

VI-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性に関する 説明書

VI-2-2-4 原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書

本計算書の評価結果については、VI-2-9-3-4「原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書」による。

VI-2-2-6 制御室建物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	8
2.4 適用規格・基準等	10
3. 地震応答解析による評価方法	11
4. 応力解析による評価方法	14
4.1 評価対象部位及び評価方針	14
4.2 荷重及び荷重の組合せ	16
4.2.1 荷重	16
4.2.2 荷重の組合せ	19
4.3 許容限界	20
4.4 解析モデル及び諸元	23
4.4.1 モデル化の基本方針	23
4.4.2 解析諸元	25
4.4.3 材料構成則	26
4.5 評価方法	28
4.5.1 応力解析方法	28
4.5.2 断面の評価方法	31
5. 地震応答解析による評価結果	33
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	33
5.2 接地圧の評価結果	37
5.3 保有水平耐力の評価結果	38
6. 応力解析による評価結果	39
7. 引用文献	43

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、制御室建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は地震応答解析による評価及び応力解析による評価に基づき行う。

制御室建物は、建物内部に「Sクラスの施設」が収納されている。このため、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。また、制御室建物を構成する壁及びスラブの一部は、制御室建物の中央制御室遮蔽に該当し、中央制御室遮蔽は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、制御室建物の「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「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の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価を示す。

なお、中央制御室遮蔽の「Sクラスの施設」、 「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」としての分類に応じた耐震評価は、VI-2-8-4-3「中央制御室遮蔽（1，2号機共用）の耐震性についての計算書」にて実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

制御室建物の設置位置を図 2-1 に示す。

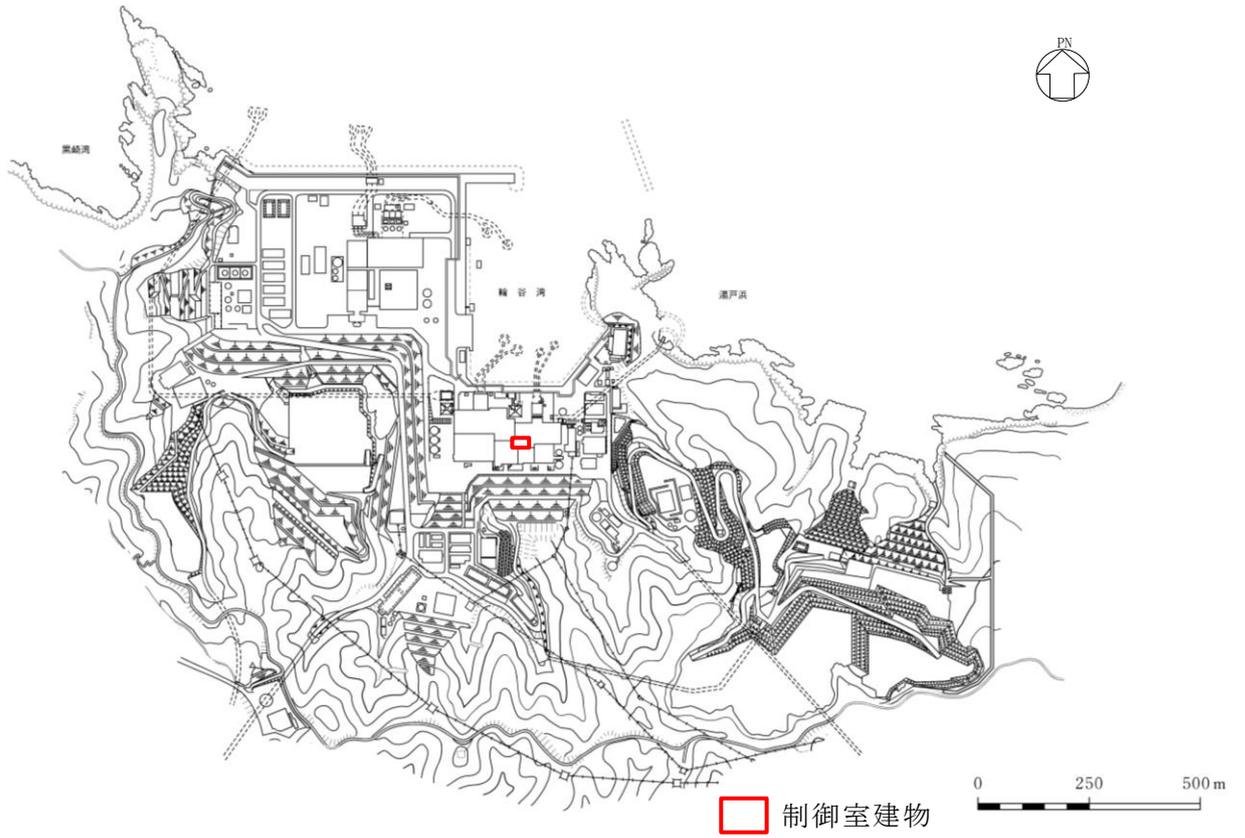


図 2-1 制御室建物の設置位置

2.2 構造概要

制御室建物は、4階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

制御室建物の平面寸法は、22.0m*（NS）×37.0m*（EW）である。基礎スラブ底面からの高さは21.95mである。また、制御室建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

制御室建物の基礎は厚さ1.5mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

建物に加わる地震時の水平力はすべて耐震壁に負担させている。

制御室建物の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

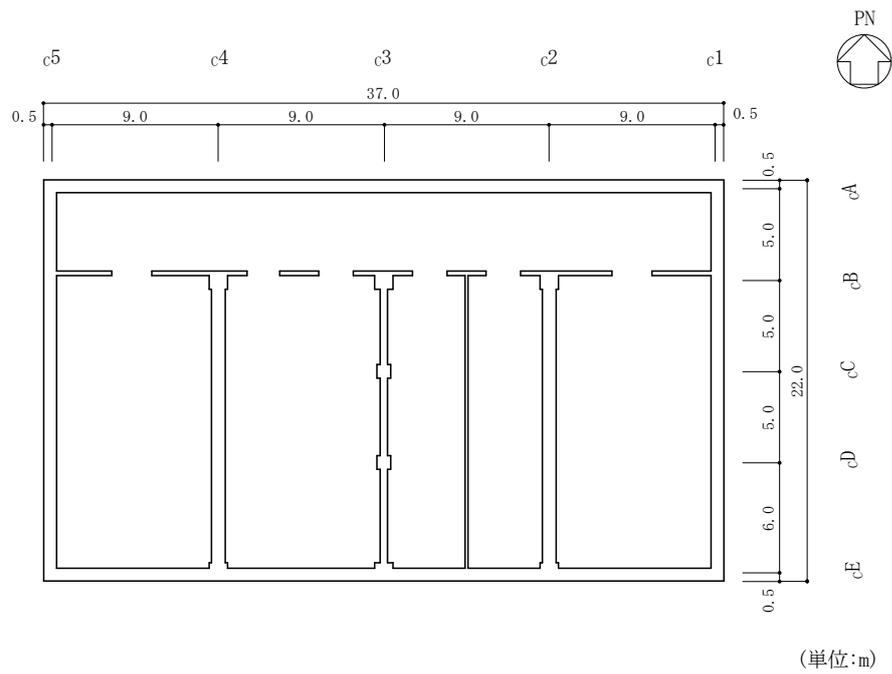


図 2-2(1) 制御室建物の概略平面図 (EL 1.6m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

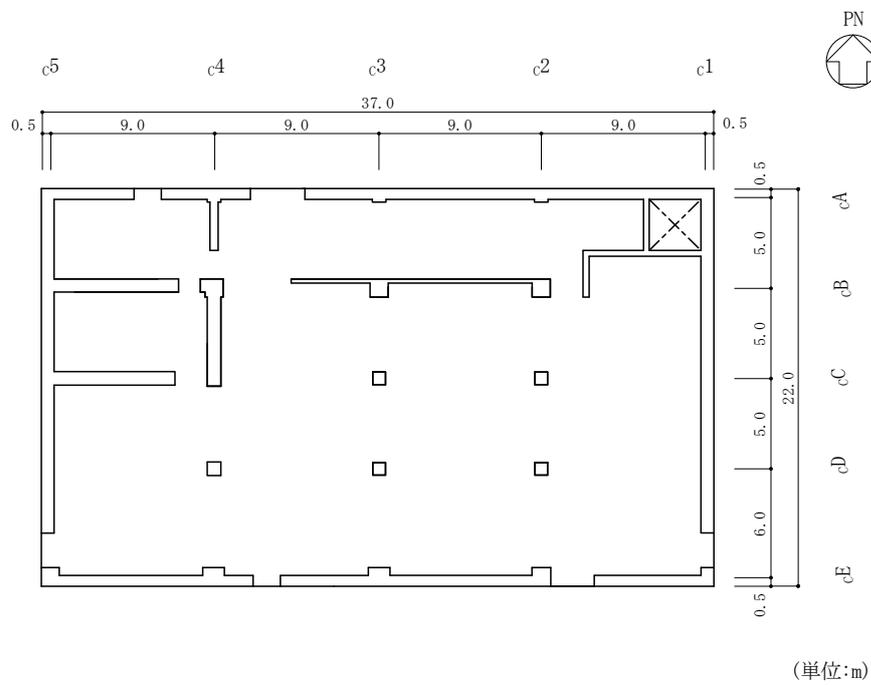


図 2-2(2) 制御室建物の概略平面図 (EL 8.8m)

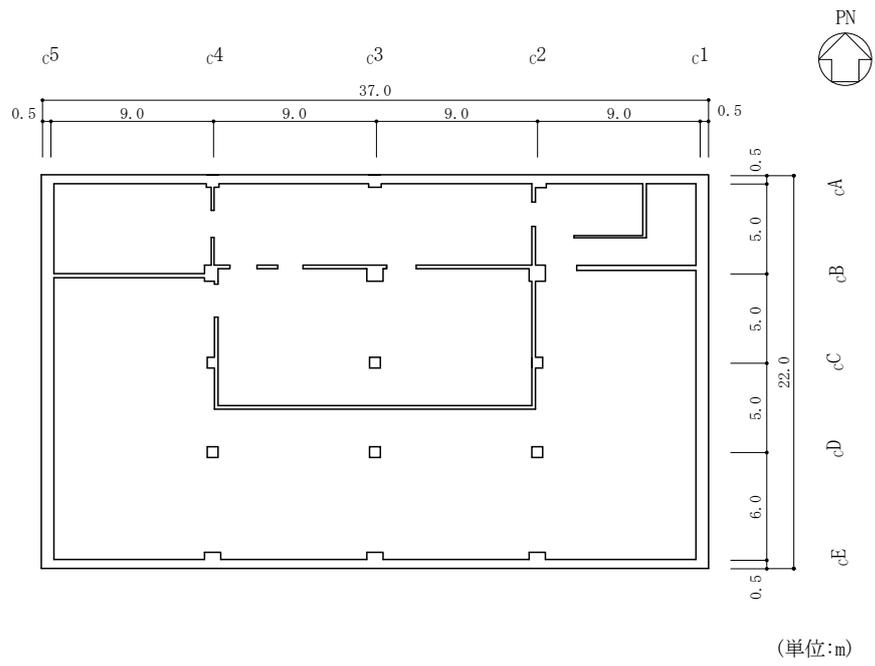


図 2-2(3) 制御室建物の概略平面図 (EL 12.8m)

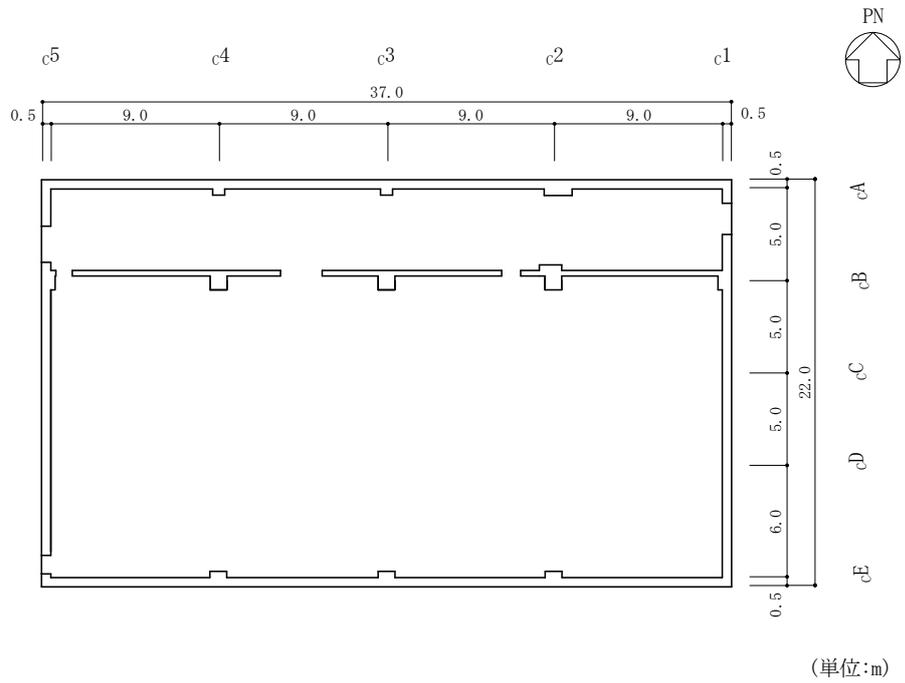


図 2-2(4) 制御室建物の概略平面図 (EL 16.9m)

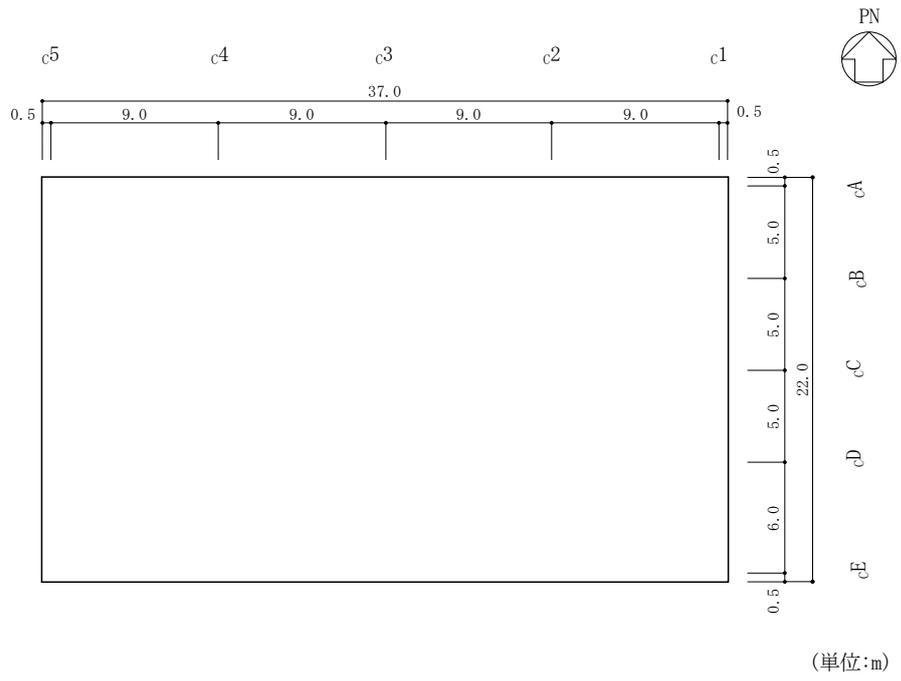


図 2-2(5) 制御室建物の概略平面図 (EL 22.05m)

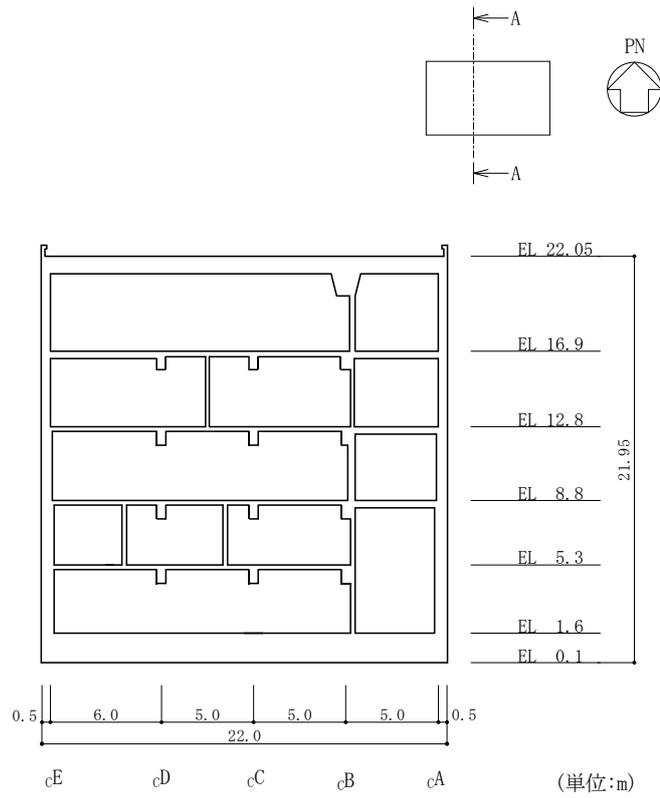


図 2-3(1) 制御室建物の概略断面図 (A-A 断面, N S 方向)

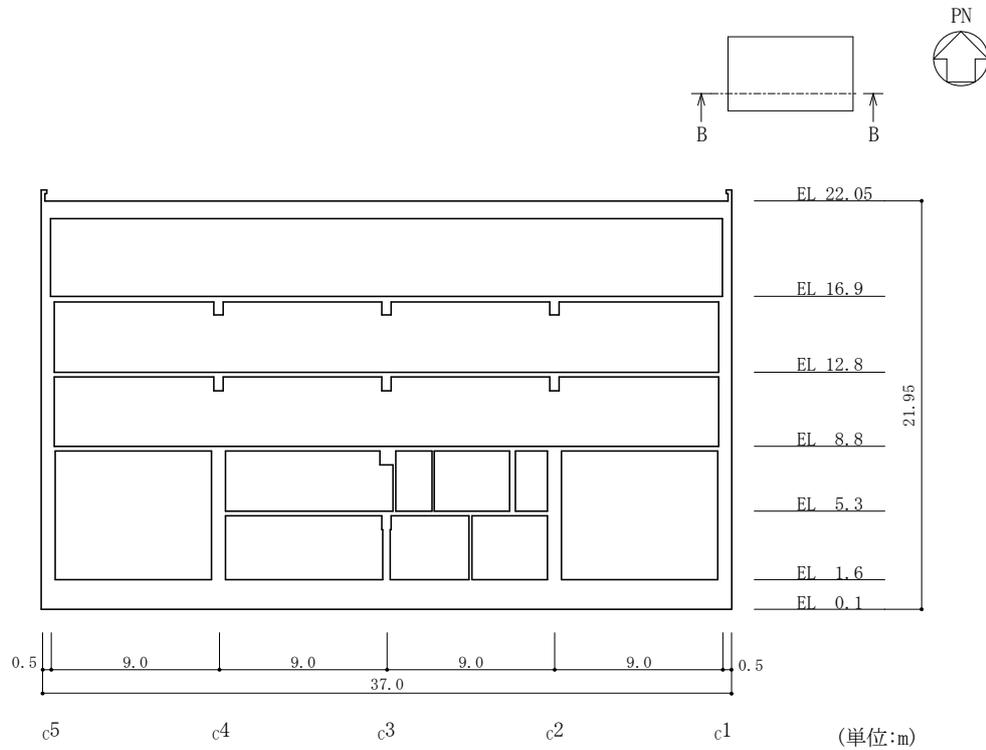


図 2-3(2) 制御室建物の概略断面図 (B-B 断面, E W 方向)

