8	18.0	0.044

表 6-15(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -D (--)	①	0.5	1.4	0.349

表 6-15(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -D (--)	①	2.0	9.8	0.207

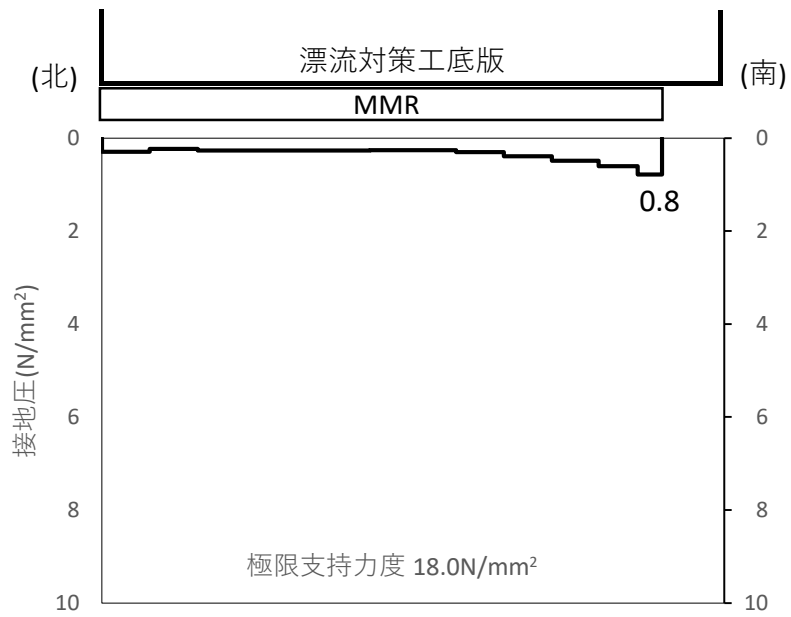


図 6-10(1) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (MMR)
(S s - D (+ -) , 解析ケース①)

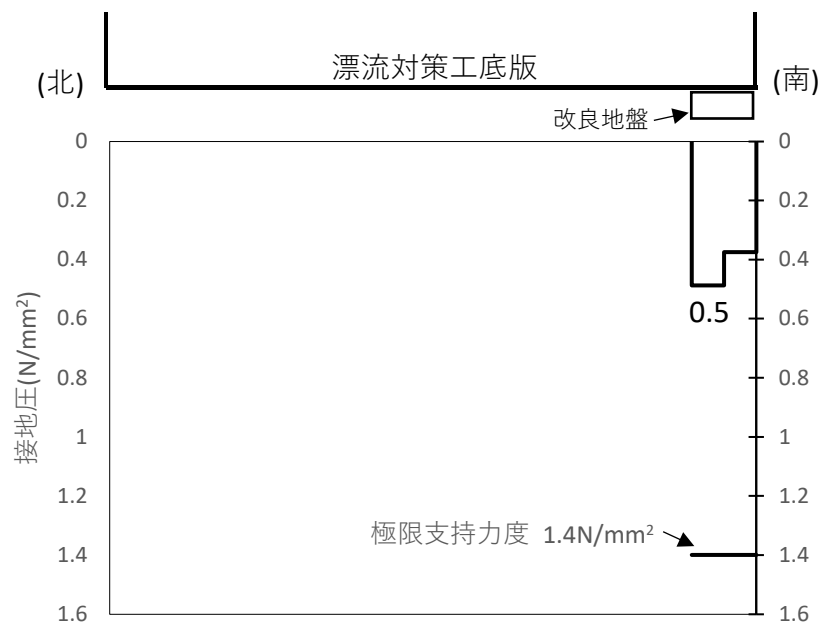


図 6-10(2) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (改良地盤)
(S s - D (- -) , 解析ケース①)

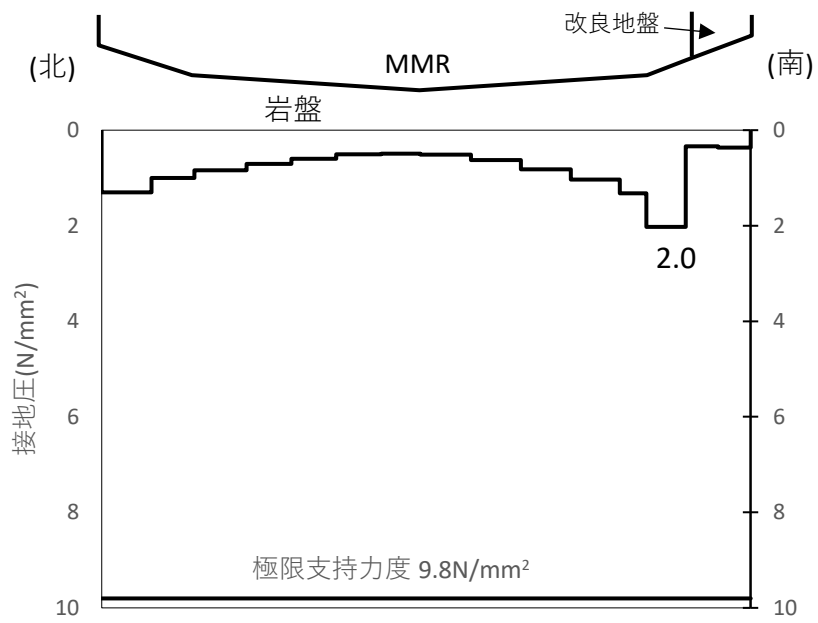


図 6-10(3) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (岩盤)
 (S s - D (- -) , 解析ケース①)

3. 防波壁通路防波扉（3号機東側）に関する耐震計算書

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	12
2.4	適用規格・基準等	18
3.	固有値解析	19
3.1	固有振動数の算出方法	19
3.1.1	解析モデルの設定	19
3.2	固有振動数の算出条件等	20
3.2.1	記号の説明	20
3.2.2	固有振動数の算出方法	20
3.2.3	固有振動数の計算条件	21
3.3	固有振動数の算出結果	21
4.	耐震評価	22
4.1	記号の定義	22
4.2	評価対象断面	30
4.3	解析方法	32
4.3.1	施設	32
4.3.2	減衰係数	32
4.3.3	解析ケース	33
4.4	荷重及び荷重の組合せ	34
4.4.1	耐震評価上考慮する状態	34
4.4.2	荷重	34
4.4.3	荷重の組合せ	35
4.5	入力地震動	36
4.6	解析モデル及び諸元	49
4.6.1	解析モデル	49
4.6.2	使用材料及び材料の物性値	51
4.6.3	地盤の物性値	53
4.6.4	地下水位	53
4.7	評価対象部位	54
4.7.1	施設・地盤の健全性評価	54
4.7.2	基礎地盤の支持性能評価	54

4.8	許容限界	55
4.8.1	防波扉	55
4.8.2	漂流物対策工	59
4.9	評価方法	63
4.9.1	防波扉	63
4.9.2	漂流物対策工	77
5.	評価条件	93
6.	耐震評価結果	99
6.1	防波扉	99
6.2	漂流物対策工	115

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に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、防波壁通路防波扉（3号機東側）（以下「防波扉（3号機東側）」という。）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防波扉（3号機東側）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、地震応答解析により基礎地盤に発生した接地圧を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

防波扉（3号機東側）の位置図を図2-1に示す。



図2-1 防波扉（3号機東側）位置図

2.2 構造概要

防波扉（3号機東側）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とする。

防波扉は、入力津波高さ（EL 11.9m）に参照する裕度（0.64m）を加えた津波高さ（EL 12.6m）に対して、余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波扉（鋼製扉体）、戸当り（RC支柱）及び基礎スラブは、改良地盤を介して岩盤に支持される構造とし、防波扉（鋼製扉体）と戸当り（RC支柱）及び基礎スラブとの間には水密ゴム（側部水密ゴム及び底部水密ゴム）を設置し、止水性を確保する。また、防波扉基礎スラブにはグラウンドアンカを設置している。

防波扉（3号機東側）の構造概要図を図2-2及び図2-3に示す。

防波扉の構造図を図2-4及び図2-5に、防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図2-6に、水密ゴムの概念図を図2-7に示す。

漂流物対策工は、漂流物対策工（鋼製扉体）、戸当り（RC支柱）及び基礎スラブから構成され、マンメイドロック（以下「MMR」という。）を介して岩盤に支持される。

漂流物対策工の構造図を図2-8及び図2-9に、漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの概略配筋図を図2-10に示す。

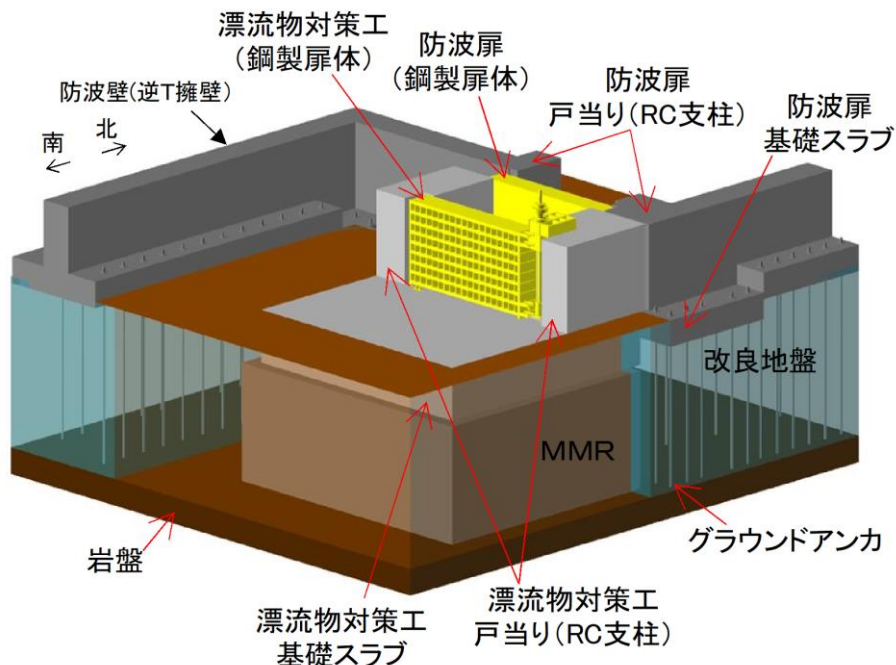


図2-2 防波扉（3号機東側）の構造概要図

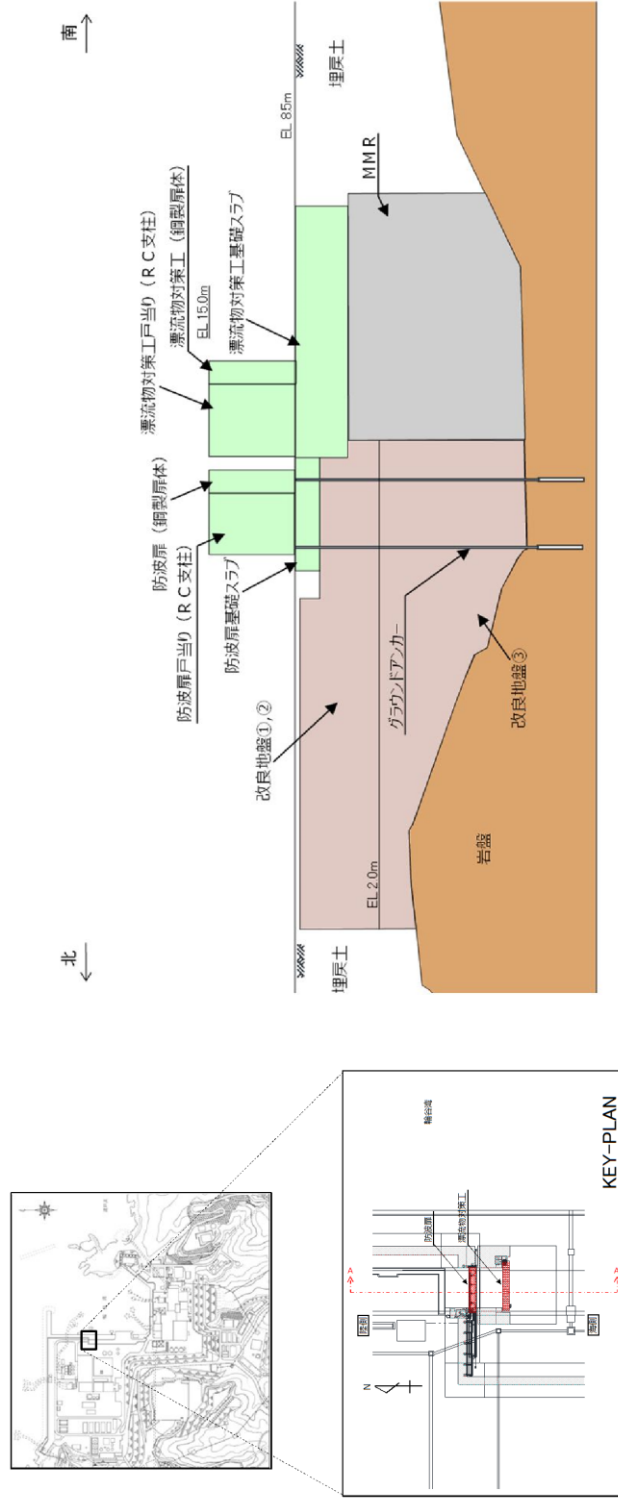


図 2-3 防波扉 (3号機東側) の構造概要図 (断面図)

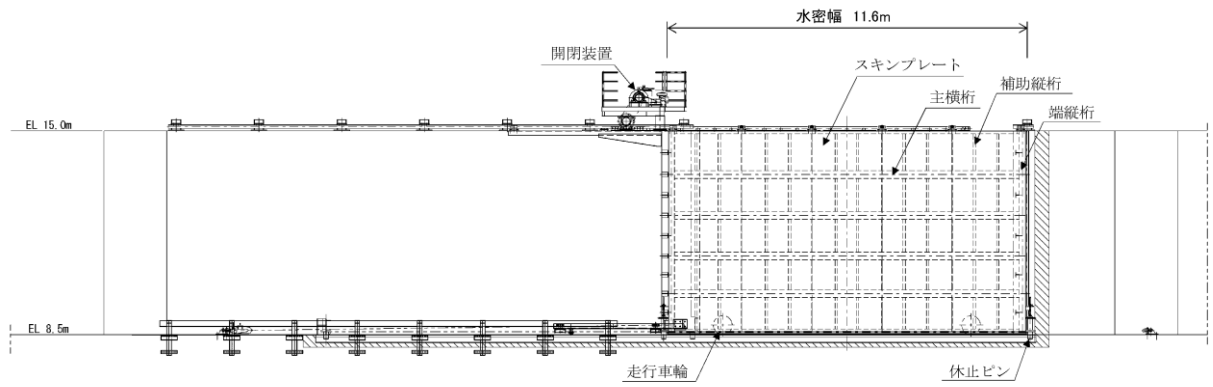


図 2-4(1) 防波扉の構造図 (鋼製扉体, 正面図)

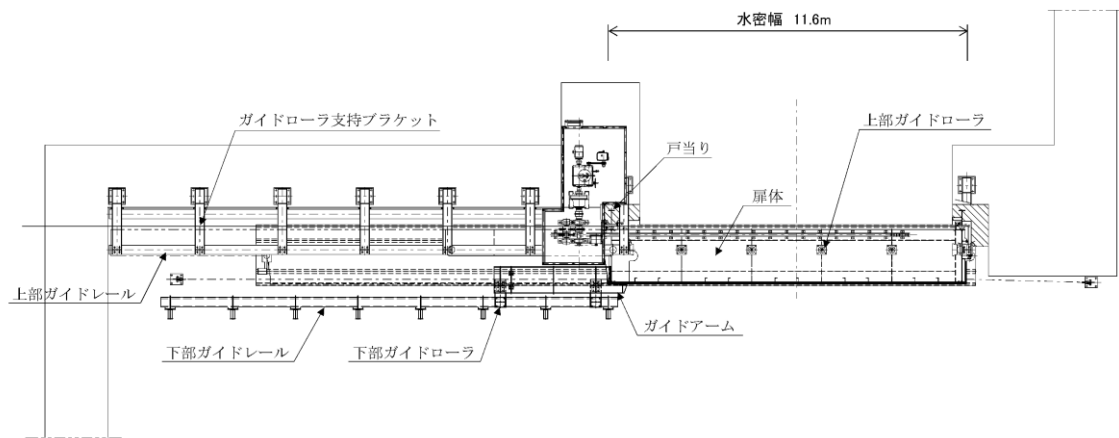


図 2-4(2) 防波扉の構造図 (鋼製扉体, 平面図)

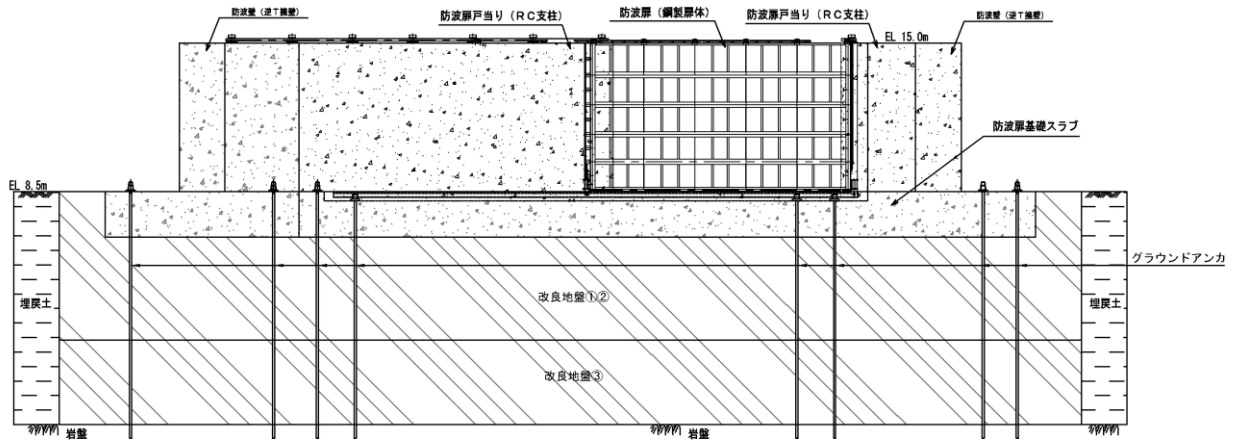


図 2-5(1) 防波扉の構造図 (基礎, 正面図)

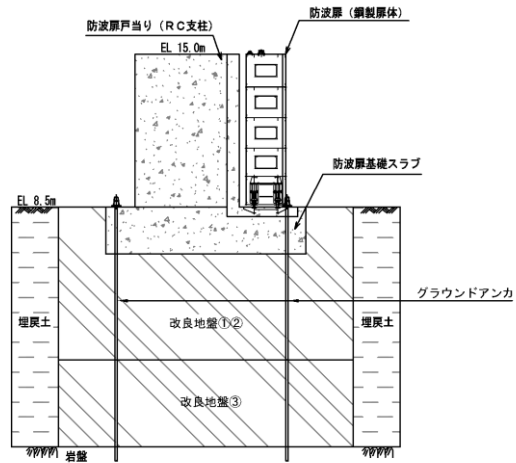


図 2-5(2) 防波扉の構造図 (基礎, 断面図)

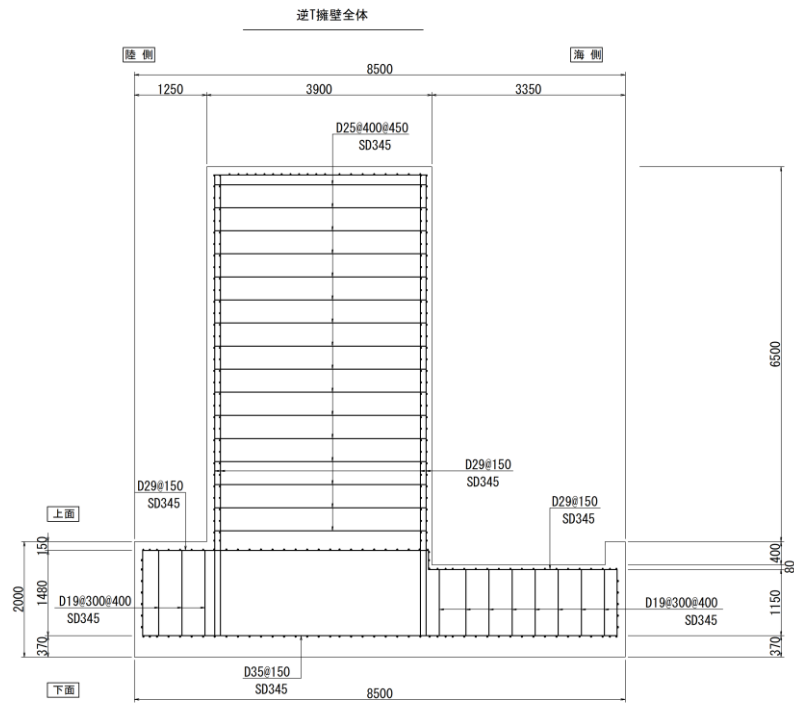


図 2-6(1) 防波扉戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブの概略配筋図

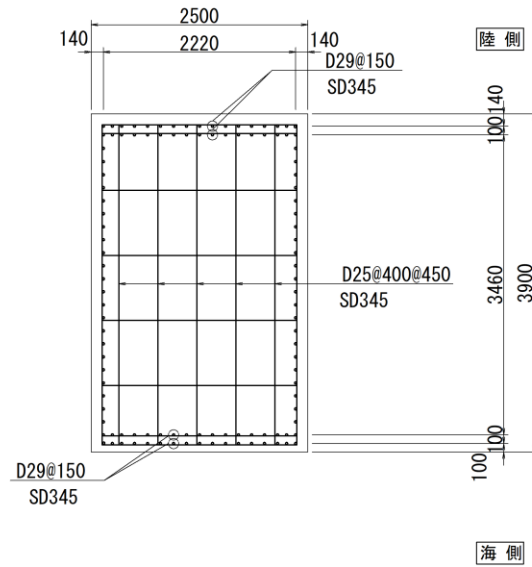
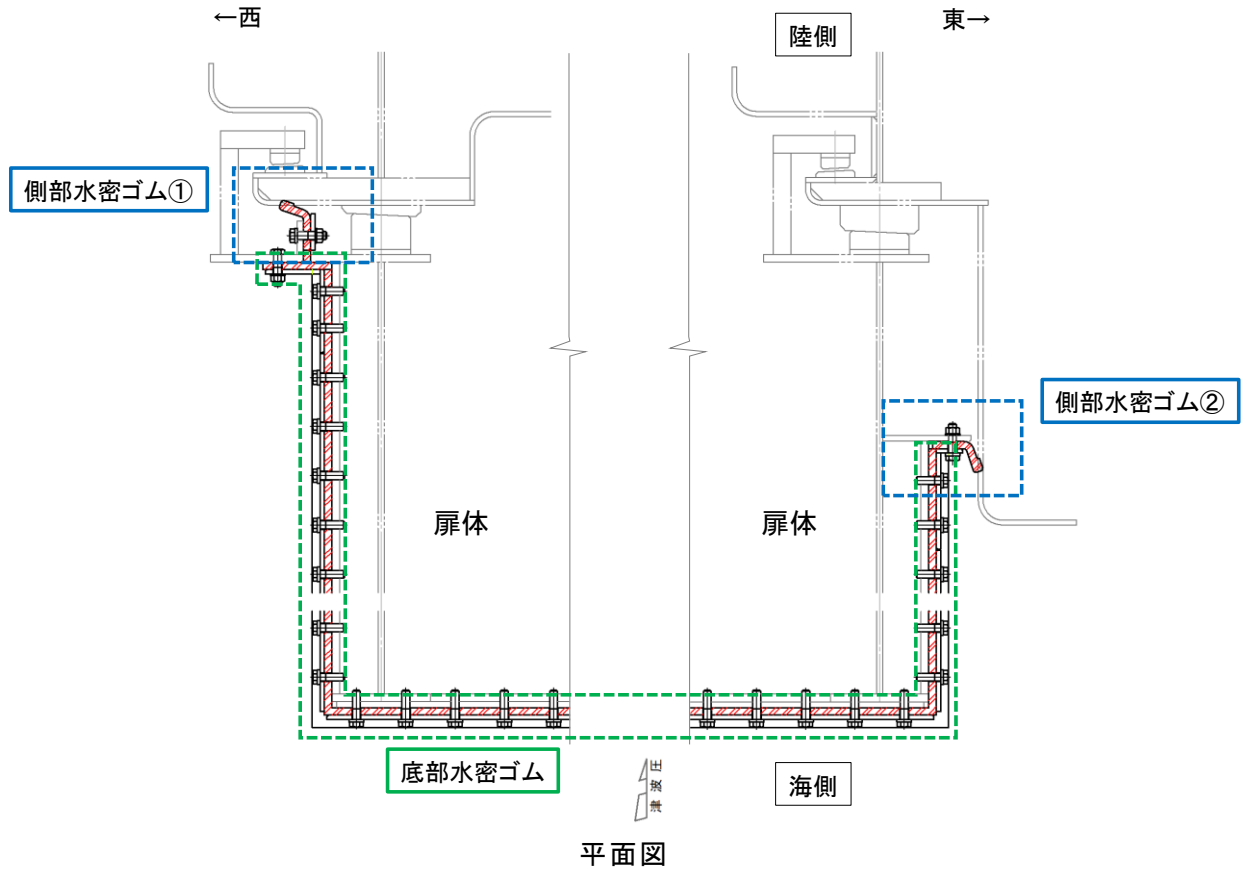
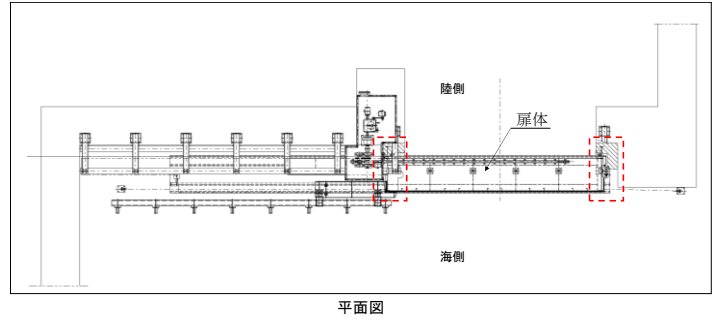
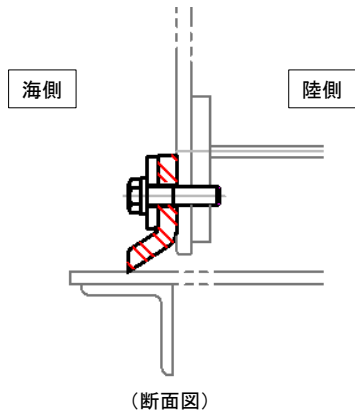


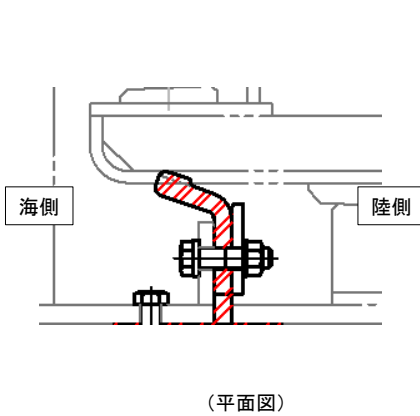
図 2-6(2) 防波扉戸当り (RC 支柱) の概略配筋図



底部水密ゴム



側部水密ゴム①



側部水密ゴム②

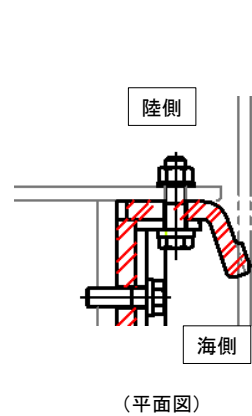


図 2-7 防波扉の水密ゴム概念図

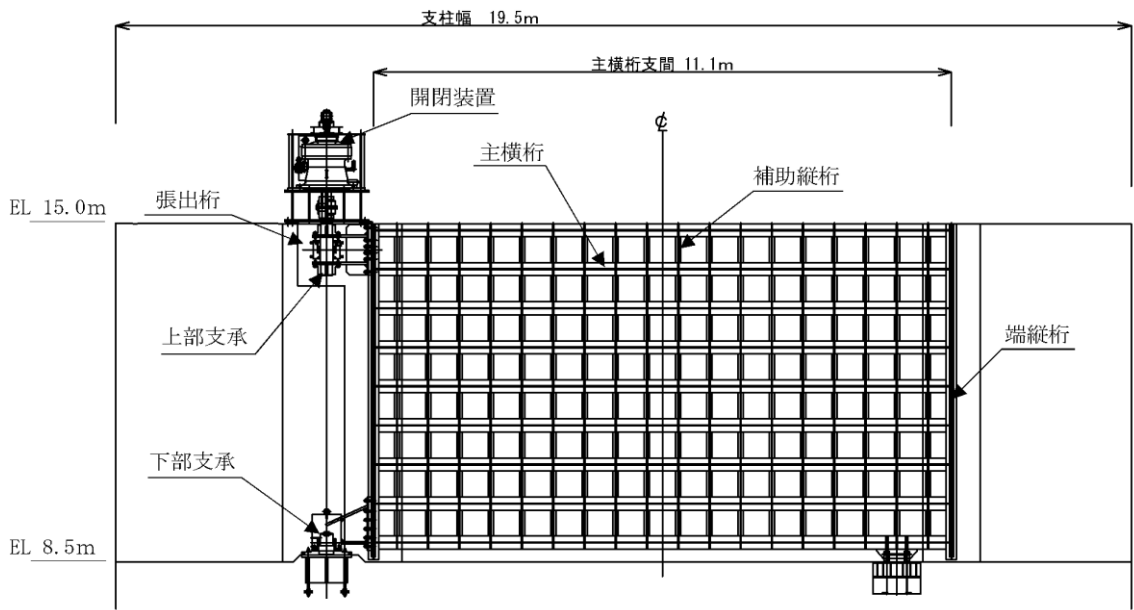


図 2-8(1) 漂流物対策工の構造図 (鋼製扉体, 正面図)

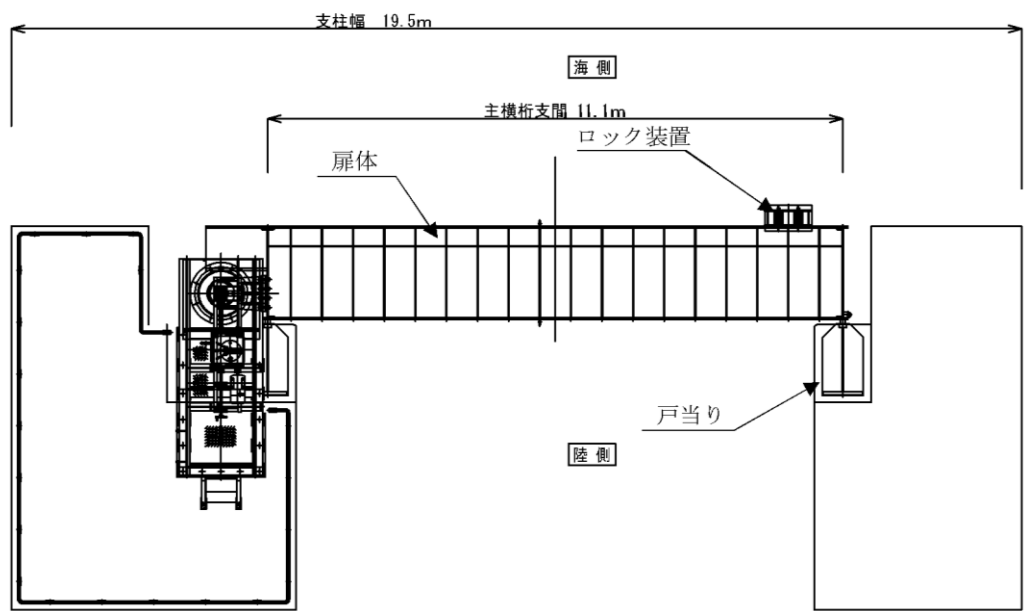


図 2-8(2) 漂流物対策工の構造図 (鋼製扉体, 平面図)

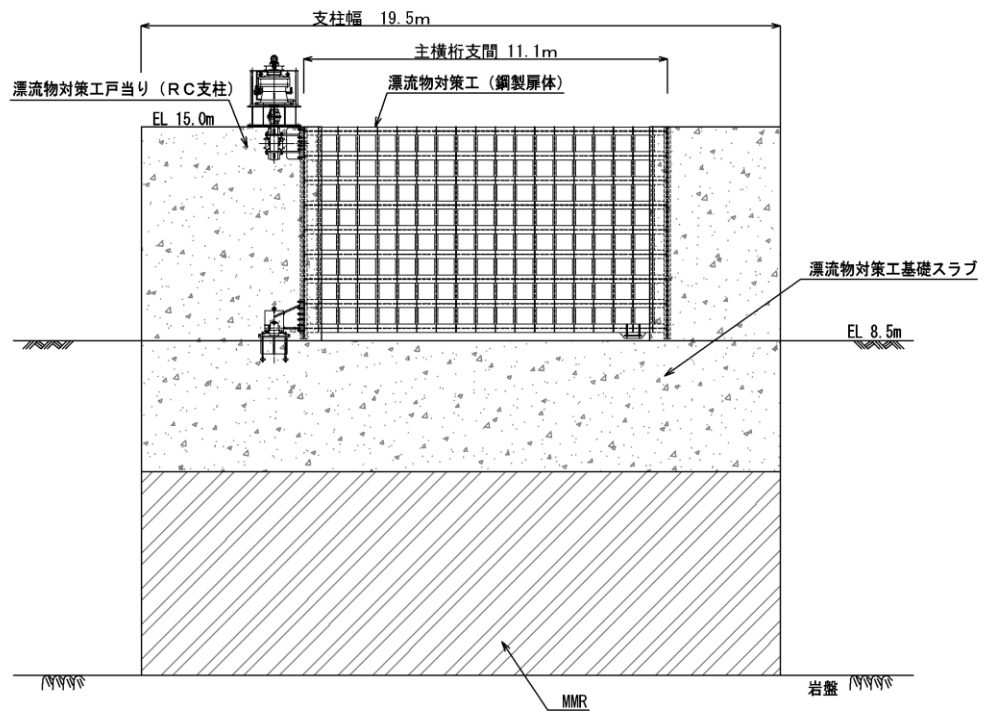


図 2-9(1) 漂流物対策工の構造図 (基礎, 正面図)