2.3 評価方針

制御室建物は、建物内部に「Sクラスの施設」が収納されている。このため、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

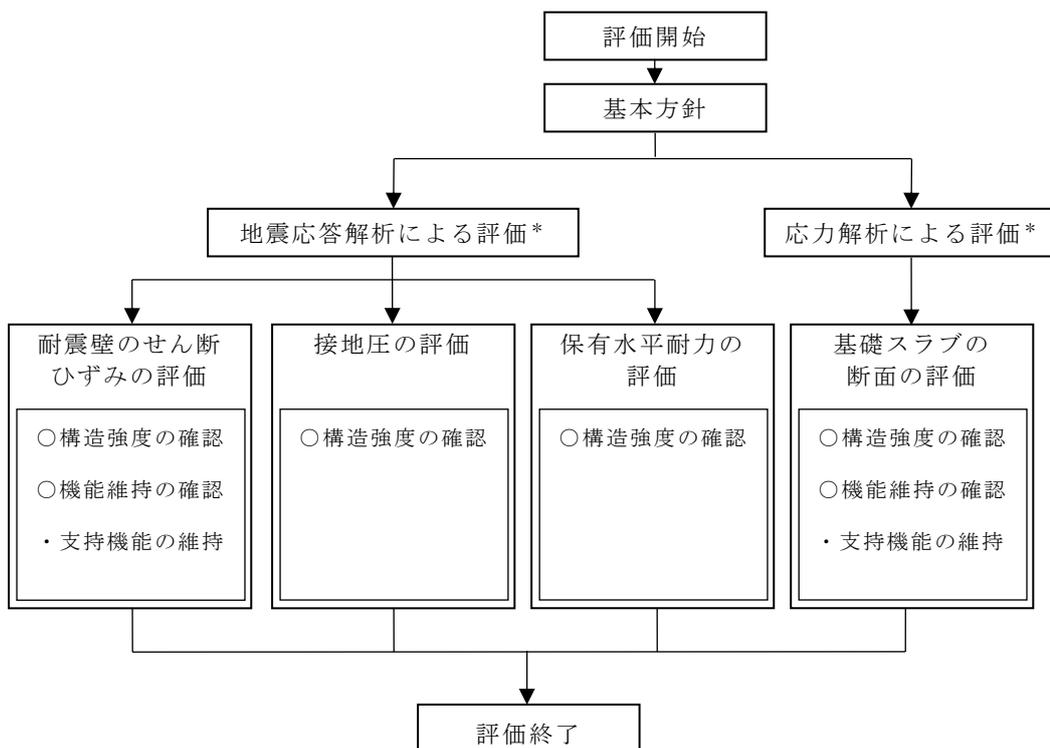
制御室建物の設計基準対象施設としての評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。制御室建物の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては耐震壁のせん断ひずみ、接地圧及び保有水平耐力の評価を、応力解析による評価においては、基礎スラブの断面の評価を行うことで、制御室建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価及び保有水平耐力の評価を行う。ここで、制御室建物では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

図 2-4 に制御室建物の評価フローを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する地震応答解析ケース

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



注記* : VI-2-2-5 「制御室建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 制御室建物の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)
- ・2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 地震応答解析による評価方法

制御室建物の構造強度については、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみ及び最大接地圧が許容限界を超えないこと並びに保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

また、支持機能の維持については、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における制御室建物の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* ² (9.8×10 ³ kN/m ²)
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
支持機能* ³	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

- 注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。
- *2：支持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。
- *3：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* ² (9.8×10 ³ kN/m ²)
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
支持機能* ³	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：支持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。

*3：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

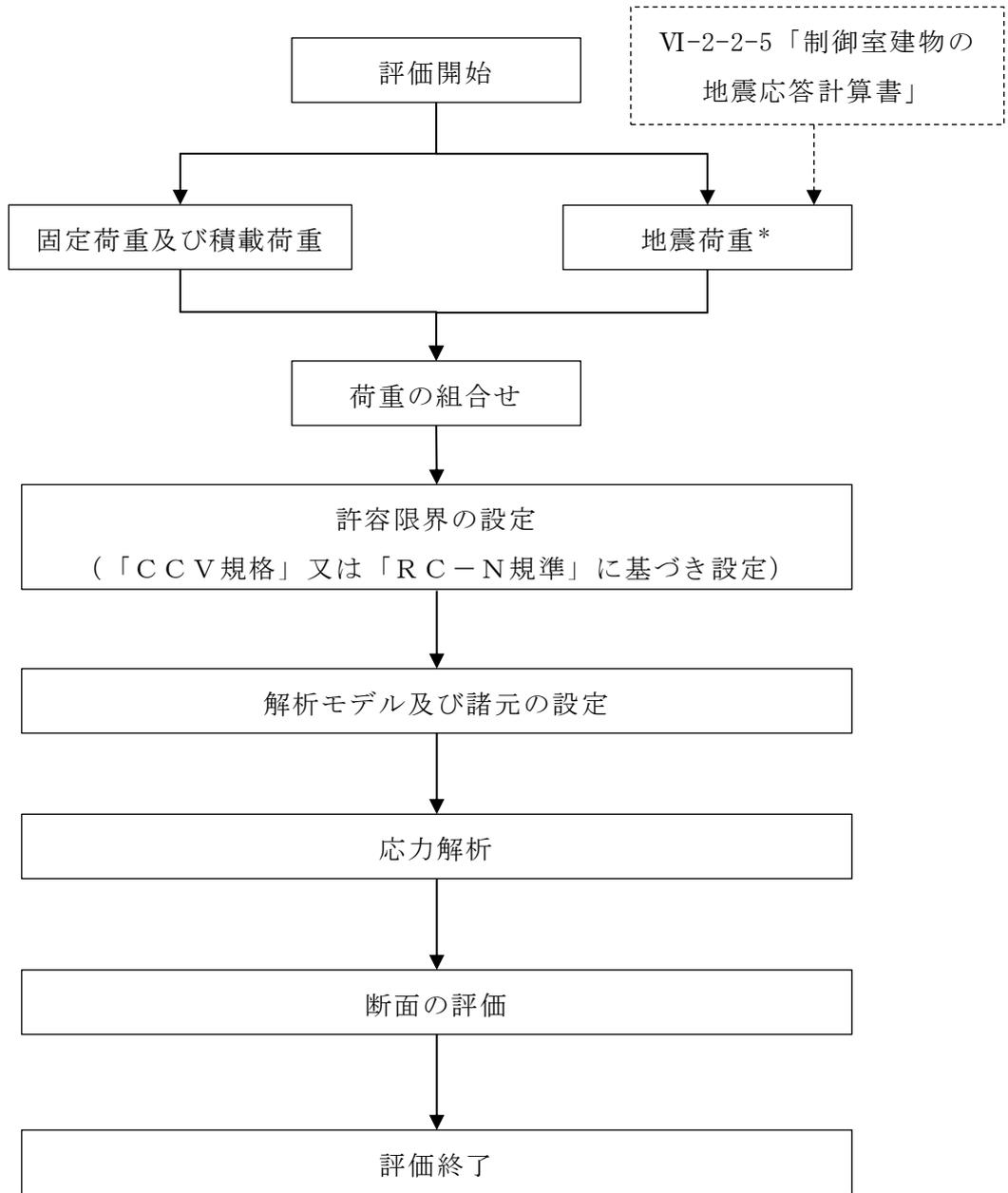
4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

制御室建物の応力解析による評価対象部位は、基礎スラブとし、S s地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

S s地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、「発電用原子力設備規格 ーコンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」（以下「CCV規格」という。）又は「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析にあたっては、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」により得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

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

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重は，建物自重，機器，配管等の重量を考慮する。

(2) 地震荷重

a. 地震荷重

水平地震力及び鉛直地震力は，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数より設定する。このとき，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数は，VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき，材料物性の不確かさを考慮して設定する。

地震荷重を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 水平地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
耐震壁 (c1 通り)	20.9
耐震壁 (c2 通り)	23.1
耐震壁 (c4 通り)	23.1
耐震壁 (c5 通り)	20.9

(b) E W 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
耐震壁 (cA 通り)	60.2
耐震壁 (cE 通り)	60.2

表 4-2 水平地震荷重（曲げモーメント）

(a) NS方向

部 位	曲げモーメント（ $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ ）
	S s
耐震壁（c1 通り）	49.1
耐震壁（c2 通り）	16.6
耐震壁（c4 通り）	16.6
耐震壁（c5 通り）	49.1

(b) EW方向

部 位	曲げモーメント（ $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ ）
	S s
耐震壁（cA 通り）	92.5
耐震壁（cE 通り）	92.5

表 4-3 鉛直地震荷重（軸力係数）

部 位	軸力係数
	S s
上部構造物	0.83
基礎スラブ	0.48

b. 地震時土圧荷重

制御室建物の周囲にはタービン建物，廃棄物処理建物，1号機タービン建物及び1号機廃棄物処理建物が隣接しており，側面地盤と接する外壁はないため，地震時土圧荷重を考慮しない。

4.2.2 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
S _s 地震時	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における制御室建物の基礎スラブの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-5 及び表 4-6 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-7 及び表 4-8 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-9 に示す。

表 4-5 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ^{*1} コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) 面外せん断力^{*2} 短期許容せん断力^{*3}
支持機能 ^{*4}	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S_s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ^{*1} コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) 面外せん断力^{*2} 短期許容せん断力^{*3}

注記*1: 「CCV規格」に基づく。

*2: 「RC-N規準」に基づく。

*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

*4: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-6 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*1 コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ (圧縮及び引張) ・面外せん断力*2 短期許容せん断力*3
支持機能*4	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*1 コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ (圧縮及び引張) ・面外せん断力*2 短期許容せん断力*3

注記*1: 「CCV規格」に基づく。

*2: 「RC-N規準」に基づく。

*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

*4: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-7 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	せん断
22.1	1.06

表 4-8 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

表 4-9 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
0.003	0.005

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とする。解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。また、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。

基礎スラブについては、EL 0.1m～EL 1.6mをモデル化する。上部構造については、EL 1.6m～EL 22.05mをモデル化し、剛性を考慮する。応力解析における評価対象部位は、基礎スラブであるが、各部の荷重伝達を考慮するために周辺部を含むモデルを用いることとした。解析モデルを図4-2に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎スラブについては積層シェル要素とする。基礎スラブより立ち上がっている壁については、EL 1.6m～EL 8.8mを積層シェル要素、EL 8.8m～EL 22.05mをはり要素として剛性を考慮する。基礎スラブの積層シェル要素は、鉄筋層をモデル化した異方性材料による要素である。

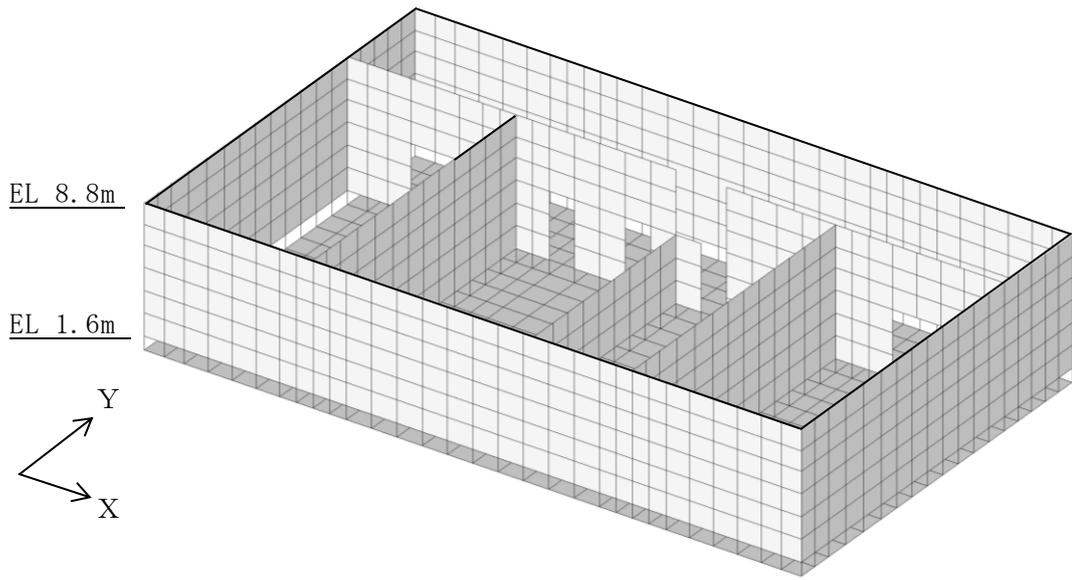
各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

解析モデルの節点数は2260、要素数は3490である。

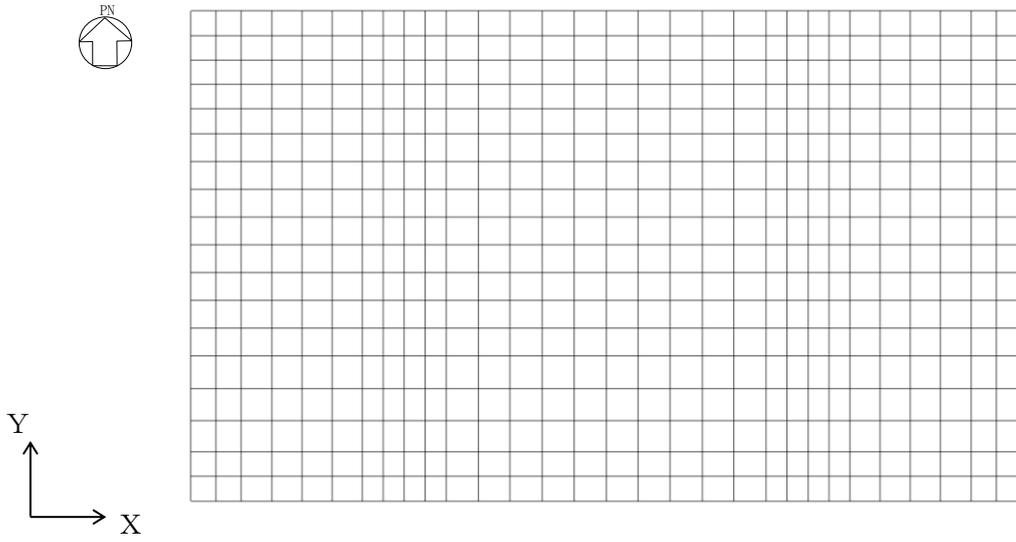
(3) 境界条件

3次元FEMモデルの基礎スラブ底面に、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元FEMモデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

なお、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」より、基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が設定付着力を超えないことから、基礎スラブ底面の地盤ばねは線形ばねとする。



(a) 全体鳥瞰図



(b) 基礎スラブ要素分割図

図 4-2 解析モデル

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-10 及び表 4-11 に示す。

表 4-10 コンクリートの物性値

部 位	設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
基礎スラブ・壁	22.1	2.20×10^4	0.2

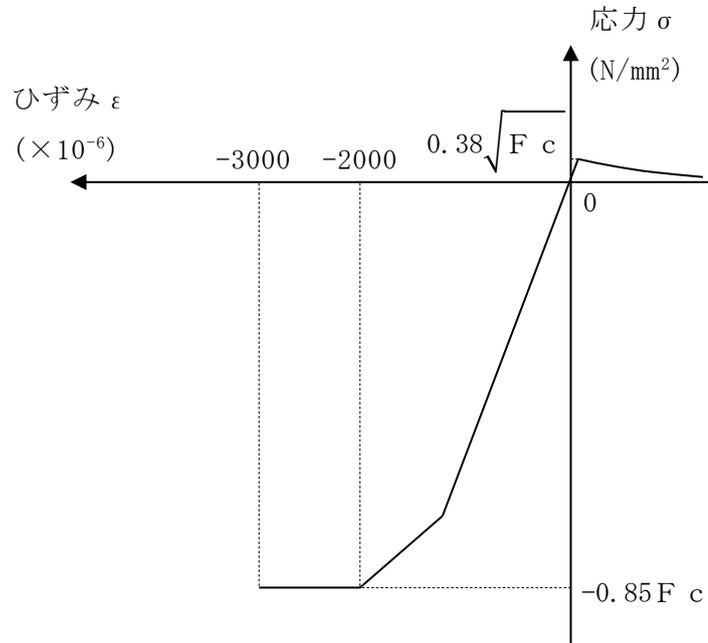
表 4-11 鉄筋の物性値

部 位	鉄筋の種類	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
基礎スラブ	SD35 (SD345 相当)	345	2.05×10^5

4.4.3 材料構成則

材料構成則を図 4-3 に示す。

コンクリートのヤング係数及び圧縮強度については，設計基準強度に基づき算定した値とする。



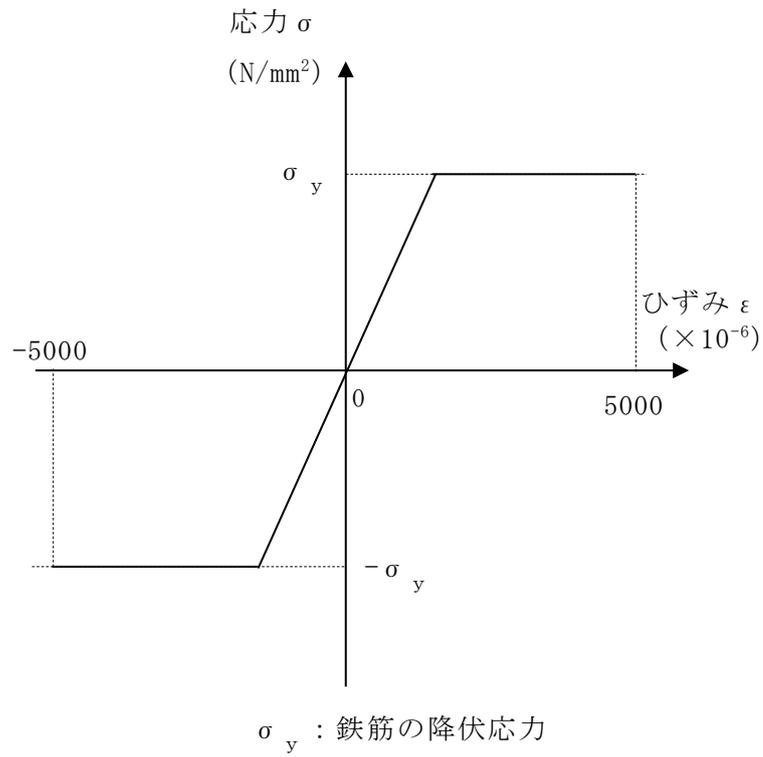
F_c : コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	$\sigma_c = -0.85 F_c$ (「CCV規格」)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 ($c = 0.4$) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \sqrt{F_c}$ (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応 力度設計法一 ((社) 日本建築学会, 1999 改定))