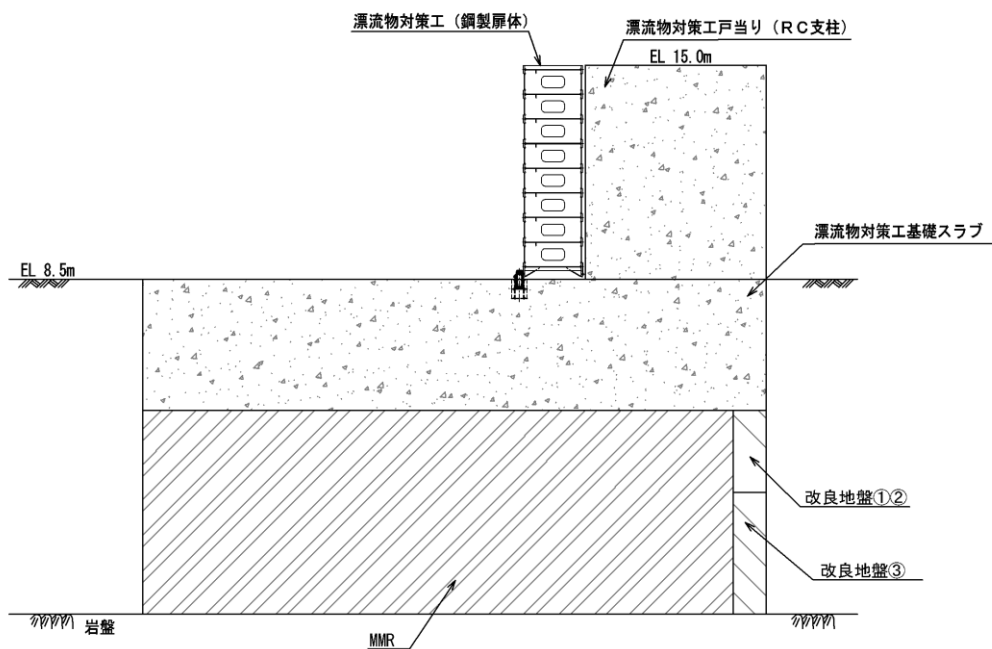


図 2-9(2) 漂流物対策工の構造図 (基礎, 断面図)

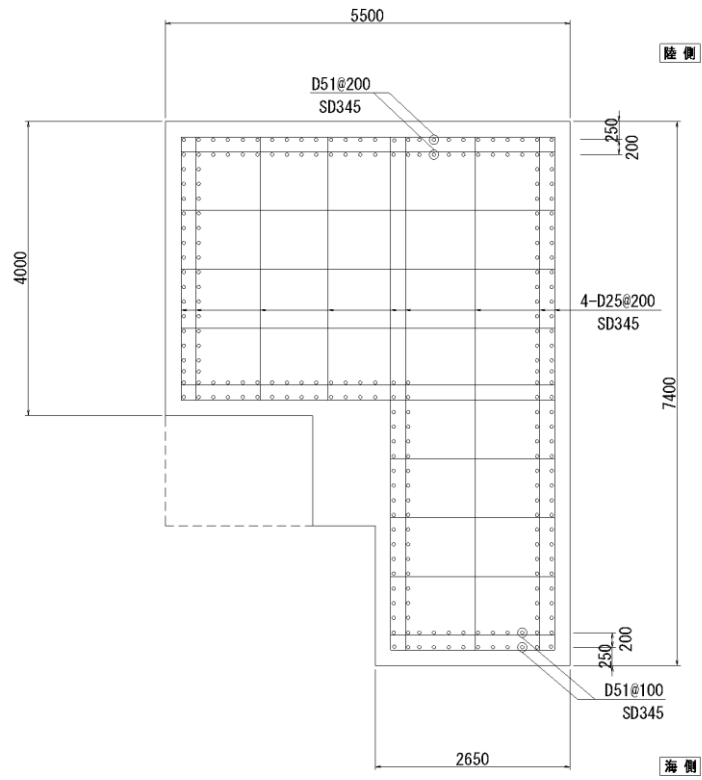


図 2-10(1) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）の概略配筋図

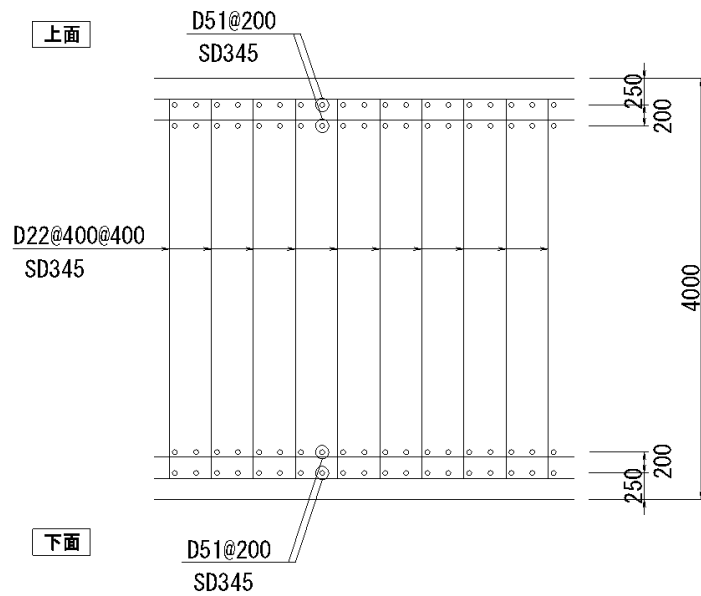


図 2-10(2) 漂流物対策工基礎スラブの概略配筋図

2.3 評価方針

防波扉（3号機東側）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。また、漂流物対策工により、防波扉に漁船等の漂流物が直接衝突しない構造とする。

防波扉（3号機東側）の各部位の役割及び性能目標を表2-1及び表2-2に示す。

防波扉（3号機東側）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設として、表2-3に示すとおり、施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力、すべり安全率）が許容限界以下であることを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

防波扉（3号機東側）の耐震評価フローを図2-11に示す。

表 2-1(1) 防波扉の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	防波扉 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・遮水性を保持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)を支持する。 ・津波荷重を基礎に伝達する。
	防波扉基礎 スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)及び防波扉戸当り(RC支柱)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉(鋼製扉体)及び防波扉戸当り(RC支柱)を支持する。
	グラウンド アンカ	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブ及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
地盤	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。 ・地盤中からの回り込みによる浸水を防止する(難透水性を保持する)。 ・津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉基礎スラブを鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波扉への相互作用を考慮する)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、防波扉への相互作用を考慮する)。

表 2-1(2) 漂流物対策工の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	漂流物対策工 (鋼製扉体)	—	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工(鋼製扉体)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させない。 ・漂流物対策工(鋼製扉体)を支持する。 ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を基礎に伝達する。
	漂流物対策工 基礎スラブ	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工(鋼製扉体)及び漂流物対策工戸当り(RC支柱)を支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工(鋼製扉体)及び漂流物対策工戸当り(RC支柱)を支持する。
地盤	MMR	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	改良地盤	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブを鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物衝突荷重及び津波荷重を岩盤に伝達する。
	岩盤	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブ並びにMMR又は改良地盤を鉛直支持する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・漂流物対策工基礎スラブ並びにMMR又は改良地盤を鉛直支持する。
	埋戻土	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、漂流物対策工への相互作用を考慮する)。 	<ul style="list-style-type: none"> ・役割に期待しない(解析モデルに取り込み、漂流物対策工への相互作用を考慮する)。

表 2-2(1) 防波扉の各部位の性能目標

部位	性能目標	鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (遮水性、難透水性)
施設	防波扉 (鋼製扉体)	-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。	防波扉から有意な漏えいを生じさせないために、弾性状態に留まること。
	防波扉戸当り (RC支柱)				
	防波扉基礎 スラブ				
地盤	グラウンド アンカ	-	-	防波扉及び改良地盤の滑動・転倒抑制のために設計アンカー力を確保すること。	防波扉 (鋼製扉体) の支持機能を喪失して防波扉 (鋼製扉体) との間から有意な漏えいを生じさせないために、弾性状態に留まること。
	改良地盤				
	岩盤				-

表 2-2(2) 漂流物対策工の各部位の性能目標

部位	性能目標	鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性
施設	漂流物対策工 (鋼製扉体)	-	-	-	防波扉に漁船等の漂流物を直接衝突させないために、漂流物対策工がおおむね弾性状態に留まること。
	漂流物対策工 戸当り (RC支柱)				
	漂流物対策工 基礎スラブ				
地盤	MMR	-	-	-	構造物材の健全性を保持するために、各部位がおおむね弾性状態に留まること。
	改良地盤				
	岩盤				-

表 2-3(1) 防波扉の評価項目

評価方針	評価項目	部位		評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	防波扉 (鋼製扉体)	主桁, 補助縦桁, 端縦桁, 支圧板, 戸当り, 走行車輪, 車輪戸当り, ガイドアーム, 休止ピン	発生する応力(曲げ・軸力, せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り (RC支柱)		発生する応力(曲げ・軸力, せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ		発生する応力(曲げ・軸力, せん断力及びグラウンドアンカによる支圧力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ		発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	設計アンカー力
		改良地盤		すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	防波扉 (鋼製扉体)	主桁, 補助縦桁, 端縦桁, 支圧板, 戸当り, 走行車輪, 車輪戸当り, ガイドアーム, 休止ピン	発生する応力(曲げ・軸力, せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉戸当り (RC支柱)		発生する応力(曲げ・軸力, せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		防波扉基礎スラブ		発生する応力(曲げ・軸力, せん断力及びグラウンドアンカによる支圧力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ		発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	設計アンカー力
		改良地盤		すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

表 2-3(2) 漂流物対策工の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	漂流物対策工（鋼製扉体）	主横桁，張出桁，補助縦桁，端縦桁，支承部，支承アンカー，ロック装置，戸当り	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工戸当り（RC支柱）	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度	
		漂流物対策工基礎スラブ	発生する応力（曲げ・軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度	
		改良地盤	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上	
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	

注記*：妥当な安全余裕を考慮する。

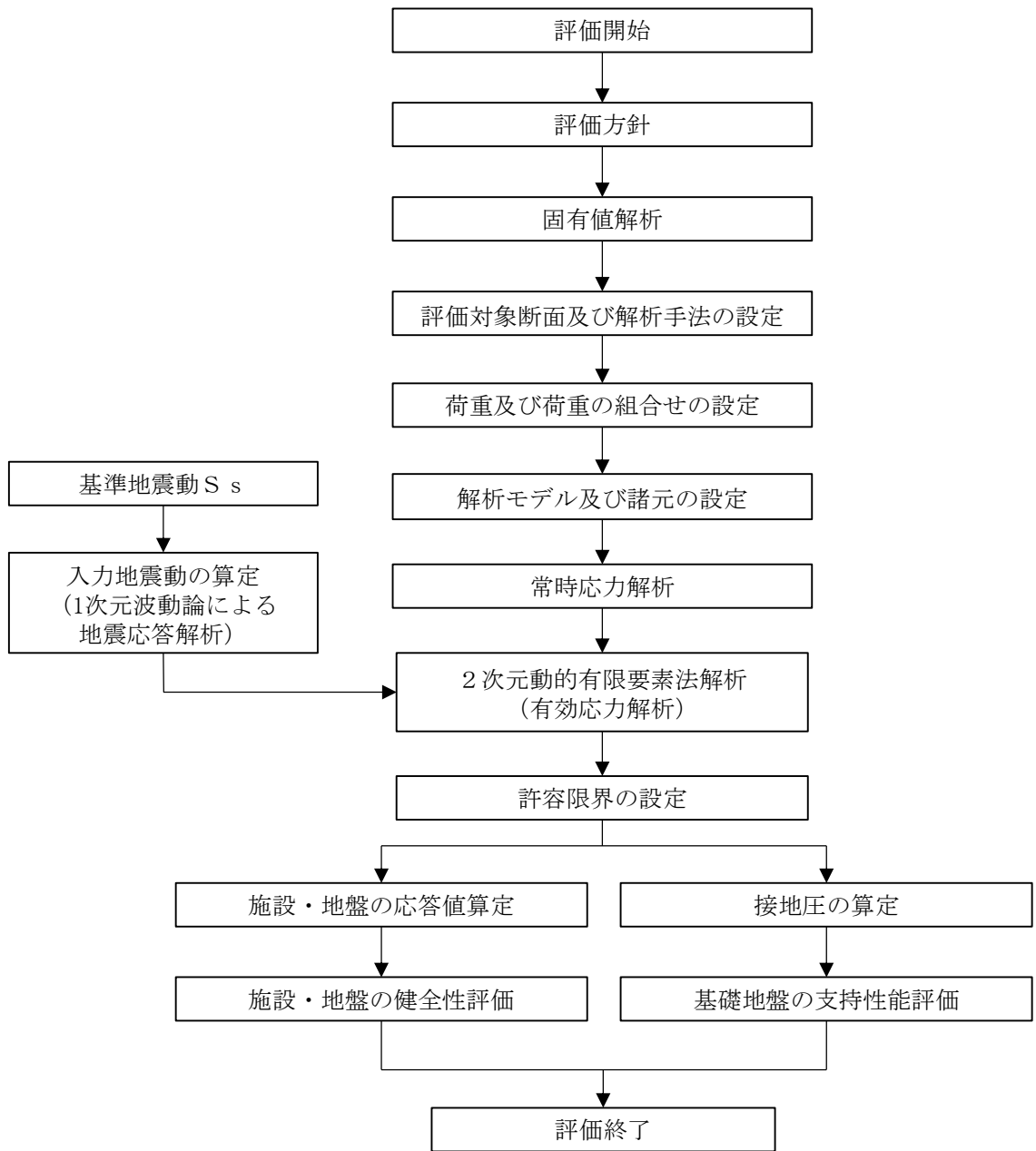


図 2-11 防波壁（3号機東側）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年)
- ・松江市建築基準法施行細則 (2005 年 3 月 31 日松江市規則第 234 号)
- ・日本機械学会 機械工学便覧
- ・ダム・堰施設技術基準 (案) (基準解説編・設備計画マニュアル編) (ダム・堰施設技術基準協会, 2016 年)
- ・道路橋示方書 (I 共通編・II 鋼橋編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 2002 年)
- ・グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説 (JGS4101-2012) (地盤工学会, 2012 年)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説 (日本港湾協会, 1999 年)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド (2013 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 (日本電気協会)
- ・港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター 平成 19 年 3 月)

3. 固有値解析

3.1 固有振動数の算出方法

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の構造に応じて解析モデルを設定し、1次固有振動数を算出する。

3.1.1 解析モデルの設定

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）は、左右端のRC支柱及びロック装置により扉体を支持する構造であることから、両端ヒンジ梁として計算する。解析モデル図を図3-1に示す。

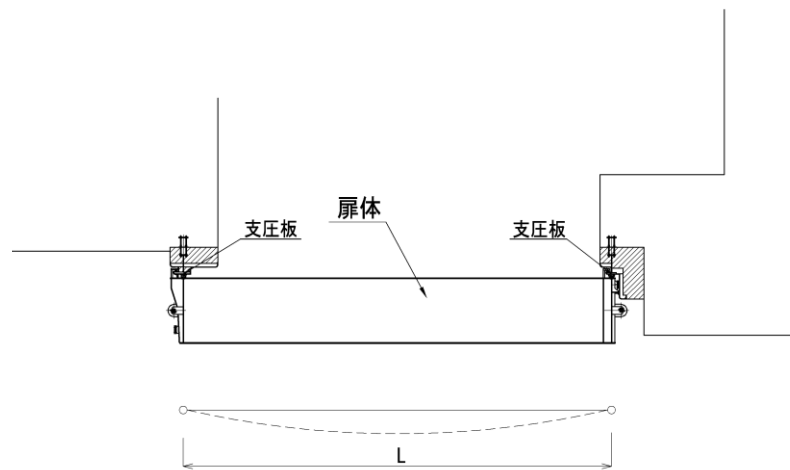


図3-1(1) 防波扉（鋼製扉体）の固有値解析モデル図

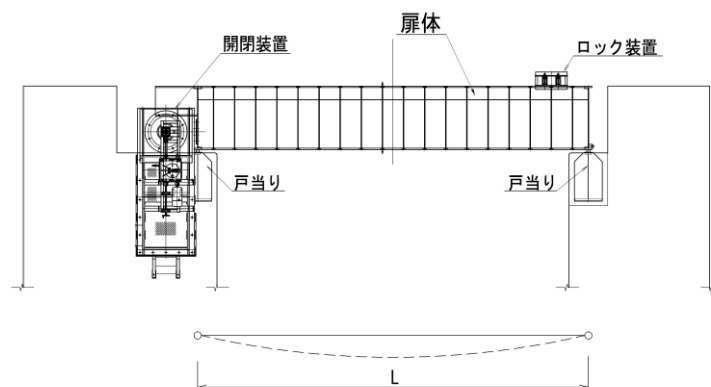


図3-1(2) 漂流物対策工（鋼製扉体）の固有値解析モデル図

3.2 固有振動数の算出条件等

3.2.1 記号の説明

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数算出に用いる記号を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	一次固有振動数
L	m	スパン長
λ	—	支持条件によって定まる係数
γ	kN/m ³	単位体積重量
A	m ²	断面積
E	kN/m ²	縦弾性係数
I	m ⁴	断面二次モーメント
g	m/s ²	重力加速度

3.2.2 固有振動数の算出方法

1 次固有振動数 f を「日本機械学会 機械工学便覧」に基づき以下の式より計算する。

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \cdot \sqrt{\frac{EIg}{\gamma A}}$$

3.2.3 固有振動数の計算条件

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の算出条件を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有振動数の計算条件

記号	定義	数値		単位
		防波扉 (鋼製扉体)	漂流物対策工 (鋼製扉体)	
L	スパン長	11.4	11.3	m
λ	支持条件によって定まる係数	3.14	3.14	—
γ	単位体積重量	77	77	kN/m ³
A	断面積	0.206	0.0466	m ²
E	縦弾性係数	2.00×10^8	2.00×10^8	kN/m ²
I	断面二次モーメント	0.143	0.0216	m ⁴
g	重力加速度	9.81	9.81	m/s ²

3.3 固有振動数の算出結果

防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数の算出結果を表 3-3 に示す。防波扉（鋼製扉体）及び漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数は 20Hz 以上であり、剛構造として扱う。

表 3-3 固有周期の計算結果

部位	固有振動数 (Hz)
防波扉（鋼製扉体）	50.8
漂流物対策工（鋼製扉体）	42.3

4. 耐震評価

4.1 記号の定義

耐震評価に用いる記号を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

表 4-1(1) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (1/4)

部材	記号	単位	定義
主桁	W	kN/m	主桁の負担荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	B	m	水密幅
	L	m	支圧板中心間
	M	kN・m	主桁の曲げモーメント
	S	kN	主桁のせん断力
	N	kN	主桁の軸力
	Z	mm ³	主桁の断面係数
	D	mm	側部水密幅
	A _w	mm ²	主桁の腹板断面積
	A _g	mm ²	主桁の断面積
	σ	N/mm ²	主桁の曲げ応力度
	τ	N/mm ²	主桁のせん断応力度
	σ _a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
補助縦桁	P	kN/m ²	補助縦桁の水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	a	m	補助縦桁間隔
	b	m	主桁間隔
	M	kN・m	補助縦桁の曲げモーメント
	S	kN	補助縦桁のせん断力
	Z	mm ³	補助縦桁の断面係数
	A _w	mm ²	補助縦桁の腹板断面積
	σ	N/mm ²	補助縦桁の曲げ応力度
	τ	N/mm ²	補助縦桁のせん断応力度
	σ _a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ _a	N/mm ²	許容せん断応力度
端縦桁	R	kN	主桁の支点反力
	A	mm ²	補剛材の有効断面積
	σ _c	N/mm ²	端縦桁の圧縮応力度
	σ _{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
支圧板	W _{gh}	kN/m	地震時慣性力
	W	N/mm ²	風荷重
	B	mm	扉体水密幅
	b	mm	支圧板の有効幅
	σ _p	N/mm ²	支圧板の支圧応力度
	σ _a	N/mm ²	許容支圧応力度

表 4-1(2) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (2/4)

部材	記号	単位	定義
戸当り	P	kN/m	戸当り水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	b_f	mm	戸当り底面フランジ幅
	t_f	mm	戸当り底面フランジ板厚
	B	mm	扉体の水密幅
	h	mm	戸当りの桁高
	L	mm	堰柱側面より戸当りフランジ端面までの深さ
	σ_b	N/mm ²	戸当り底面フランジの曲げ応力度
	σ_k	N/mm ²	戸当りコンクリートの支圧応力度
	τ_c	N/mm ²	戸当りコンクリートのせん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	σ_{cba}	N/mm ²	許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm ²	許容せん断応力度	
走行車輪	R_1	kN	海側車輪荷重
	R_2	kN	陸側車輪荷重
	W_g	kN	扉体自重
	W_{s1}	kN	扉体天端の積雪荷重
	W_{s2}	kN	ガイドアームの積雪荷重
	P	kN	車輪荷重
	E_1	N/mm ²	車輪の弾性係数
	E_2	N/mm ²	車輪踏面板の弾性係数
	B	mm	車輪有効踏面板幅
	R	mm	車輪半径
	C	mm	接触幅の 1/2
	M	N・mm	走行車輪軸の曲げモーメント
	S	N	走行車輪軸のせん断力
	A	mm ²	走行車輪軸の断面積
	Z	mm ³	走行車輪軸の断面係数
	L	mm	車輪受桁の支持間隔
	a	mm	車輪受桁の荷重載荷位置
	b	mm	車輪受桁の荷重載荷位置
	M_c	N・mm	車輪受桁の曲げモーメント
	S_b	N	車輪受桁のせん断力
	Z_1	mm ²	車輪受桁の断面係数
	A_w	mm ³	車輪受桁の腹板断面積
	p	N/mm ²	接触面圧応力度
	σ	N/mm ²	車輪軸の曲げ応力度
	τ	N/mm ²	車輪軸のせん断応力度
	σ	N/mm ²	車輪受桁の曲げ応力度
τ	N/mm ²	車輪受桁のせん断応力度	

表 4-1(3) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (3/4)

部材	記号	単位	定義
走行 車輪	σ_a	N/mm ²	許容接触面圧応力度
	σ_{a1}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_{a1}	N/mm ²	許容せん断応力度
	σ_{a2}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_{a2}	N/mm ²	許容せん断応力度
車輪 戸当り	P	kN	車輪荷重
	K	N/mm ²	車輪荷重直下のコンクリートの支圧応力度
	a	mm	コンクリートの応力度の分布長さの 1/2
	M	N・mm	車輪戸当りの曲げモーメント
	S	N	車輪戸当りのせん断力
	I	mm ⁴	車輪戸当りの断面 2 次モーメント
	B	mm	車輪戸当りの底面フランジ幅
	Z	mm ³	車輪戸当りの断面係数
	A _w	mm ²	車輪戸当りの腹板断面積
	M _f	N・mm	底面フランジの曲げモーメント
	σ	N/mm ²	車輪戸当りの曲げ応力度
	τ	N/mm ²	車輪戸当りのせん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	
ガイド アーム	P _v	kN・m	地震時鉛直荷重
	W _g	kN	扉体自重
	W _s	kN	積雪荷重
	M _m	kN・m	ガイドアームの曲げモーメント
	S _m	kN	ガイドアームのせん断力
	Z _c	mm ³	ガイドアームの断面係数
	A _w	mm ²	ガイドアームの腹板面積
	σ_c	N/mm ²	ガイドアームの曲げ応力度
	τ_c	N/mm ²	ガイドアームのせん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度	

表 4-1(4) 防波扉の耐震評価に用いる記号 (4/4)

部材	記号	単位	定義
休止 ピン	P_h	kN	休止ピンに作用する水平荷重
	W	kN	自重 (扉体自重+積雪荷重)
	M	$N \cdot mm$	休止ピンの曲げモーメント
	S	N	休止ピンのせん断力
	Z	mm^3	休止ピンの断面係数
	A	mm^2	休止ピンの断面積
	L_1	mm	休止ピンの片持ち梁長さ
	d	mm	休止ピンの径
	σ	N/mm^2	休止ピンの曲げ応力度
	τ	N/mm^2	休止ピンのせん断応力度
	σ_a	N/mm^2	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm^2	許容せん断応力度

表 4-2(1) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (1/4)

部材	記号	単位	定義
主横桁	M_1	kN・m	曲げモーメント
	S_1	kN	せん断力
	W	kN/m	地震時慣性力
	W'	kN/m	風荷重
	L	m	支間
	a	m	張り出し部
	L_1	m	扉体幅
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
張出桁	M_2	kN・m	曲げモーメント
	S_2	kN	せん断力
	W	kN/m	地震時慣性力
	W'	kN/m	風荷重
	L_2	m	張出長さ
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
補助縦桁	M_3	kN・m	曲げモーメント
	S_3	kN	せん断力
	W	kN/m	地震時慣性力
	W'	kN/m	風荷重
	ℓ	m	主横桁の間隔
	Z	mm ³	断面係数
	A_w	mm ²	腹板断面積
	σ	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度

表 4-2(2) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (2/4)

部材	記号	単位	定義
端縦桁	R	kN	主横桁の支点反力
	A_q	mm ²	補剛材の有効総断面積
	σ_c	N/mm ²	圧縮応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容圧縮応力度
上部 支承軸	M_4	kN・m	支承軸の曲げモーメント
	R_{H1}	kN	上部支承水平作用荷重
	L_4	m	支承軸支持間隔
	S_4	kN	支承軸のせん断力
	Z_4	mm ³	支承軸の断面係数
	A_4	mm ²	支承軸の断面積
	σ_b	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
下部 支承軸	M_5	kN・m	支承軸の曲げモーメント
	R_{H3}	kN	下部支承水平作用荷重
	L_5	m	支承軸片持ち梁長さ
	S_5	kN	支承軸のせん断力
	Z_5	mm ³	支承軸の断面係数
	A_5	mm ²	支承軸の断面積
	σ_b	N/mm ²	曲げ応力度
	τ	N/mm ²	せん断応力度
	σ_a	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
下部 支承 軸受	R_v	kN	下部支承鉛直作用荷重
	R	mm	軸受（壺金）の球面の半径
	E	N/mm ²	軸受（壺金）の弾性係数
	p	N/mm ²	軸受（壺金）の支圧応力度
	p_a	N/mm ²	許容接触応力度
支承軸受	R_2	kN	軸受け荷重
	C_{cr}	kN	基本静定格荷重

表 4-2(3) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (3/4)

部材	記号	単位	定義
上部支承 アンカー	F	kN	アンカーボルト 1 本当りの軸力
	R_{H1}	kN	上部支承水平作用荷重
	ℓ	mm	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離
	m	mm	アンカーボルトの間隔
	n	本	アンカーボルトの片側本数
	A_5	mm ²	アンカーボルトの断面積
	d	mm	アンカーボルト埋込深さ
	a, b	mm	アンカープレートの寸法
	c, e	mm	支圧板の寸法
	σ_t	N/mm ²	アンカーボルトの軸方向引張応力度
	σ_a	N/mm ²	許容軸方向引張応力度
	σ_{c1}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(アンカープレート)
	σ_{c2}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(支圧板)
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度(アンカープレート)
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
	τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度
下部支承 アンカー	F	kN	アンカーボルト 1 本当りの軸力
	R_{H3}	kN	下部支承水平作用荷重
	L_5	mm	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離
	2y	mm	アンカーボルトの間隔
	n	本	アンカーボルトの片側本数
	A_5	mm ²	アンカーボルトの断面積
	d	mm	アンカーボルト埋込深さ
	a, b	mm	アンカープレートの寸法
	c, e	mm	支圧板の寸法
	σ_t	N/mm ²	アンカーボルトの軸方向引張応力度
	σ_a	N/mm ²	許容軸方向引張応力度
	σ_{c1}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(アンカープレート)
	σ_{c2}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度(支圧板)
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度(アンカープレート)
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
	τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度

表 4-2(4) 漂流物対策工の耐震評価に用いる記号 (4/4)

部材	記号	単位	定義
ロック装置	M	kN・m	曲げモーメント
	R_r	kN	ロック反力
	a	m	ロックビームの片持ち梁長さ
	n	本	ロックビーム数
	Z	mm ³	ロックビームの断面係数
	S	kN	せん断力
	A	mm ²	ロックビームのせん断面積
	σ	N/mm ²	ロックビーム曲げ応力度
	τ	N/mm ²	ロックビームせん断応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	τ_a	N/mm ²	許容せん断応力度
戸当り	W	kN/m	水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)
	C	mm	支圧板の有効幅
	L_1	mm	扉体幅
	L_2	mm	主横桁の荷重分担長さ
	t_w	mm	腹板の厚さ
	b_f	mm	底面フランジの幅
	t_f	mm	底面フランジの厚さ
	ℓ_1	mm	戸当り深さ
	ℓ_2	mm	底面フランジのコンクリートまでの距離
	M_f	N・mm	底面フランジに作用する曲げモーメント
	$\Sigma \ell$	mm	せん断抵抗長さ ($=\ell_1+2\ell_2$)
	σ_p	N/mm ²	支圧板の支圧応力度
	σ_b	N/mm ²	腹板の支圧応力度
	σ_f	N/mm ²	底面フランジの曲げ応力度
	σ_{cb}	N/mm ²	コンクリートの支圧応力度
	τ_c	N/mm ²	コンクリートのせん断応力度
	σ_{pa}	N/mm ²	支圧板の許容支圧応力度
	σ_{ba}	N/mm ²	腹板の許容支圧応力度
	σ_{ca}	N/mm ²	許容曲げ応力度
	σ_{cba}	N/mm ²	コンクリートの許容支圧応力度
τ_{ca}	N/mm ²	コンクリートの許容せん断応力度	

4.2 評価対象断面

防波扉（3号機東側）の評価対象断面は，防波扉（3号機東側）の構造上の特徴を踏まえ，弱軸方向となる扉体直交方向に加振した場合の影響を評価する。防波扉（3号機東側）の評価対象断面位置図を図4-1に，縦断面図を図4-2に示す。

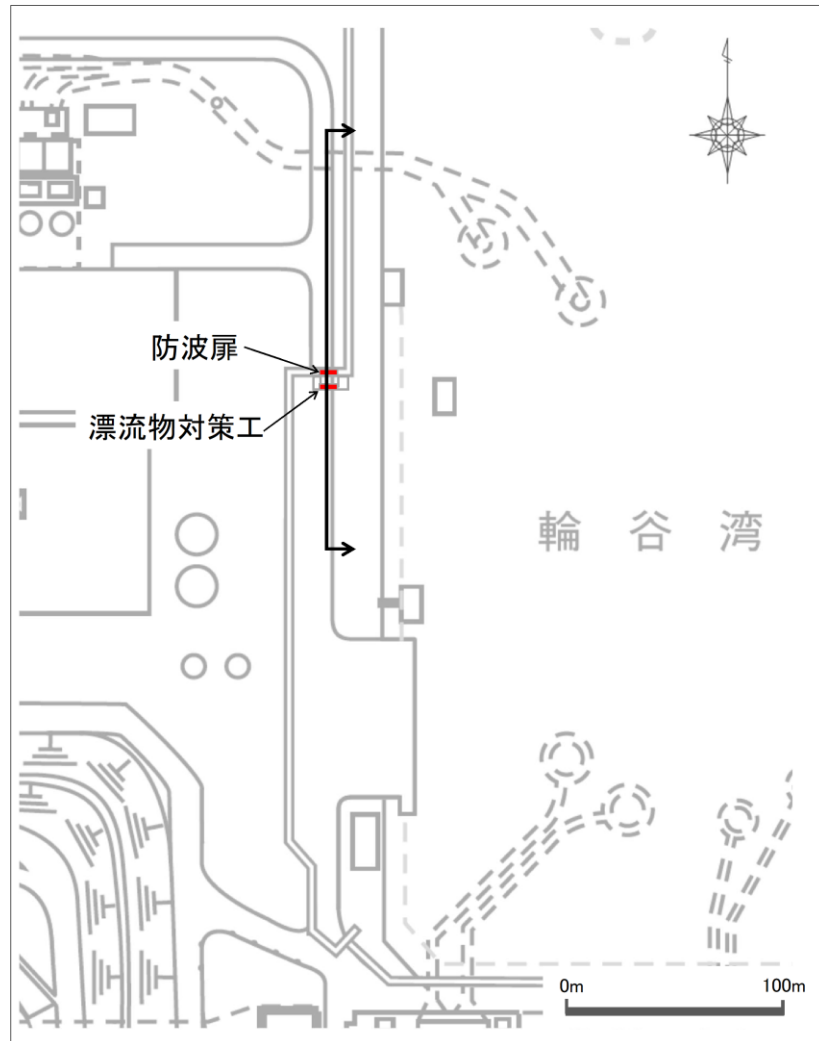


図4-1 防波扉（3号機東側）の評価対象断面位置図

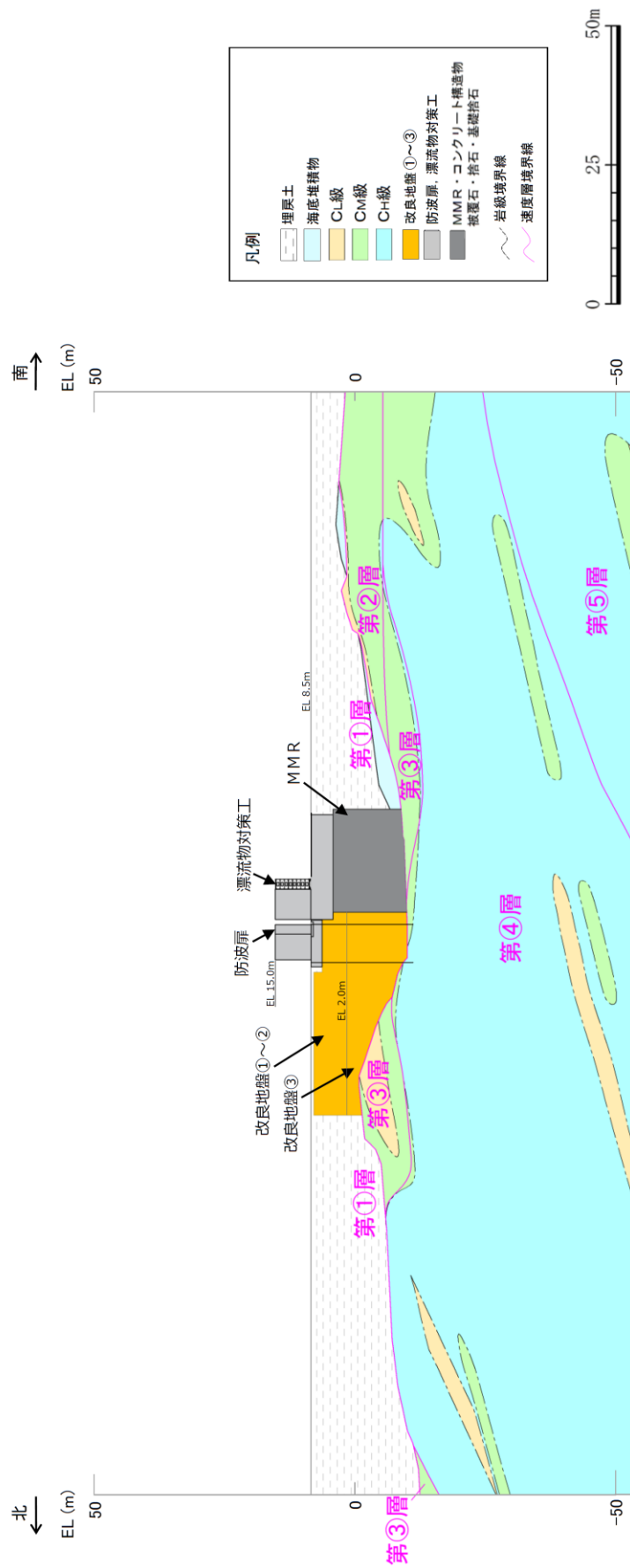


図 4-2 防波扉（3号機東側）の縦断面図

4.3 解析方法

防波扉（3号機東側）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法を用いて、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素、非線形ばね要素及び平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、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。

4.3.1 施設

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブは線形はり要素（ビーム要素）、グラウンドアンカは非線形ばね要素でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）でモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。漂流物対策工基礎スラブは、平面ひずみ要素（ソリッド要素）としてモデル化する。

4.3.2 減衰係数

Rayleigh 減衰を考慮することとし、剛性比例型減衰を設定する。

4.3.3 解析ケース

耐震評価においては、基準地震動 S_s 全波（6波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（6波）を加えた全12波を用いて、表4-3に示す解析ケース①（基本ケース）を実施する。

表4-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
		-+*	○
		+ -*	○
		--*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
		-+*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○
		-+*	○

注記*：地震動の位相について、（++）の左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

4.4 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」に基づき設定する。

4.4.1 耐震評価上考慮する状態

防波扉（3号機東側）の地震応答解析において，地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉が運転状態にあり，通常の条件下におかれている状態。ただし，運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪及び風の荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

4.4.2 荷重

防波扉（3号機東側）の地震応答解析において，考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として，躯体自重（鋼製扉体を含む）を考慮する。

(2) 固定荷重（G_a）

固定荷重として，グラウンドアンカの初期緊張力を考慮する。

(3) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重は，発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より，観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮した35.0cmとする。積雪荷重については，松江市建築基準法施行細則により，積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 風荷重（P_k）

平成12年5月31日建設省告示第1454号に定められた松江市の基準風速30m/sを使用する。浸水防護施設が設置される状況に応じて，建築基準法及び建設省告示第1454号に基づき，ガスト影響係数等を適切に設定して算出する。

(5) 地震荷重（S_s）

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

4.4.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	$G + G_a + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

G_a : グラウンドアンカの初期緊張力

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震時荷重

4.5 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

図 4-3 に入力地震動算定の概念図を、図 4-4～図 4-15 に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

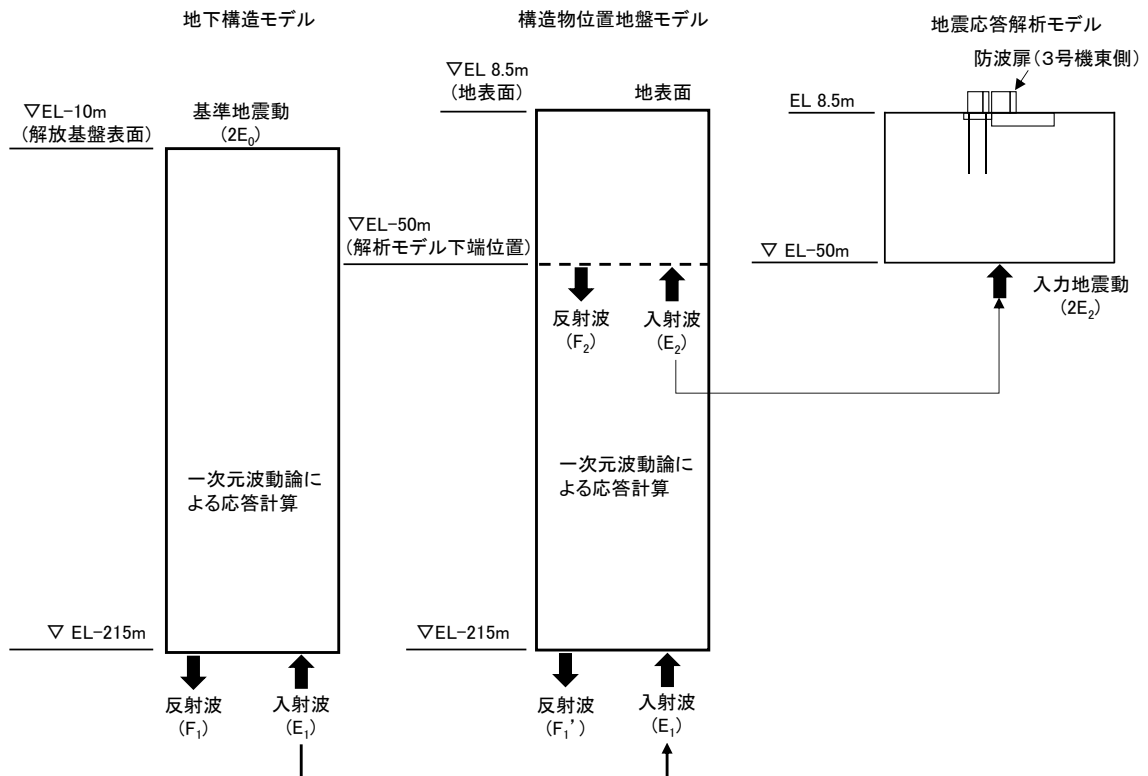
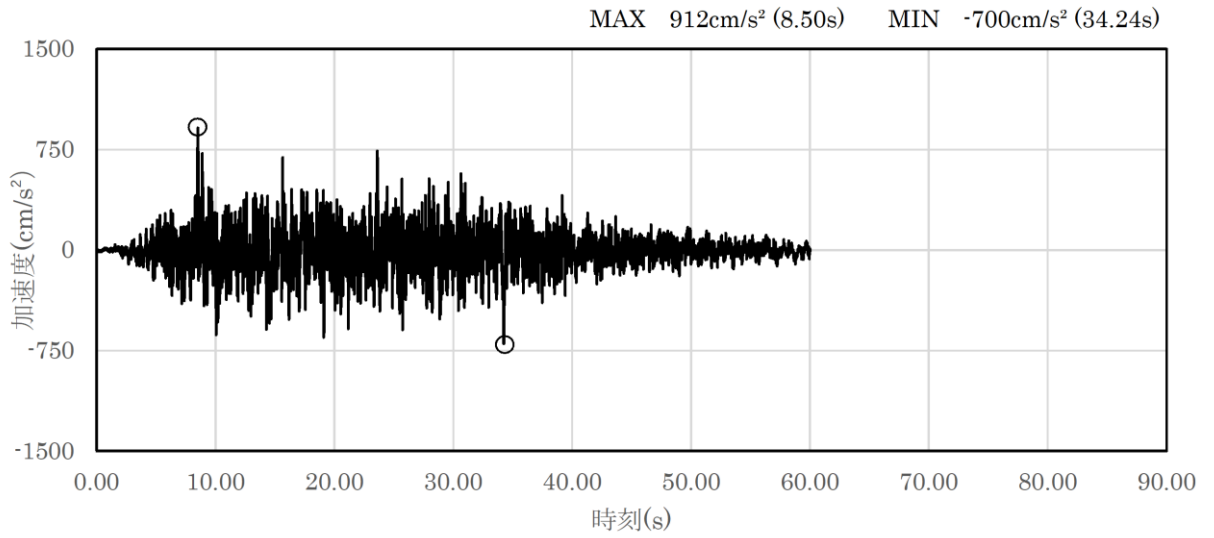
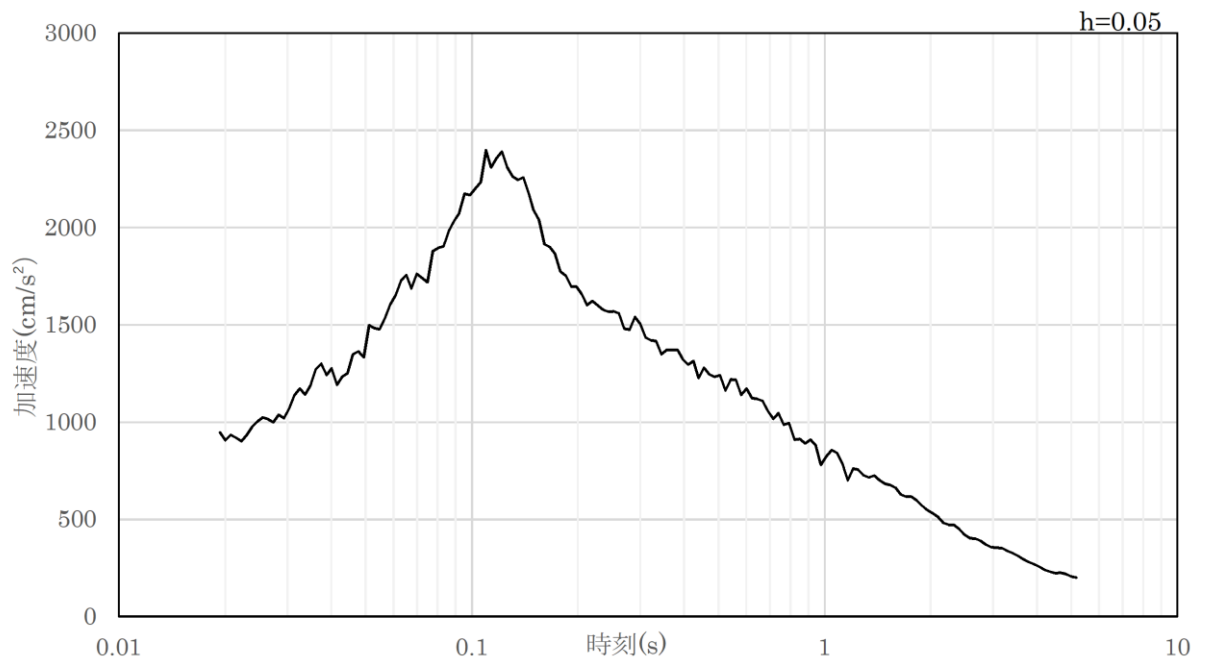


図 4-3 入力地震動算定の概念図

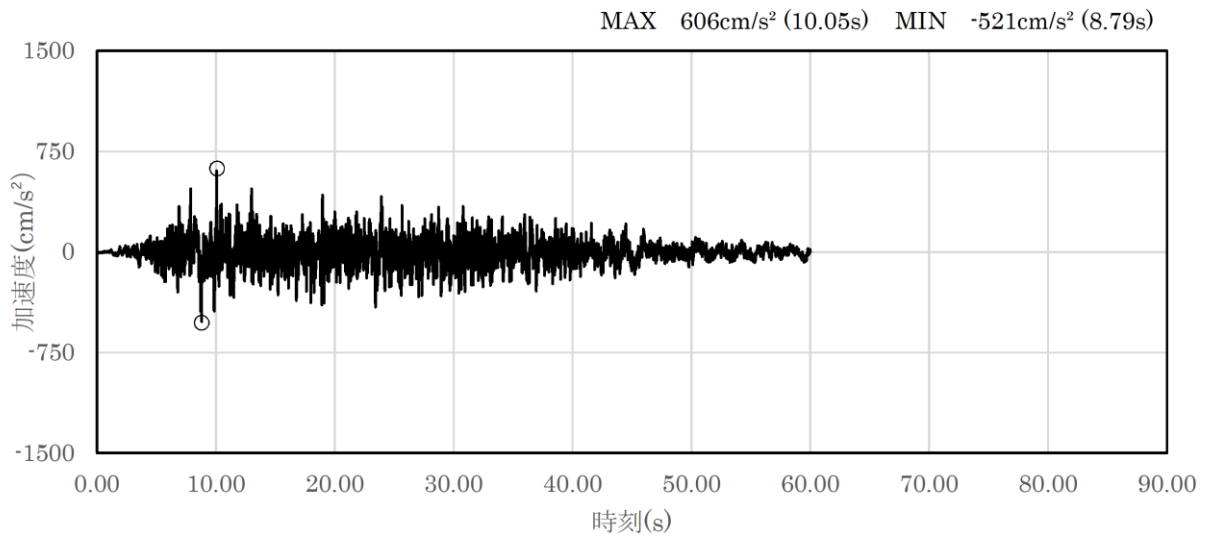


(a) 加速度時刻歴波形

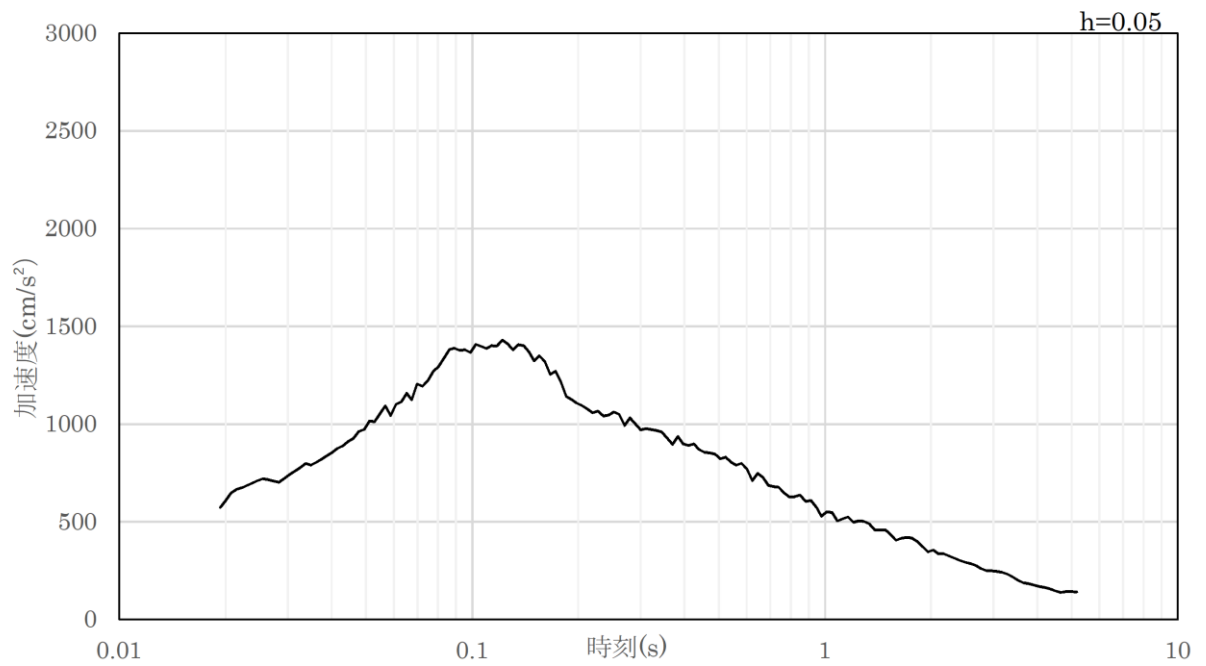


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D)

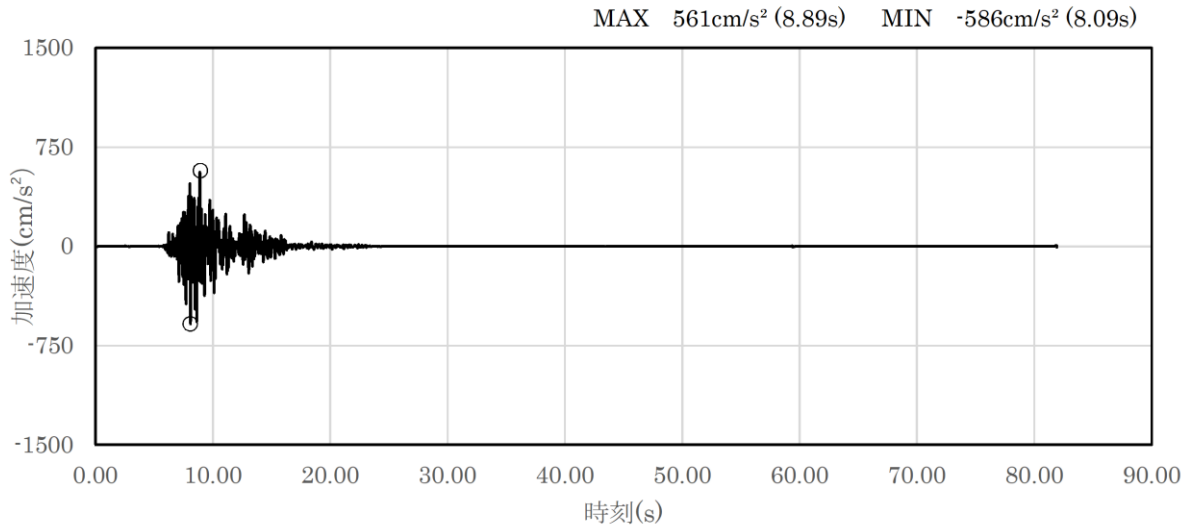


(a) 加速度時刻歴波形

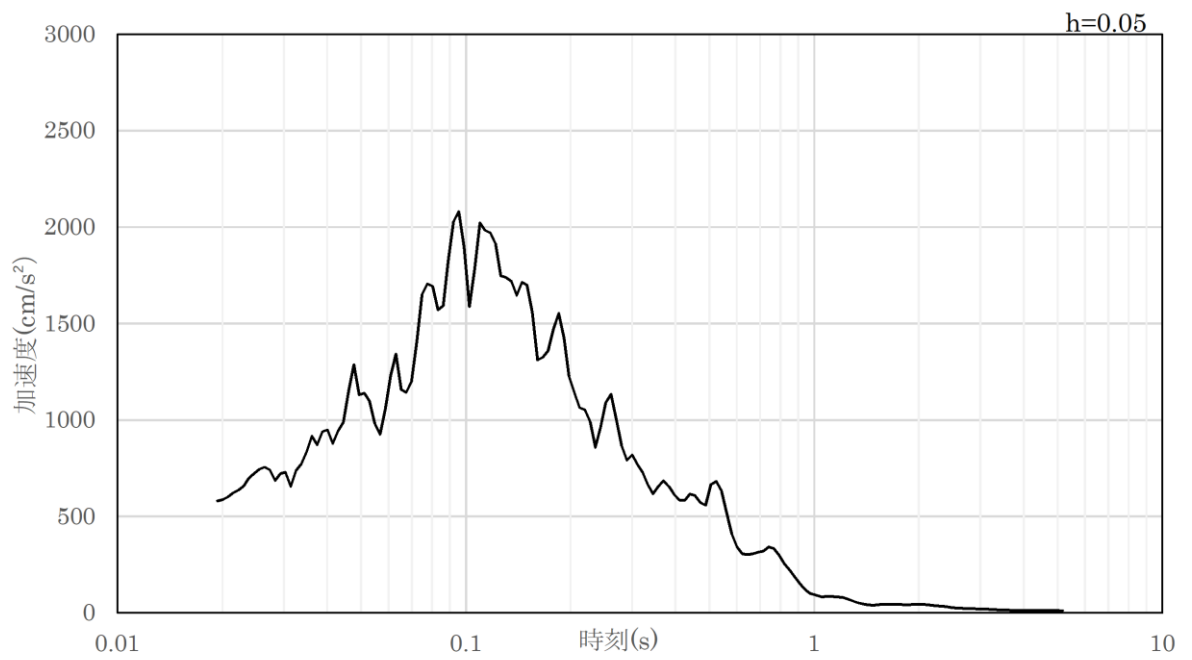


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D)

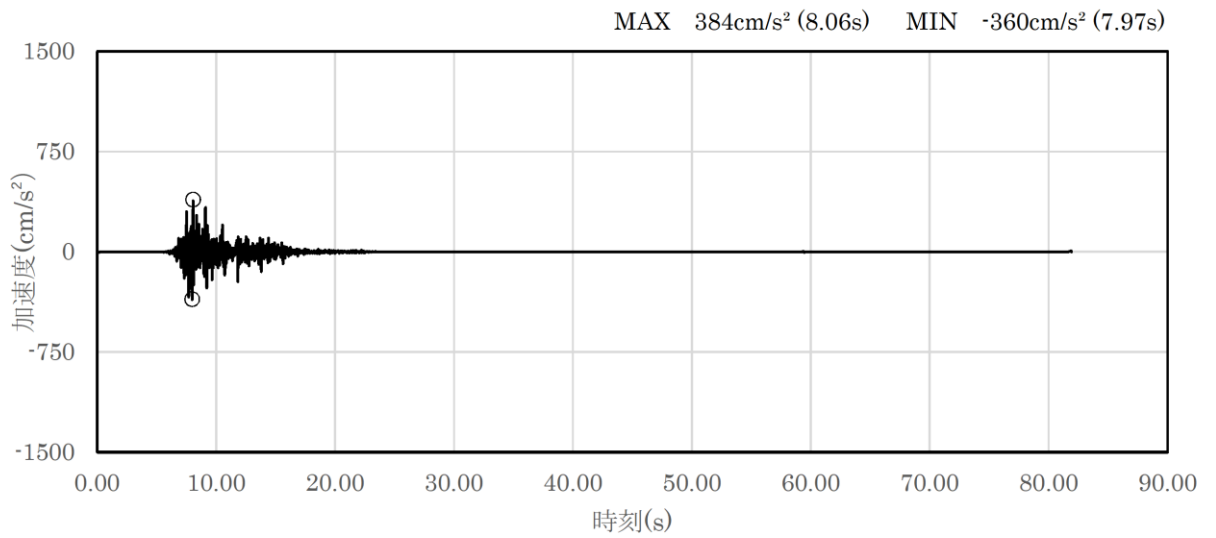


(a) 加速度時刻歴波形

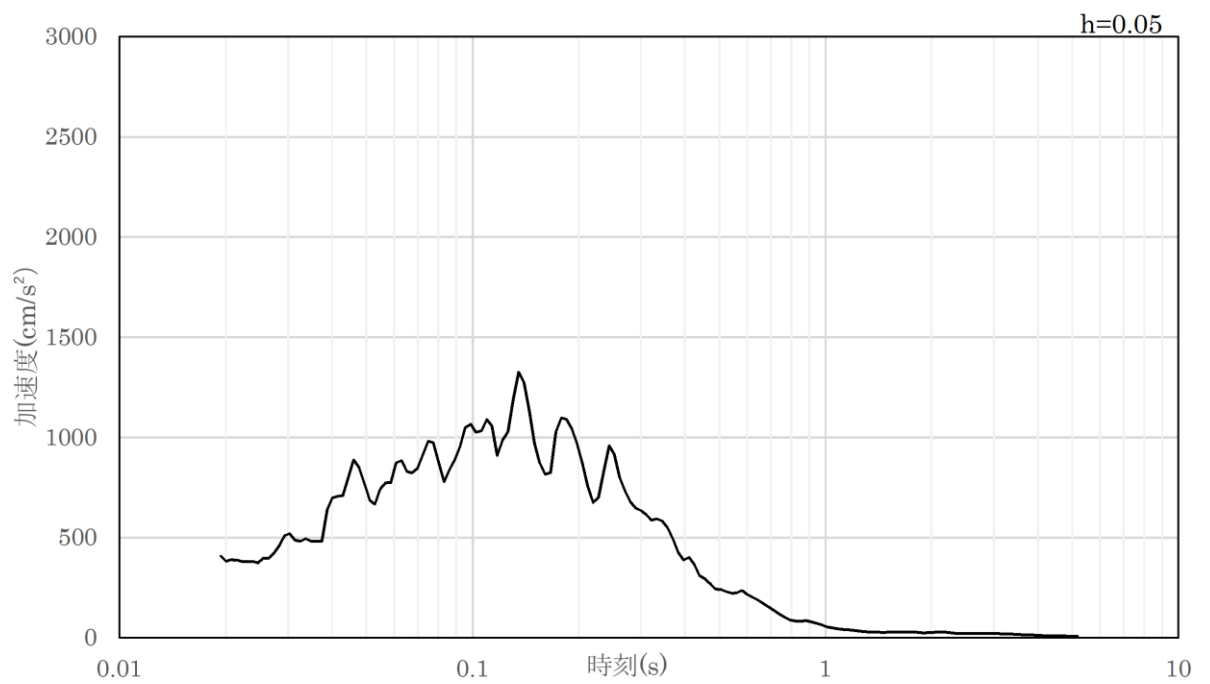


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 1)

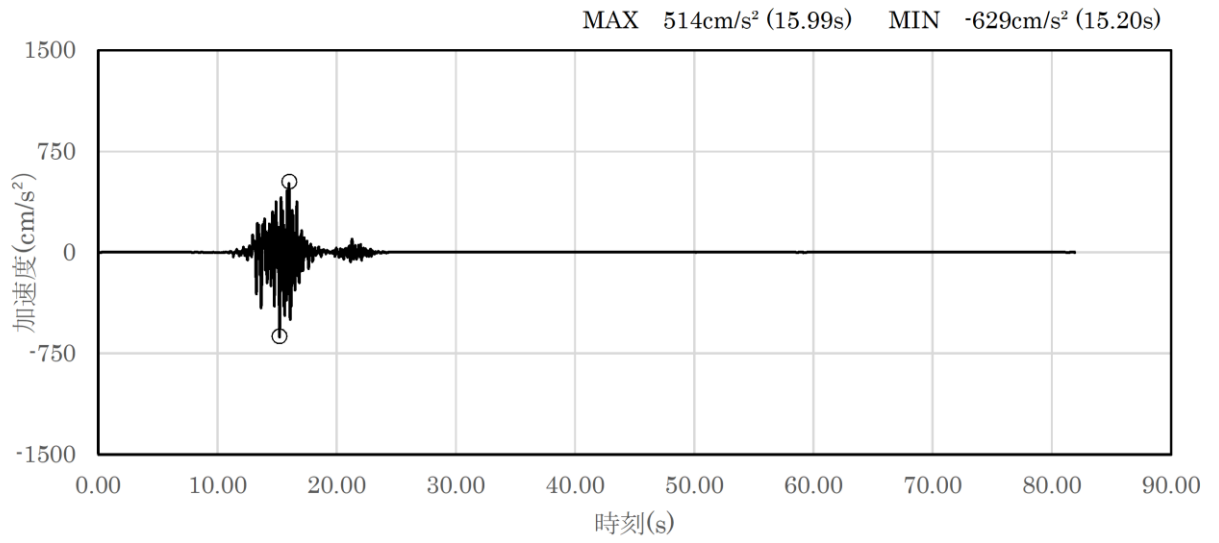


(a) 加速度時刻歴波形

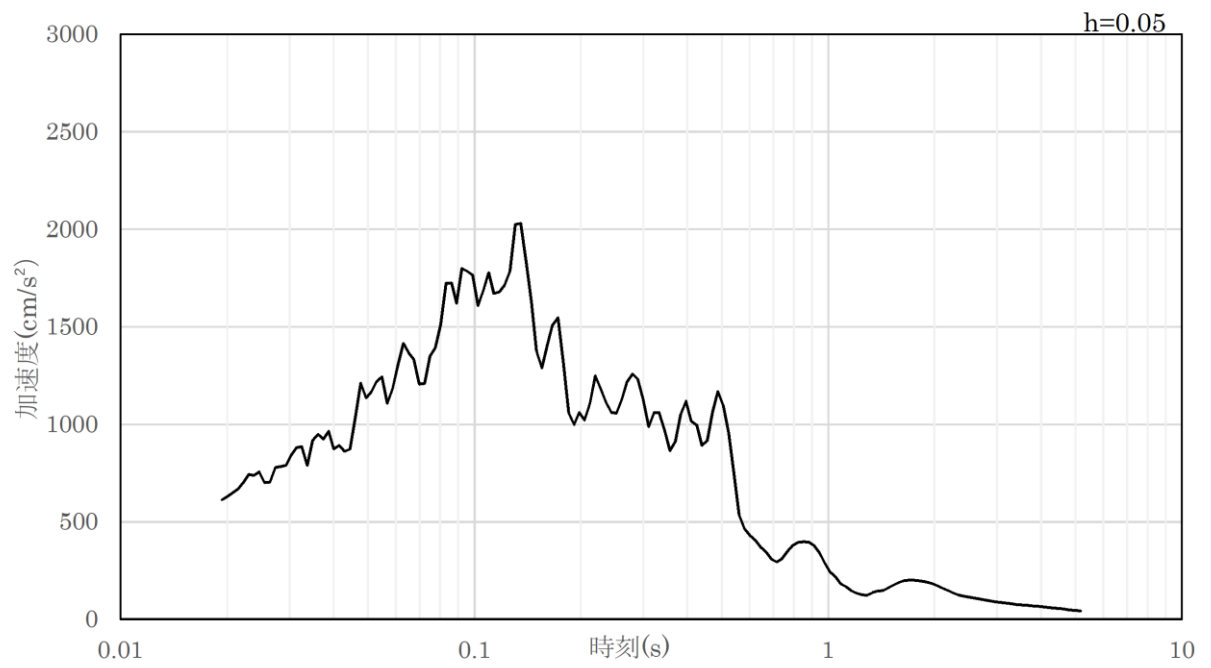


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - F 1)

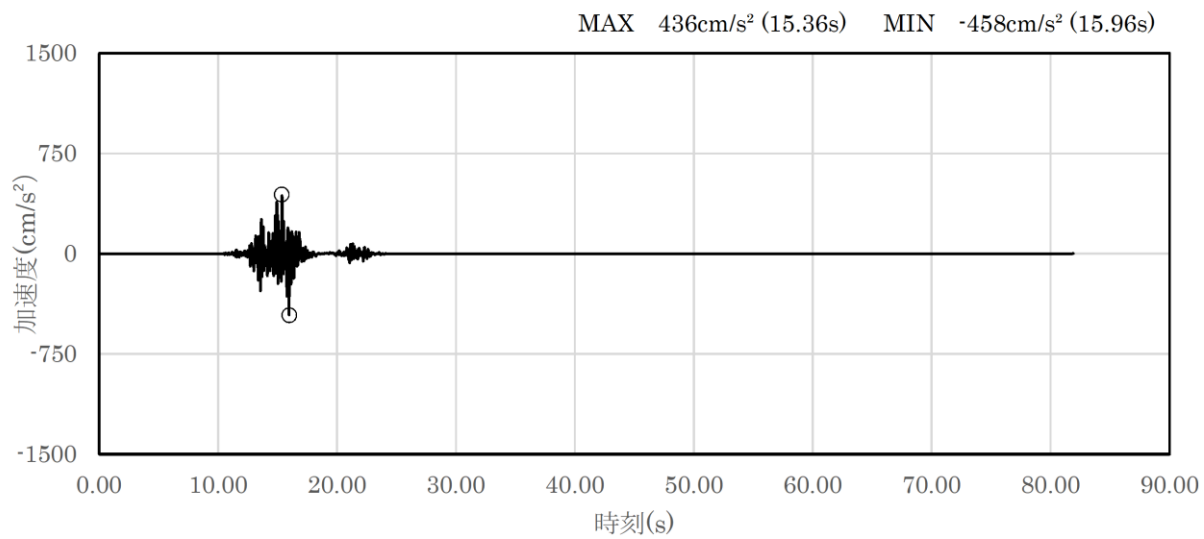


(a) 加速度時刻歴波形

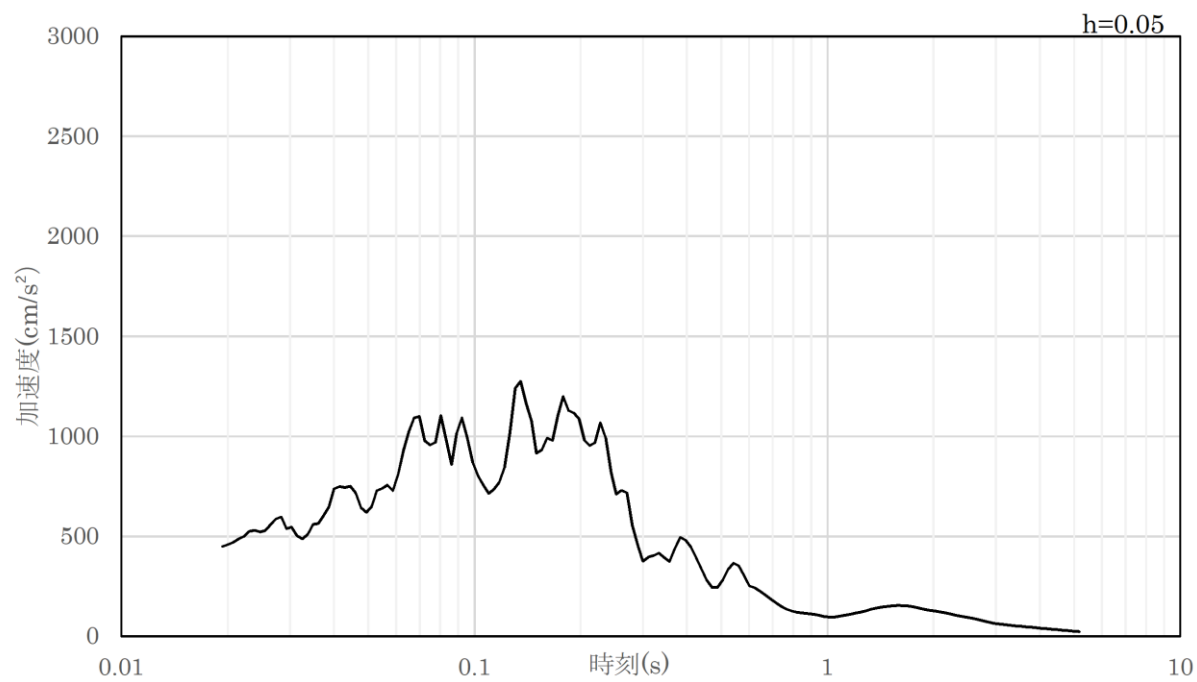


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - F 2)