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 4-3(1) 材料構成則



項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型 (「CCV規格」)
終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力－ひずみ関係

図 4-3(2) 材料構成則

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

制御室建物の基礎スラブについて、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S_{SSN}	: S→N方向 S_s 地震荷重
S_{SNS}	: N→S方向 S_s 地震荷重
S_{SEW}	: E→W方向 S_s 地震荷重
S_{SWE}	: W→E方向 S_s 地震荷重
S_{SUD}	: 鉛直方向（下向き） S_s 地震荷重
S_{SDU}	: 鉛直方向（上向き） S_s 地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-12 示す。

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

表 4-12 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	1	$G + P + 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sUD}$
	2	$G + P + 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sDU}$
	3	$G + P + 1.0 S_{sNS} + 0.4 S_{sUD}$
	4	$G + P + 1.0 S_{sNS} + 0.4 S_{sDU}$
	5	$G + P + 1.0 S_{sEW} + 0.4 S_{sUD}$
	6	$G + P + 1.0 S_{sEW} + 0.4 S_{sDU}$
	7	$G + P + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	8	$G + P + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sDU}$
	9	$G + P + 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sUD}$
	10	$G + P + 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sDU}$
	11	$G + P + 0.4 S_{sNS} + 1.0 S_{sUD}$
	12	$G + P + 0.4 S_{sNS} + 1.0 S_{sDU}$
	13	$G + P + 0.4 S_{sEW} + 1.0 S_{sUD}$
	14	$G + P + 0.4 S_{sEW} + 1.0 S_{sDU}$
	15	$G + P + 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	16	$G + P + 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sDU}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

基礎スラブに上部構造物から作用する水平地震力については，上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントを基礎スラブの当該位置の節点に離散化して節点荷重として入力する。

基礎スラブに上部構造物から作用する鉛直地震力については，上部構造物からの軸力とし，鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点荷重として入力する。

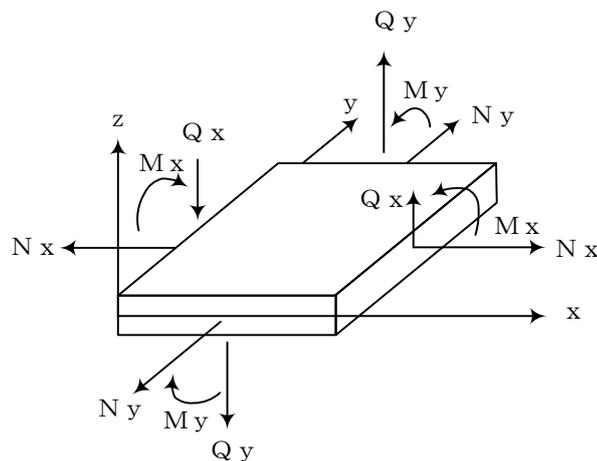
基礎スラブ内に作用する荷重については，地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差をFEMモデルの各要素の大きさに応じて分配し，節点荷重として入力する。

b. 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については，FEMモデルの各節点又は各要素に，集中荷重又は分布荷重として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認する。断面力成分を図4-4に示す。



M_x, M_y : 曲げモーメント $\text{kN} \cdot \text{m/m}$
 Q_x, Q_y : せん断力 kN/m
 N_x, N_y : 軸力 kN/m
 応力の符号 (矢印の方向を正とする。)

図4-4 断面力成分

(1) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、「CCV規格」に基づき、表4-9に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。また、引張軸応力度が 2N/mm^2 を超える場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表4-7に示す値 (N/mm^2)

$w \cdot f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表4-8に示す値 (N/mm^2)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm^2)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第2項を0とする。

(なお、制御室建物の基礎スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、S s 地震時の各層の最大応答せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.60×10^{-3} (N S 方向, S s -D, ケース 2, 要素番号 3) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。各要素の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 に示す。各表において, 各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について, せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 5-1 に示す。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (N S 方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1	0.33	2.0
16.9~12.8	2	0.43	
12.8~8.8	3	0.60	
8.8~1.6 (C1, C5)	4	0.14	
8.8~1.6 (C2, C4)	5	0.20	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

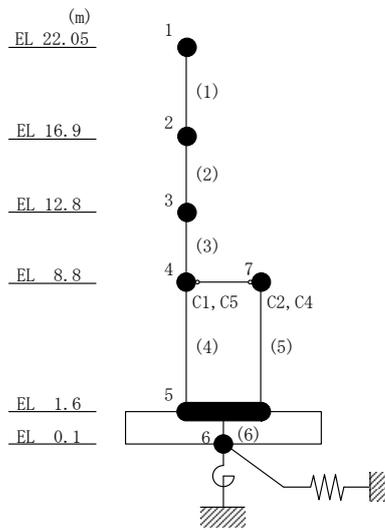
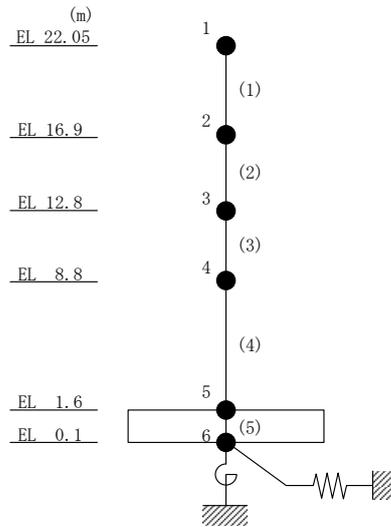
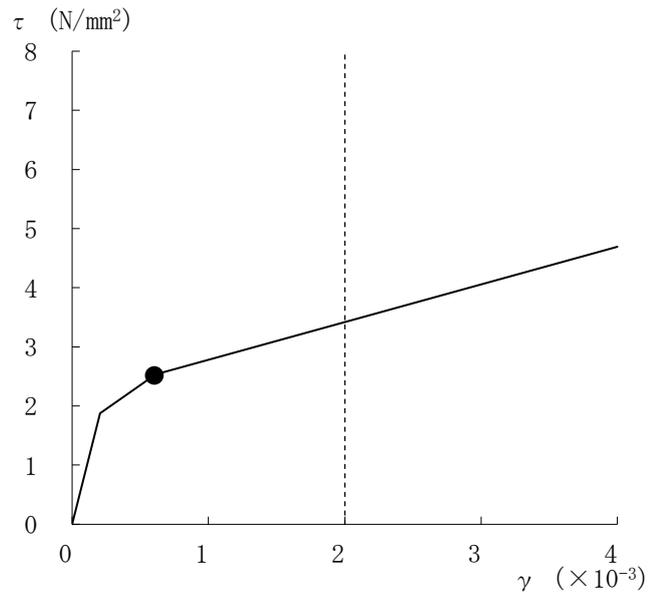


表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (EW方向)

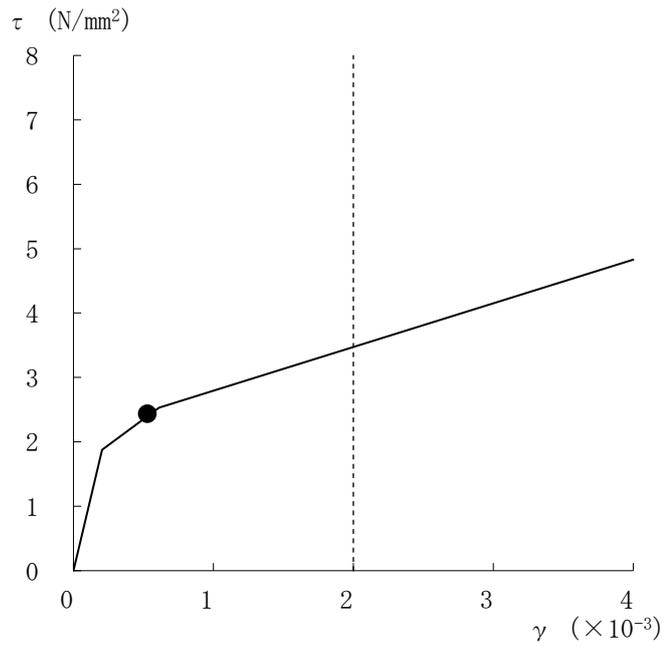
EL (m)	要素 番号	最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
22.05~16.9	1	0.16	2.0
16.9~12.8	2	0.40	
12.8~8.8	3	0.53	
8.8~1.6	4	0.48	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。





(a) NS方向 (S s -D, ケース 2, 要素番号 3)



(b) EW方向 (S s -D, ケース 1, 要素番号 3)

図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ

5.2 接地圧の評価結果

S s 地震時の最大接地圧が、地盤の許容限界を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した地震時の最大接地圧が $0.691 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ (S s - D, NS方向, ケース 4) であることから、岩盤の極限支持力度 ($9.8 \times 10^3 \text{kN/m}^2$) を超えないことを確認した。

S s 地震時の最大接地圧を表 5-2 に示す。

表 5-2 S s 地震時の最大接地圧

検討ケース	NS方向	EW方向
	S s - D, ケース 4	S s - D, ケース 3
鉛直力 N ($\times 10^4 \text{kN}$)	7.75	8.63
転倒モーメント M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	1.46	2.12
最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	0.691	0.628

5.3 保有水平耐力の評価結果

各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。

必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果を表 5-3 に示す。各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認した。

なお、必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比は最小で 2.92 である。

表 5-3 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果

(a) NS 方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u / Q_{un}
22.05~16.9	19.93	70.31	3.52
16.9~12.8	28.59	95.71	3.34
12.8~8.8	33.99	99.34	2.92
8.8~1.6	38.99	168.09	4.31

(b) EW 方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u / Q_{un}
22.05~16.9	17.98	109.93	6.11
16.9~12.8	27.09	124.25	4.58
12.8~8.8	32.83	126.90	3.86
8.8~1.6	38.99	167.40	4.29

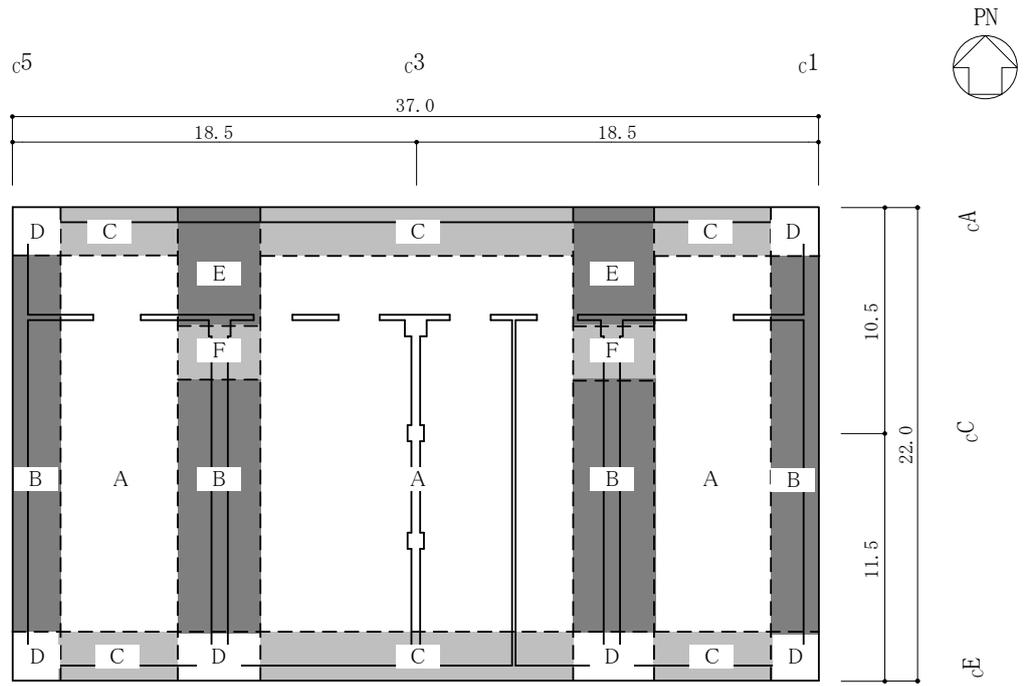
6. 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図6-1に、配筋一覧を表6-1に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図6-2に、評価結果を表6-2に示す。

Ss地震時において、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

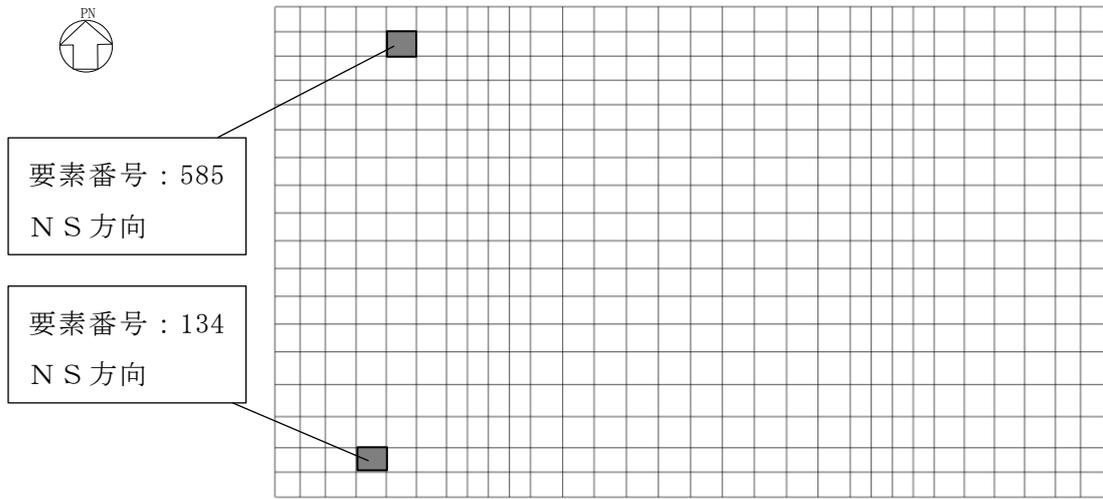


(単位:m)

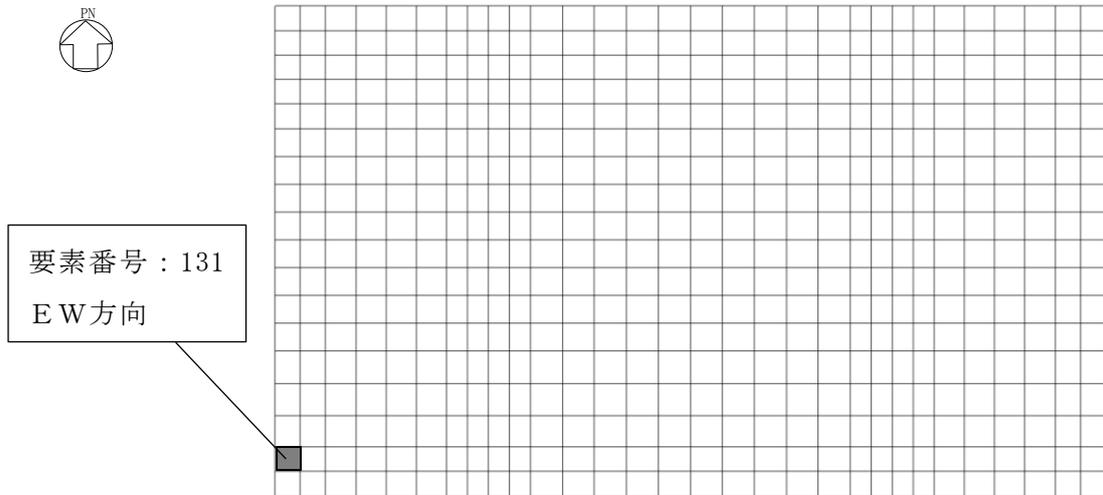
図 6-1 配筋領域図

表 6-1 配筋一覧

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	N S	D25@300	N S	D25@300
	E W	D25@300	E W	D25@300
B	N S	D25@300	N S	D25@300
	E W	D25@300	E W	D25@150
C	N S	D25@300	N S	D25@150
	E W	D25@300	E W	D25@300
D	N S	D25@300	N S	D25@150
	E W	D25@300	E W	D25@150
E	N S	D25 + D32@150 (交互)	N S	D32@150
	E W	D25@300	E W	D25@150
F	N S	D25@300	N S	D32@150
	E W	D25@300	E W	D25@150



(a) 軸力+曲げモーメント



(b) 面外せん断力

図 6-2 選定した要素の位置

表 6-2 評価結果

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	134	3	0.159	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	585	5	0.223	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$)	E W	131	3	1.82	2.50

7. 引用文献

- (1) Comite Euro-International du Beton:CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993
- (2) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫:面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル, コンクリート工学, Vol.25, No.9, 1987.9

VI-2-2-8 タービン建物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	8
2.4 適用規格・基準等	12
3. 地震応答解析による評価方法	13
4. 応力解析による評価方法	16
4.1 評価対象部位及び評価方針	16
4.2 荷重及び荷重の組合せ	18
4.2.1 荷重	18
4.2.2 荷重の組合せ	26
4.3 許容限界	27
4.4 解析モデル及び諸元	30
4.4.1 モデル化の基本方針	30
4.4.2 解析諸元	32
4.4.3 材料構成則	33
4.5 評価方法	35
4.5.1 応力解析方法	35
4.5.2 断面の評価方法	38
5. 地震応答解析による評価結果	40
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	40
5.2 接地圧の評価結果	47
5.3 保有水平耐力の評価結果	48
6. 応力解析による評価結果	49
7. 引用文献	56

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、タービン建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

タービン建物は、建物内部に基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対して機能維持が要求される施設が収納されており、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該施設が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」に分類される。

以下、タービン建物の「Sクラスの施設の間接支持構造物」及び「常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