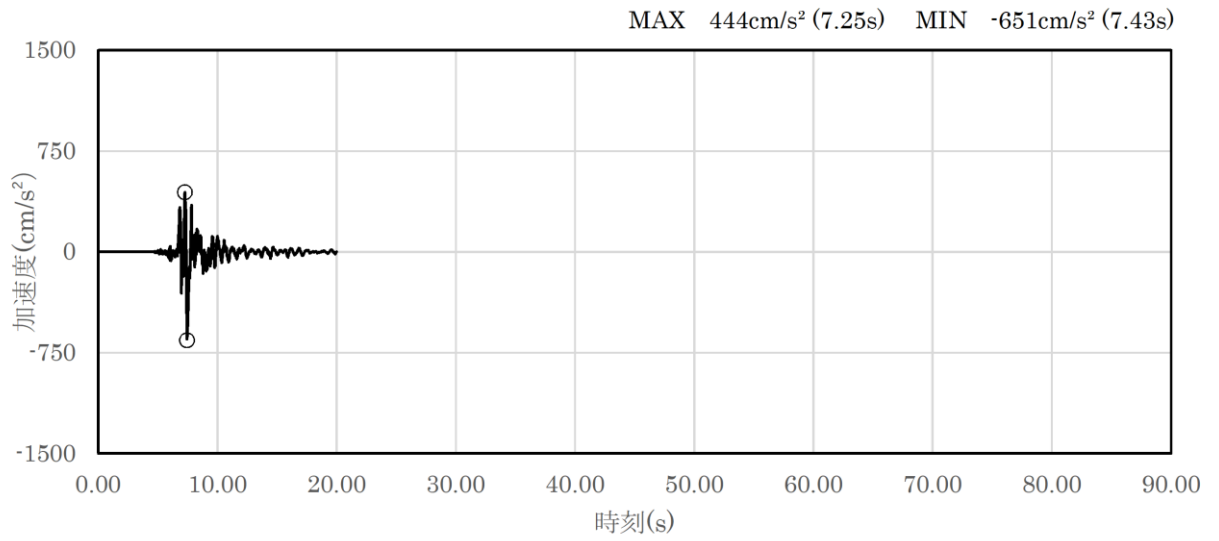


(a) 加速度時刻歴波形

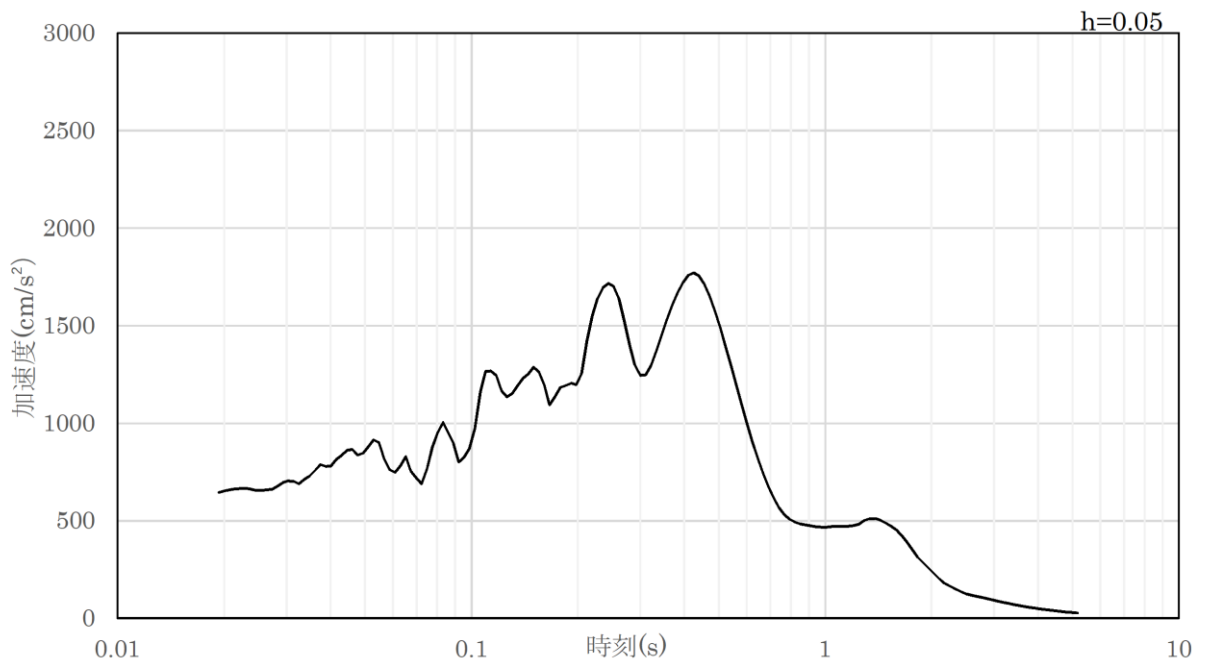


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分 : S s - F 2)

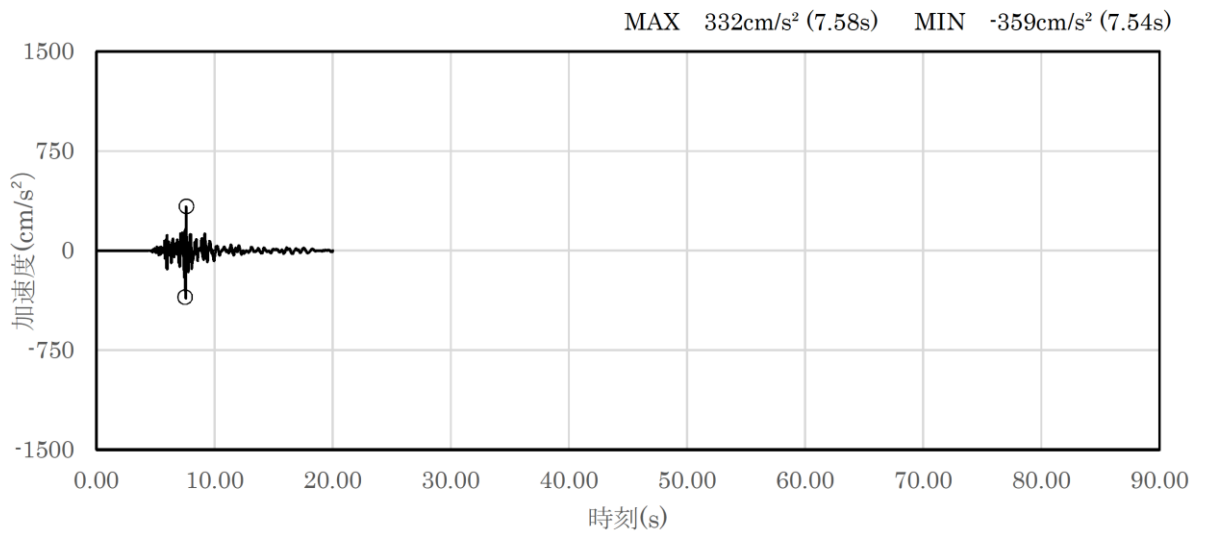


(a) 加速度時刻歴波形

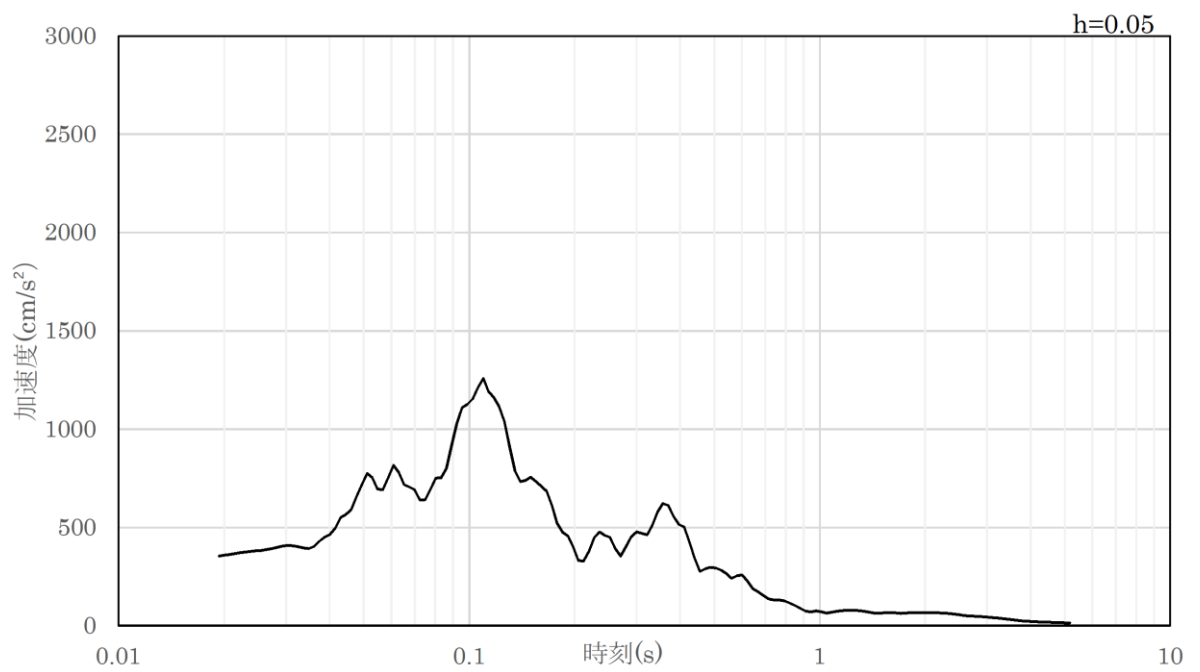


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分 : S s - N 1)

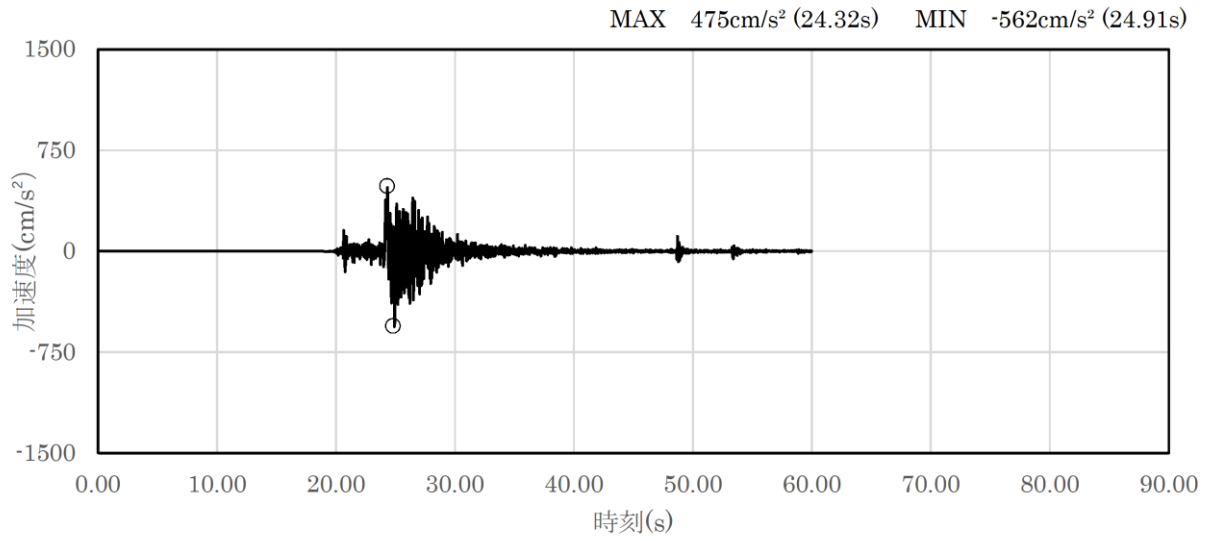


(a) 加速度時刻歴波形

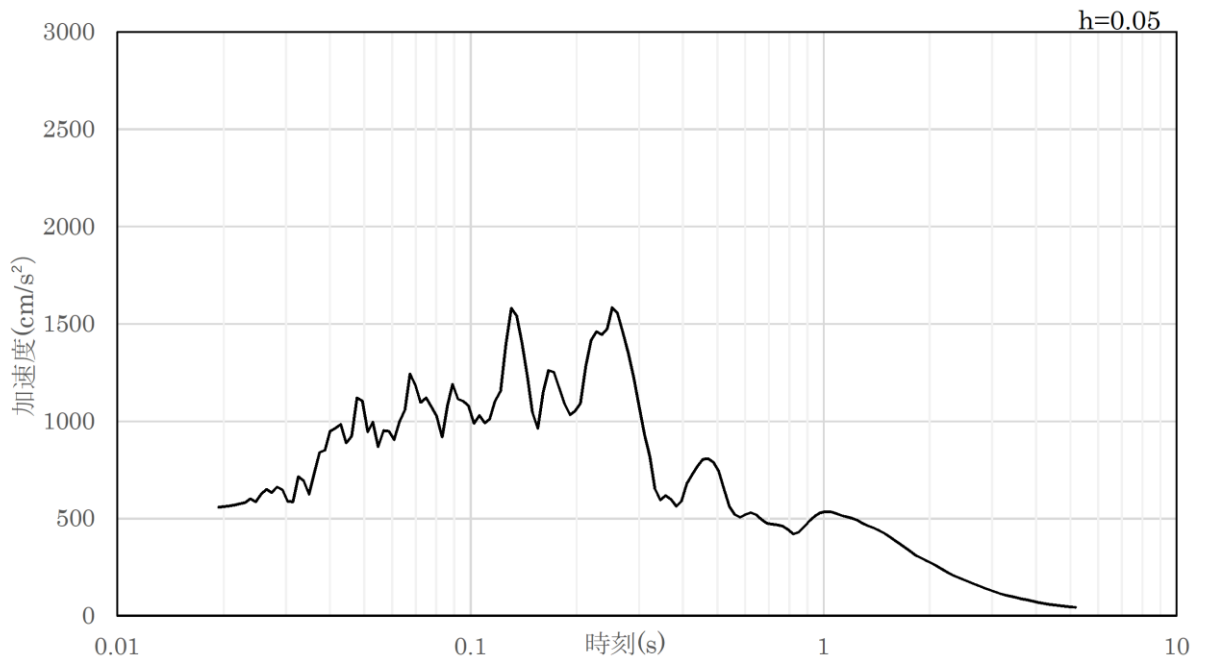


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1)

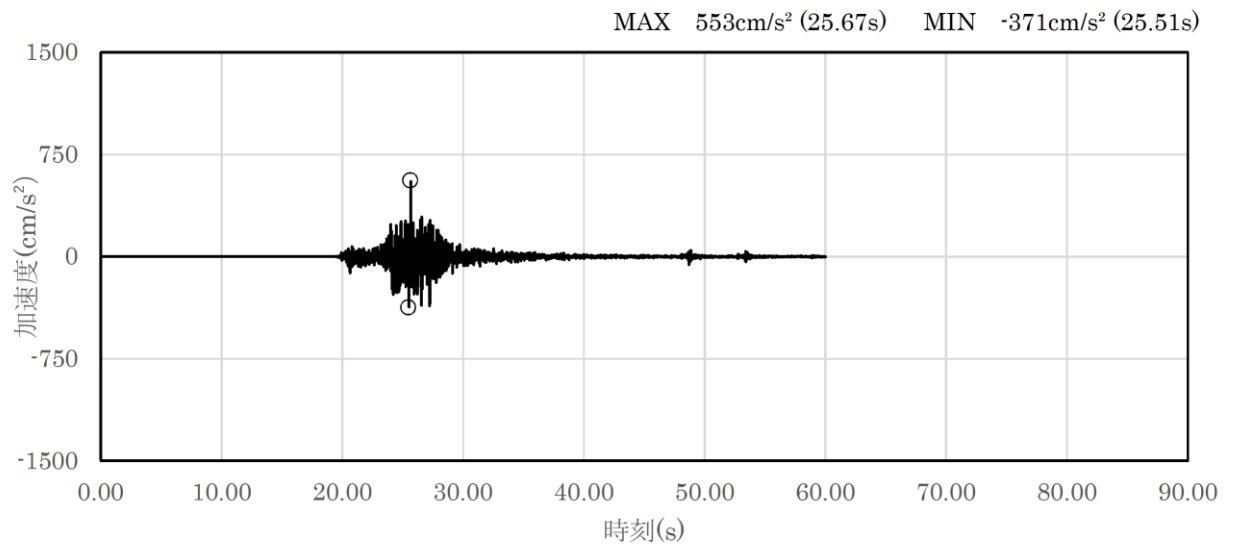


(a) 加速度時刻歴波形

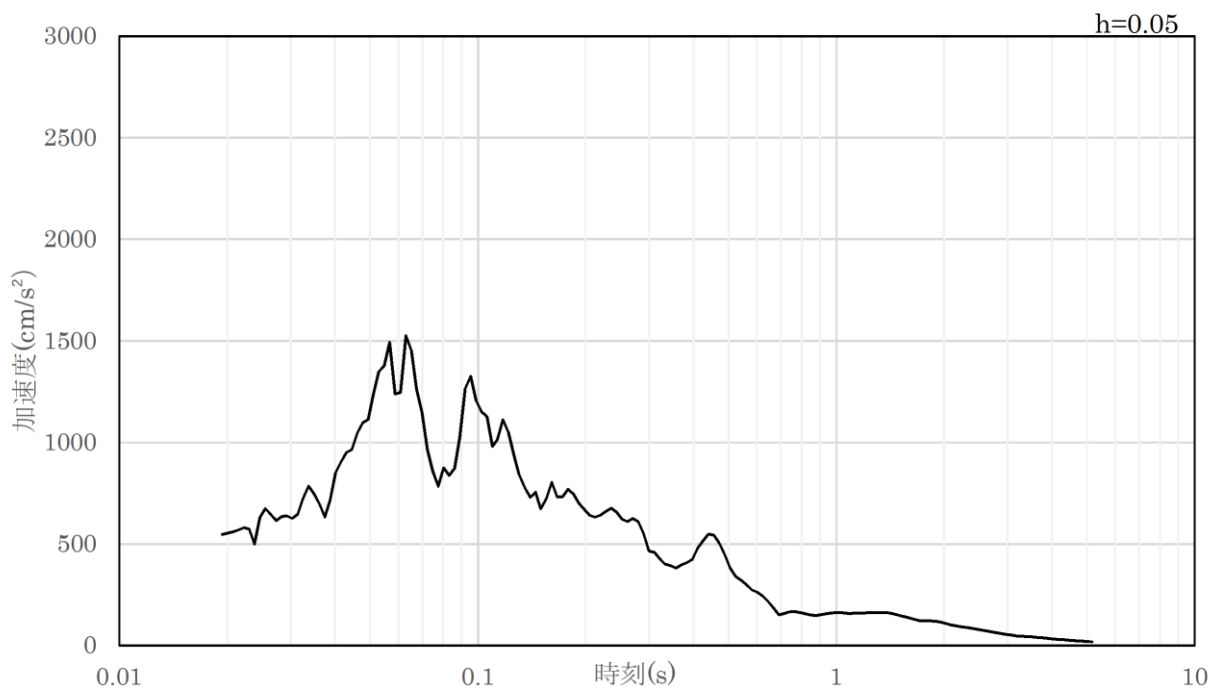


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (N S 方向))

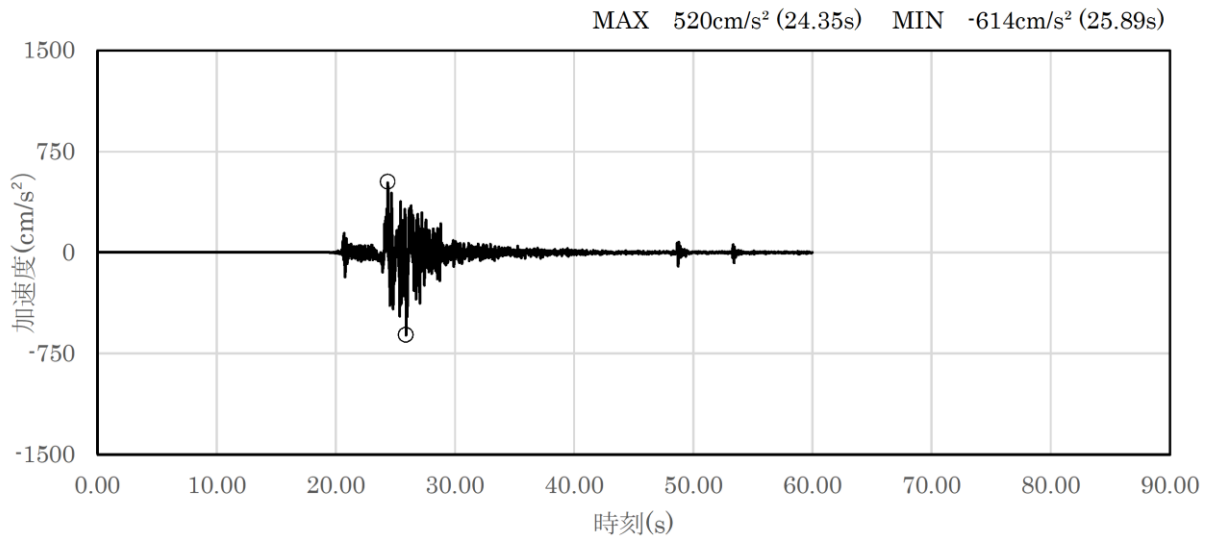


(a) 加速度時刻歴波形

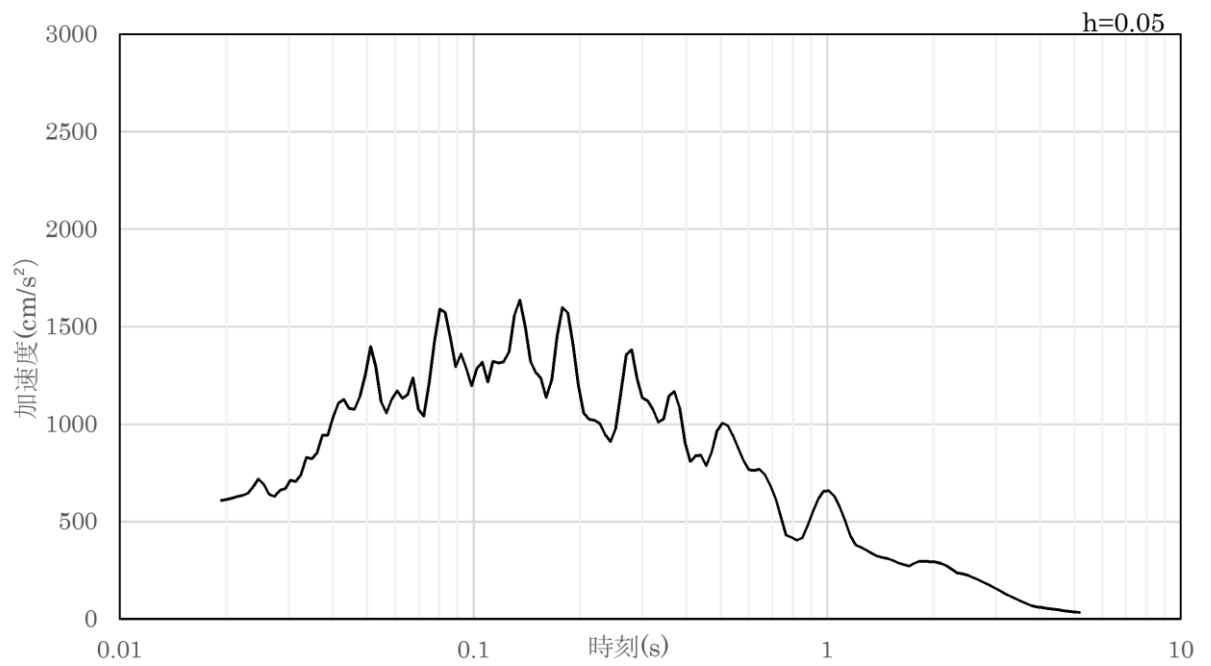


(b) 加速度応答スペクトル

図 4-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (NS 方向))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 4-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 2 (E W方向))

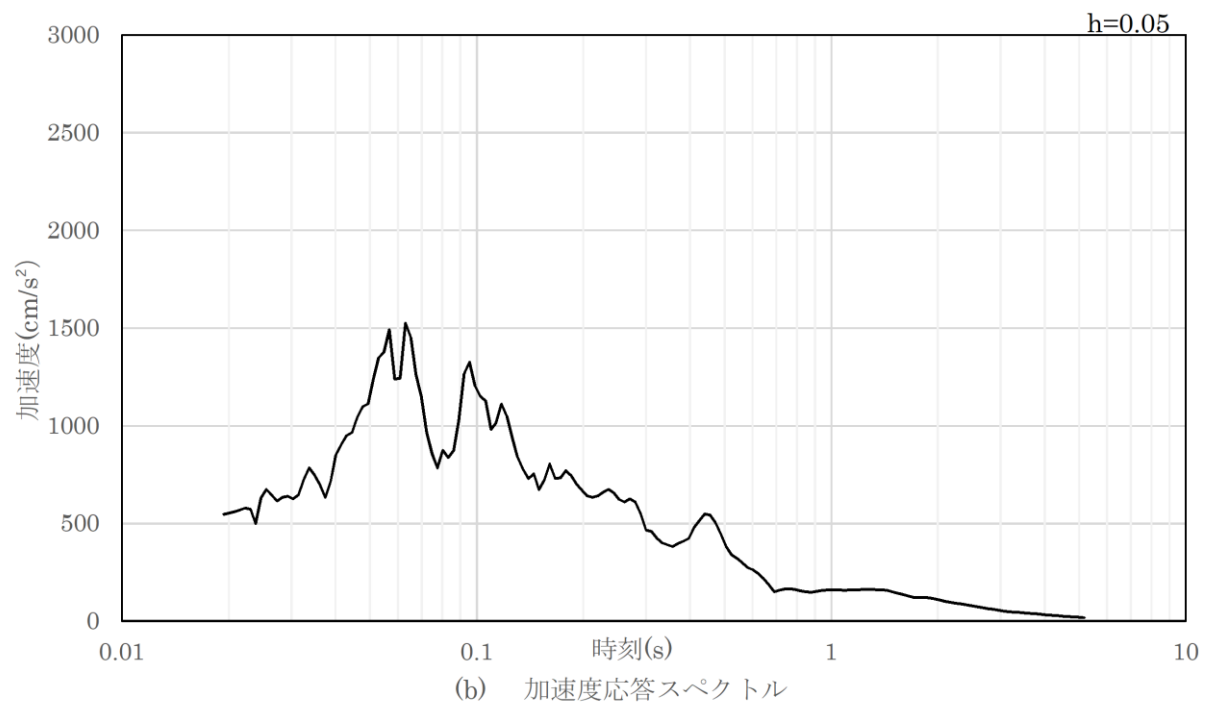
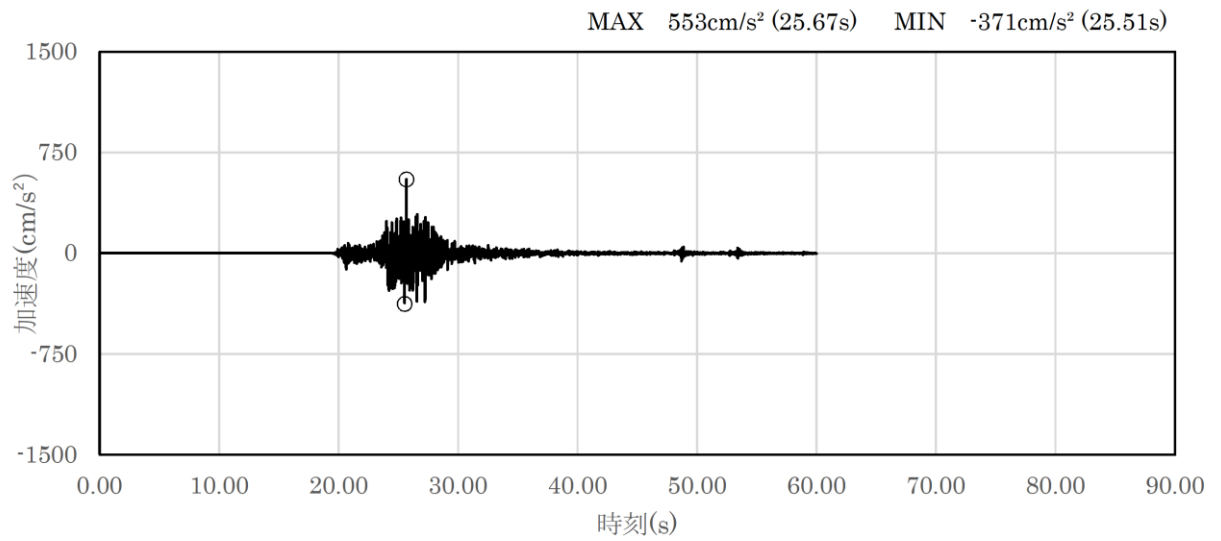


図 4-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 2 (EW方向))

4.6 解析モデル及び諸元

4.6.1 解析モデル

防波扉（3号機東側）の地震応答解析モデルを図4-16に示す。

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

(2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

防波扉戸当り（RC支柱）及び防波扉基礎スラブは線形はり要素（ビーム要素）、グラウンドアンカは非線形ばね要素でモデル化し、防波扉（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

また、漂流物対策工戸当り（RC支柱）は線形はり要素（ビーム要素）、漂流物対策工基礎スラブは平面ひずみ要素（ソリッド要素）としてモデル化し、漂流物対策工（鋼製扉体）は付加重量として考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「構造物とMMR」、「構造物と改良地盤」、「構造物と埋戻土」、「MMRと改良地盤」、「MMRと埋戻土」、「改良地盤と埋戻土」及び「改良地盤と岩盤」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

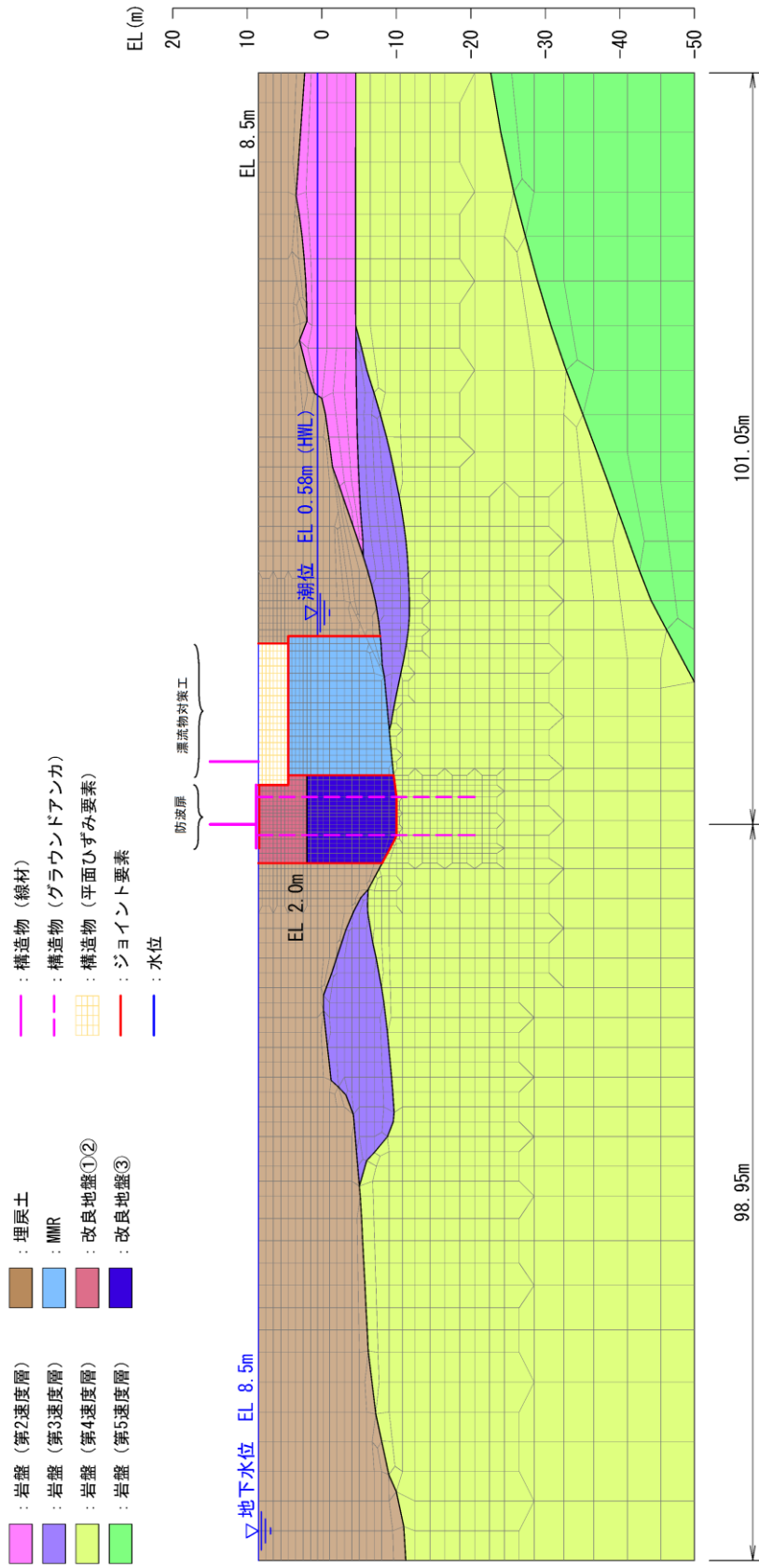


図 4-16 防波扉 (3号機東側) の解析モデル (評価対象断面)

4.6.2 使用材料及び材料の物性値

使用材料を表 4-5 に、材料の物性値を表 4-6 に、グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図を図 4-17 に示す。

表 4-5(1) 使用材料 (防波扉)

材料		諸元
コンクリート	防波扉戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブ	設計基準強度 : 24N/mm ²
鋼材	防波扉 (鋼製扉体)	SM490, SS400, SUS304
	鉄筋	SD345
グラウンドアンカ		アンカー長 : 27.5m~29.5m, 極限引張り力 : 2800kN, 降伏引張り力 : 2400kN

表 4-5(2) 使用材料 (漂流物対策工)

材料		諸元
コンクリート	漂流物対策工戸当り (RC 支柱) 及び基礎スラブ	設計基準強度 : 40N/mm ²
鋼材	漂流物対策工 (鋼製扉体)	SM490, SS400, SUS304
	鉄筋	SD345

表 4-6(1) 材料の物性値 (防波扉)

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*

注記* : 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月)

表 4-6(2) 材料の物性値 (漂流物対策工)

材料	単位体積重量 (kN/m ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
鉄筋コンクリート	24.0*	3.1×10 ⁴ *	0.2*

注記* : 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編) ・同解説 (日本道路協会, 2002 年)

表 4-6(3) 材料の物性値 (グラウンドアンカ)

材料	引張剛性 k (kN/m)	テンドン降伏 引張り力 (kN)
グラウンドアンカ	14777	2400

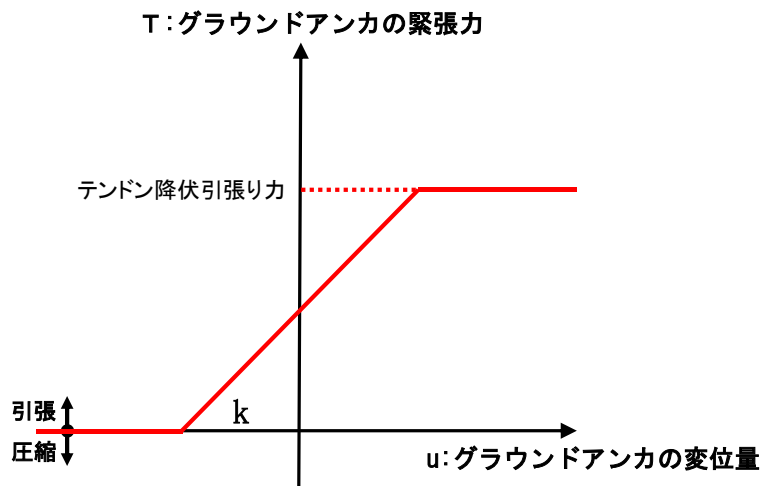


図 4-17 グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

4.6.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表4-7のとおり設定する。

表 4-7 改良地盤①～③の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 (N/mm ²)
	C' (N/mm ²)	φ' (°)	
改良地盤①・②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

4.6.4 地下水位

設計用地地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。
設計用地地下水位を表4-8に示す。

表 4-8 設計用地下水位の一覧

施設名称	設計用地下水位
防波扉（3号機東側）	漂流物対策工より陸側：EL 8.5m 漂流物対策工より海側：EL 0.58m

4.7 評価対象部位

評価対象部位は、防波扉（3号機東側）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

4.7.1 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、防波扉（鋼製扉体）、防波扉戸当り（RC支柱）、防波扉基礎スラブ、グラウンドアンカ、漂流物対策工（鋼製扉体）、漂流物対策工戸当り（RC支柱）、漂流物対策工基礎スラブ、MMR及び改良地盤①～③とする。

4.7.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波扉（3号機東側）を支持する基礎地盤（MMR、改良地盤並びにMMR及び改良地盤直下の岩盤）とする。

4.8 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

4.8.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術基準協会，2016年3月）」に基づき，表4-9に示す短期許容応力度とする。

表4-9(1) 防波扉（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（1/2）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
主桁	SM490	許容曲げ応力度： σ_a	160	240
		許容せん断応力度： τ_a	90	135
補助縦桁	SS400	許容曲げ応力度： σ_a	120	180
		許容せん断応力度： τ_a	70	105
端縦桁	SM490	許容圧縮応力度： σ_{ca}	160	240
支圧板	SUS304	許容支圧応力度： σ_a	150	225
戸当り	SM490	許容曲げ応力度： σ_a	160	240
戸当り部 コンクリート	Fc24	許容支圧応力度： σ_a	5.9	8.8
		許容せん断応力度： τ_a	0.40	0.60

表 4-9(2) 防波扉（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（2/2）

部材		材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
走行車輪	車輪	SUS304	許容接触圧応力度： σ_a	565.8	849
	車輪軸	SUS304	許容曲げ応力度： σ_{a1}	100	150
			許容せん断応力度： τ_{a1}	60	90
	車輪受桁	SM490	許容曲げ応力度： σ_{a2}	160	240
			許容せん断応力度： τ_{a2}	90	135
	車輪戸当り	SS400	許容曲げ応力度： σ_a	120	180
許容せん断応力度： τ			70	105	
ガイドアーム	SM490	許容曲げ応力度： σ_a	160	240	
		許容せん断応力度： τ_a	90	135	
休止ピン	SUS329J4L	許容曲げ応力度： σ_a	225	338	
		許容せん断応力度： τ_a	130	195	

(2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ

防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，表4-10に示す短期許容応力度とする。

表4-10 防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
	コンクリート (Fc24)	許容曲げ圧縮応力度	9
許容せん断応力度		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度	196	294
	許容せん断応力度	196	294

(3) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（JGS4101-2012）（地盤工学会，2012年）」に基づき，テンドンの許容引張力 T_{as} ，テンドンの許容拘束力 T_{ab} 及びテンドンの許容引抜力 T_{ag} を表4-11のとおり設定し，この中で最小であるテンドンの許容拘束力 T_{ab} を許容限界として採用する。

表4-11 グラウンドアンカの許容限界

種別	許容値 (kN)
テンドンの許容引張力 T_{as}	2160
テンドンの許容拘束力 T_{ab}	<u>2076</u> (採用)
テンドンの許容引抜力 T_{ag}	2120

(4) 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し，表4-12に示すすべり安全率を設定する。

表4-12 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

(5) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，2002年3月）」により設定する。基礎地盤の許容限界を表4-13に示す。

表 4-13 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4

4.8.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

漂流物対策工（鋼製扉体）の許容限界は、「ダム・堰施設技術基準（案）（基準解説編・設備計画マニュアル編）（ダム・堰施設技術基準協会，2016年3月）」に基づき，表4-14に示す短期許容応力度とする。

表4-14(1) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（1/3）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
主横桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
	SM570	許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
張出桁	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350 ^{*1}	525
		許容せん断応力度 τ_a	202 ^{*1}	303
補助縦桁	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	204 ^{*1, *2}	306
		許容せん断応力度 τ_a	129 ^{*1}	193
端縦桁	SM570	許容圧縮応力度 σ_{ca}	225 ^{*1}	337

注記*1：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容曲げ応力度は降伏点の応力度を安全率2.0で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を3の平方根で割った値とした。

*2：補助縦桁に用いる構造用鋼材（SM570）の許容曲げ応力度は，ダム・堰施設技術基準（案）及び道路橋示方書に基づき，横倒れ座屈に対する配慮として許容応力度を下記の計算式により算出する。

圧縮フランジがスキンプレート等で固定されていない場合

$$\frac{L}{b} \leq \frac{10}{K} : \sigma_{ca} = 225(\text{N/mm}^2)$$

$$\frac{10}{K} < \frac{L}{b} \leq 25 : \sigma_{ca} = 225 - 2.9(K\frac{L}{b} - 10)(\text{N/mm}^2)$$

$$K = \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$$

但し， $A_w/A_c < 2$ の場合は $K=2$ とする

ここに， L ：圧縮フランジの固定点間距離 (mm)

b ：圧縮フランジの幅 (mm)

A_w ：腹板の総断面積 (mm²)

A_c ：圧縮フランジの総断面積 (mm²)

表 4-14(2) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（2/3）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
支承部 （上部支承軸）	SUS630	許容曲げ応力度 σ_a	360* ¹	540
	H1150	許容せん断応力度 τ_a	207* ¹	
支承部 （下部支承軸）	SUS304N2	許容曲げ応力度 σ_a	170* ¹	255
		許容せん断応力度 τ_a	98* ¹	147
支承部 （下部支承軸受）	SUS630 H1150	許容接触応力度 p_a	1357* ²	2035
支承軸受け	自動調心 ころ軸受	基本静定格荷重 C_{cr}	5700 (kN)	3800* ³ (kN)
支承アンカー （上部アンカー ボルト）	SCM435	許容軸方向引張応力度 σ_a	390	585
支承アンカー （下部アンカー ボルト）	SCM435	許容軸方向引張応力度 σ_a	390	585
上部支承アンカー （コンクリート）	Fc40	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60
下部支承アンカー （コンクリート）	Fc40	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*1：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容曲げ応力度は降伏点の応力度を安全率 2.0 で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

*2：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき， $p_a=(9.8H_B)/(2v)$ より算出する。 H_B はローラのブリネル硬さ（277）， v は安全率（点接触：1.0）で次のように算出される。 $p_a=(9.8 \times 277)/(2 \times 1.0)=1357$ (N/mm²)

*3：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容荷重は以下の式により算出する。

$$C_{cr}' = C_{cr} / f$$

ここで， C_{cr}' ：車輪軸受けの許容荷重（3800kN）

C_{cr} ：基本静定格荷重（5700kN）

f ：安全係数（1.5）

表 4-14(3) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の許容限界（3/3）

部材	材質	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
ロックビーム	SM570	許容曲げ応力度 σ_{ca}	225*	337
		許容せん断応力度 τ_a	129*	193
支圧板	SUS304	許容支圧応力度 σ_{pa}	150	225
戸当り（腹板）	SM400	許容支圧応力度 σ_{ba}	180	270
戸当り （底面フランジ）	SBHS700	許容曲げ応力度 σ_{ca}	350*	525
戸当り （コンクリート）	Fc40	許容支圧応力度 σ_{cba}	5.9	8.8
		許容せん断応力度 τ_{ca}	0.40	0.60

注記*：ダム・堰施設技術基準（案）に基づき，許容曲げ応力度は降伏点の応力度を安全率 2.0 で割った値とし，また，許容せん断応力度はさらにその値を 3 の平方根で割った値とした。

(2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ

漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）」に基づき，表4-15に示す短期許容応力度とする。

表4-15 防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブの許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)
	コンクリート (Fc40)	許容曲げ圧縮応力度	14
許容せん断応力度		0.55	0.82
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度	196	294
	許容せん断応力度	196	294

(3) 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，支持力試験及び「道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，2002年3月）」により設定する。基礎地盤の許容限界を表4-16に示す。

表4-16 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤		1.4
	MMR		18.0

4.9 評価方法

防波扉（3号機東側）の耐震評価は，地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「4.8 許容限界」で設定した許容限界以下となることを確認する。応力算定式以外の方法による応力度の算定には，解析コード「RC断面計算」を使用する。なお，解析コードの検証，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。

4.9.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

防波扉（鋼製扉体）は，扉体（スキンプレート，主桁，補助縦桁，端縦桁及び支圧板），戸当り，走行車輪，車輪戸当り，ガイドアーム，ガイドローラールール支持ブラケット及び休止ピンで構成されている。地震時荷重に対しては，主桁，補助縦桁，端縦桁，支圧板，戸当り，走行車輪，車輪戸当り，ガイドアーム及び休止ピンの耐震評価を行う。

a. 主桁

主桁は，部材の発生断面力に対して保守的な評価となるよう，支圧板の設置位置を支点とする両端をピン支点の単純梁によりモデル化し，算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

主桁の照査対象部を図4-18に，主桁のモデル図及び応力算定式を図4-19に示す。

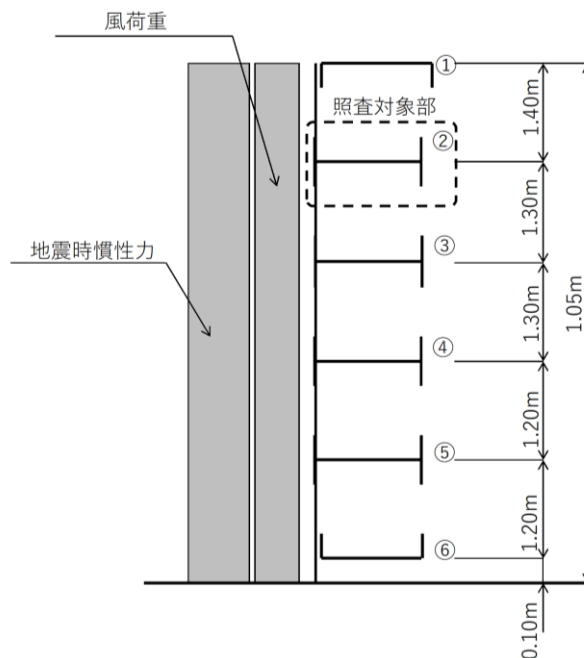
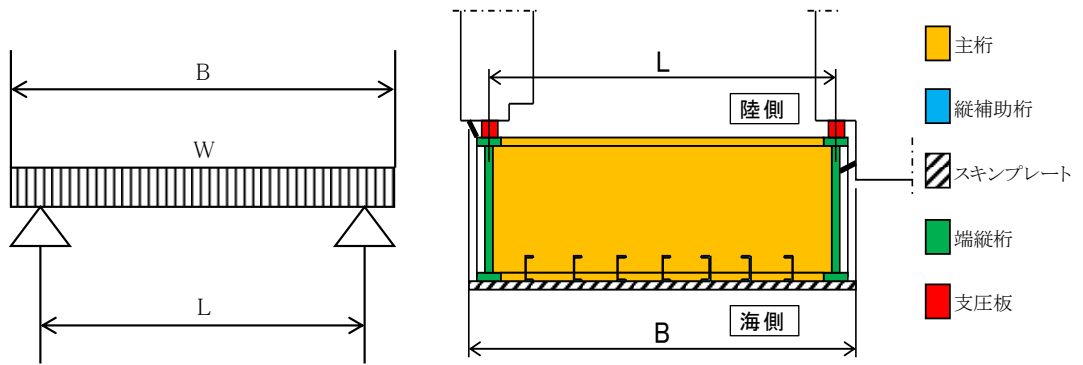


図4-18 主横桁の照査対象部



(扉体平面図)

断面力の計算

- ・主桁の曲げモーメント

$$M = \frac{W \cdot B}{8} (2L - B)$$

- ・主桁のせん断力

$$S = \frac{W \cdot B}{2}$$

- ・主桁の軸力

$$N = W \cdot D$$

応力度の計算

- ・主桁の曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M \cdot 10^6}{Z} + \frac{N \cdot 10^6}{A_g}$$

- ・主桁のせん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S \times 10^3}{A_w}$$

ここに、

M : 主桁の曲げモーメント (kN・m)

S : 主桁のせん断力 (kN)

N : 主桁の軸力 (kN)

W : 主桁の負担荷重 (kN/m)

(地震時慣性力+風荷重)

B : 水密幅 (m)

L : 支圧板中心間 (m)

Z : 主桁の断面係数 (mm³)

D : 側面水密幅 (mm)

A_g : 主桁の断面積 (mm²)

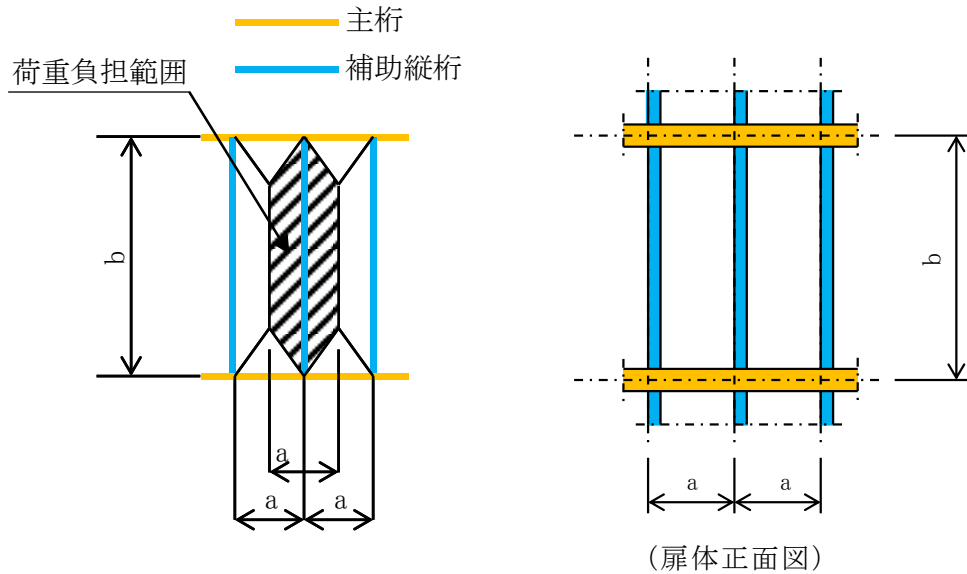
A_w : 主桁の腹板断面積 (mm²)

図 4-19 主桁のモデル図及び応力算定式

b. 補助縦桁

補助縦桁については、主桁によって支持された単純支持梁とし、荷重は平均水圧が亀甲形に作用するものとしてモデル化し、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁の構造図及び応力算定式を図4-20に示す。



断面力の計算

- 補助縦桁の曲げモーメント

$$M = \frac{P \cdot a}{24} (3b^2 - a^2)$$

- 補助縦桁のせん断力

$$S = \frac{P \cdot a}{2} \left(b - \frac{a}{2} \right)$$

応力度の計算

- 補助縦桁の曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

- 補助縦桁のせん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S}{A_w}$$

ここに、

M : 補助縦桁の曲げモーメント (kN・m)

S : 補助縦桁のせん断力 (kN)

P : 補助縦桁の水平荷重 (kN/m²)
(地震時慣性力+風荷重)

a : 補助縦桁間隔 (m)

b : 主桁間隔 (m)

Z : 補助縦桁の断面係数 (mm²)

A_w : 補助縦桁の腹板断面積 (mm²)

図4-20 補助縦桁の構造図及び応力算定式

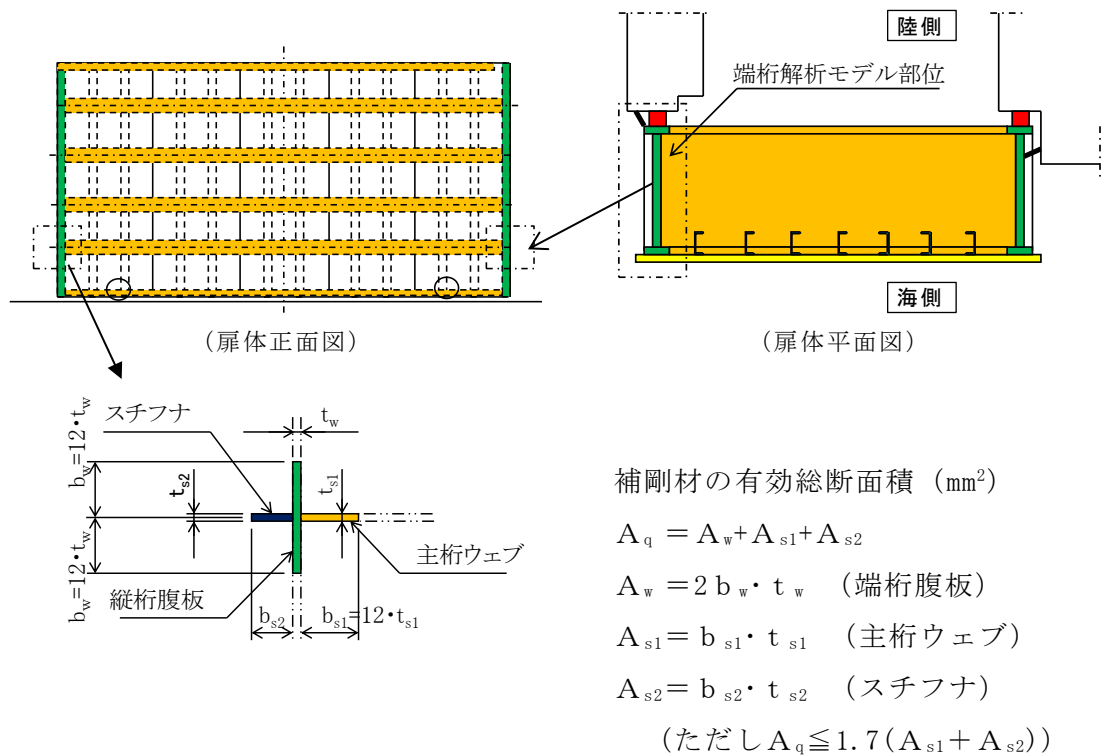
c. 端縦桁

本設備は横引きゲートであるが、全閉時端桁には、主桁端部反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する役割を果たしている。

端桁腹板には垂直補剛材として主桁ウェブとスチフナを有する。端桁腹板は上下方向に、主桁ウェブは径間方向に部材が伸びているが、実際に荷重が作用している有効断面のみで評価する。

垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点としてモデル化し、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

縦桁の構造図及び応力算定式を図4-21に示す。



端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

ここに、

R : 主桁の支点反力 (kN)

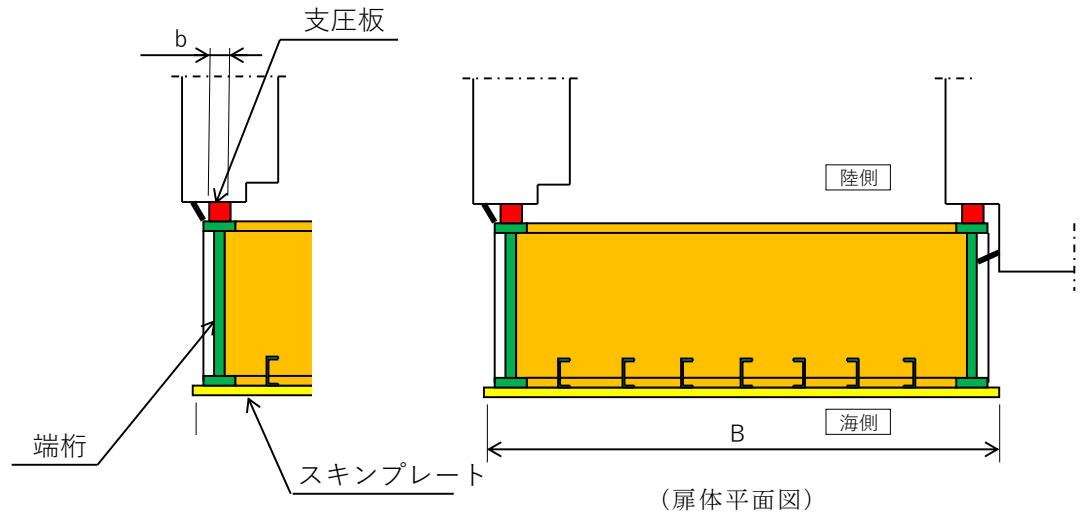
A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm²)

図4-21 端縦桁の構造図及び応力算定式

d. 支圧板

支圧板の面圧は扉体に作用する水平荷重（地震時慣性力+風荷重）から求め、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

支圧板の構造図及び応力算定式を図 4-22 に示す。



支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{W_{gh} + W \cdot B}{2 \cdot b}$$

ここに、

W_{gh} : 地震時慣性力 (N/mm)

W : 風荷重 (N/mm²)

B : 扉体の水密幅 (mm)

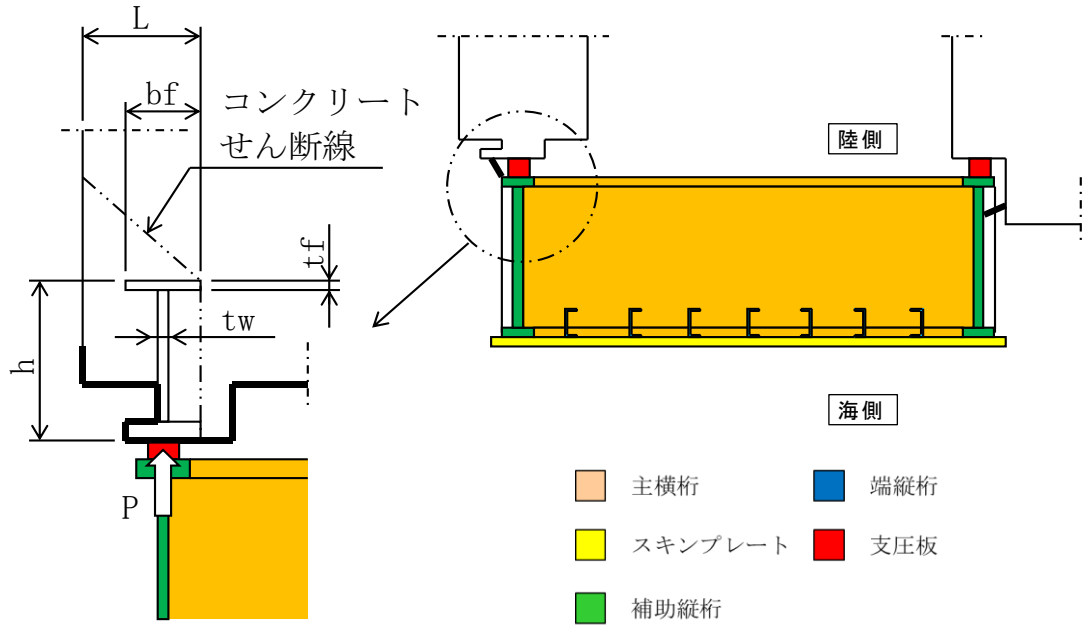
b : 支圧板の有効幅 (mm)

図 4-22 支圧板の構造図及び応力算定式

e. 戸当り

戸当りは支圧板から伝達される水平荷重（地震時慣性力+風荷重）から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

戸当りの構造図及び応力算定式を図4-23に示す。



(扉体平面図)

応力度の計算

- ・ 戸当り底面フランジの曲げ応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{6 \cdot \sigma_k \cdot b_f^2}{8 \cdot t_f^2}$$

- ・ 戸当りコンクリートの支圧応力度 σ_k (N/mm²)

$$\sigma_k = \frac{P \cdot B}{2 \cdot b_f}$$

- ・ 戸当りコンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{\sigma_k \cdot b_f}{h + 2 \cdot L}$$

ここに、

b_f : 戸当り底面フランジ幅 (mm)

t_f : 戸当り底面フランジ板厚 (mm)

P : 戸当り水平荷重 (地震時慣性力+風荷重) (N/mm²)

B : 扉体の水密幅 (mm)

h : 戸当りの桁高 (mm)

L : 底面フランジのコンクリートまでの距離 (mm)

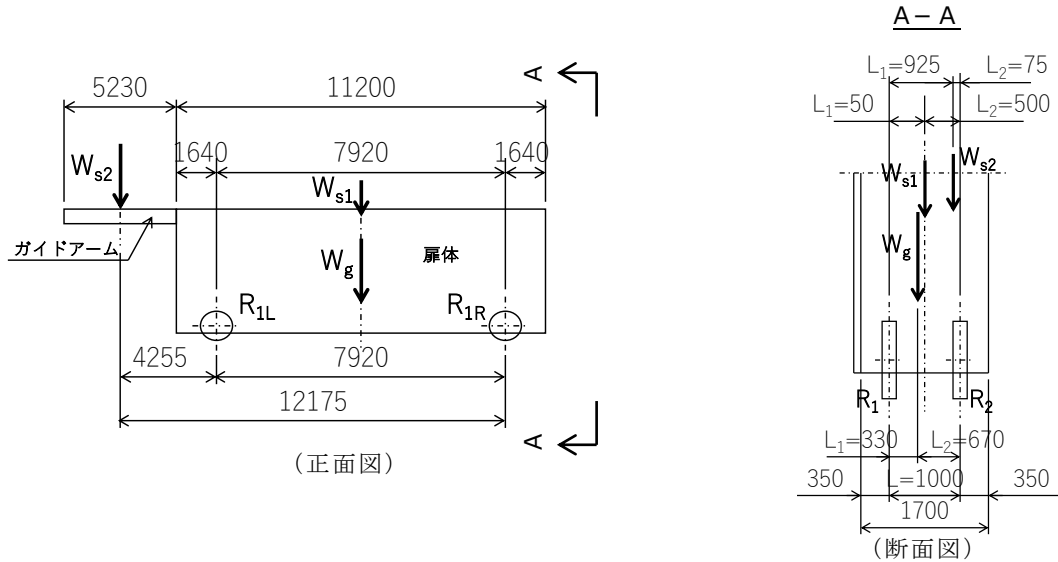
図4-23 戸当りの構造図及び応力算定式

f. 走行車輪

走行車輪は左右岸 2 輪ずつ計 4 輪あり，鉛直荷重に対して接触応力度が許容限界以下であることを確認する。

車輪軸は車輪を支点とした両端ピン支持の単純梁にモデル化し，鉛直荷重から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

走行車輪の構造図・モデル図及び荷重算定式を図 4-24 に示す。



車輪荷重

$$R_1 = \frac{(1 + K_V) \cdot W_i \cdot L_2}{2 \cdot L}$$

$$R_2 = \frac{(1 + K_V) \cdot W_i \cdot L_1}{2 \cdot L}$$

ここに，

R_1 : 海側車輪荷重

R_2 : 陸側車輪荷重

(各作用鉛直荷重 W_i)

(各作用位置 L, L_1, L_2)

W_g : 扉体自重 (kN)

W_{s1} : 扉体天端の積雪荷重 (kN)

W_{s2} : ガイドアームの積雪荷重 (kN)

P : 車輪荷重 (N)

E_1 : 車輪の弾性係数 (N/mm²)

E_2 : 車輪踏面板の弾性係数 (N/mm²)

B : 車輪有効踏面幅 (mm)

R : 車輪半径 (mm)

C : 接触幅の 1/2 (mm)

応力度の計算 (車輪)

・ 接触面圧応力度 p (N/mm²)

$$p = 0.591 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot E_1 \cdot E_2}{B \cdot R \cdot E_1 + E_2}}$$

$$C = 1.080 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot R \cdot (E_1 + E_2)}{B \cdot E_1 \cdot E_2}}$$

図 4-24(1) 走行車輪の構造図及び荷重算定式

断面力の計算（車輪軸）

- 車輪軸の曲げモーメント

$$M = \frac{P \cdot L}{4}$$

- 車輪軸のせん断力

$$S = \frac{P}{2}$$

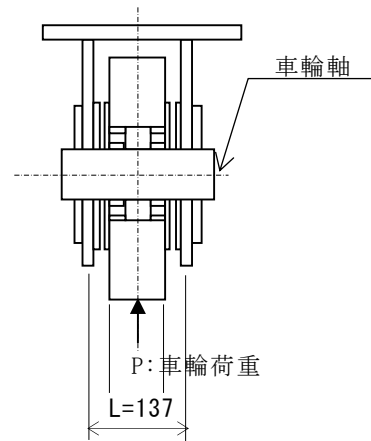
応力度の計算（車輪軸）

- 車輪軸の曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

- 車輪軸のせん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{S}{A}$$



(車輪詳細断面図)

ここに、

M：車輪軸の曲げモーメント (kN・m)

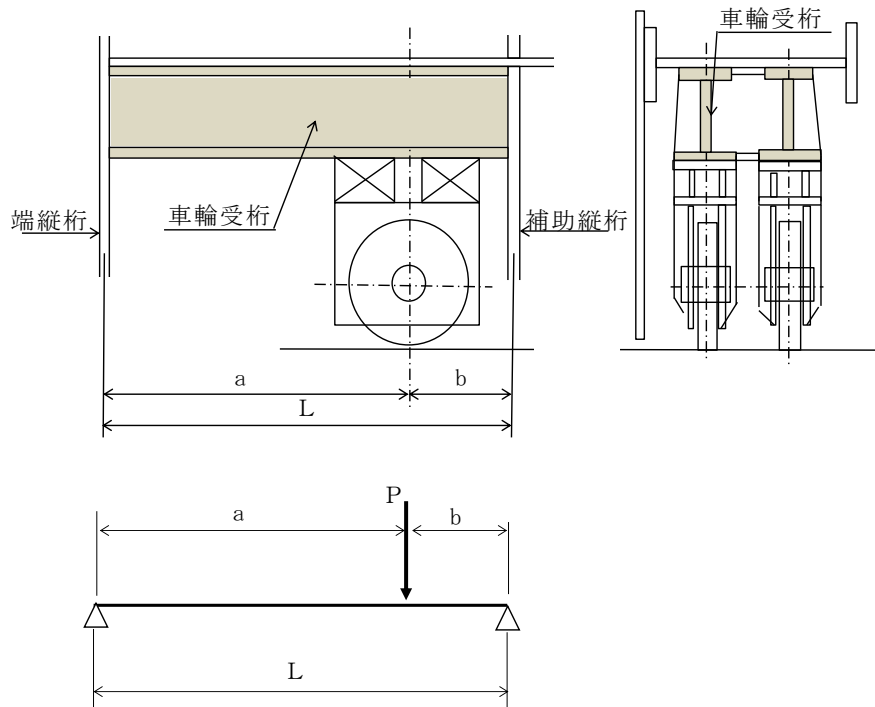
S：車輪軸のせん断力 (kN)

Z：車輪軸の断面係数 (mm³)

A：車輪軸の断面積 (mm²)

図 4-24(2) 走行車輪のモデル図及び荷重算定式

車輪受桁の照査



断面力の計算

- 車輪受桁の曲げモーメント

$$M_c = \frac{a \cdot b}{L} \cdot P$$

- 車輪受桁のせん断力

$$S_b = \frac{a}{L} \cdot P$$

応力度の計算

- 車輪受桁の曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_c}{Z_1}$$

- 車輪受桁のせん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_b}{A_w}$$

ここに、

L : 車輪受桁の支持間隔 (mm)

a : 車輪受桁の荷重載荷位置 (mm)

b : 車輪受桁の荷重載荷位置 (mm)

M_c : 車輪受梁の曲げモーメント (N・mm)

S_b : 車輪受桁のせん断力 (N)

Z₁ : 車輪受桁の断面係数 (mm³)

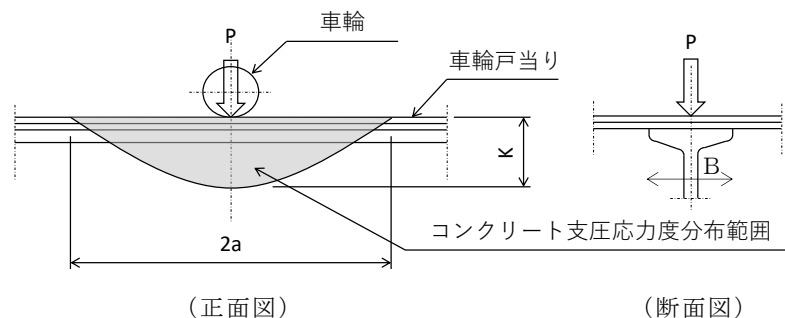
A_w : 車輪受桁の腹板断面積 (mm²)

図 4-24(3) 走行車輪のモデル図及び荷重算定式

g. 車輪戸当り

車輪戸当りは、車輪直下の車輪戸当りに作用する荷重から、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

車輪戸当りの構造図及び応力算定式を図 4-25 に示す。



応力度の計算

- 車輪荷重直下のコンクリートの支圧応力度 K (N/mm^2)

$$K = 0.0588 \cdot \frac{P}{\sqrt[3]{B^2 \cdot I}}$$

ここに、

P : 車輪荷重 (kN)

a : コンクリートの応力度の分布長さの 1/2 (mm)

M : 車輪荷重直下の戸当りの曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)

S : 車輪直下の戸当りのせん断力 (N)

I : 車輪戸当りの断面 2 次モーメント (mm^4)

B : 車輪戸当りの底面フランジ幅 (mm)

Z : 車輪戸当りの断面係数 (mm^3)

A_w : 車輪戸当りの腹板断面積 (mm^2)

- 車輪戸当りの曲げ応力度 σ (N/mm^2)

$$M = \frac{K \cdot a^2 \cdot B}{4}$$

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

- 車輪戸当りのせん断応力度 τ (N/mm^2)

$$S = \pm \frac{P}{2}$$

$$\tau = \frac{S}{A_w}$$

図 4-25(1) 車輪戸当りの構造図及び応力算定式

・底面フランジの曲げ応力度 σ_f (N/mm²)

$$M_f = \frac{K \cdot B^2}{8}$$

$$\sigma_f = \frac{6 \cdot M_f}{t_f^2}$$

ここに,

M_f : 底面フランジの曲げモーメント (N・mm)

K : 車輪荷重直下のコンクリートの支圧応力度 (N/mm²)

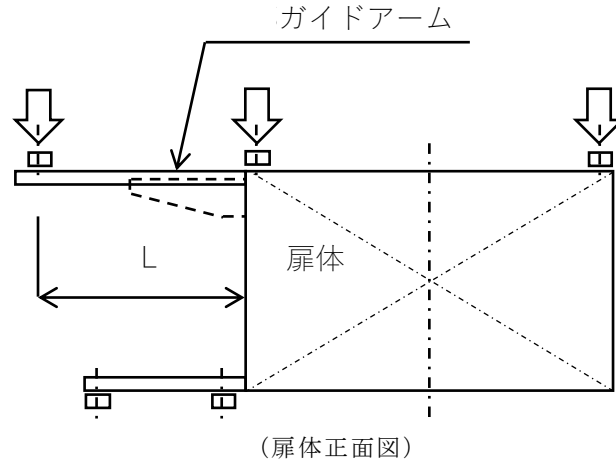
B : 車輪戸当りの底面フランジ幅 (mm)

図 4-25(2) 車輪戸当りの応力算定式

h. ガイドアーム

ガイドアームは、地震時鉛直荷重から、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。地震時鉛直荷重は3か所のガイドローラ部に作用すると仮定する。

ガイドアームの構造図及び応力算定式を図4-26に示す。



地震時鉛直荷重 P_v (kN)

$$P_v = (1 - K_v) \cdot (W_g + W_s) / 3$$

応力の計算

・ガイドアームの

曲げ応力度 σ_c (N/mm²)

$$M_m = P_v \cdot L$$

$$\sigma_c = \frac{M_m}{Z_c}$$

・ガイドアームの

せん断応力度 τ (N/mm²)

$$S_m = P_v$$

$$\tau = \frac{S_m}{A_w}$$

ここに、

P_v : 地震時鉛直荷重 (kN)

(K_v : 鉛直震度)

W_g : 扉体自重 (kN)

W_s : 積雪荷重 (kN)

M_m : ガイドアームの曲げモーメント (kN・m)

S_m : ガイドアームのせん断力 (kN)

Z_c : ガイドアームの断面係数 (mm³)