タービン建物の設置位置を図 2-1 に示す。

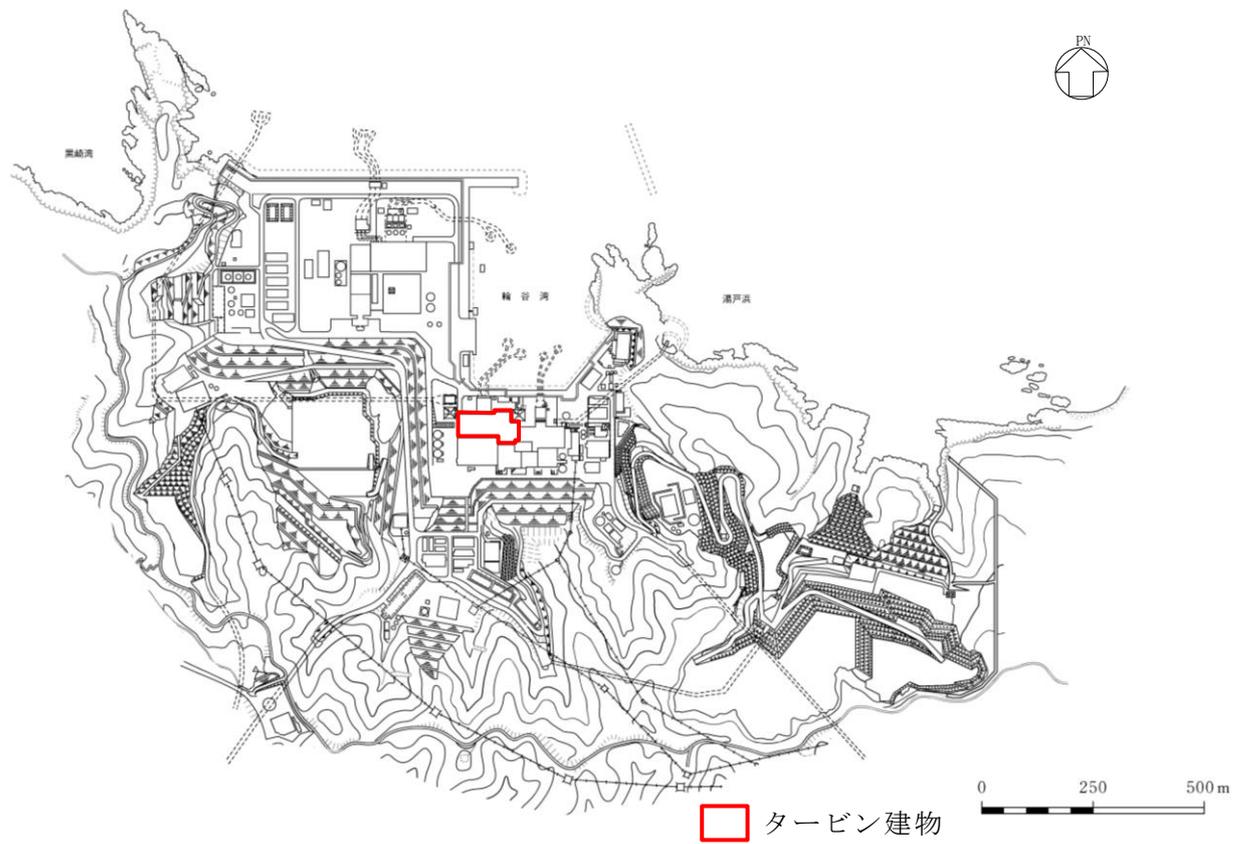


図 2-1 タービン建物の設置位置

2.2 構造概要

タービン建物は、地上 3 階（一部地上 4 階）、地下 1 階建の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

タービン建物の平面寸法は 72.0m（一部 51.4m）*（N S）×138.0m*（E W）である。基礎スラブ底面からの高さは 41.6m である。また、タービン建物は隣接する他の建物と構造的に分離している。

タービン建物の基礎は厚さ 2.0m～2.5m のべた基礎で、岩盤に直接設置している。

建物に加わる地震時の水平力は、すべて耐震壁及びフレームに負担させている。

タービン建物の概略平面図及び概略断面図を図 2-2 及び図 2-3 に示す。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

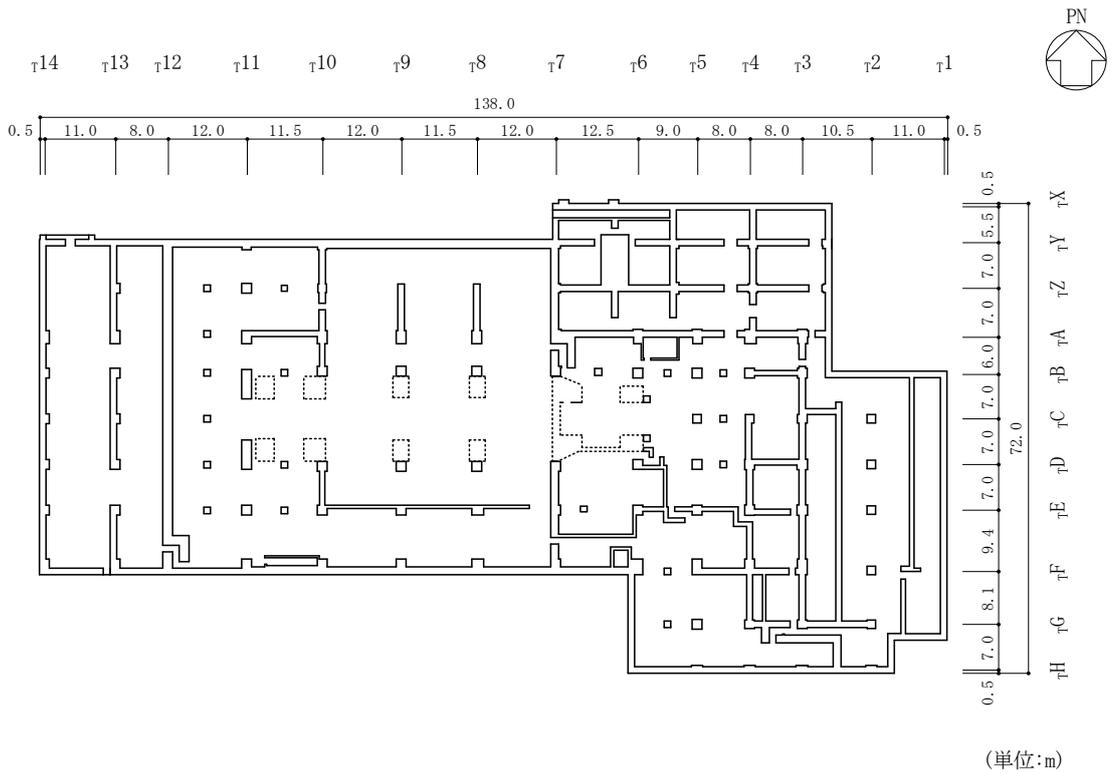


図 2-2(1) タービン建物の概略平面図 (EL 2.0m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

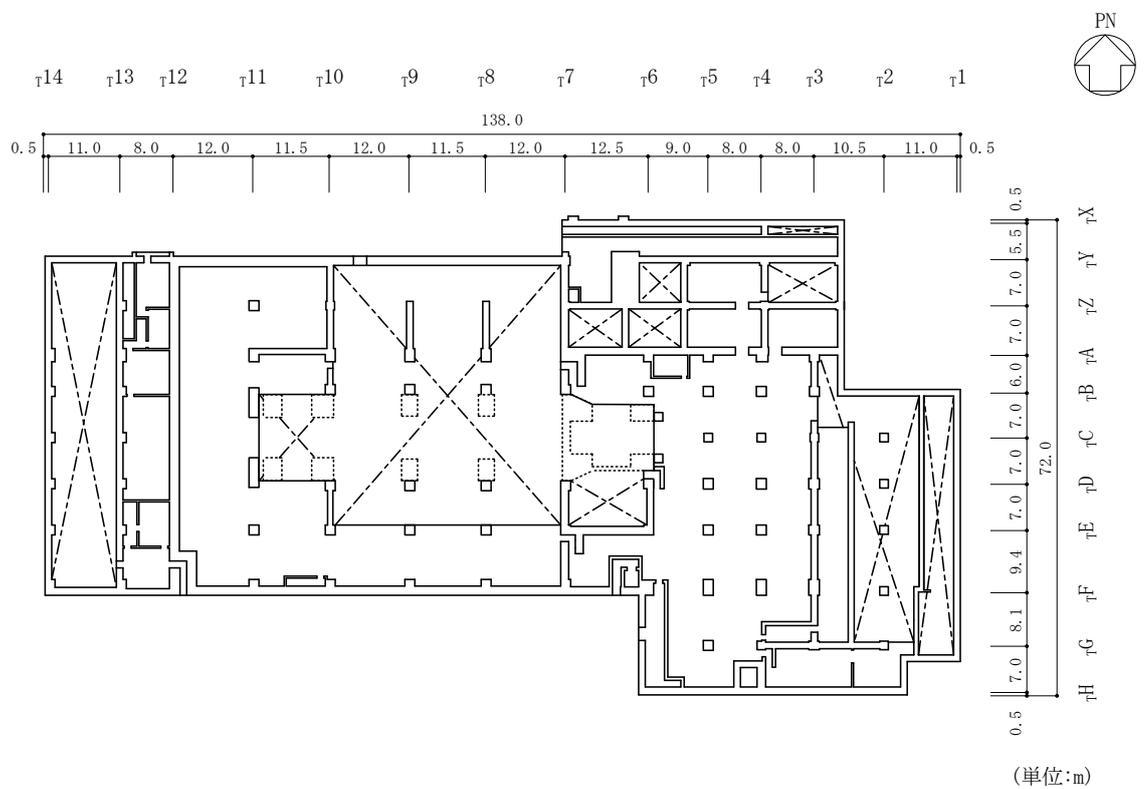


図 2-2(2) タービン建物の概略平面図 (EL 5.5m)

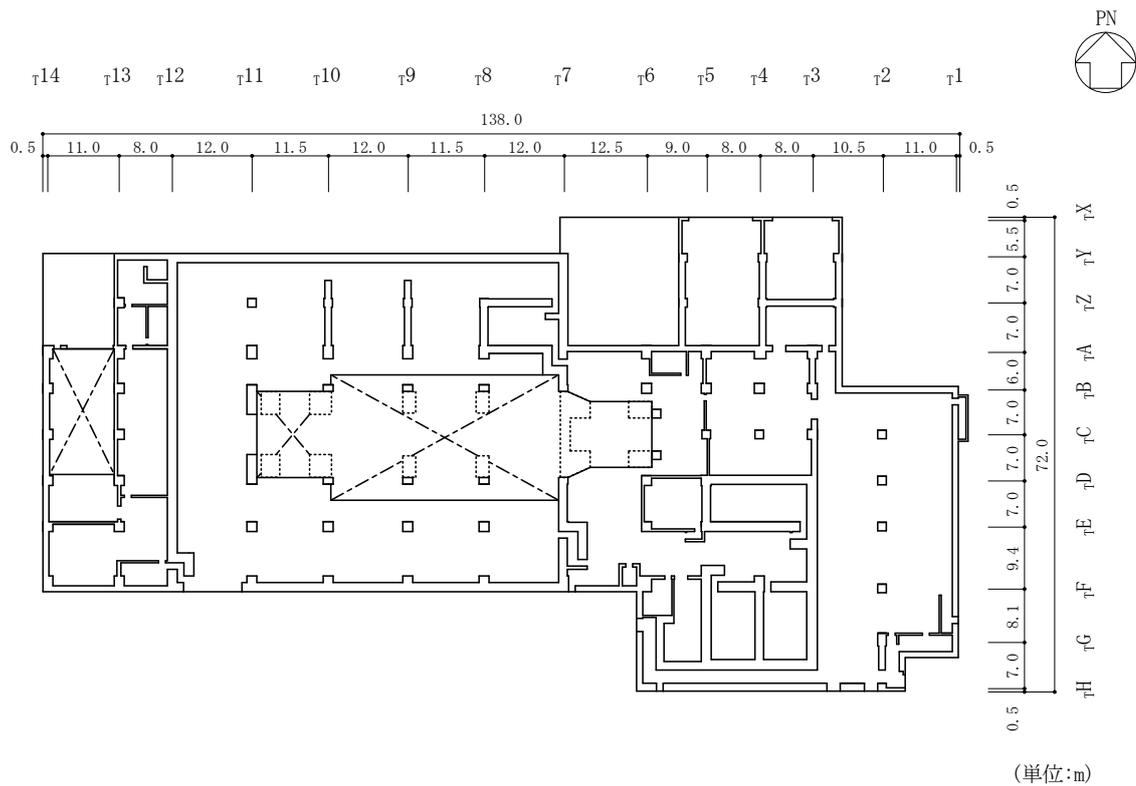


図 2-2(3) タービン建物の概略平面図 (EL 12.5m)

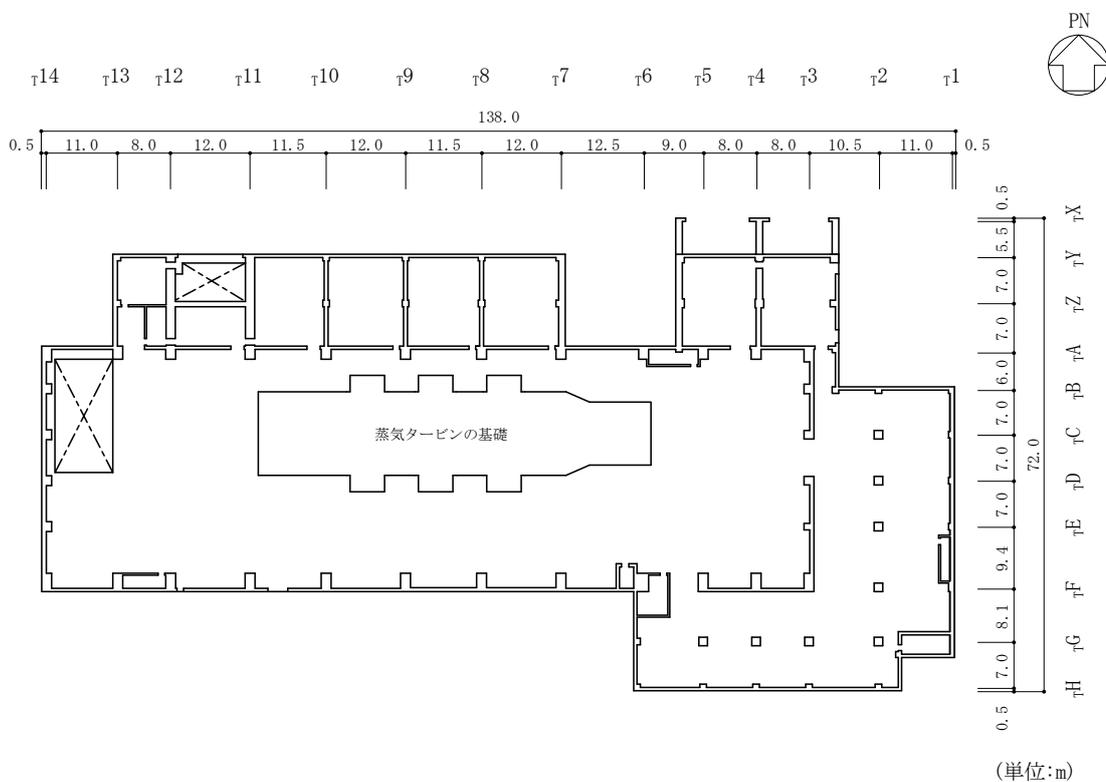


図 2-2(4) タービン建物の概略平面図 (EL 20.6m)

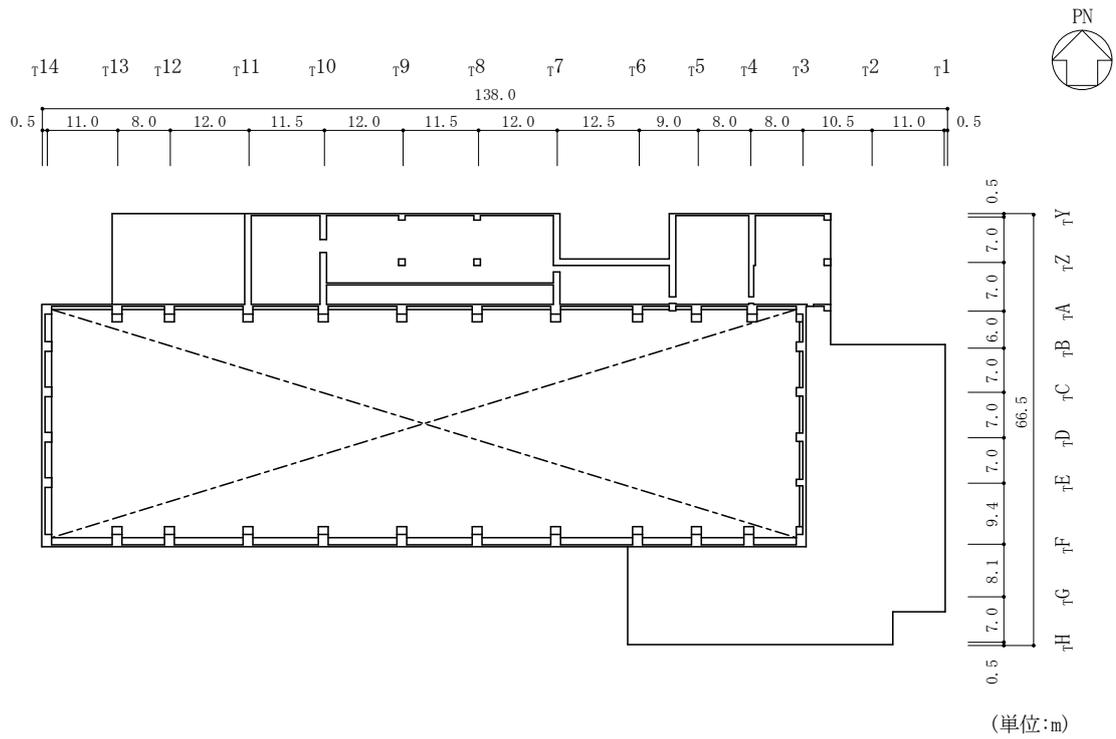


図 2-2(5) タービン建物の概略平面図 (EL 32.0m)