A_w : ガイドアーム腹板面積 (mm²)

図4-26 ガイドアームの構造図及び応力算定式

i. 休止ピン

休止ピンは扉体の両側に設け、扉体に作用する地震時慣性力の 1 / 2 を一箇所の休止ピンが負担するものとしてモデル化し、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

休止ピンの構造図及び応力算定式を図 4-27 に示す。

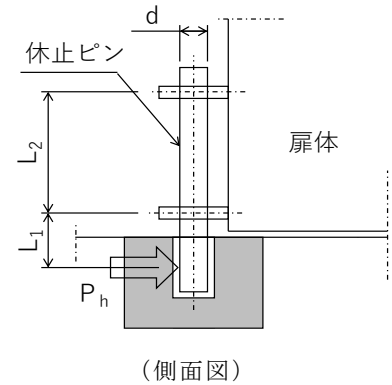
$$P_h = \frac{K_H \cdot W}{2}$$

$$M = P_h \cdot L_1$$

$$S = P_h$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$



応力度の計算

- ・ 休止ピンの曲げ応力度 σ (N/mm²) ここに、

$$\sigma = \frac{M}{Z}$$

P_h : 休止ピンに作用する
水平荷重 (kN)

W : 自重 (扉体自重+積雪荷重) (kN)

- ・ 休止ピンのせん断応力度 τ (N/mm²) M : 休止ピンの

曲げモーメント (N・mm)

S : 休止ピンのせん断力 (N)

A : 休止ピンの断面積 (mm²)

Z : 休止ピンの断面係数 (mm³)

L_1 : 休止ピンの片持ち梁長さ (mm)

d : 休止ピンの径 (mm)

$$\tau = \frac{4}{3} \cdot \frac{S}{A}$$

図 4-27 休止ピンの構造図及び応力算定式

(2) 防波扉戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して，2次元動的有限要素法により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

また，グラウンドアンカによる支圧照査として，発生アンカー力を用いて次式により算定される支圧応力が許容限界以下であることを確認する。

グラウンドアンカにより発生する支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = T/S$$

ここで，

T : 発生アンカー力（引張）（N）

S : 支圧板の面積（mm²）

(3) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの耐震評価は，地震応答解析に基づいて算定した発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

(4) 改良地盤

改良地盤の評価は，改良地盤を通るすべり面のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率は，想定したすべり面上の応力状態をもとに，すべり面上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め，最小すべり安全率を算定する。

また，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示すとおり，改良地盤の解析用物性値のうちせん断強度は，室内配合試験結果よりも保守的な強度を設定していることから，強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 - 1 σ ）は実施しない。

すべり安全率の算定には，解析コード「CPOSTSK」を使用する。なお，解析コードの検証，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。

(5) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては，防波扉基礎スラブ直下の改良地盤及び改良地盤直下の岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4.9.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

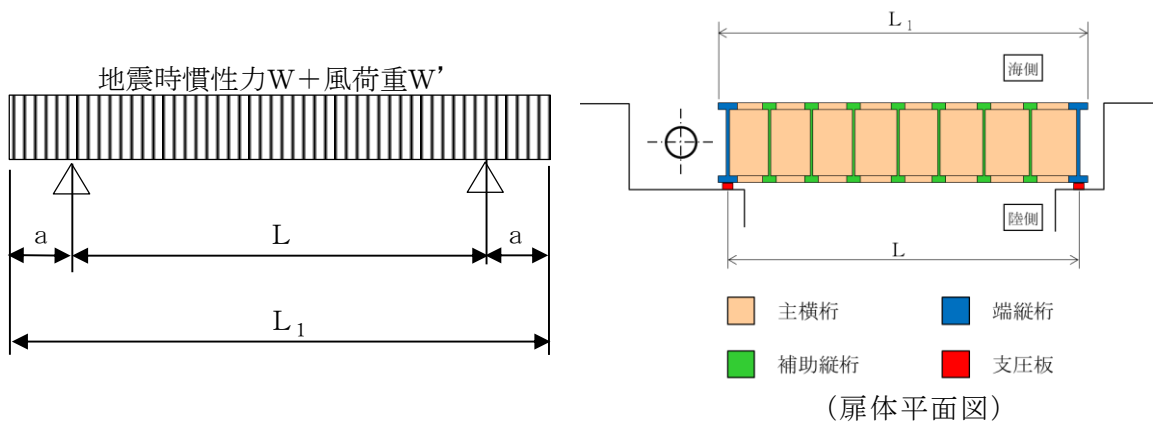
漂流物対策工（鋼製扉体）は、扉体（主横桁、張出桁、補助縦桁、端縦桁及び支圧板）、支承部、支承アンカー、ロック装置及び戸当りで構成されている。地震時荷重に対しては、主横桁、張出桁、補助縦桁、端縦桁、支承部、ロック装置及び戸当り（支圧板含む）の耐震評価を行う。

a. 主横桁

主横桁は、扉体の支圧板と戸当りとの接触位置を支点とする両端ピン支持の単純梁にモデル化し、水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。主横桁の照査対象部は、荷重分担幅が大きい最下段桁とした。

また、最上段の主横桁においては、保守的に支承部を固定端とした片持ち梁にモデル化し、水平荷重（地震時慣性力＋風荷重）から算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

最下段主横桁のモデル図及び応力算定式を図 4-28 に、最上段主横桁のモデル図及び応力算定式を図 4-29 に示す。



最下段主横桁の断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_1 = \frac{1}{2}(W + W')L_1^2 \left(\frac{a}{L_1} - \frac{1}{4} \right)$$

- ・ せん断力

$$S_1 = \frac{1}{2}(W + W')L$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_1}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1}{A_w}$$

ここに、

- M_1 : 曲げモーメント (kN・m)
- S_1 : せん断力 (kN)
- W : 地震時慣性力 (kN/m)
- W' : 風荷重 (kN/m)
- L : 支間 (m)
- a : 張り出し部 (m)
- L_1 : 扉体幅 (m)
- Z : 断面係数 (mm³)
- A_w : 腹板断面積 (mm²)

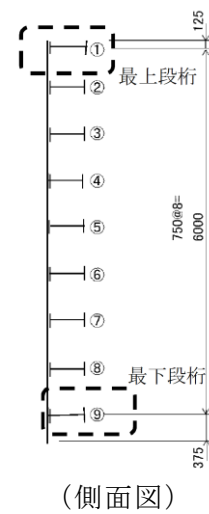
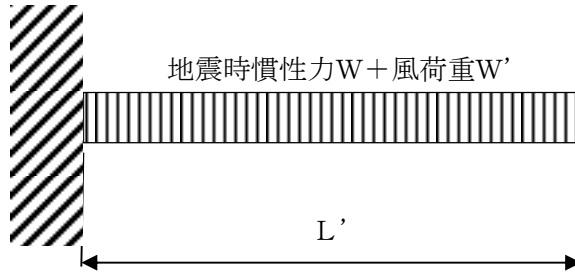


図 4-28 最下段主横桁のモデル図及び応力算定式



最上段主横桁の断面力計算

- 曲げモーメント

$$M_1' = \frac{1}{2}(W + W')L'^2$$

- せん断力

$$S_1' = \frac{1}{2}(W + W')L'$$

応力度の計算

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_1'}{Z}$$

- せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_1'}{A_w}$$

ここに、

M_1' : 曲げモーメント (kN・m)

S_1' : せん断力 (kN)

W : 地震時慣性力 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L' : 張出長さ (m)

Z : 断面係数 (mm³)

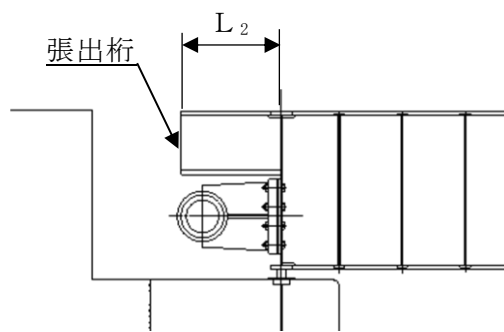
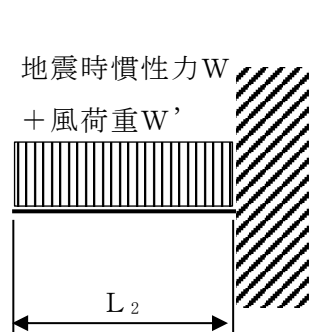
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 4-29 最上段主横桁のモデル図及び応力算定式

b. 張出桁

張出桁は、水平荷重（地震時慣性力+風荷重）を受ける扉体支持部を固定とする片持梁にモデル化して計算し、その応力が許容限界以下であることを確認する。

張出桁のモデル図及び応力算定式を図4-30に示す。



(扉体平面図)

断面力の計算

- 曲げモーメント

$$M_2 = \frac{1}{2}(W + W')L_2^2 + P_c L_2$$

- せん断力

$$S_2 = (W + W')L_2 + P_c$$

応力度の計算

- 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_2}{Z}$$

- せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_2}{A_w}$$

ここに、

M_2 : 曲げモーメント (kN・m)

S_2 : せん断力 (kN)

W : 地震時慣性力 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

L_2 : 張出長さ (m)

Z : 断面係数 (mm³)

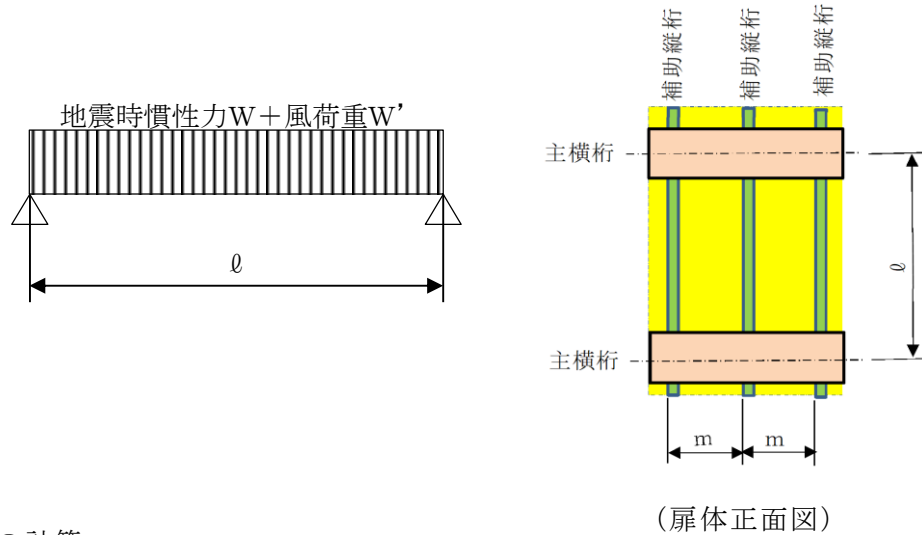
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図4-30 張出桁のモデル図及び応力算定式

c. 補助縦桁

補助縦桁は、図のような荷重を受ける主横桁で支持された単純梁として計算し、その応力が許容限界以下であることを確認する。

補助縦桁のモデル図及び応力算定式を図 4-31 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント (桁中央)

$$M_3 = \frac{1}{8}(W + W')\ell^2$$

- ・ せん断力 (桁端部)

$$S_3 = \frac{1}{2}(W + W')\ell$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M_3}{Z}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S_3}{A_w}$$

ここに、

M_3 : 曲げモーメント (kN・m)

S_3 : せん断力 (kN)

W : 地震時慣性力 (kN/m)

W' : 風荷重 (kN/m)

ℓ : 主横桁の間隔 (m)

Z : 断面係数 (mm³)

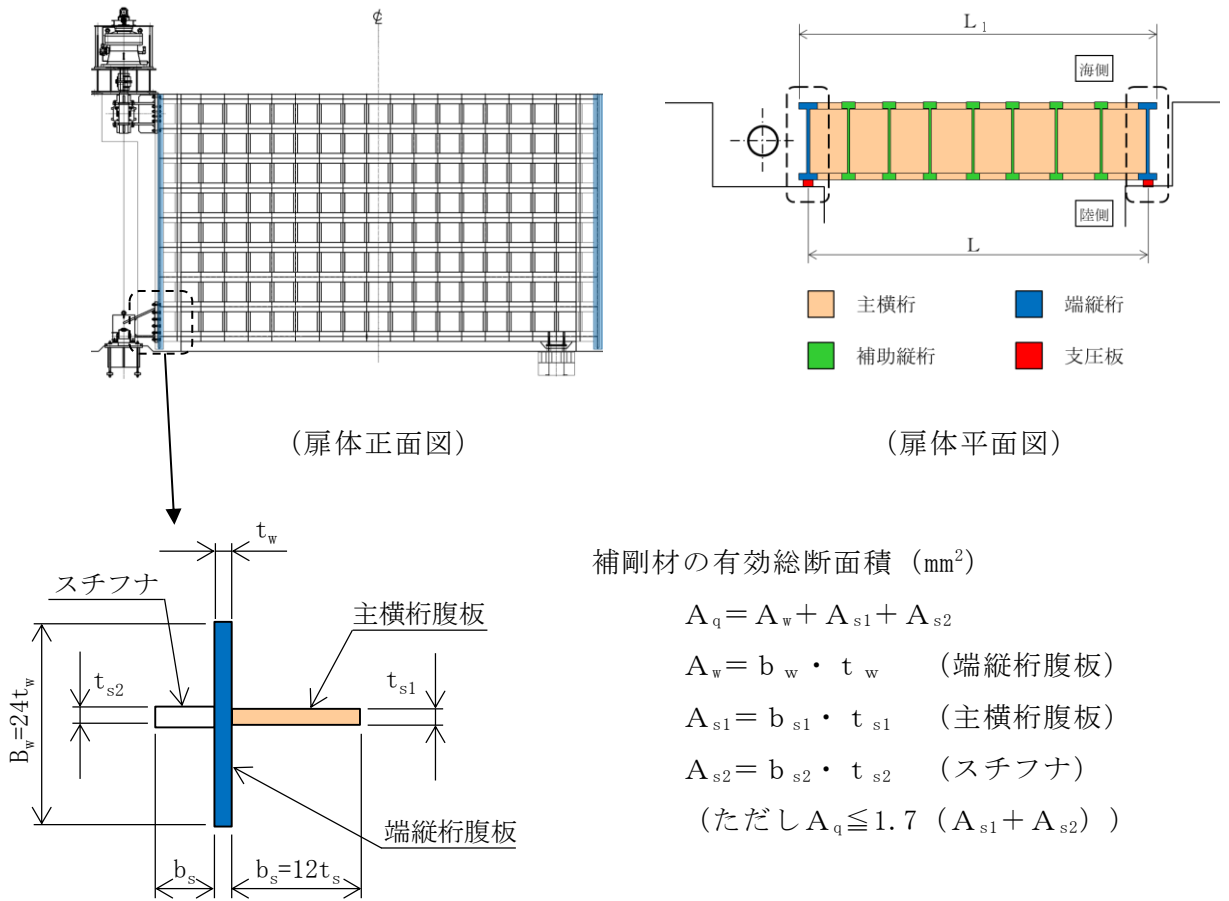
A_w : 腹板断面積 (mm²)

図 4-31 補助縦桁のモデル図及び応力算定式

d. 端縦桁

端縦桁は、主横桁反力を支圧板、戸当りを介してコンクリート躯体に伝達する。そのため、垂直補剛材を有するプレートガーダの荷重集中点として腹板強度の計算を行い、算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

端縦桁の構造図及び応力算定式を図 4-32 に示す。



補剛材の有効総断面積 (mm²)

$$A_q = A_w + A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_w = b_w \cdot t_w \quad (\text{端縦桁腹板})$$

$$A_{s1} = b_{s1} \cdot t_{s1} \quad (\text{主横桁腹板})$$

$$A_{s2} = b_{s2} \cdot t_{s2} \quad (\text{スチフナ})$$

$$(\text{ただし } A_q \leq 1.7 (A_{s1} + A_{s2}))$$

端縦桁の圧縮応力度 σ_c (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{R \cdot 10^3}{A_q}$$

ここに、

R : 主横桁の支点反力 (kN)

A_q : 補剛材の有効総断面積 (mm²)

図 4-32 端縦桁の構造図及び応力算定式

e. 支承部

支承部は、上部支承と下部支承から構成され、地震時の水平荷重及び鉛直荷重に対する発生応力が許容限界以下であることを確認する。

水平方向と鉛直方向の地震荷重の組合せは、組合せ係数法により以下のとおりとした。

組合せ①： $1.0 \times \text{水平地震荷重} + 0.4 \times \text{鉛直地震荷重}$

組合せ②： $0.4 \times \text{水平地震荷重} + 1.0 \times \text{鉛直地震荷重}$

上部支承部及び下部支承部の構造正面図を図 4-33 に示す。

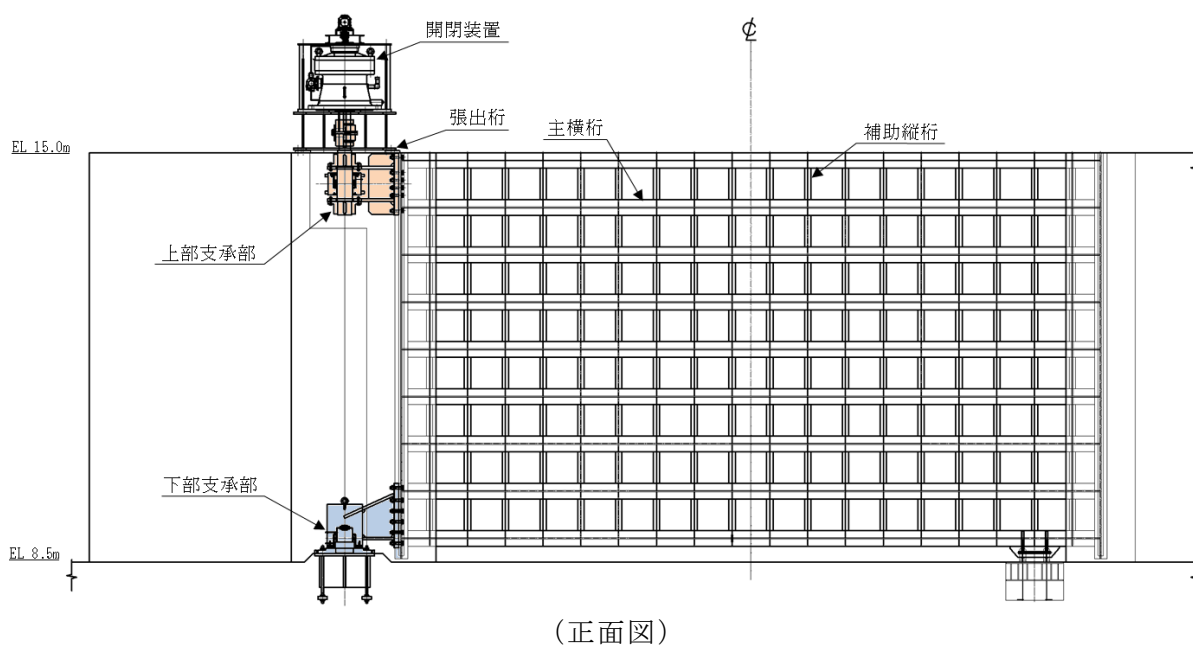
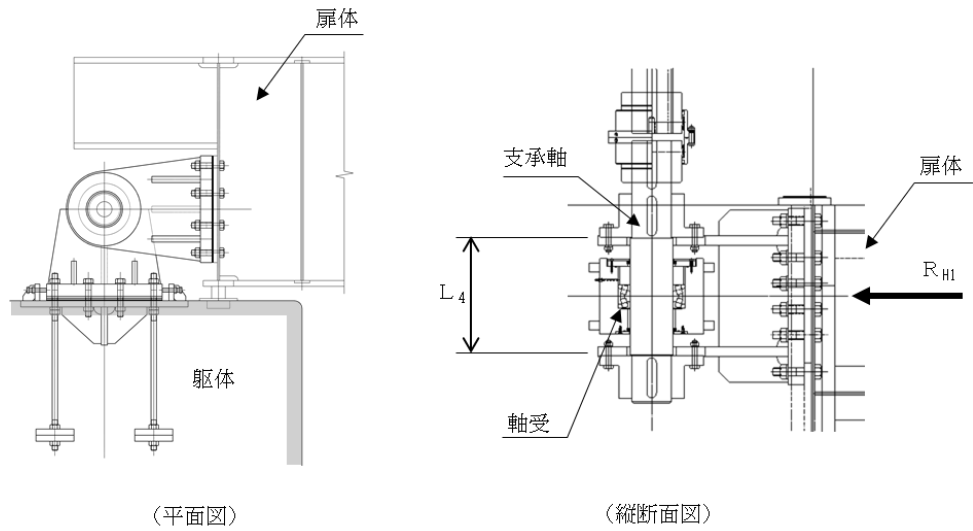


図 4-33 上部支承部及び下部支承部の正面図

(a) 上部支承部

上部支承部は、支承軸を両端ピン支持の単純梁として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

上部支承部の構造図及び応力算定式を図 4-34 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_4 = \frac{R_{H1}L_4}{4}$$

- ・ せん断力

$$S_4 = R_{H1}$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{M_4}{Z_4}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{4S_4}{3A_4}$$

ここに、

M_4 : 支承軸の曲げモーメント (kN・m)

R_{H1} : 上部支承水平作用荷重 (kN)

L_4 : 支承軸支持間隔 (m)

S_4 : 支承軸のせん断力 (kN)

Z_4 : 支承軸の断面係数 (mm³)

A_4 : 支承軸の断面積 (mm²)

図 4-34 上部支承部の構造図及び応力算定式

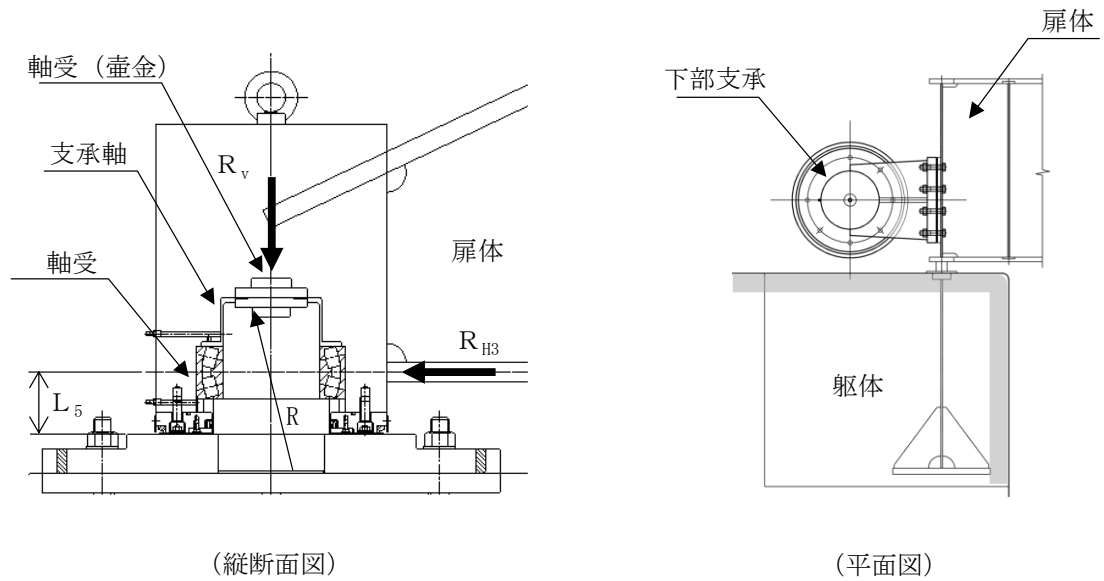
(b) 下部支承部

下部支承部は、支承軸を下端固定の片持ち梁として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

鉛直荷重を支持する軸受（壺金）は、接触面の支圧応力度により照査する。

また、水平荷重を支持する上部及び下部軸受けには同一の自動調心ころ軸受けを使用し、許容限界以下であることを確認する。

下部支承部の構造図及び応力算定式を図 4-35 に示す。



断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M_5 = R_{H3}L_5$$

- ・ せん断力

$$S_5 = R_{H3}$$

応力度の計算

- ・ 曲げ応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{M_5}{Z_5}$$

- ・ せん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{4S_5}{3A_5}$$

ここに、

M_5 : 支承軸の曲げモーメント (kN・m)

R_{H3} : 下部支承水平作用荷重 (kN)

L_5 : 支承軸片持ち梁長さ (m)

S_5 : 支承軸のせん断力 (kN)

Z_5 : 支承軸の断面係数 (mm³)

A_5 : 支承軸の断面積 (mm²)

R_v : 下部支承鉛直作用荷重 (kN)

R : 軸受（壺金）の球面の半径 (mm)

E : 軸受（壺金）の弾性係数 (N/mm²)

R_2 : 軸受け荷重 (kN)

図 4-35(1) 下部支承部の構造図及び応力算定式

・軸受（壺金）の支圧応力度 p (N/mm²)

$$p = 0.388 \left(\frac{R_v E^2}{R^2} \right)^{1/3}$$

軸受け荷重(自動調心ころ軸受)

$$R_2 = R_{H3}$$

ここに,

R_{H3} : 下部支承水平作用荷重 (kN)

R_v : 下部支承鉛直作用荷重 (kN)

R : 軸受（壺金）の球面の半径(mm)

E : 軸受（壺金）の弾性係数(N/mm²)

R_2 : 軸受け荷重(kN)

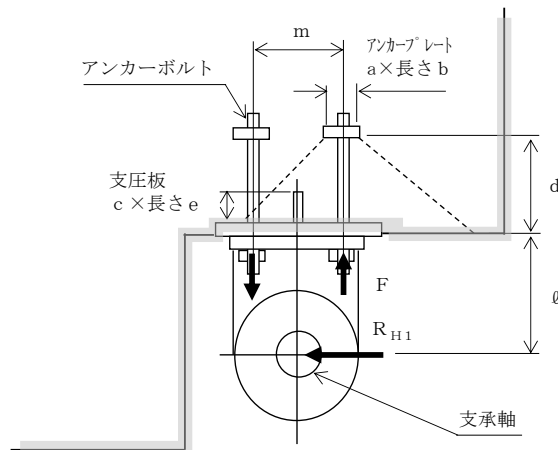
図 4-35(2) 下部支承部の応力算定式

f. 支承アンカー

(a) 上部支承アンカー

上部支承部は図に示す構造であることから、支承軸に作用する荷重は、アンカーボルトとアンカープレート及び支圧板によりコンクリートに伝達する構造として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

上部支承アンカーの構造図及び応力算定式を図 4-36 に示す。



(平面図)

アンカーボルト 1 本当りの軸力

$$F = \frac{R_{H1} \ell}{m n}$$

応力度の計算

- アンカーボルトの軸方向引張応力度 σ_t (N/mm²)

$$\sigma_t = \frac{F}{A_5}$$

ここに、

- コンクリートの支圧

応力度 (アンカープレート) σ_{c1} (N/mm²)

$$\sigma_{c1} = \frac{n F}{a b}$$

- コンクリートの支圧

応力度 (支圧板) σ_{c2} (N/mm²)

$$\sigma_{c2} = \frac{R_{H1}}{c e}$$

- F : アンカーボルト 1 本当りの軸力 (kN)
- R_{H1} : 上部支承水平荷重 (kN)
- ℓ : 支承軸からアンカーボルト固定部までの距離 (mm)
- m : アンカーボルトの間隔 (mm)
- n : アンカーボルトの片側本数
- A_5 : アンカーボルトの断面積 (mm²)
- d : アンカーボルト埋込深さ (mm)
- a, b : アンカープレートの寸法 (mm)
- c, e : 支圧板の寸法 (mm)

図 4-36(1) 上部支承アンカーの構造図及び応力算定式

・コンクリートのせん断

応力度 (アンカープレート) τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{n F}{2 b \cdot 2 d}$$

図 4-36(2) 上部支承アンカーの応力算定式

(b) 下部支承アンカー

下部支承部は、支承軸に作用する荷重は、アンカーボルトとアンカープレート及び支圧板によりコンクリートに伝達する構造として算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

下部支承アンカーの構造図及び応力算定式を図 4-37 に示す。

アンカーボルト 1 本当りの軸力 (kN)

$$F = \frac{R_{H3} L_5}{2 y n}$$

応力度の計算

- アンカーボルトの

軸方向引張応力度 σ_t (N/mm²)

$$\sigma_t = \frac{F}{A_5}$$

- コンクリートの支圧応力度

(アンカープレート) σ_{c1} (N/mm²)

$$\sigma_{c1} = \frac{n F}{a b}$$

- コンクリートの支圧応力度

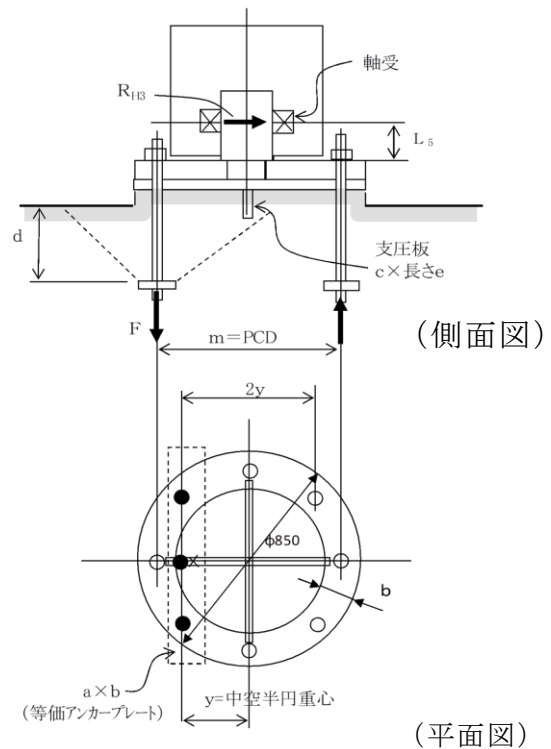
(支圧板) σ_{c2} (N/mm²)

$$\sigma_{c2} = \frac{R_{H3}}{c e}$$

- コンクリートのせん断応力度

(アンカープレート) τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{n F}{2 b \cdot 2 d}$$



ここに、

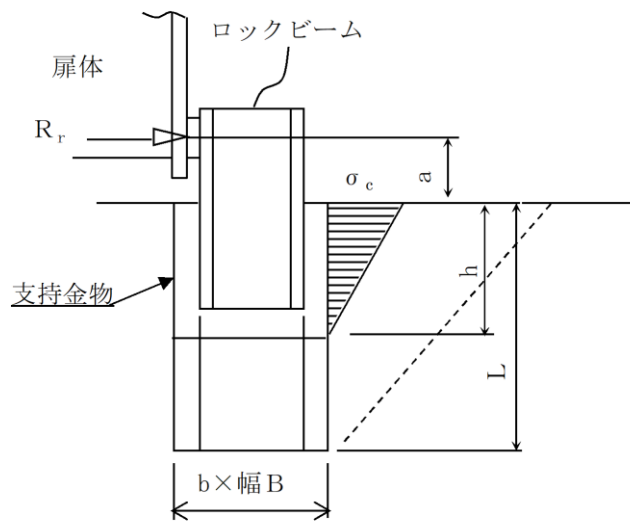
- F : アンカーボルト 1 本当りの軸力 (N)
- R_{H3} : 下部支承水平荷重 (kN)
- L_5 : 軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離 (mm)
- $2y$: アンカーボルトの間隔 (mm)
- n : アンカーボルトの片側本数
- A_5 : アンカーボルトの断面積 (mm²)
- d : アンカーボルト埋込深さ (mm)
- a, b : アンカープレートの寸法 (mm)
- c, e : 支圧板の寸法 (mm)

図 4-37 下部支承アンカーの構造図及び応力算定式

g. ロック装置

ロック装置は、扉体に作用する地震時荷重をロックビームから支持金物及びコンクリートへ伝達し、扉体を全閉位置に固定する。ロックビームを片持ち梁にモデル化して算定される応力が許容限界以下であることを確認する。

ロック装置の構造図及び応力算定式を図4-38に示す。



(断面図)

断面力の計算

- ・ 曲げモーメント

$$M = P_r a$$

- ・ せん断力

$$S = P_r$$

応力度の計算

- ・ ロックビーム曲げ応力度 σ (N/mm²)

$$\sigma = \frac{M}{2Z}$$

- ・ ロックビームせん断応力度 τ (N/mm²)

$$\tau = \frac{S}{2A}$$

ここに、

M : 曲げモーメント (kN・m)

R_r : ロック反力 (kN)

a : ロックビームの片持ち梁長さ (m)

n : ロックビーム数

Z : ロックビームの断面係数 (mm³)

S : ロックビームのせん断力 (kN)

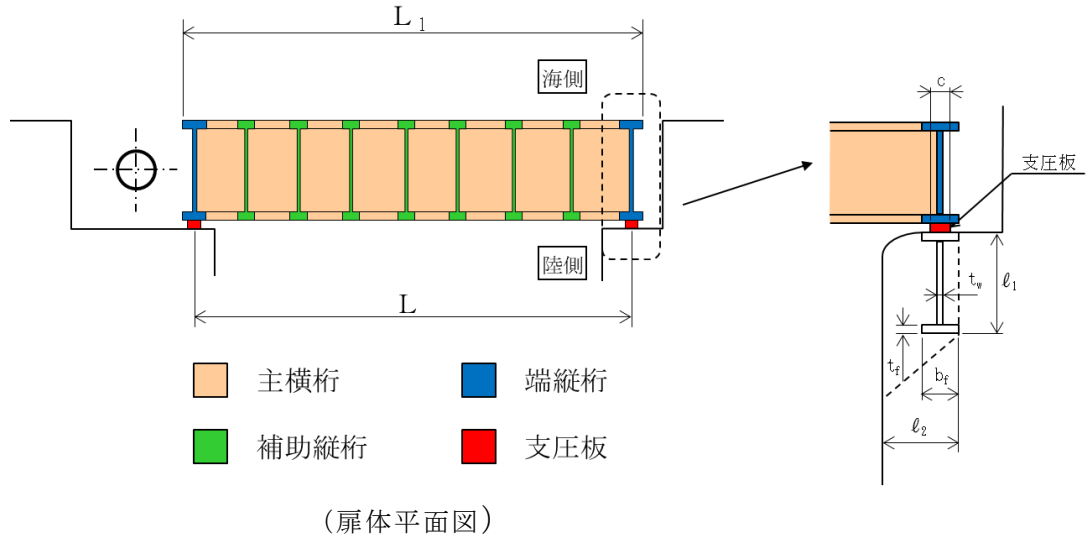
A : ロックビームのせん断面積 (mm²)

図4-38 ロック装置の構造図及び応力算定式

h. 戸当り

戸当りは、最も水平荷重（地震時慣性力+風荷重）が大きい最下段の主横桁からの荷重により応力を算定し許容限界以下であることを確認する。

戸当りの概要図及び応力算定式を図 4-39 に示す。



応力度の計算

- 支圧板の支圧応力度 σ_p (N/mm²)

$$\sigma_p = \frac{W L_1}{2 C L_2}$$

- 腹板の支圧応力度 σ_b (N/mm²)

$$\sigma_b = \frac{W L_1}{2 t_w L_2}$$

- コンクリートの支圧応力度 σ_{cb} (N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{W L_1}{2 b_f L_2}$$