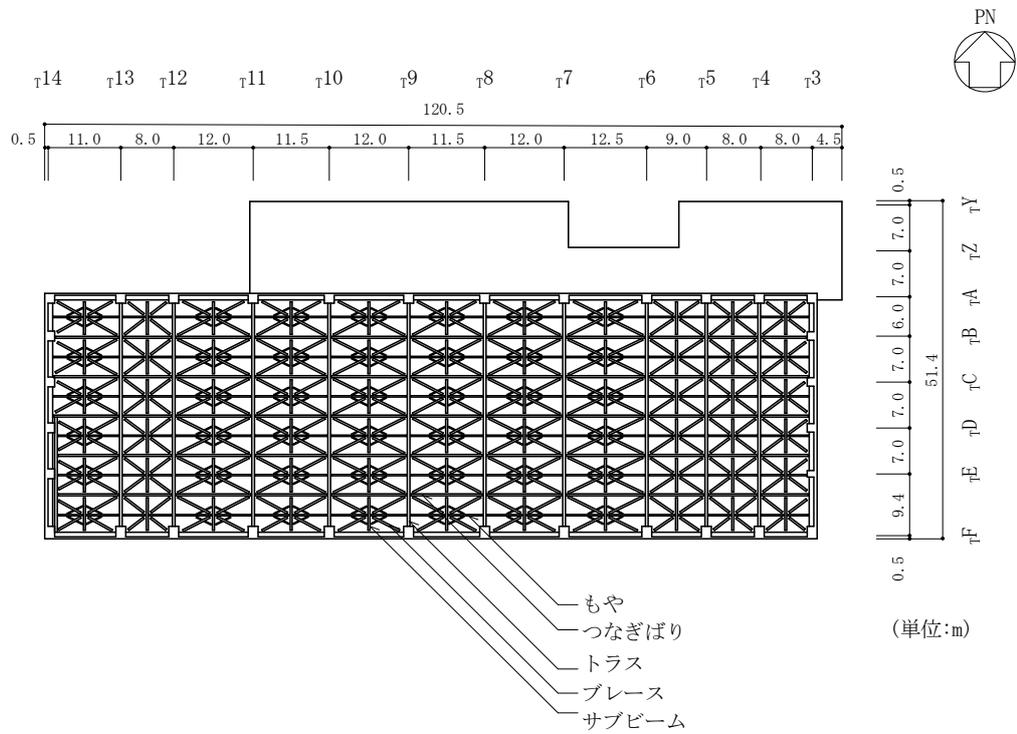


図 2-2(6) タービン建物の概略平面図 (EL 41.6m)

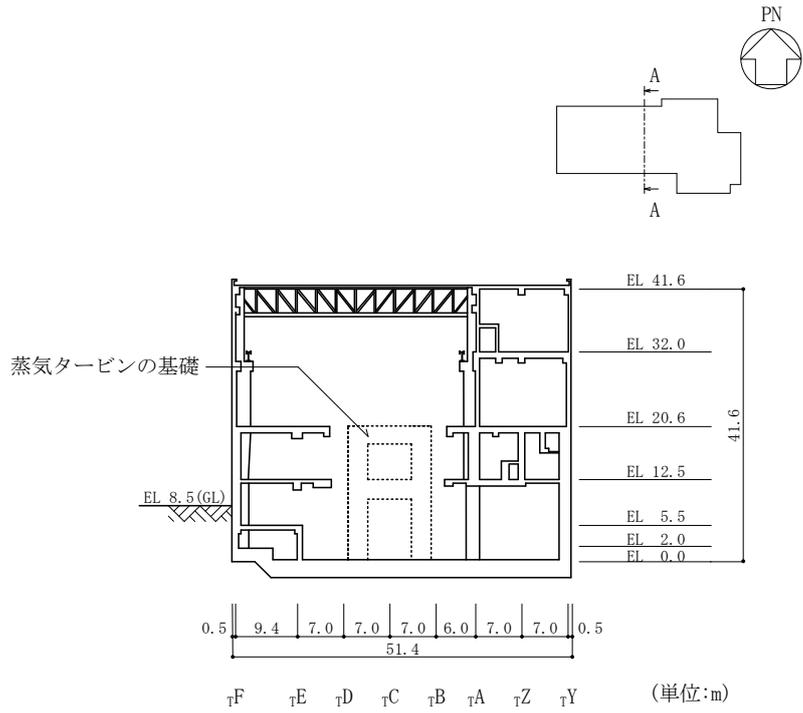


図 2-3(1) タービン建物の概略断面図 (A-A 断面, N S 方向)

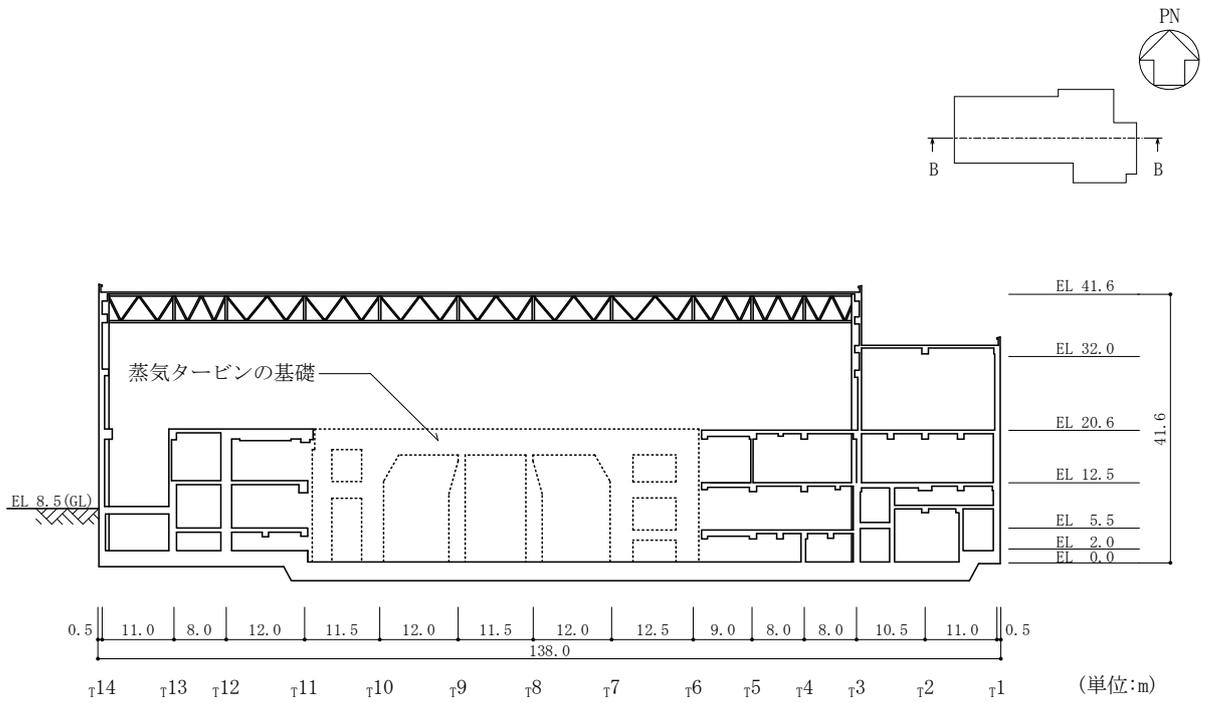


図 2-3(2) タービン建物の概略断面図 (B-B 断面, E W 方向)

2.3 評価方針

タービン建物は、建物内部に基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対して機能維持が要求される施設が収納されており、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該施設が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」に分類される。

タービン建物の設計基準対象施設としての評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）、弾性設計用地震動 S_d による地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。タービン建物の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては耐震壁のせん断ひずみ、接地圧及び保有水平耐力の評価を、応力解析による評価においては、基礎スラブの断面の評価を行うことで、タービン建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

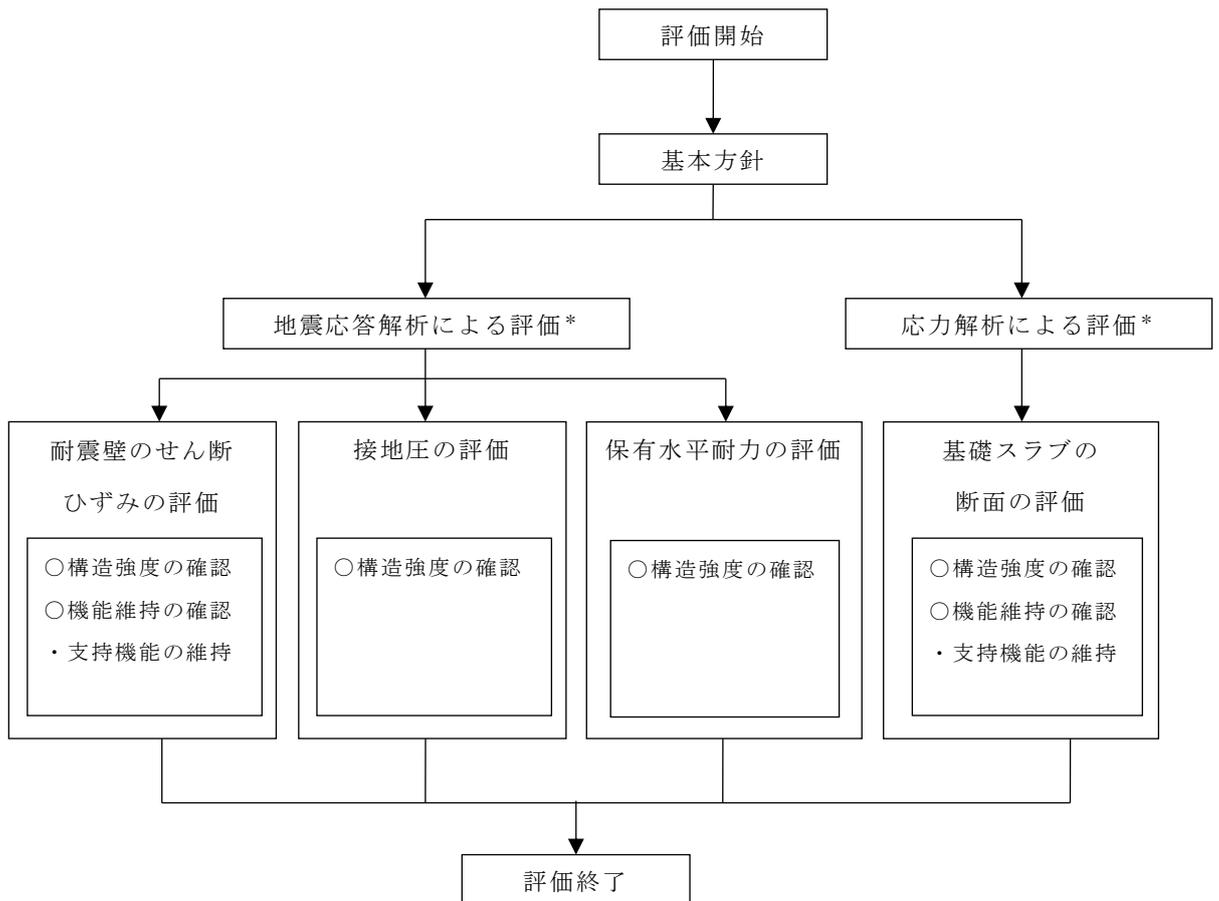
また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価及び保有水平耐力の評価を行う。ここで、タービン建物では、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

図 2-4 にタービン建物の評価フローを示す。

図 2-5 に基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する機能維持要求エリアを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

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



注記* : VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 タービン建物の評価フロー

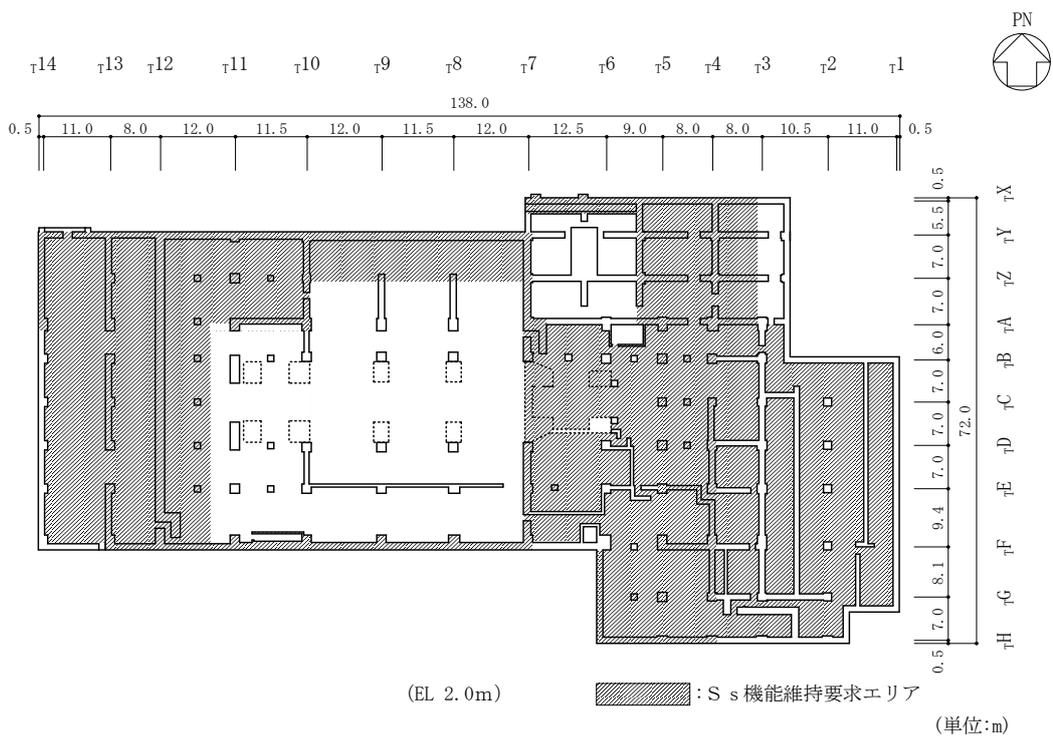


図 2-5(1) 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する機能維持要求エリア

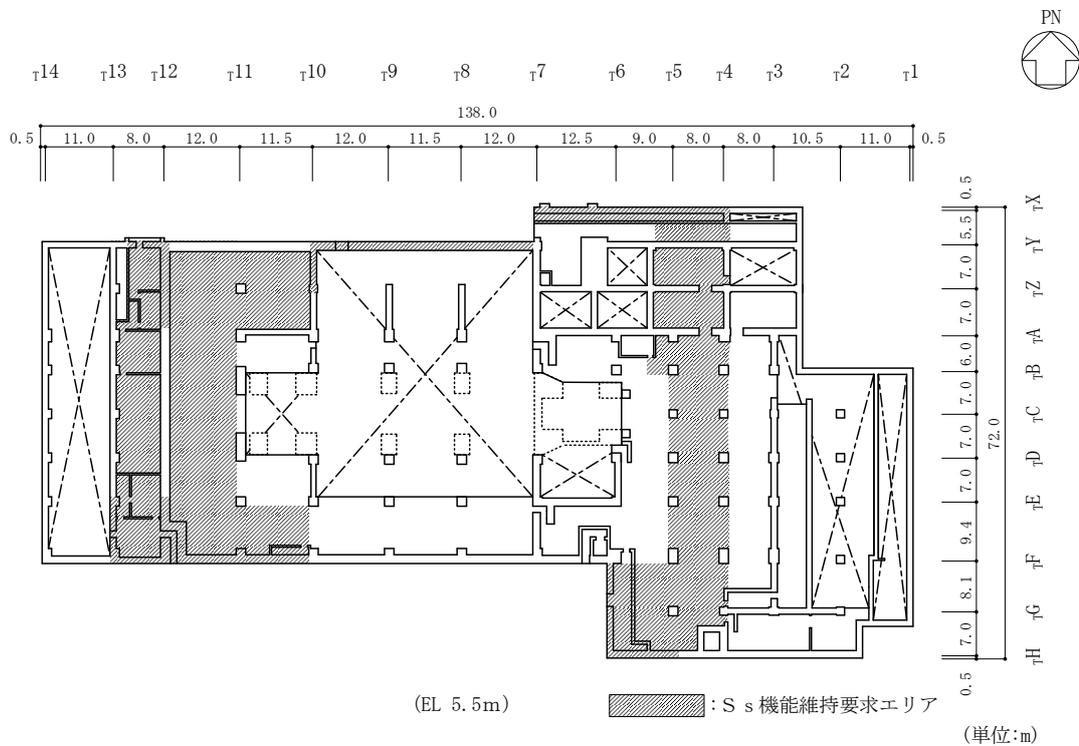


図 2-5(2) 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d に対する機能維持要求エリア

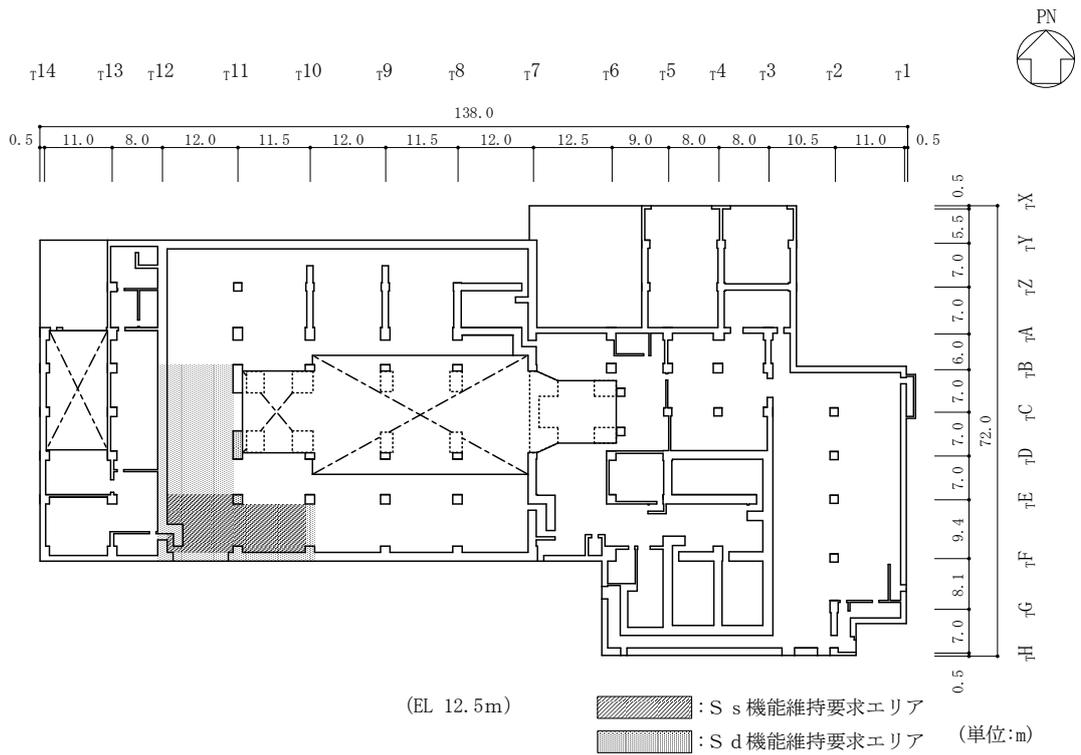


図 2-5(3) 基準地震動 S s 及び弾性設計用地震動 S d に対する機能維持要求エリア

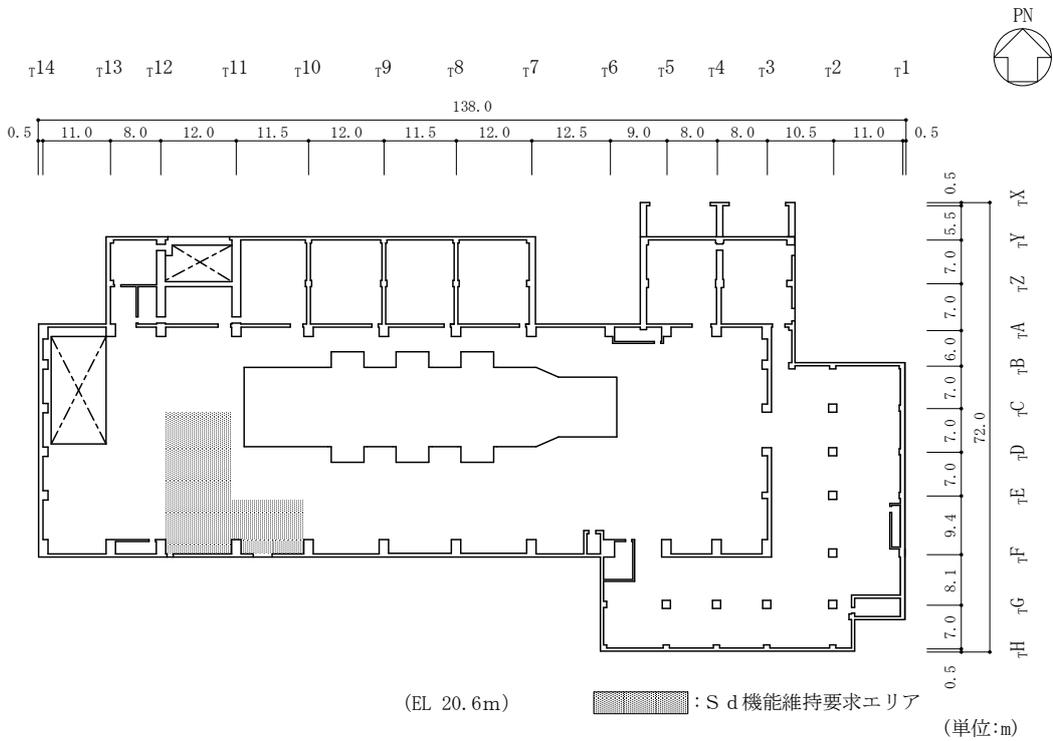


図 2-5(4) 基準地震動 S s 及び弾性設計用地震動 S d に対する機能維持要求エリア

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)
- ・2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 地震応答解析による評価方法

タービン建物の構造強度については、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみ及び最大接地圧が許容限界を超えないこと並びに保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

また、支持機能の維持については、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価におけるタービン建物の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
		弾性設計用 地震動 S _d			せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
		基準地震動 S _s	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* ² (9.8×10 ³ kN/m ²)
		保有 水平耐力	構造物 全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有 水平耐力
支持 機能* ³	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
		弾性設計用 地震動 S _d			せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：支持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。

*3：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度*2 (9.8×10 ³ kN/m ²)
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
支持機能*3	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：支持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。

*3：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

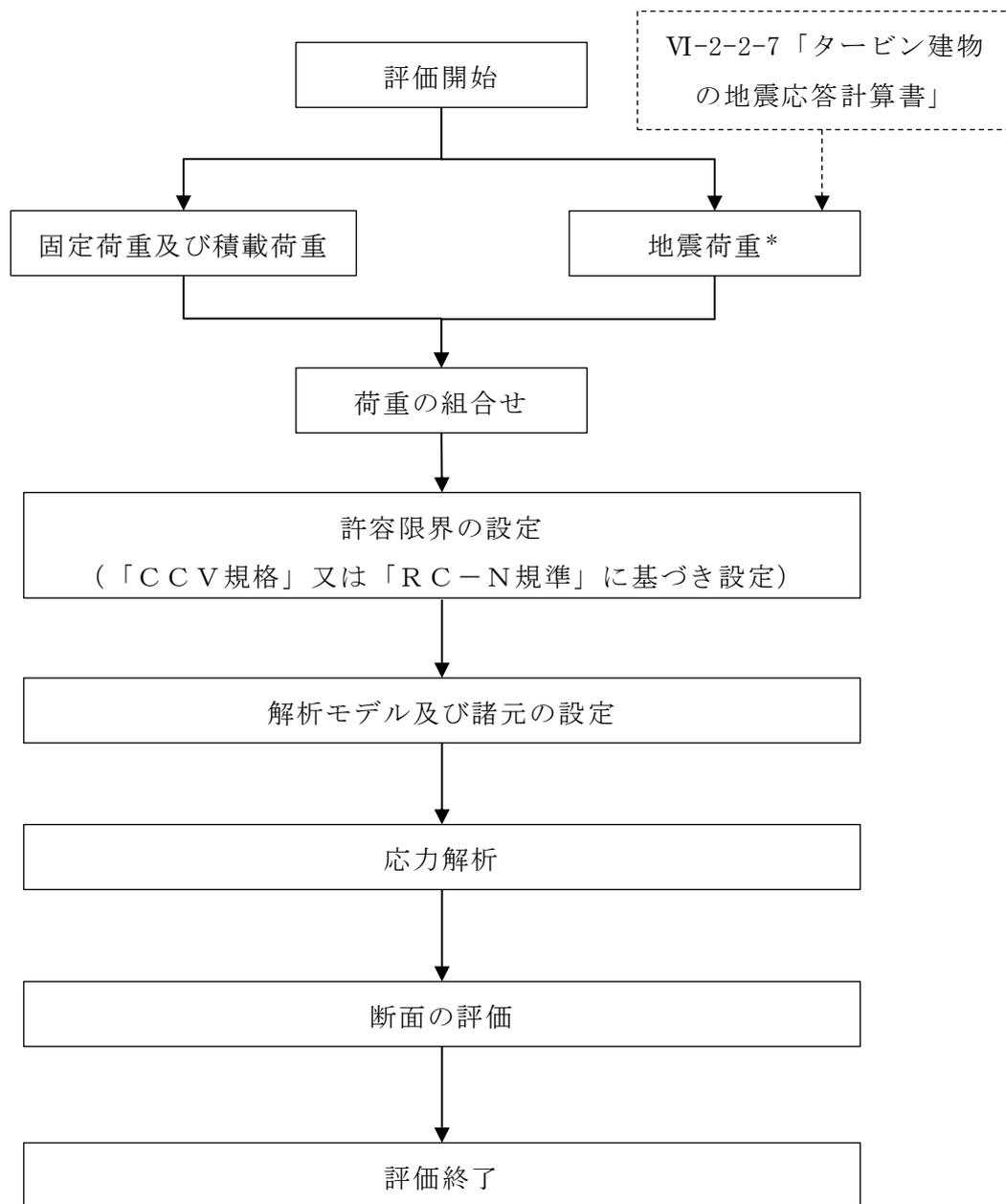
4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

タービン建物の応力解析による評価対象部位は、基礎スラブとし、S_s地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

S_s地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」（以下「CCV規格」という。）又は「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析にあたっては、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」により得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

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

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重は、建物自重、機器、配管等の重量を考慮する。浮力(19.6kN/m²)を考慮する。

(2) 地震荷重

a. 地震荷重

水平地震力及び鉛直地震力は、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数より設定する。このとき、基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数は、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮して設定する。

地震荷重を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1(1) 地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
耐震壁 (τ_1 通り)	79.1
耐震壁 (τ_2 通り)	1.61
耐震壁 (τ_3 通り)	157
耐震壁 (τ_4 通り)	94.2
耐震壁 (τ_5 通り)	58.3
耐震壁 (τ_6 通り)	79.6
耐震壁 (τ_7 通り, τ_A 通り側)	54.6
耐震壁 (τ_7 通り, τ_F 通り側)	43.8
耐震壁 (τ_8 通り, τ_A 通り側)	26.7
耐震壁 (τ_8 通り, τ_F 通り側)	5.16
耐震壁 (τ_9 通り, τ_A 通り側)	26.1
耐震壁 (τ_9 通り, τ_F 通り側)	5.24
耐震壁 (τ_{10} 通り, τ_A 通り側)	35.7
耐震壁 (τ_{10} 通り, τ_F 通り側)	21.4
耐震壁 (τ_{11} 通り)	46.0
耐震壁 (τ_{12} 通り)	159
耐震壁 (τ_{13} 通り)	81.2
耐震壁 (τ_{14} 通り)	58.7

表 4-1(2) 地震荷重 (せん断力)

(b) E W方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3$ kN)
	S s
耐震壁 (τ X 通り)	27.6
耐震壁 (τ Y 通り)	269
耐震壁 (τ Z 通り, τ 1 通り側)	84.4
耐震壁 (τ Z 通り, τ 14 通り側)	10.0
耐震壁 (τ A 通り, τ 1 通り側)	119
耐震壁 (τ A 通り, τ 14 通り側)	53.8
耐震壁 (τ B 通り, τ 1 通り側)	70.8
耐震壁 (τ B 通り, τ 14 通り側)	6.17
耐震壁 (τ C 通り, τ 1 通り側)	0.52
耐震壁 (τ C 通り, τ 14 通り側)	3.23
耐震壁 (τ D 通り, τ 1 通り側)	20.2
耐震壁 (τ D 通り, τ 14 通り側)	5.43
耐震壁 (τ E 通り)	81.6
耐震壁 (τ F 通り)	315
耐震壁 (τ G 通り)	48.5
耐震壁 (τ H 通り)	90.8

表 4-2(1) 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
耐震壁 (τ_1 通り)	147
耐震壁 (τ_2 通り)	6.03
耐震壁 (τ_3 通り)	376
耐震壁 (τ_4 通り)	167
耐震壁 (τ_5 通り)	184
耐震壁 (τ_6 通り)	112
耐震壁 (τ_7 通り, τ_A 通り側)	129
耐震壁 (τ_7 通り, τ_F 通り側)	62.4
耐震壁 (τ_8 通り, τ_A 通り側)	66.2
耐震壁 (τ_8 通り, τ_F 通り側)	6.76
耐震壁 (τ_9 通り, τ_A 通り側)	62.3
耐震壁 (τ_9 通り, τ_F 通り側)	6.62
耐震壁 (τ_{10} 通り, τ_A 通り側)	83.6
耐震壁 (τ_{10} 通り, τ_F 通り側)	24.0
耐震壁 (τ_{11} 通り)	161
耐震壁 (τ_{12} 通り)	294
耐震壁 (τ_{13} 通り)	133
耐震壁 (τ_{14} 通り)	190

表 4-2(2) 地震荷重 (曲げモーメント)

(b) E W方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
耐震壁 (τ X 通り)	18.7
耐震壁 (τ Y 通り)	568
耐震壁 (τ Z 通り, τ 1 通り側)	131
耐震壁 (τ Z 通り, τ 14 通り側)	97.7
耐震壁 (τ A 通り, τ 1 通り側)	275
耐震壁 (τ A 通り, τ 14 通り側)	237
耐震壁 (τ B 通り, τ 1 通り側)	129
耐震壁 (τ B 通り, τ 14 通り側)	3.01
耐震壁 (τ C 通り, τ 1 通り側)	1.51
耐震壁 (τ C 通り, τ 14 通り側)	1.64
耐震壁 (τ D 通り, τ 1 通り側)	32.2
耐震壁 (τ D 通り, τ 14 通り側)	5.70
耐震壁 (τ E 通り)	108
耐震壁 (τ F 通り)	748
耐震壁 (τ G 通り)	60.9
耐震壁 (τ H 通り)	179

表 4-3 鉛直地震荷重 (軸力係数)

部 位	軸力係数
	S s
上部構造物	0.81
基礎スラブ	0.34

b. 地震時土圧荷重

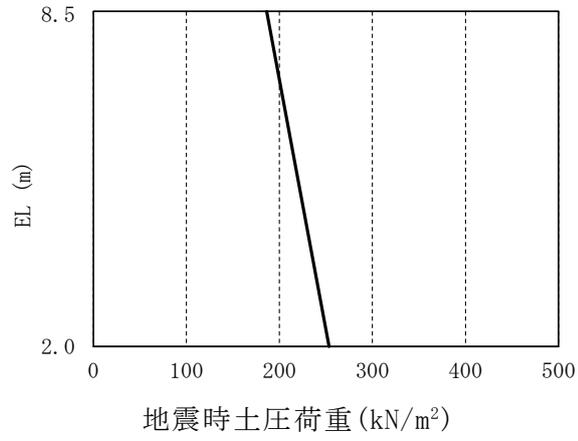
地震時土圧荷重は，地震時土圧により地下外壁を介して作用する荷重として，「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）」に基づき算出し，常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。地震時土圧荷重を表 4-4 に，地震時土圧による荷重分布を図 4-2 に示す。なお，南側は原子炉建物，廃棄物処理建物及び制御室建物，東側の一部は 1 号機タービン建物，北側の一部は取水槽が隣接しており，構造物が隣接する部分については，地震時土圧荷重を考慮しない。

表 4-4 地震時土圧荷重

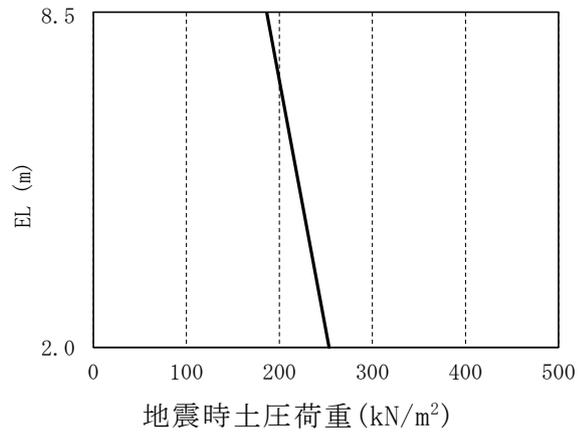
EL (m)	地震時土圧荷重 (kN/m ²)		
	北側	東側	西側
15.0 ~2.0	—	—	186.2+0.5・γ・h (_T B 通り - _T F 通り間)
8.5~ 2.0	186.2+0.5・γ・h (_T 1 通り - _T 7 通り間) (_T 10 通り - _T 14 通り間)	186.2+0.5・γ・h (_T X 通り - _T C 通り間)	186.2+0.5・γ・h (_T Y 通り - _T B 通り間)

γ：土の単位体積重量(kN/m³)

h：地表面からの深さ(m)

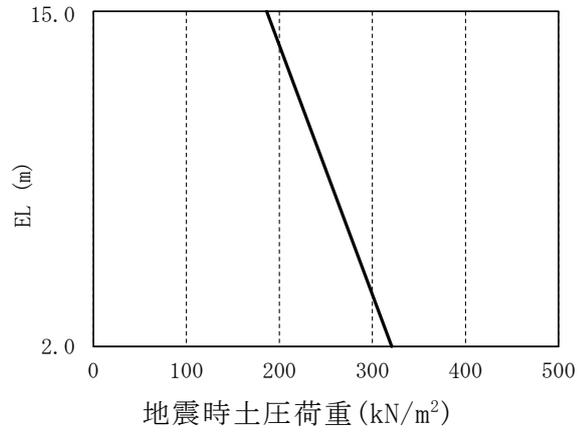


(a) 北側 (τ1 通り - τ7 通り間, τ10 通り - τ14 通り間)

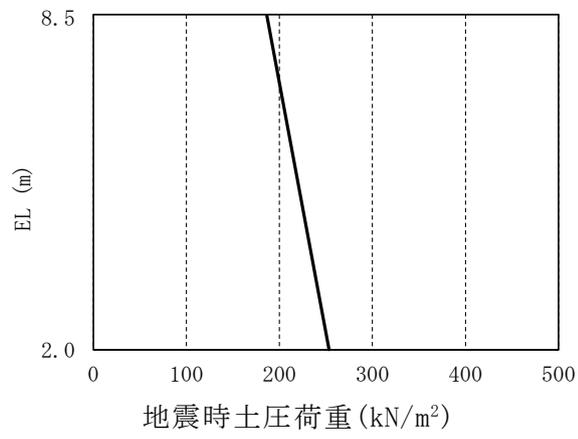


(b) 東側 (τX 通り - τC 通り間)

図 4-2(1) 地震時土圧による荷重分布



(c) 西側 (τ_B 通り - τ_F 通り間)



(d) 西側 (τ_Y 通り - τ_B 通り間)

図 4-2(2) 地震時土圧による荷重分布

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (地震時土圧荷重を含む)

4.3 許容限界

応力解析による評価におけるタービン建物の基礎スラブの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-6 及び表 4-7 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-8 及び表 4-9 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-10 に示す。

表 4-6 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ^{*1} コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) 面外せん断力^{*2} 短期許容せん断力^{*3}
支持機能 ^{*4}	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S_s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ひずみ^{*1} コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) 面外せん断力^{*2} 短期許容せん断力^{*3}

注記*1: 「CCV規格」に基づく。

*2: 「RC-N規準」に基づく。

*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

*4: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-7 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*1 コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) ・面外せん断力*2 短期許容せん断力*3
支持機能*4	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S s	基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*1 コンクリート 3.0×10^{-3} (圧縮) 鉄筋 5.0×10^{-3} (圧縮及び引張) ・面外せん断力*2 短期許容せん断力*3

注記*1: 「CCV規格」に基づく。

*2: 「RC-N規準」に基づく。

*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

*4: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-8 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	せん断
23.5	1.08

表 4-9 鉄筋の短期許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

表 4-10 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
0.003	0.005

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とする。解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。また、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。

基礎スラブについては、EL 0.0m～EL 2.0mをモデル化する。上部構造については、EL 2.0m～EL 20.6mをモデル化し、剛性を考慮する。応力解析における評価対象部位は、基礎スラブであるが、各部の荷重伝達を考慮するために周辺部を含むモデルを用いることとした。解析モデルを図4-3に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎スラブについては積層シェル要素とする。上部構造として、基礎スラブより立ち上がっている壁については、EL 2.0m～EL 20.6mを積層シェル要素として剛性を考慮する。また、EL 5.5m～EL 20.6mの床スラブについては、積層シェル要素として剛性を考慮する。基礎スラブの積層シェル要素は、鉄筋層をモデル化した異方性材料による要素である。