- 底面フランジの曲げ応力度 σ_f (N/mm²)

$$\sigma_f = \frac{6 M_f}{t_f^2}$$

$$M_f = \frac{\sigma_c \cdot b_f^2}{8}$$

- コンクリートのせん断応力度 τ_c (N/mm²)

$$\tau_c = \frac{W L_1}{2 \Sigma \ell L_2}$$

ここに、

W : 水平荷重

(地震時慣性力+風荷重)

(kN/m)

C : 支圧板の有効幅

L₁ : 扉体幅 (mm)

L₂ : 主横桁の荷重分担長さ (mm)

t_w : 腹板の厚さ (mm)

b_f : 底面フランジの幅 (mm)

t_f : 底面フランジの厚さ (mm)

ℓ₁ : 戸当り深さ (mm)

ℓ₂ : 底面フランジのコンクリート
までの距離 (mm)

M_f : 底面フランジに作用する曲げモーメント (N・mm)

Σℓ : せん断抵抗長さ (=ℓ₁+2ℓ₂) (mm)

図 4-39 戸当りの概要図及び応力算定式

(2) 漂流物対策工戸当り（RC支柱）及び基礎スラブ

鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して，2次元動的有限要素法により算定した応力が許容限界以下であることを確認する。

(3) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては，漂流物対策工直下のMMR及び改良地盤並びにMMR及び改良地盤の直下の岩盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認する。

5. 評価条件

「4. 耐震評価」に用いる評価条件を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表 5-1(1) 防波扉の耐震評価に用いる条件 (1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主桁	W	主桁の負担荷重 (風荷重+地震時慣性力)	16.967	kN/m
	B	水密幅	11.600	m
	L	支圧板中心間	11.200	m
	M	主桁の曲げモーメント	265.700	kN・m
	S	主桁のせん断力	98.407	kN
	N	主桁の軸力	30.540	kN
	Z	主桁の断面係数	10767582	mm ³
	D	側部水密幅	1800	mm
	A _w	主桁の腹板断面積	14382	mm ²
	A _g	主桁の断面積	23012	mm ²
補助縦桁	P	補助縦桁の水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)	12.568	kN/m ²
	a	補助縦桁間隔	0.747	m
	b	主桁間隔	1.200	m
	M	補助縦桁の曲げモーメント	2.082	kN-m
	S	補助縦桁のせん断力	4.819	kN
	Z	補助縦桁の断面係数	114034	mm ³
	A _w	補助縦桁の腹板断面積	611	mm ²
端縦桁	R	主桁の支点反力	98.407	kN
	A	補剛材の有効断面積	2938	mm ²
支圧板	W _{gh}	地震時慣性力	124.850	kN/m
	W	風荷重	1.805	N/mm ²
	B	扉体の水密幅	11600	mm
	b	支圧板の有効幅	100	mm
戸当り	P	戸当り水平荷重 (地震時慣性力+風荷重)	145.789	kN/m
	b _f	戸当り底面フランジ幅	200	mm
	t _f	戸当り底面フランジ板厚	22	mm
	B	扉体の水密幅	11600	mm
	h	戸当りの桁高	510	mm
	L	底面フランジのコンクリートまでの距離	400	mm

表 5-1(2) 防波扉の耐震評価に用いる条件 (2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
走行車輪	R_1	海側車輪荷重	318.653	kN
	R_2	陸側車輪荷重	166.486	kN
	W_g	扉体自重	370	kN
	W_{s1}	扉体天端の積雪荷重	13.328	kN
	W_{s1}	ガイドアームの積雪荷重	4.784	kN
	P	車輪荷重	318.653	kN
	E_1	車輪の弾性係数	193000	N/mm ²
	E_2	車輪踏面板の弾性係数	193000	N/mm ²
	B	車輪有効踏面幅	85	mm
	R	車輪半径	345	mm
	C	接触幅の 1/2	3.954	mm
	M	走行車輪軸の曲げモーメント	10913881	N・mm
	S	走行車輪軸のせん断力	159327	N
	A	走行車輪軸の断面積	9503	mm ²
	Z	走行車輪軸の断面係数	130671	mm ³
	L	車輪受桁の支持間隔	2240	mm
	a	車輪受桁の荷重載荷位置	1640	mm
	b	車輪受桁の荷重載荷位置	600	mm
	M_c	車輪受桁の曲げモーメント	139980000	N・mm
	S_b	車輪受桁のせん断力	233300	N
Z_1	車輪受桁の断面係数	875000	mm ²	
A_w	車輪受桁の腹板断面積	2208	mm ³	
車輪 戸当り	P	車輪荷重	318.653	kN
	K	車輪荷重直下のコンクリートの支圧応力度	1.79	N/mm ²
	a	コンクリートの応力度の分布長さの 1/2	1068	mm
	M	車輪戸当りの曲げモーメント	63817061	N・mm
	S	車輪戸当りのせん断力	159327	N
	I	車輪戸当りの断面 2 次モーメント	73100000	mm ⁴
	B	車輪戸当りの底面フランジ幅	125	mm
	Z	車輪戸当りの断面係数	585000	mm ³
	A_w	車輪戸当りの腹板断面積	2040	mm ²
	M_f	底面フランジの曲げモーメント	3496	N・mm

表 5-1(3) 防波扉の耐震評価に用いる条件 (3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
ガイド アーム	P_v	地震時鉛直荷重	64.407	kN・m
	W_g	扉体自重	370	kN
	W_s	積雪荷重	16.44	kN
	M_m	ガイドアームの曲げモーメント	325.254	kN・m
	S_m	ガイドアームのせん断力	64.407	kN
	Z_c	ガイドアームの断面係数	1811700	mm ³
	A_w	ガイドアームの腹板面積	27200	mm ²
休止 ピン	P_h	休止ピンに作用する水平荷重	405.762	kN
	W	自重 (扉体自重+積雪荷重)	386.44	kN
	M	休止ピンの曲げモーメント	52749060	N・mm
	S	休止ピンのせん断力	405762	N
	Z	休止ピンの断面係数	331340	mm ³
	A	休止ピンの断面積	17671	mm ²
	L_1	休止ピンの片持ち梁長さ	130	mm
	d	休止ピンの径	150	mm

表 5-2(1) 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (1/3)

部材	記号	定義	数値	単位
主横桁	M_1	曲げモーメント	268.2	kN・m
	S_1	せん断力	96.7	kN
	W	地震時慣性力	16.065	kN/m
	W'	風荷重	1.354	kN/m
	L	支間	11.100	m
	a	張り出し部	0.100	m
	L_1	扉体幅	11.300	m
	M_1'	曲げモーメント	1275.2	kN・m
	S_1'	せん断力	210.8	kN
	L'	張出長さ	12.100	m
	Z	断面係数	23979000	mm ³
	A_w	腹板断面積	26300	mm ²
張出桁	M_2	曲げモーメント	4.2	kN・m
	S_2	せん断力	7.0	kN
	W	地震時慣性力	5.355	kN/m
	W'	風荷重	0.451	kN/m
	L_2	張出長さ	1.200	m
	Z	断面係数	10829000	mm ³
	A_w	腹板断面積	26370	mm ²
補助縦桁	M_3	曲げモーメント	0.2	kN・m
	S_3	せん断力	0.9	kN
	W	地震時慣性力	2.142	kN/m
	W'	風荷重	0.181	kN/m
	ℓ	主横桁の間隔	0.750	m
	Z	断面係数	10540000	mm ³
	A_w	腹板断面積	26300	mm ²
端縦桁	R	主横桁の支点反力	210.8	kN
	A_q	補剛材の有効総断面積	10747	mm ²

表 5-2(2) 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (2/3)

部材	記号	定義	数値	単位
上部 支承軸	M ₄	支承軸の曲げモーメント	278.5	kN・m
	R _{H1}	上部支承水平作用荷重	2025.1	kN
	L ₄	支承軸支持間隔	0.550	m
	S ₄	支承軸のせん断力	1012.6	kN
	Z ₄	支承軸の断面係数	1045400	mm ³
	A ₄	支承軸の断面積	38010	mm ²
下部 支承軸	M ₅	支承軸の曲げモーメント	315.9	kN・m
	R _{H3}	下部支承水平作用荷重	2025.1	kN
	L ₅	支承軸片持ち梁長さ	0.156	m
	S ₅	支承軸のせん断力	2025.1	kN
	Z ₅	支承軸の断面係数	2155100	mm ³
	A ₅	支承軸の断面積	61580	mm ²
下部 支承軸受	R _v	下部支承鉛直作用荷重	1574.7	kN
	R	軸受（壺金）の球面の半径	1150	mm
	E	軸受（壺金）の弾性係数	1.93×10 ⁵	N/mm ²
支承軸受	R ₂	軸受け荷重	2025.1	kN
上部支承 アンカー	F	アンカーボルト 1 本当りの軸力	238.2	kN
	R _{H1}	上部支承水平作用荷重	2025.1	kN
	ℓ	支承軸からアンカーボルト固定部までの距離	600	mm
	m	アンカーボルトの間隔	850	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	6	本
	A ₅	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルト埋込深さ	1100	mm
	a, b	アンカープレートの寸法	300, 950	mm
	c, e	支圧板の寸法	400, 950	mm

表 5-2(3) 漂流物対策工の耐震評価に用いる条件 (3/3)

部材	記号	定義	数値	単位
下部支承 アンカー	F	アンカーボルト 1 本当りの軸力	236.1	kN
	R_{H3}	下部支承水平作用荷重	2025.1	kN
	L_5	軸受中心からアンカーボルト固定部までの距離	156	mm
	$2y$	アンカーボルトの間隔	446	mm
	n	アンカーボルトの片側本数	3	本
	A_5	アンカーボルトの断面積	865	mm ²
	d	アンカーボルト埋込深さ	550	mm
	a, b	アンカープレートの寸法	150, 850	mm
	c, e	支圧板の寸法	500, 800	mm
ロック 装置	M	曲げモーメント	88.5	kN・m
	R_r	ロック反力	590.3	kN
	a	ロックビームの片持ち梁長さ	0.150	m
	n	ロックビーム数	2	本
	Z	ロックビームの断面係数	260000	mm ³
	S	ロックビームのせん断力	590.3	kN
	A	ロックビームのせん断面積	2128	mm ²
戸当り	W	作用荷重 (地震時慣性力+風荷重)	17.419	kN/m
	C	支圧板の有効幅	80	mm
	L_1	扉体幅	11300	mm
	L_2	主横桁の荷重分担長さ	750	mm
	t_w	腹板の厚さ	14	mm
	b_f	底面フランジの幅	750	mm
	t_f	底面フランジの厚さ	50	mm
	ℓ_1	戸当り深さ	1350	mm
	ℓ_2	底面フランジのコンクリートまでの距離	925	mm
	M_f	底面フランジに作用する曲げモーメント	14.1	kN・m
	$\Sigma \ell$	せん断抵抗長さ ($=\ell_1+2\ell_2$)	3200	mm

6. 耐震評価結果

6.1 防波扉

(1) 防波扉（鋼製扉体）

「3. 固有値解析」に示したとおり防波扉（鋼製扉体）の固有振動数が 20Hz 以上であるため、防波扉（鋼製扉体）の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示すとおり防波扉（鋼製扉体）の設置床である防波扉基礎スラブの最大応答加速度を基に設定する。設計震度は表 6-1 に示すとおり、最大応答加速度から算出される水平震度及び鉛直震度より保守的に高く設定した。

防波扉（鋼製扉体）の主部材の照査結果を表 6-2 に示す。この結果から、防波扉（鋼製扉体）の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 設計用地震力

設置標高	最大応答加速度に基づく震度		設計震度	
	EL 8.5m	水平	1.08	水平 K_h
鉛直		1.03	鉛直 K_v	1.5

表 6-2 防波扉（鋼製扉体，戸当り）の主部材の照査結果

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容 限界 (b)	照査値 (a/b)	
防波扉 (鋼製 扉体)	主桁	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	26	240	0.109	
			せん断応力度 (N/mm ²)	6.8	135	0.051	
	補助縦桁	SS400	曲げ応力度 (N/mm ²)	18.3	180	0.102	
			せん断応力度 (N/mm ²)	7.9	105	0.076	
	端縦桁	SM490	圧縮応力度 (N/mm ²)	33	240	0.138	
	支圧板	SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	0.729	225	0.004	
	戸当り	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	22.6	240	0.095	
		Fc24	支圧応力度 (N/mm ²)	0.36	8.8	0.041	
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.06	0.60	0.100	
	走行車輪	車輪	SUS304	接触面圧応力度 (N/mm ²)	605.2	849	0.713
		車輪軸	SUS304	曲げ応力度 (N/mm ²)	83.5	150	0.557
				せん断応力度 (N/mm ²)	22.4	90	0.249
		車輪受桁	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	160.0	240	0.667
				せん断応力度 (N/mm ²)	106.0	135	0.786
		車輪戸当り	SS400	曲げ応力度 (N/mm ²)	109.1	180	0.607
	せん断応力度 (N/mm ²)			78.1	105	0.744	
	底面フランジ曲 げ応力度(N/mm ²)			58.1	180	0.323	
	ガイド アーム	SM490	曲げ応力度 (N/mm ²)	180	240	0.750	
			せん断応力度 (N/mm ²)	2.4	135	0.018	
	休止ピン	SUS329J4L	曲げ応力度 (N/mm ²)	159.2	338	0.471	
せん断応力度 (N/mm ²)			30.6	195	0.157		

(2) 防波扉戸当り (RC支柱)

a. 曲げ軸力照査

防波扉戸当り (RC支柱) の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-1 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-3 に示す。

この結果から、防波扉戸当り (RC支柱) の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

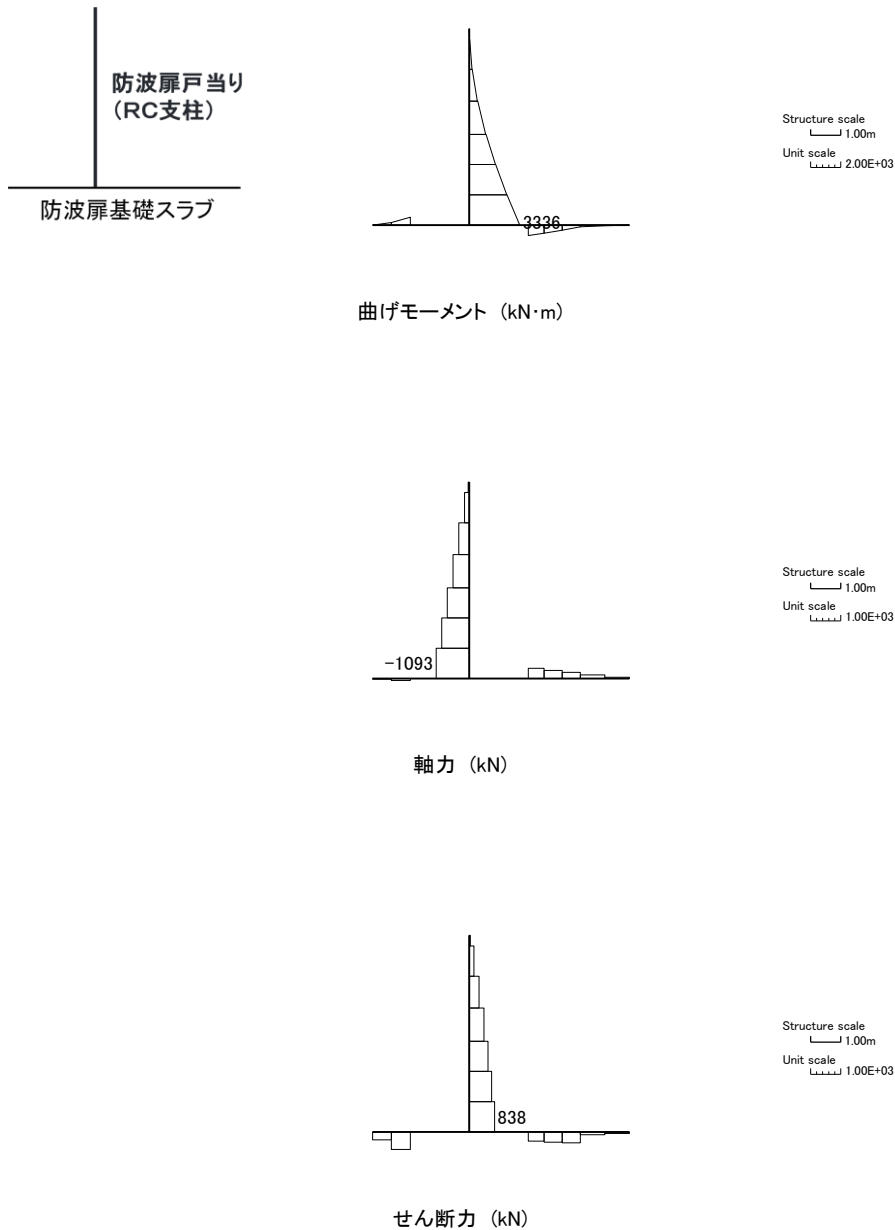


図 6-1(1) 防波扉戸当り (RC支柱) の曲げ圧縮照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (+ -) , 解析ケース①, t=8.61s)

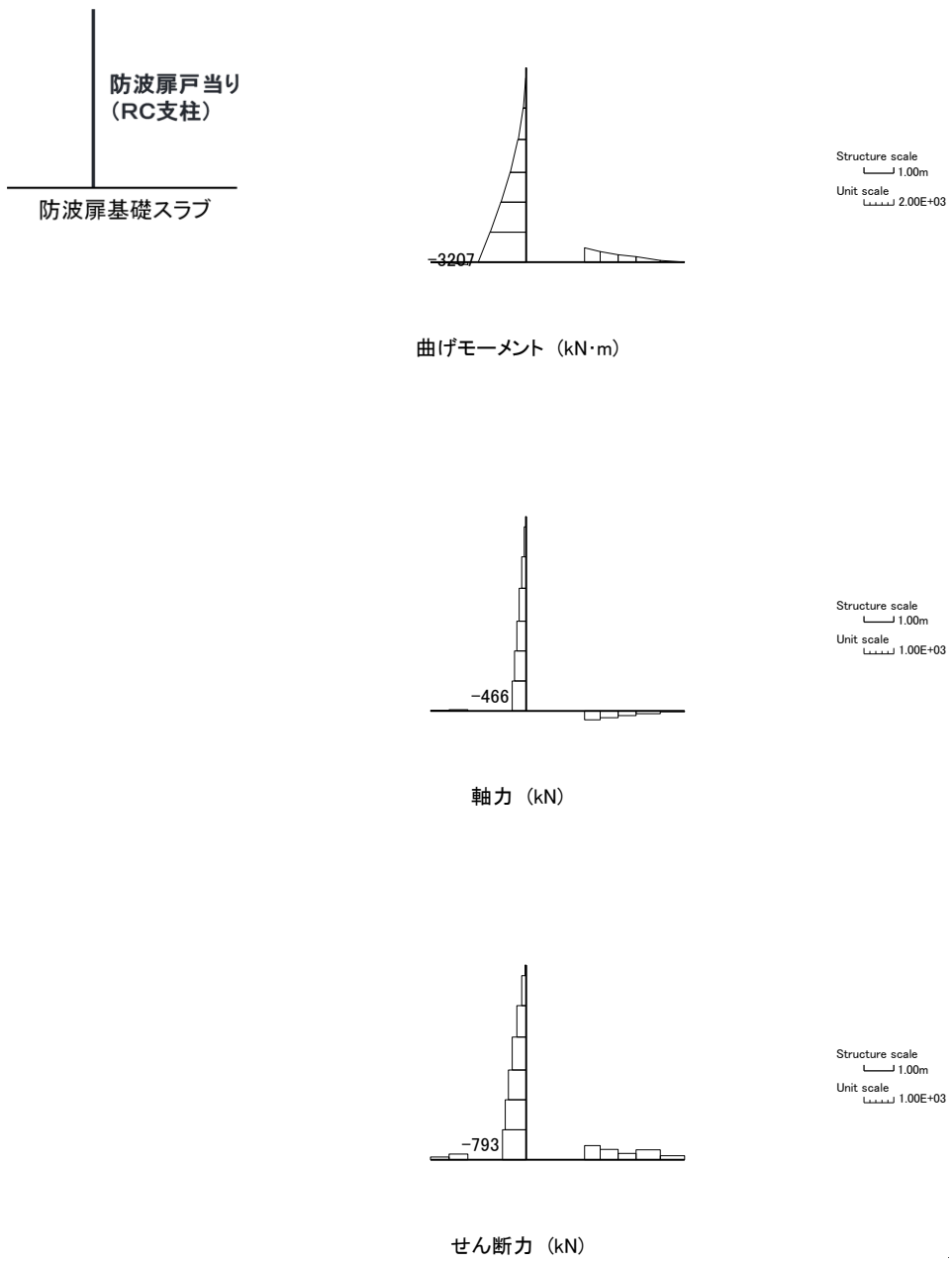


図 6-1(2) 防波扉当り (RC支柱) の曲げ引張照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (-+), 解析ケース①, t=8.61s)

表 6-3(1) 防波扉戸当り (RC支柱) の曲げ圧縮照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (+ -)	①	3336	-1093	2.1	13.5	0.153

表 6-3(2) 防波扉戸当り (RC支柱) の曲げ引張照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (- +)	①	-3207	-466	85	294	0.288

b. せん断力照査

防波扉戸当り（RC支柱）のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図6-2に、せん断破壊に対する最大照査値を表6-4に示す。

この結果から、防波扉戸当り（RC支柱）の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

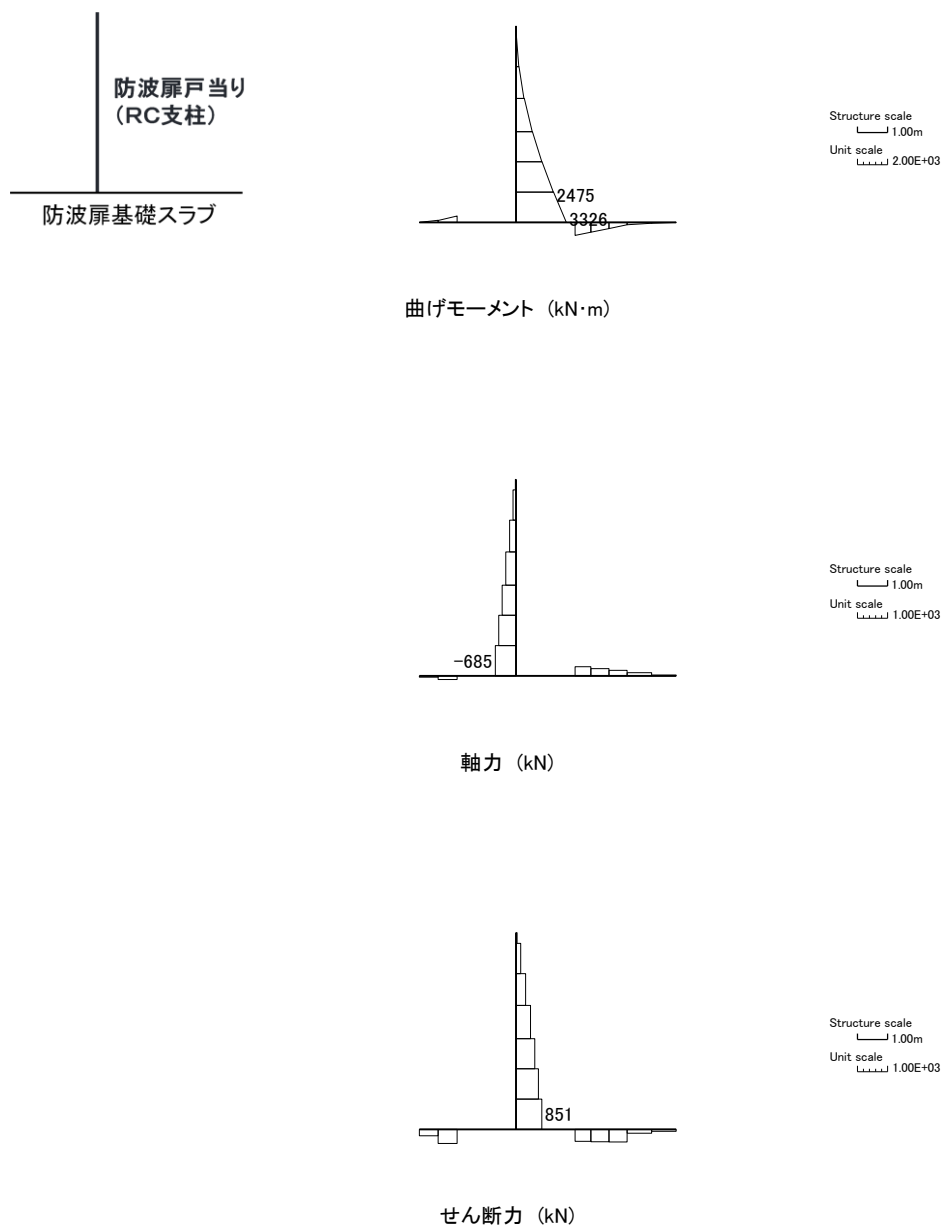


図6-2 防波扉戸当り（RC支柱）のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力（ $S_s - D$ （—）, 解析ケース①, $t = 19.21s$ ）

表 6-4 防波扉戸当り (RC 支柱) のせん断力照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -D (--)	①	851	0.26	0.67	0.394

(3) 防波扉基礎スラブ

a. 曲げ軸力照査

防波扉基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-3 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-5 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

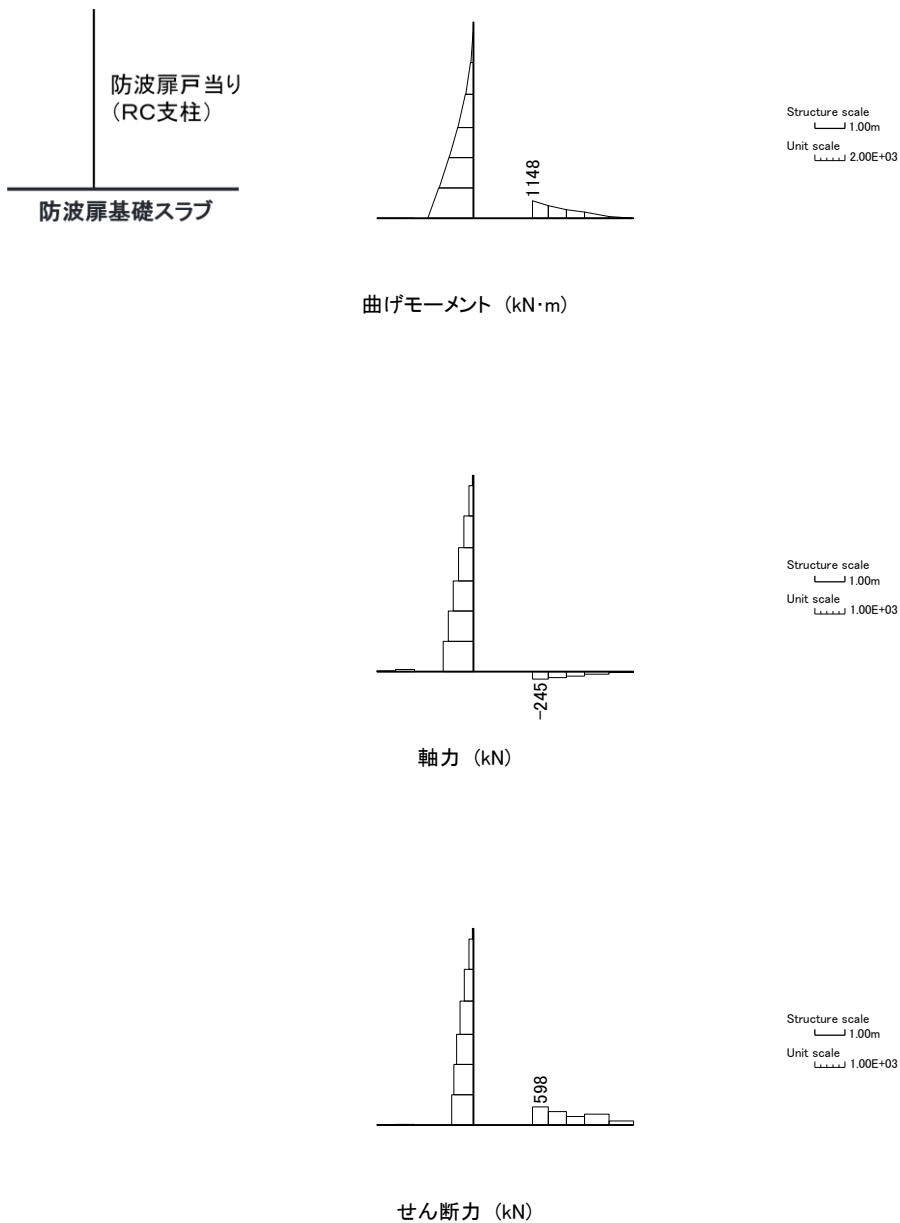


図 6-3(1) 防波扉基礎スラブの曲げ圧縮照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (++) , 解析ケース①, t = 28.17s)

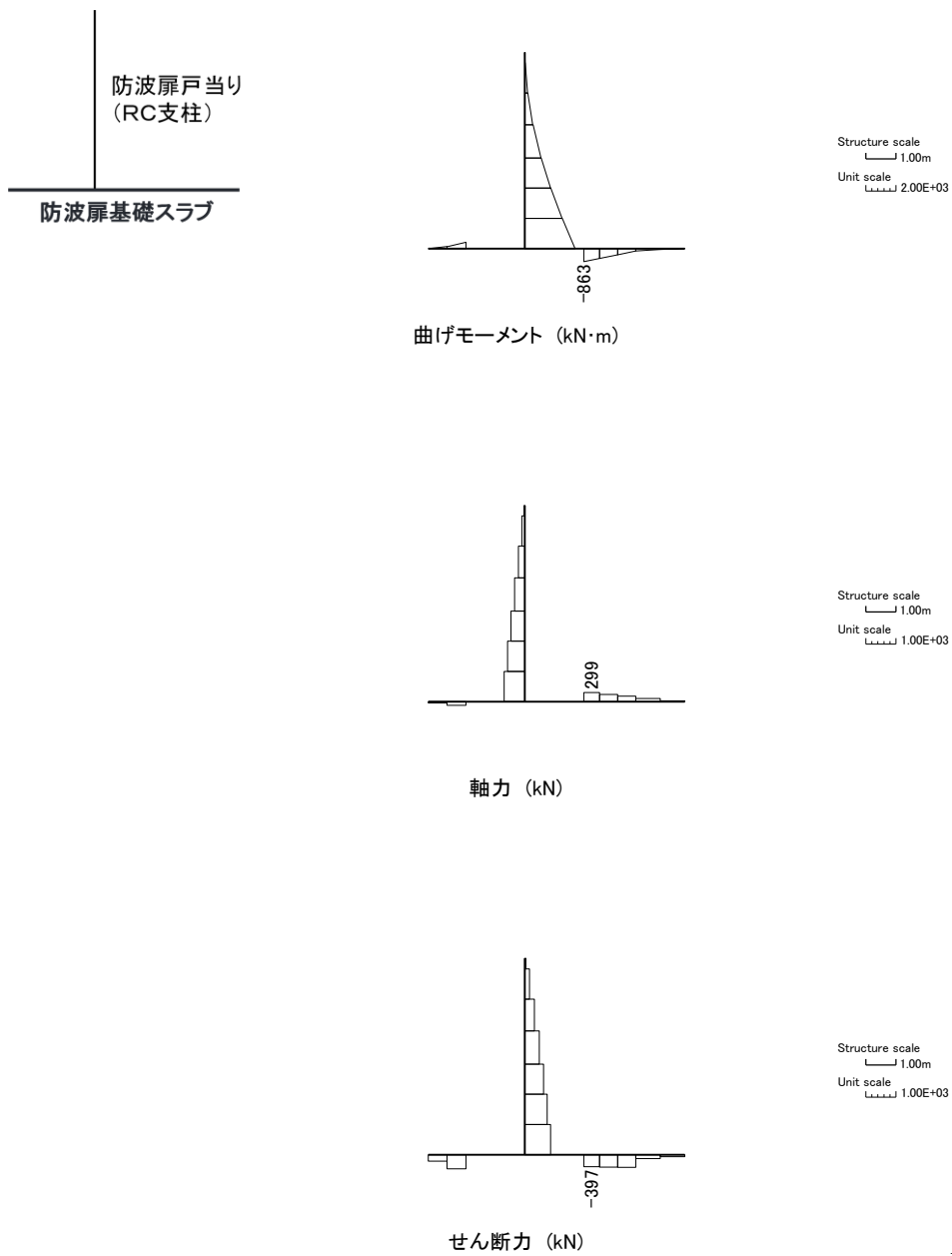


図 6-3(2) 防波扉基礎スラブの曲げ引張照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S_s-D (—), 解析ケース①, t=19.21s)

表 6-5(1) 防波扉基礎スラブの曲げ圧縮照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (++)	①	1148	-245	4.5	13.5	0.333

表 6-5(2) 防波扉基礎スラブの曲げ引張照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (--)	①	-863	299	175	294	0.595

b. せん断力照査

防波扉基礎スラブのせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-4 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-6 に示す。

この結果から、防波扉基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

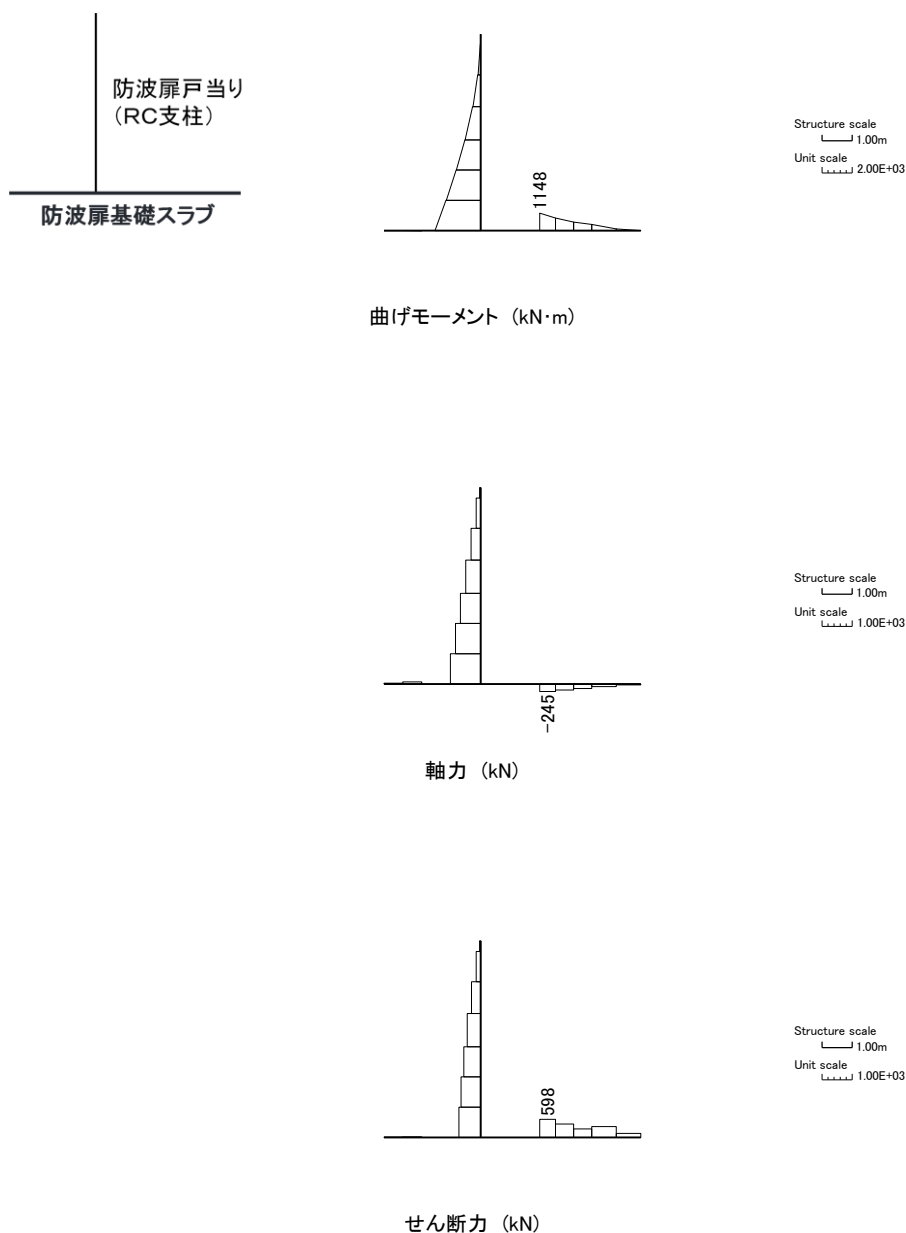


図 6-4 防波扉基礎スラブのせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S_s-D(++) , 解析ケース①, t=28.17s)