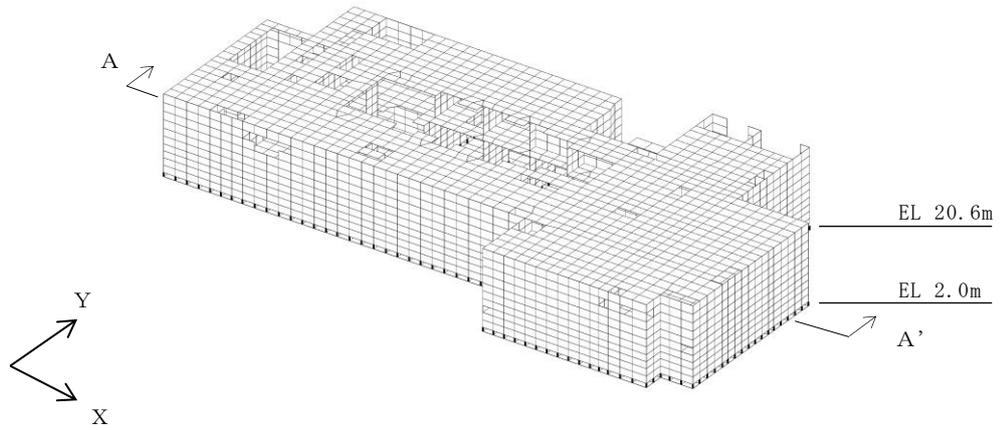
各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

解析モデルの節点数は9929、要素数は12652である。

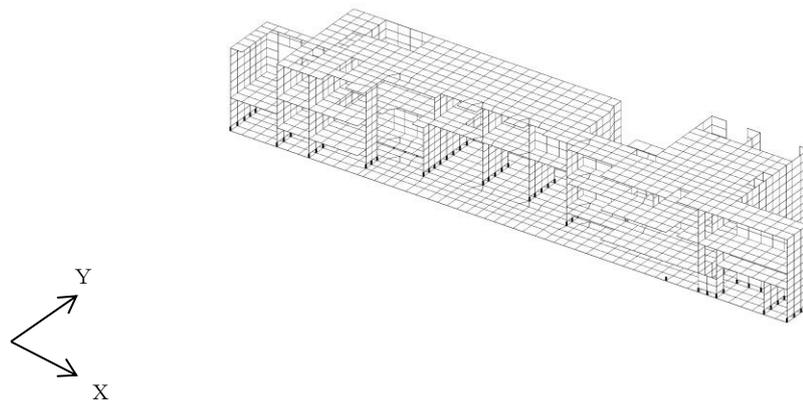
(3) 境界条件

3次元FEMモデルの基礎スラブ底面に、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元FEMモデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

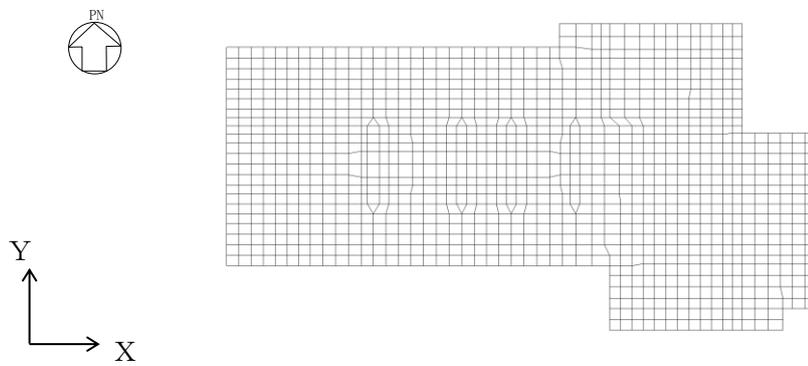
なお、基礎スラブ底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮上りを考慮する。



(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)



(c) 基礎スラブ要素分割図

図 4-3 解析モデル

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-11 及び表 4-12 に示す。

表 4-11 コンクリートの物性値

部 位	設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
基礎スラブ・壁・ 床スラブ	23.5	2.25×10^4	0.2

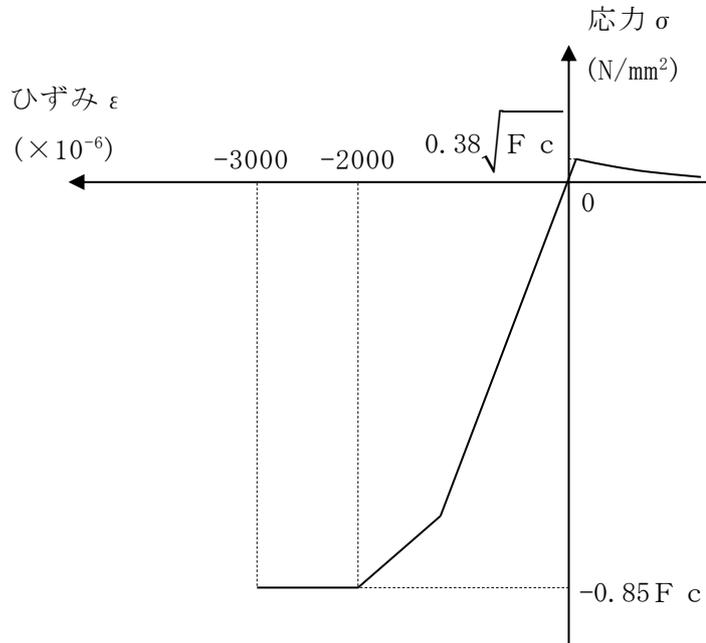
表 4-12 鉄筋の物性値

部 位	鉄筋の種類	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
基礎スラブ	SD35 (SD345 相当)	345	2.05×10^5

4.4.3 材料構成則

材料構成則を図 4-4 に示す。

コンクリートのヤング係数及び圧縮強度については、設計基準強度に基づき算定した値とする。



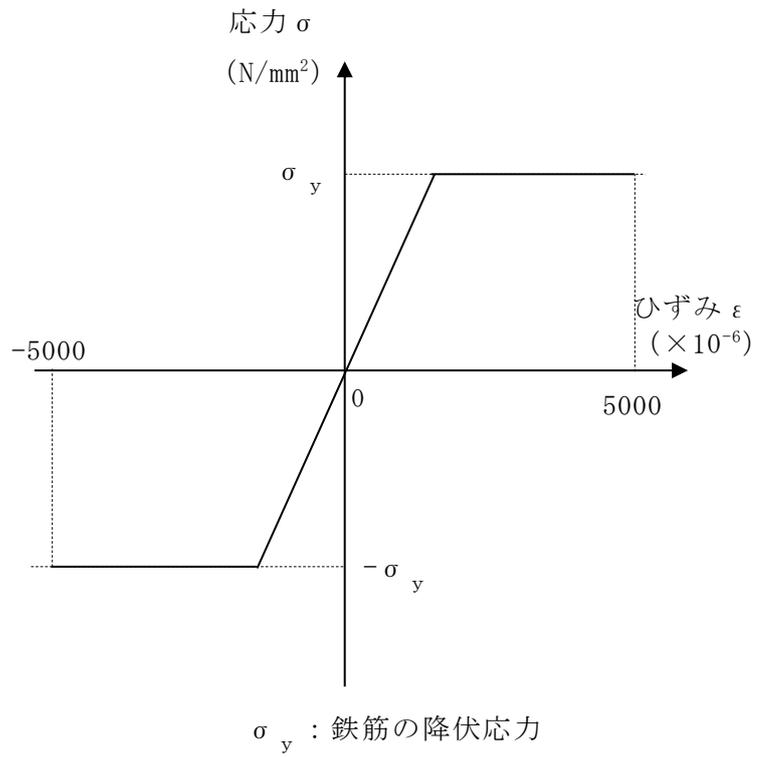
F_c : コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	$\sigma_c = -0.85 F_c$ (「CCV規格」)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 ($c = 0.4$) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38\sqrt{F_c}$ (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 - 許容応力度設計法 - (社) 日本建築学会, 1999 改定)

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 4-4(1) 材料構成則



項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型 (「CCV規格」)
終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力－ひずみ関係

図 4-4(2) 材料構成則

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

タービン建物の基礎スラブについて、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S_{SSN}	: S→N方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SNS}	: N→S方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SEW}	: E→W方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SWE}	: W→E方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SUD}	: 鉛直方向 (下向き) S_s 地震荷重
S_{SDU}	: 鉛直方向 (上向き) S_s 地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-13 に示す。

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

表 4-13 荷重の組合せケース

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

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

基礎スラブに上部構造物から作用する水平地震力については，上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントを基礎スラブの当該位置の節点に離散化して節点荷重として入力する。

基礎スラブに上部構造物から作用する鉛直地震力については，上部構造物からの軸力とし，鉛直力に置換し，モデル上の各節点における支配面積に応じた節点荷重として入力する。

基礎スラブ内に作用する荷重については，地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差をFEMモデルの各要素の大きさに応じて分配し，節点荷重として入力する。

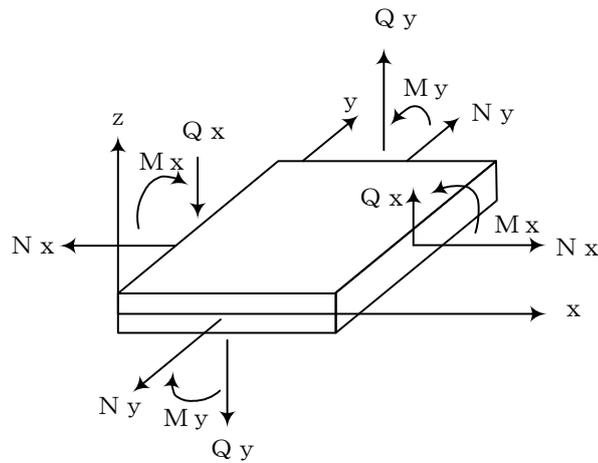
b. 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については，FEMモデルの各節点又は各要素に，集中荷重又は分布荷重として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認する。断面力成分を図4-5に示す。

なお、3次元FEMモデルを用いた応力の算定において、FEM要素に応力集中等が見られる場合については、「RC-N規準」に基づき、応力の再配分等を考慮してある一定の領域の応力を平均化したうえで断面の評価を行う。



M_x, M_y : 曲げモーメント $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$
 Q_x, Q_y : せん断力 kN/m
 N_x, N_y : 軸力 kN/m
 応力の符号 (矢印の方向を正とする。)

図4-5 断面力成分

(1) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、「CCV規格」に基づき、表4-10に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。また、引張軸応力度が 2N/mm^2 を超える場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表4-8に示す値 (N/mm^2)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表4-9に示す値 (N/mm^2)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm^2)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第2項を0とする。

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、 S_s 地震時及び S_d 地震時の最大応答せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

S_s 地震時における材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.75×10^{-3} (NS方向, S_s-D , ケース3, 要素番号23) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。また, S_d 地震時における材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.34×10^{-3} (EW方向, S_d-1 , ケース3, 要素番号19) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

S_s 地震時及び S_d 地震時における各要素の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表5-1及び表5-2に示す。各表において, 各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について, せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図5-1及び図5-2に示す。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (S s 地震時, N S 方向)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
T3-T6	12.5~5.5	12	0.69	2.0
	5.5~2.0	13	0.36	
T7-T10(TA側)	12.5~5.5	17	0.22	
	5.5~2.0	18	0.23	
T7-T10(TF側)	12.5~5.5	22	0.49	
	5.5~2.0	23	0.75	
T11-T13	12.5~5.5	29	0.18	
	5.5~2.0	30	0.32	
T14	12.5~2.0	34	0.15	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

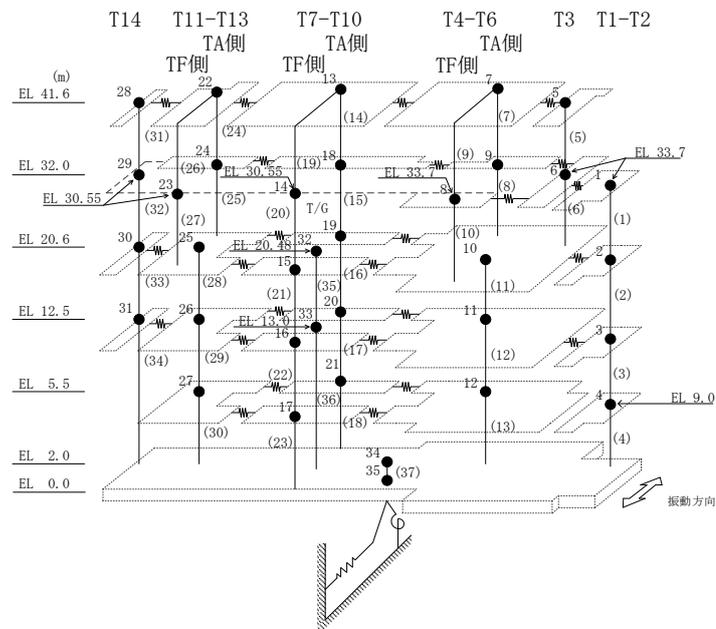


表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (S s 地震時, EW方向)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
TX-TZ (T14側)	12.5~5.5	4	0.63	2.0
TX-TZ (T1側)	8.8~5.5	7	0.11	
TX-TZ	5.5~2.0	8	0.25	
TA-TC (T14側)	5.5~2.0	13	0.47	
TA-TC (T1側)	5.5~2.0	15	0.42	
TC-TF	12.5~5.5	19	0.74	
	5.5~2.0	20	0.51	
TG-TH	12.5~5.5	23	0.56	
	5.5~2.0	24	0.53	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

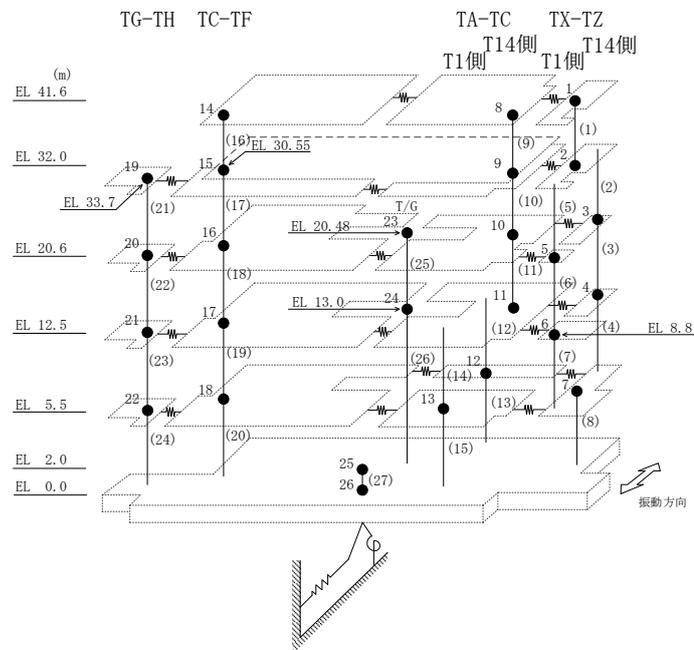


表 5-2(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (S d 地震時, N S 方向)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
T7-T10(TF側)	20.6~12.5	21	0.33	2.0
	12.5~5.5	22	0.24	
T11-T13	20.6~12.5	28	0.11	
	12.5~5.5	29	0.11	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

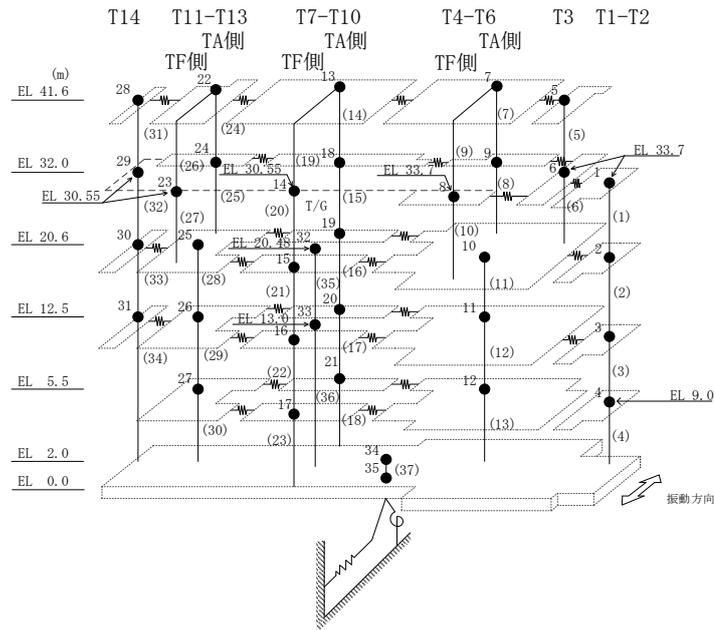
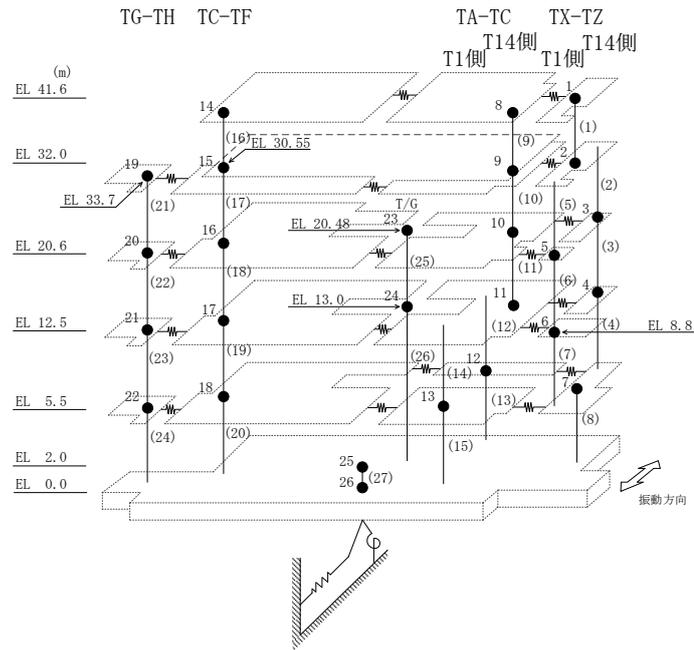
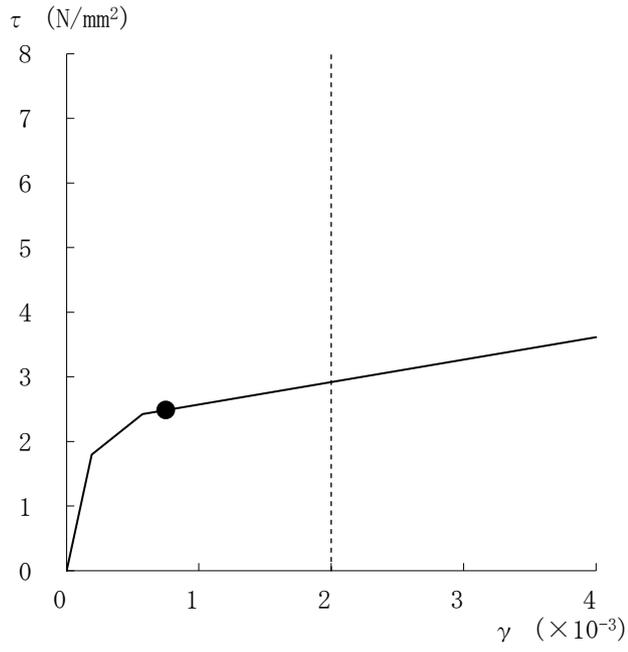