表 6-6 防波扉基礎スラブのせん断力照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S _s -D (++)	①	598	0.56	0.67	0.836

c. グラウンドアンカによる支圧照査

防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧に対する照査値を表 6-7 に示す。

この結果から防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧が許容限界以下であることを確認した。

表 6-7 防波扉基礎スラブのグラウンドアンカによる支圧に対する照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	支圧応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ab}
S _s -N1 (++)	①	11.9	18.0	0.663

(4) グラウンドアンカ

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査値を表 6-8 に示す。

この結果からグラウンドアンカの発生アンカー力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-8 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生アンカー力 T (kN)	テンドンの 許容拘束力 T _{ab} (kN)	照査値 T/T _{ab}
S _s -N1 (++)	①	1710	2076	0.824

(5) 改良地盤

改良地盤におけるすべり安全率による評価結果を表 6-9 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図 6-5 に示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 6-9 改良地盤のすべり安全率評価結果

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - N 1 (-+)	①	7.56	1.65

- 引張強度に達した要素
- せん断強度に達した要素
- 1.0 ≤ 値 < 1.2
- 1.2 ≤ 値
- 最小すべり安全率となるすべり線



図 6-5 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布
(S s - N 1 (-+), 解析ケース①, t=7.56s)

(6) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-10 に、支持地盤の接地圧分布を図 6-6 に示す。

防波扉基礎スラブの基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 6-10(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -D (+-)	①	0.5	1.4	0.363

表 6-10(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -D (+-)	①	1.1	9.8	0.109

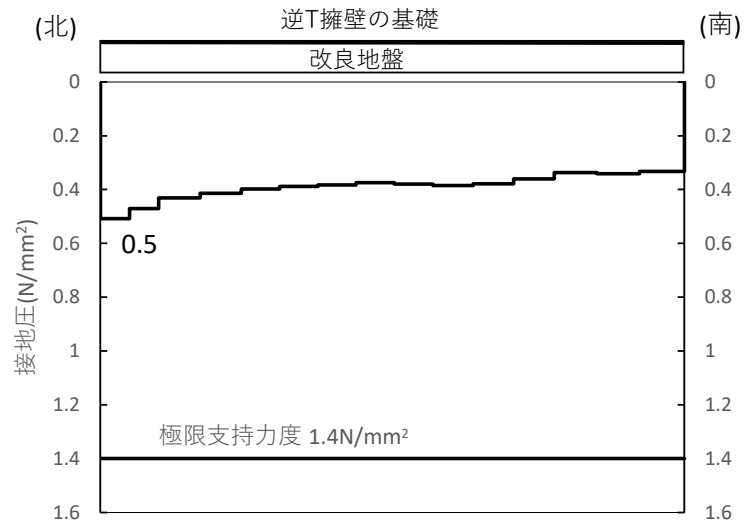


図 6-6(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (改良地盤)
(S s - D (+ -) , 解析ケース①)

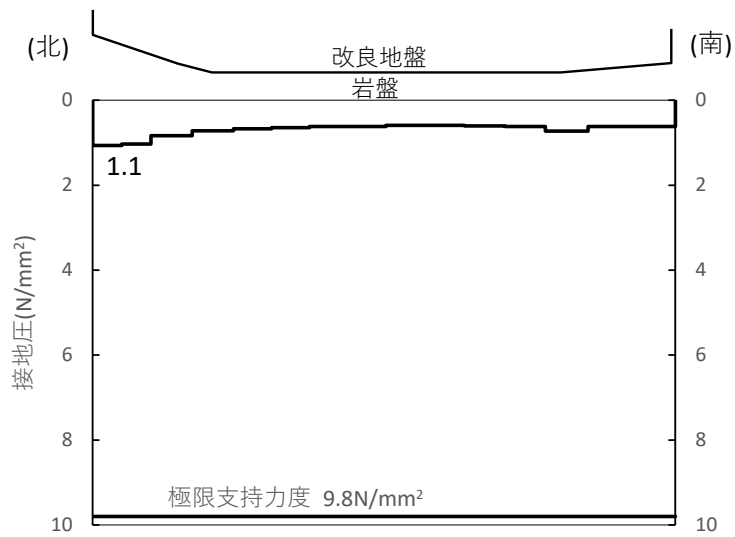


図 6-6(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (岩盤)
(S s - D (+ -) , 解析ケース①)

6.2 漂流物対策工

(1) 漂流物対策工（鋼製扉体）

「3. 固有値解析」に示したとおり漂流物対策工（鋼製扉体）の固有振動数が 20Hz 以上であることを確認したため、防波扉（鋼製扉体）の耐震計算に用いる設計震度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示すとおり漂流物対策工（鋼製扉体）の設置床における最大応答加速度を基に設定する。設計震度は表 6-11 に示すとおり、最大応答加速度から算出される水平震度及び鉛直震度より保守的に高く設定した。

漂流物対策工（鋼製扉体）の主部材の照査結果を表 6-12 に示す。この結果から、漂流物対策工（鋼製扉体）の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-11 設計用地震力

設置標高	最大応答加速度に基づく震度		設計震度	
	EL 8.5m	水平	0.93	水平 K_h
鉛直		0.66	鉛直 K_v	1.1

表 6-12(1) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の主部材の照査結果（1/2）

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
漂流物 対策工 (鋼製 扉体)	横主桁 (最下段)	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	11	525	0.021
		SM570	せん断応力度 (N/mm ²)	4	193	0.021
	横主桁 (最上段)	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	53	525	0.101
		SM570	せん断応力度 (N/mm ²)	8	193	0.042
	張出桁	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	0.4	525	0.001
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.3	303	0.001
	補助縦桁	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	0.02	306	0.001
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.03	193	0.001
	端縦桁	SM570	圧縮応力度 (N/mm ²)	20	337	0.060
	支承部 (上部 支承軸)	SUS630 H1150	曲げ応力度 (N/mm ²)	266	540	0.493
			せん断応力度 (N/mm ²)	36	310	0.117
	支承部 (下部 支承軸)	SUS304N2	曲げ応力度 (N/mm ²)	147	255	0.577
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	147	0.089
	支承部 (下部 支承軸受)	SUS630 H1150	接触応力度 (N/mm ²)	1373	2035	0.675
支承 軸受け	自動調心 ころ軸受	軸受荷重 (kN)	2025	3800	0.533	
支承アンカ ー(上部 アンカ ーボルト)	SCM435	軸方向引張 応力度(N/mm ²)	275	585	0.471	

表 6-12(2) 漂流物対策工（鋼製扉体，戸当り）の主部材の照査結果（2/2）

部材		材質	種別	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
漂流物 対策工 （鋼製 扉体）	支承アンカー （下部アン カーボルト）	SCM435	軸方向引張 応力度 (N/mm ²)	273	585	0.467
	上部支承ア ンカー（コ ンクリート）	Fc40	支圧応力度 (N/mm ²)	7.1	8.8	0.807
			支圧応力度 支圧板 (N/mm ²)	5.3	8.8	0.603
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.34	0.60	0.570
	下部支承ア ンカー（コ ンクリート）	Fc40	支圧応力度 (N/mm ²)	5.6	8.8	0.637
			支圧応力度 支圧板 (N/mm ²)	5.1	8.8	0.580
			せん断応力度 (N/mm ²)	0.38	0.60	0.634
	ロック装置	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	170	337	0.505
			せん断応力度 (N/mm ²)	139	193	0.721
	支圧板	SUS304	支圧応力度 (N/mm ²)	2	225	0.009
	戸当り （腹板）	SM400	支圧応力度 (N/mm ²)	9	270	0.034
	戸当り （底面フラ ンジ）	SBHS700	曲げ応力度 (N/mm ²)	34	525	0.065
	戸当り （コンクリ ート）	Fc40	支圧応力度 (N/mm ²)	0.2	8.8	0.023
せん断応力度 (N/mm ²)			0.04	0.60	0.067	

(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱)

a. 曲げ軸力照査

漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-7 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-13 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り (RC支柱) の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

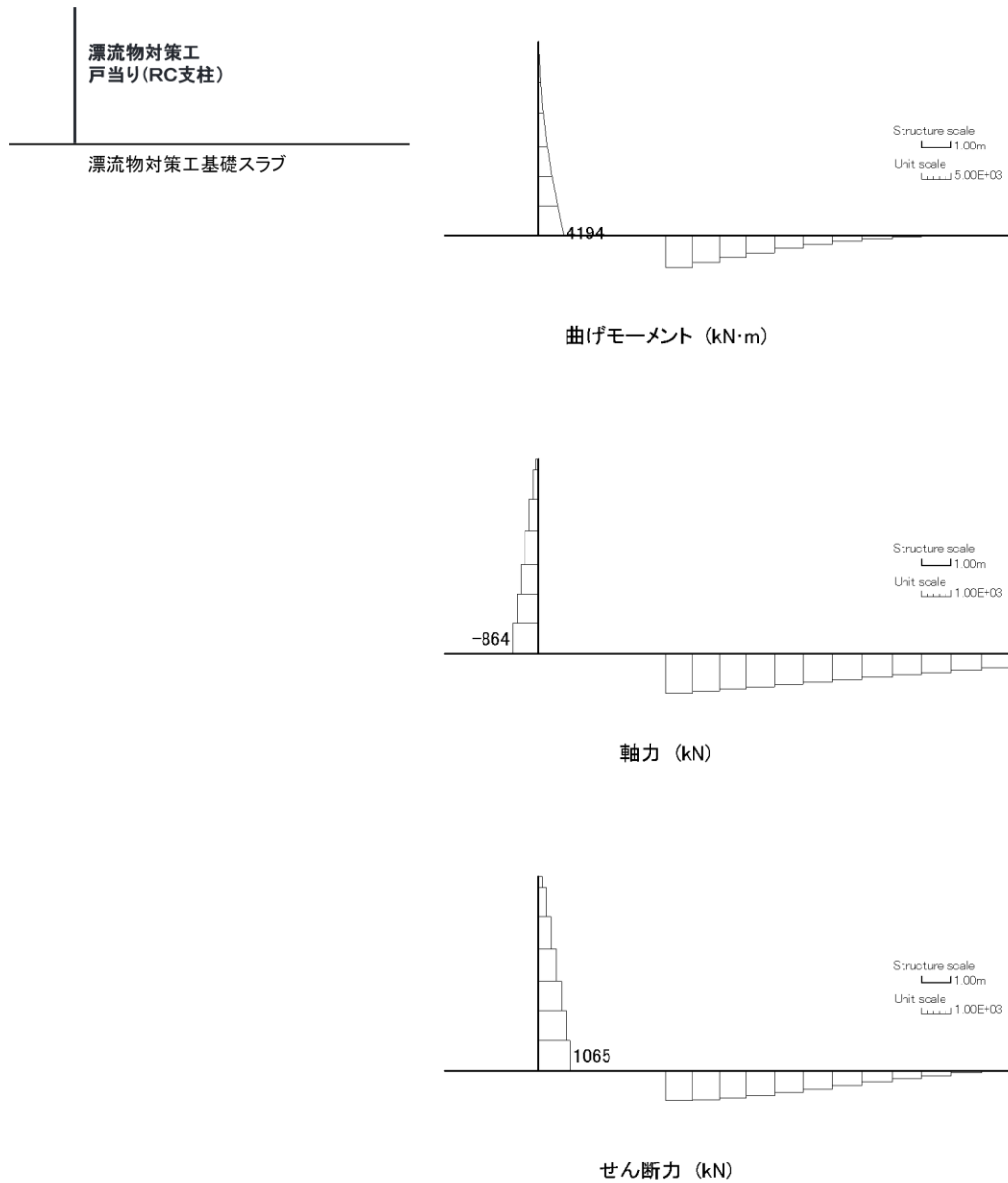


図 6-7 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - N 1 (-+), 解析ケース①, t=7.55s)

表 6-13(1) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ圧縮照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S _s -N1 (-+)	①	4194	-864	1.3	21.0	0.063

表 6-13(2) 漂流物対策工戸当り (RC支柱) の曲げ引張照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S _s -N1 (-+)	①	4194	-864	35	294	0.121

b. せん断力照査

漂流物対策工戸当り（RC支柱）のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-8 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-14 に示す。

この結果から、漂流物対策工戸当り（RC支柱）の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

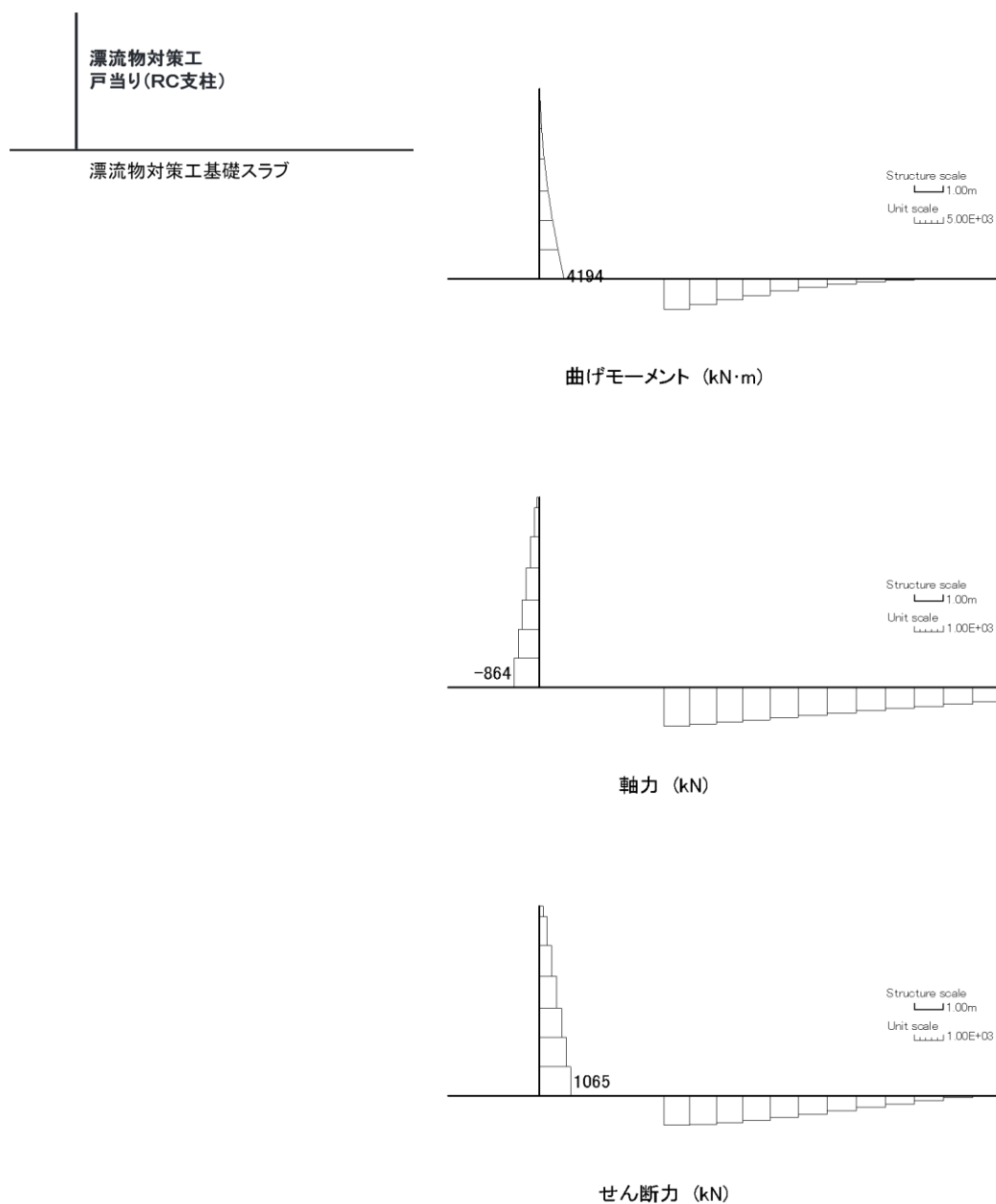


図 6-8 漂流物対策工戸当り（RC支柱）のせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力（S s - N 1（-+）, 解析ケース①, t=7.55s)

表 6-14 漂流物対策工戸当り（RC支柱）のせん断力照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S s - N 1 (-+)	①	1065	0.36	0.82	0.440

(3) 漂流物対策工基礎スラブ

a. 曲げ軸力照査

漂流物対策工基礎スラブの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-9 に、曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 6-15 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

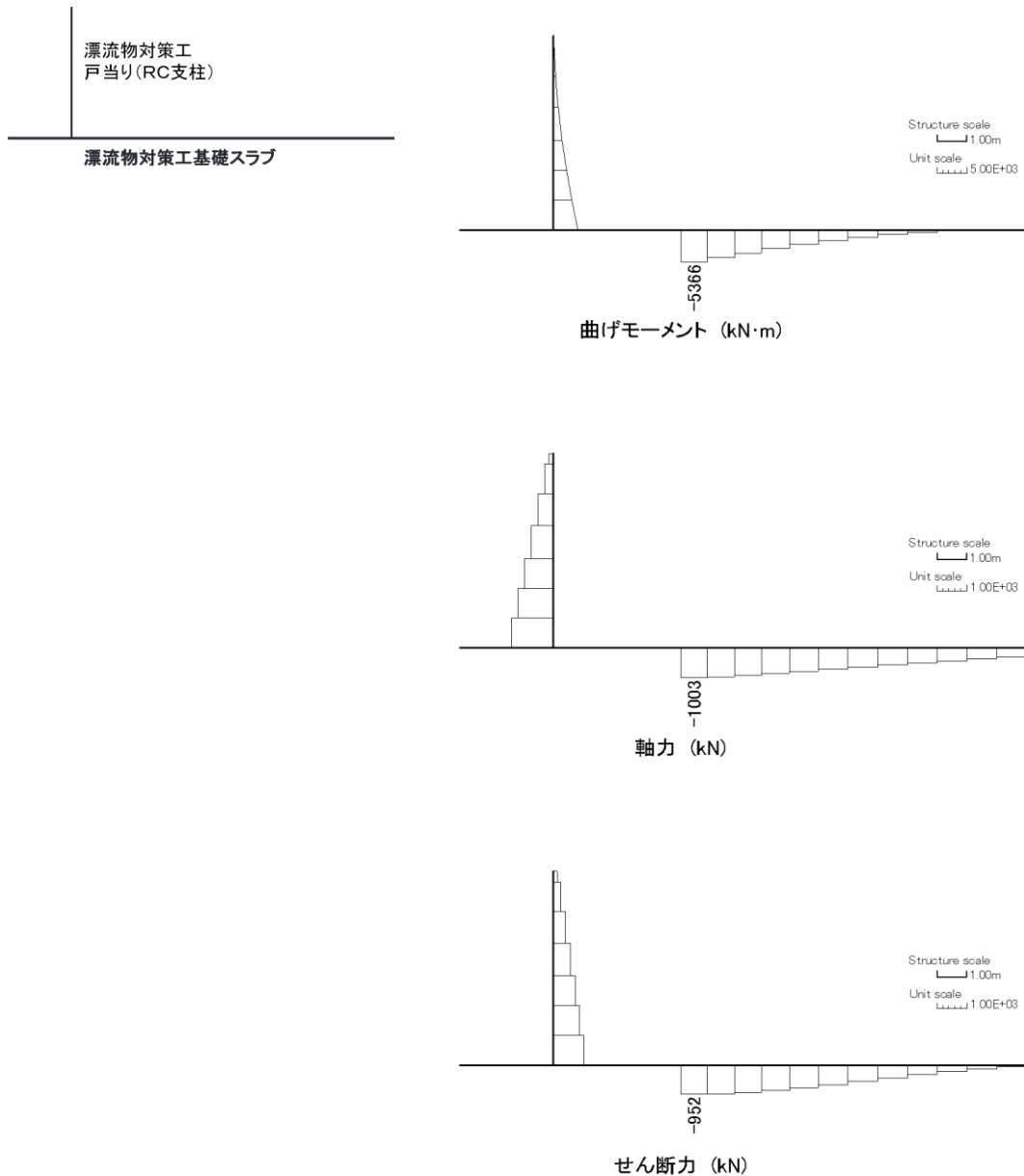


図 6-9(1) 漂流物対策工基礎スラブの曲げ圧縮照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - D (+ -) , 解析ケース①, t=8.59s)

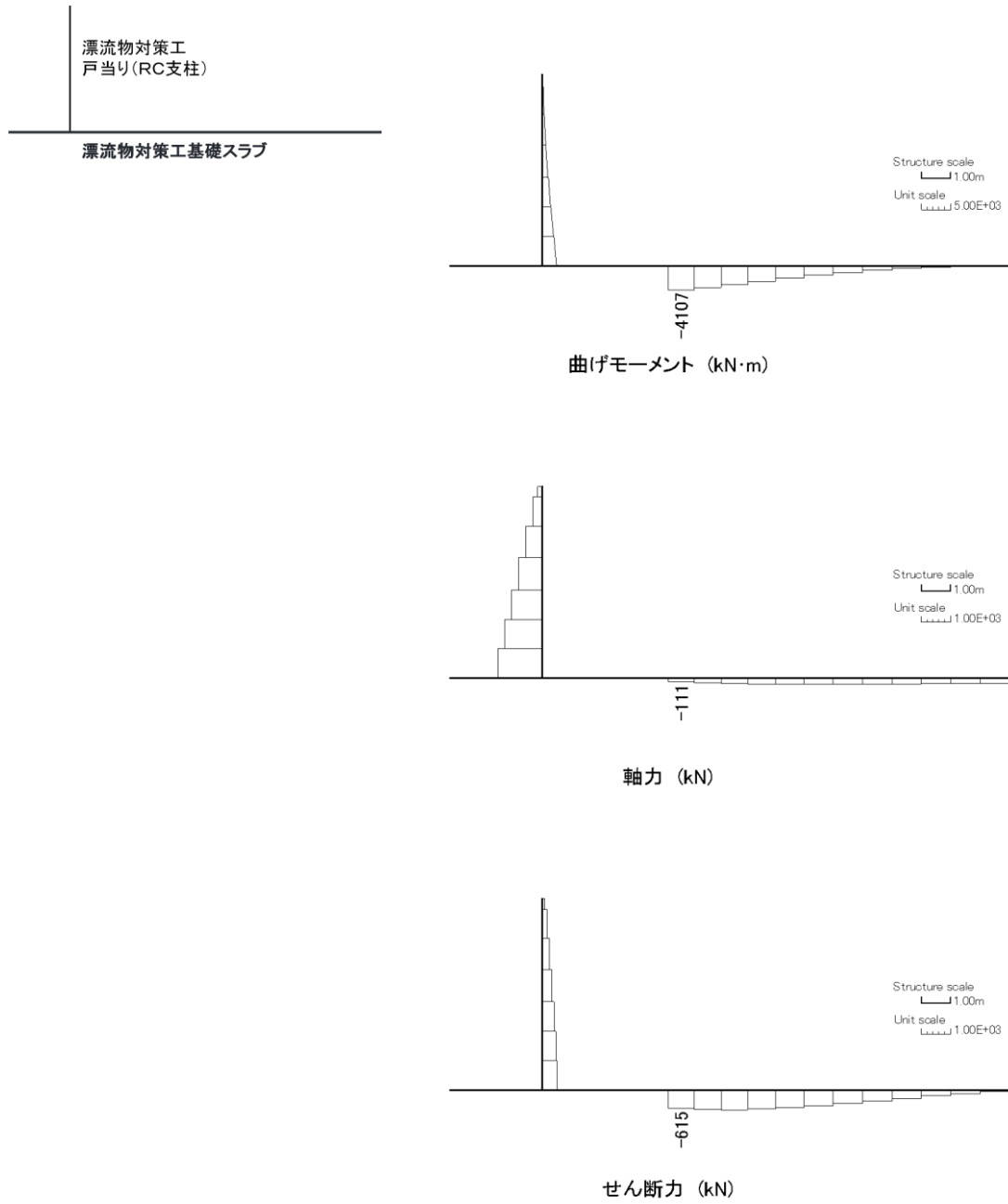


図 6-9(2) 漂流物対策工基礎スラブの曲げ引張照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S_s-D (+-)) , 解析ケース①, t=32.48s)

表 6-15(1) 漂流物対策工基礎スラブの曲げ圧縮照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (+ -)	①	-5366	-1003	2.4	21.0	0.113

表 6-15(2) 漂流物対策工基礎スラブの曲げ引張照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S s - D (+ -)	①	-4107	-111	61	294	0.208

b. せん断力照査

漂流物対策工基礎スラブのせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 6-10 に、せん断破壊に対する最大照査値を表 6-16 に示す。

この結果から、漂流物対策工基礎スラブの発生応力が許容限界以下であることを確認した。

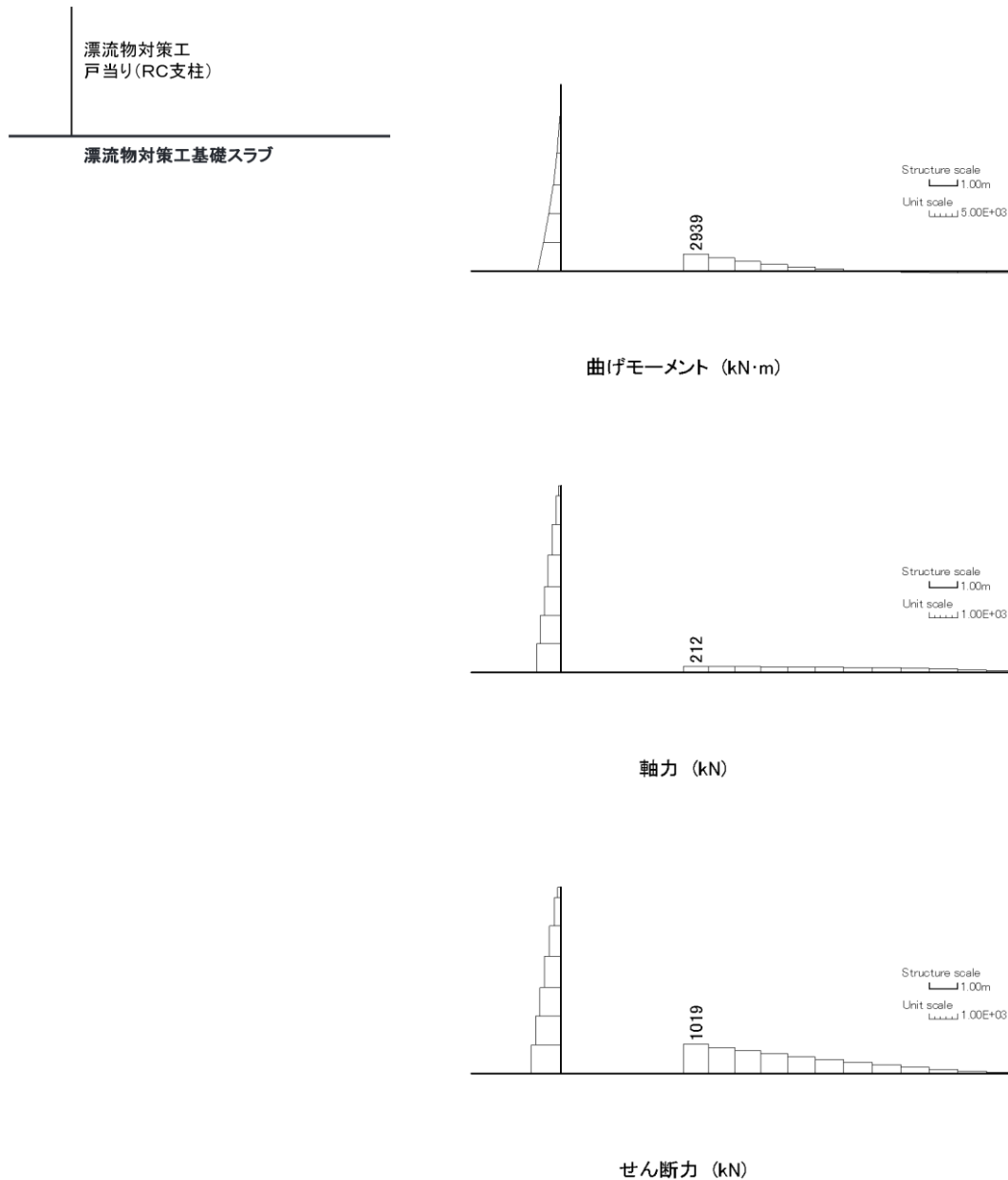


図 6-10 漂流物対策工基礎スラブのせん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力 (S s - N 1 (++) , 解析ケース①, t=7.53s)

表 6-16 漂流物対策工基礎スラブのせん断力照査における最大照査値

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 (kN)			
S s - N 1 (++)	①	1019	0.32	0.82	0.392

(4) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能照査結果を表 6-17 に、最大接地圧分布を図 6-11 に示す。
漂流物対策工の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度を下回ることを確認した。

表 6-17(1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (MMR)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -F2	①	0.8	18.0	0.045

表 6-17(2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (改良地盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -D (+-)	①	0.5	1.4	0.329

表 6-17(3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P / P _u
S _s -N1 (-+)	①	2.3	9.8	0.233

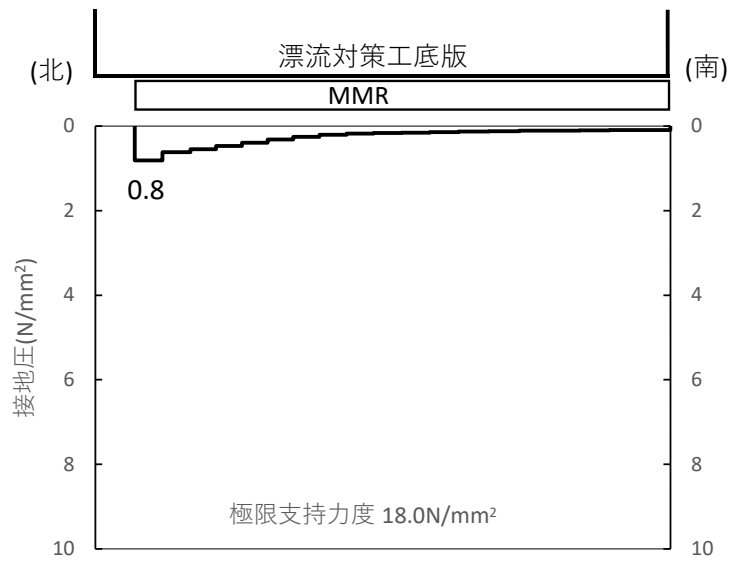


図 6-11(1) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (MMR)
(S s - F 2, 解析ケース①)

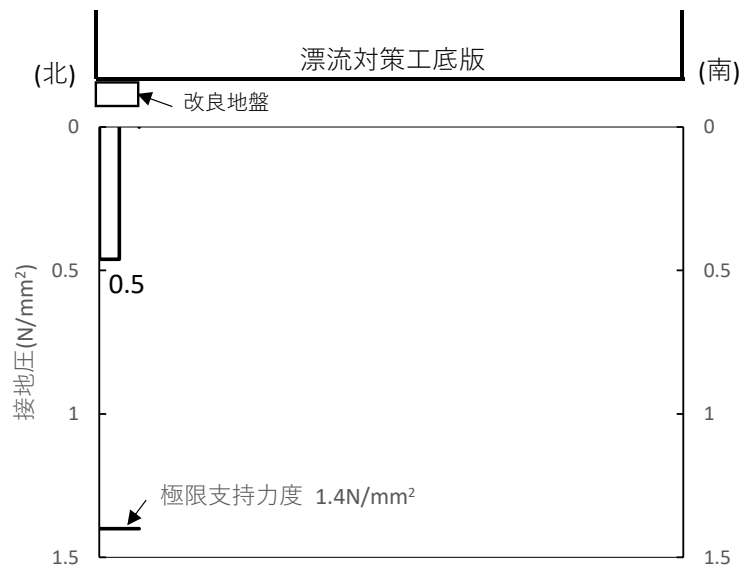


図 6-11(2) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (改良地盤)
(S s - D (+ -), 解析ケース①)

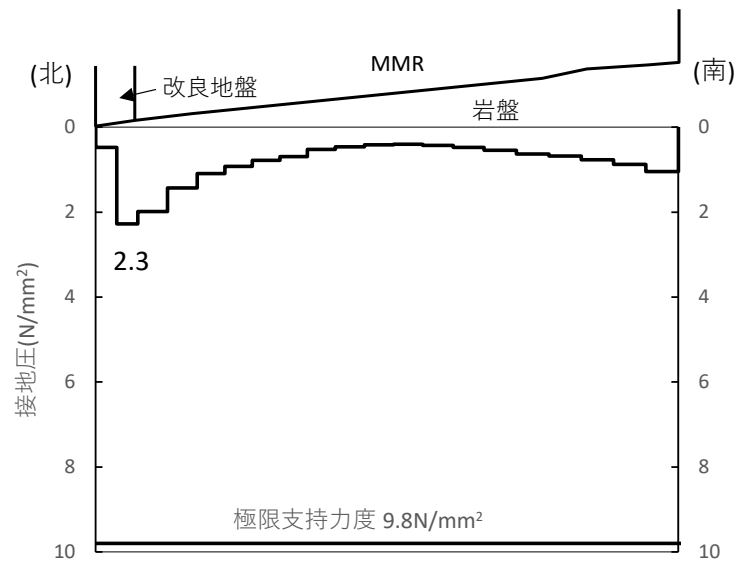


図 6-11(3) 基礎地盤の最大接地圧分布図 (岩盤)
 (S s - N 1 (- +) , 解析ケース①)