表 5-2(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (Sd地震時, EW方向)

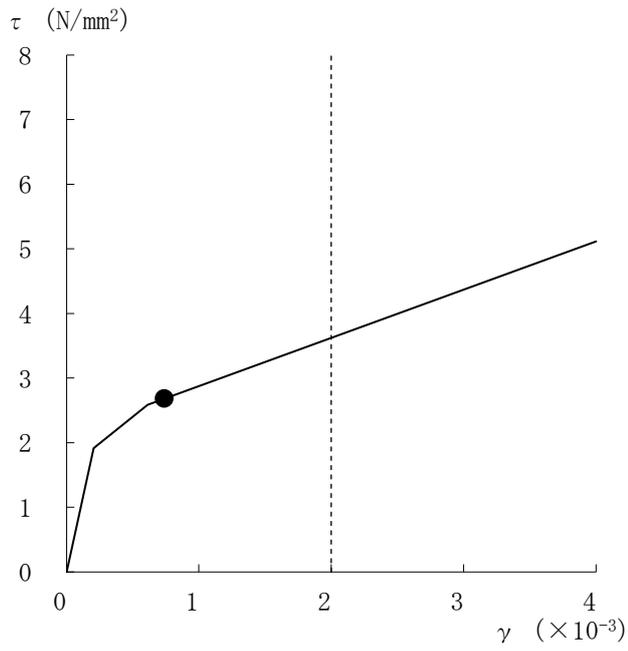
部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
TA-TC	20.6~12.5	11	0.27	2.0
TA-TC(T14側)	12.5~5.5	12	0.23	
TC-TF	20.6~12.5	18	0.12	
	12.5~5.5	19	0.34	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。



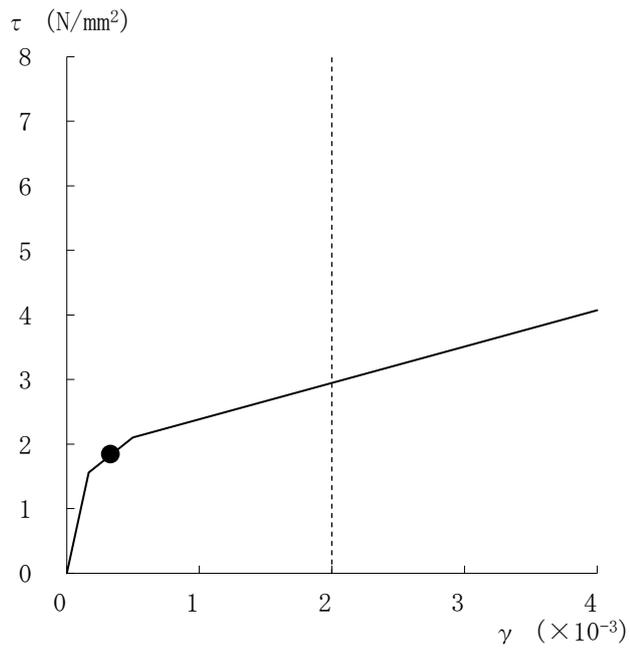


(a) NS方向 (S_s-D, ケース 3, 要素番号 23)

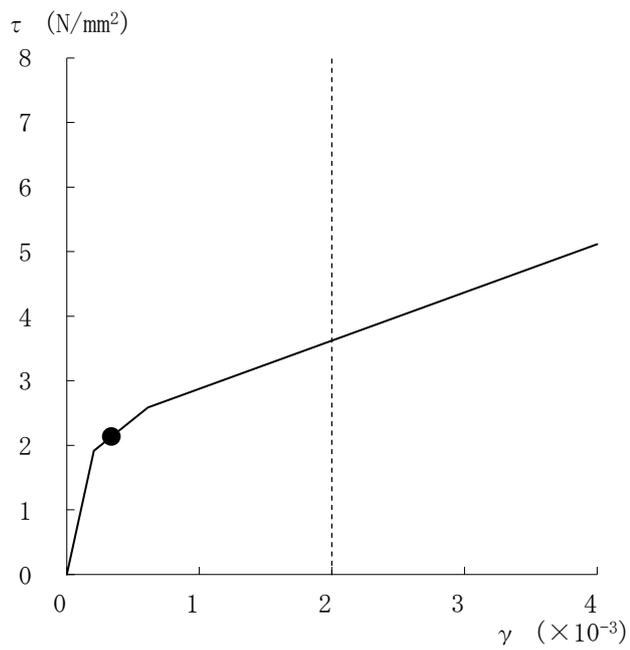


(b) EW方向 (S_s-D, ケース 3, 要素番号 19)

図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ (S_s地震時)



(a) NS方向 (S d - D, ケース 3, 要素番号 21)



(b) EW方向 (S d - 1, ケース 3, 要素番号 19)

図 5-2 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ (S d 地震時)

5.2 接地圧の評価結果

S s 地震時の最大接地圧が、地盤の許容限界を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した地震時の最大接地圧が $0.660 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ (S s - N 1, N S 方向, ケース 3) であることから、岩盤の極限支持力度 ($9.8 \times 10^3 \text{kN/m}^2$) を超えないことを確認した。

S s 地震時の最大接地圧を表 5-3 に示す。

表 5-3 S s 地震時の最大接地圧

検討ケース	N S 方向	E W 方向
	S s - N 1, ケース 3	S s - D, ケース 3
鉛直力 N ($\times 10^4 \text{kN}$)	90.9	133
転倒モーメント M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	26.1	29.0
最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	0.660	0.525

5.3 保有水平耐力の評価結果

各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。なお、各層の保有水平耐力 Q_u 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IV-2-7「タービン建物の耐震性についての計算書」によるものとする。

必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果を表5-4に示す。各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認した。

なお、必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比は最小で1.72である。

表5-4 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果

(a) NS方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
41.6~32.0	145.99	251.64	1.72
32.0~20.6	268.20	488.57	1.82
20.6~12.5	402.70	864.75	2.14
12.5~5.5	504.81	1067.55	2.11
5.5~2.0	546.43	1261.92	2.30

(b) EW方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
41.6~32.0	96.31	276.35	2.86
32.0~20.6	214.68	569.67	2.65
20.6~12.5	374.16	1061.96	2.83
12.5~5.5	495.06	1143.16	2.30
5.5~2.0	546.43	1533.76	2.80

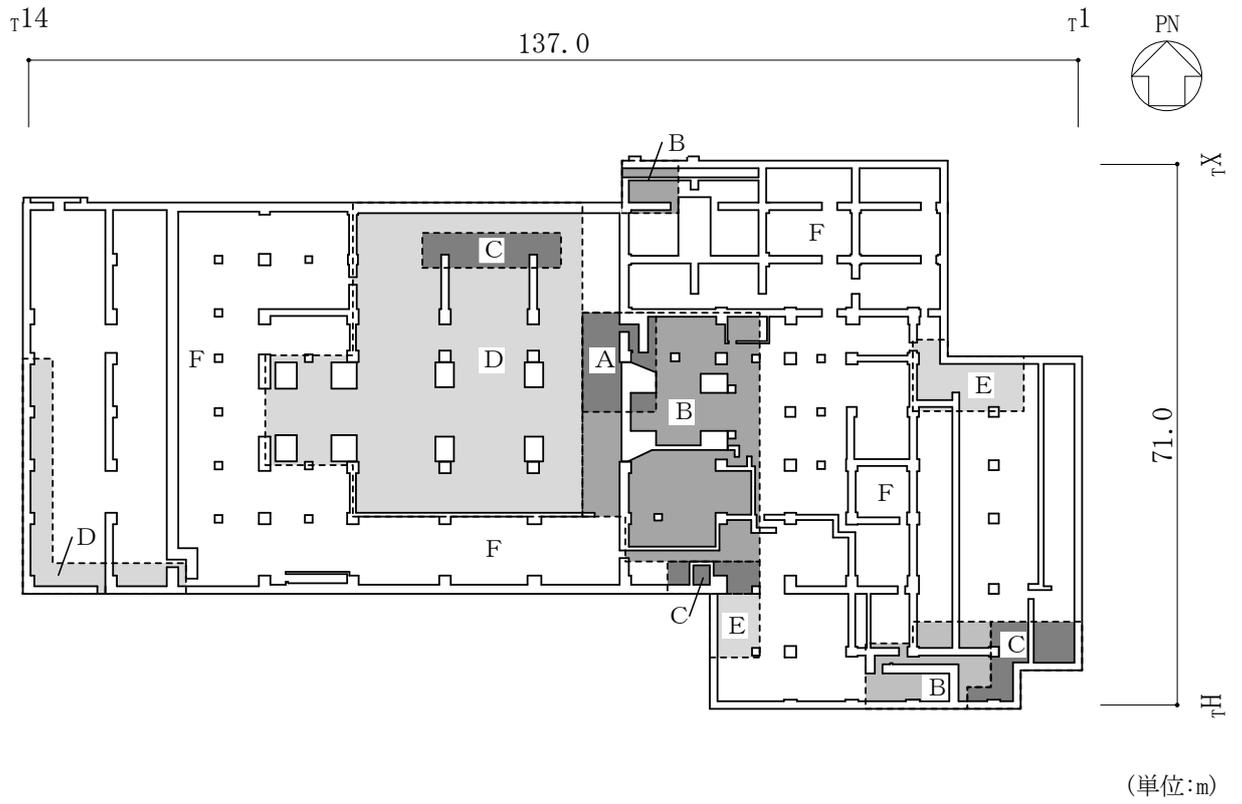
6. 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図6-1に、配筋一覧を表6-1に示す。

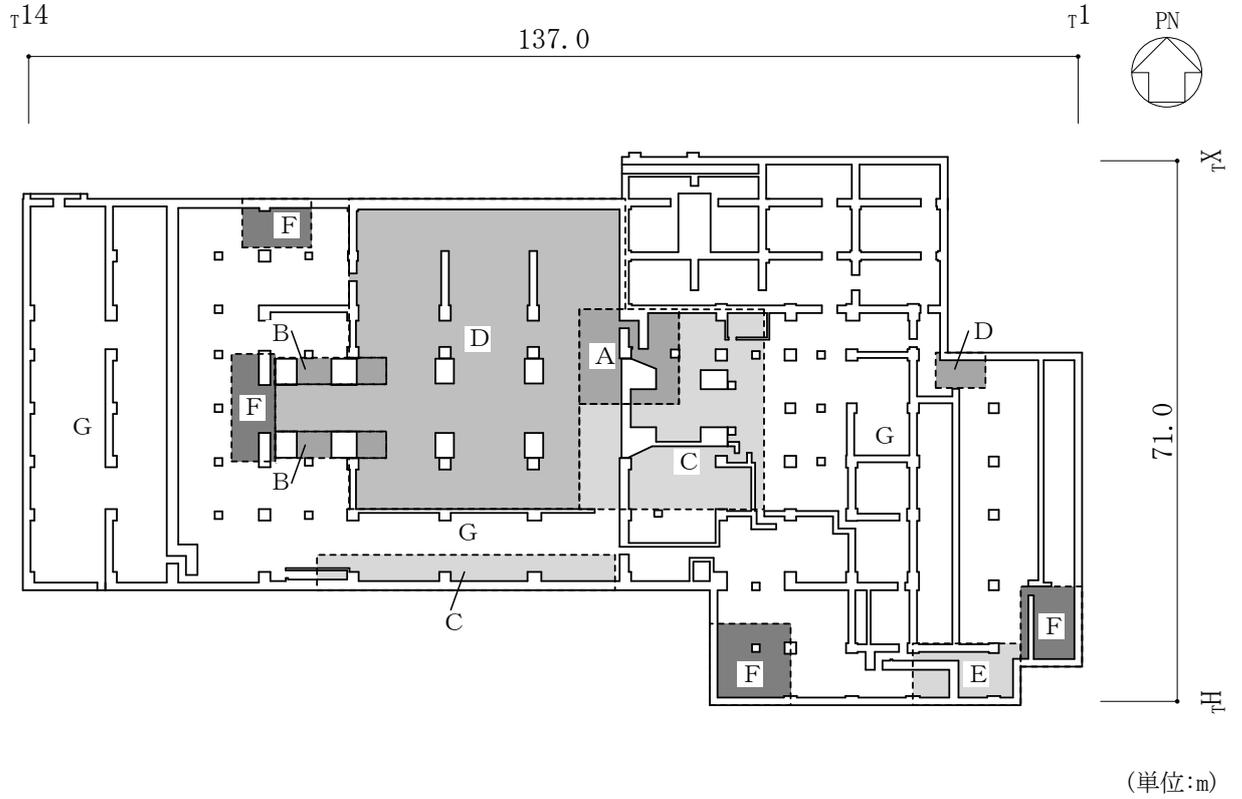
断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図6-2に、評価結果を表6-2に示す。

Ss地震時において、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

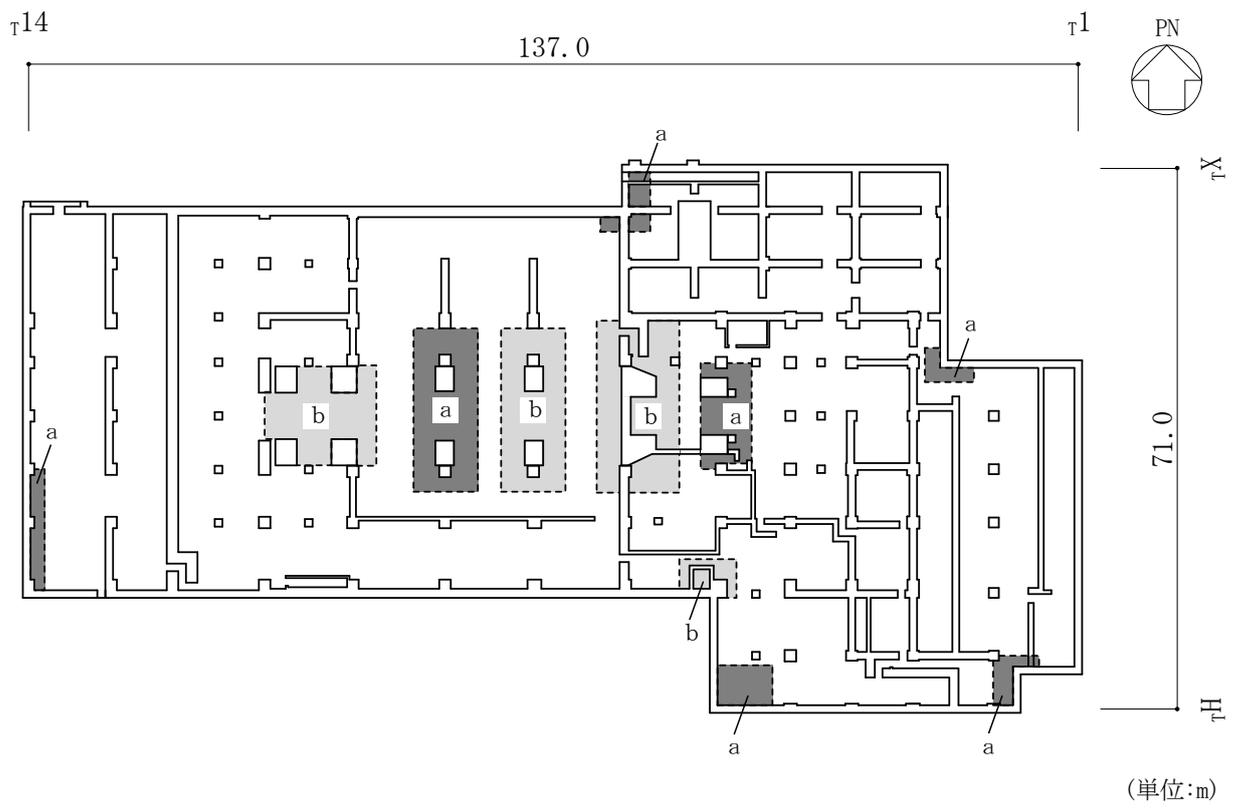


(a) 主筋 (下ば筋)



(b) 主筋 (上ば筋)

図 6-1(1) 配筋領域図



(c) せん断補強筋

図 6-1(2) 配筋領域図

表 6-1(1) 配筋一覧

(a) 主筋 (下ば筋)

領域	方向	配筋
A	N S	3-D32@200
	E W	3-D32@200
B	N S	2-D32@200
	E W	2-D32@200
C	N S	2-D32@200 + D32@400
	E W	2-D32@200 + D32@400
D	N S	D32@200 + D32@400
	E W	2-D32@200
E	N S	2-D32@200
	E W	D32@200 + D32@400
F	N S	D32@200
	E W	D32@200

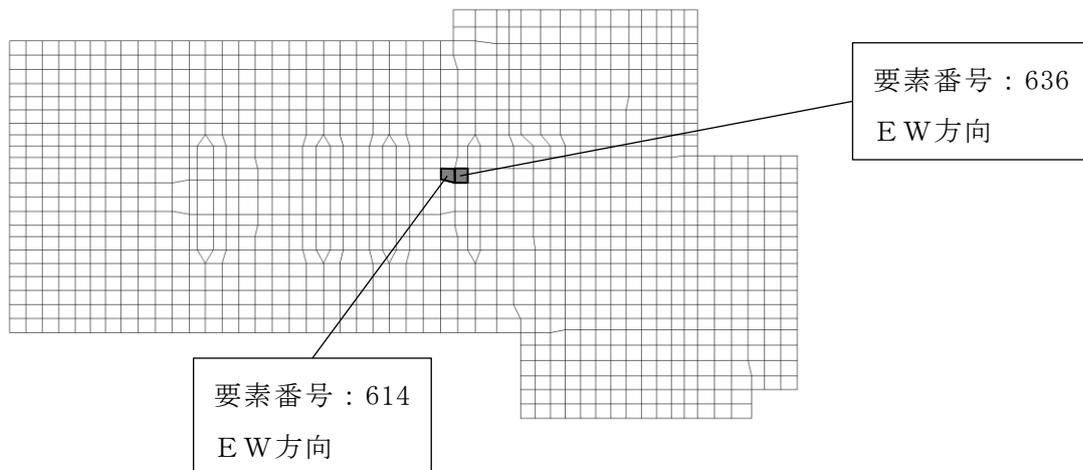
表 6-1(2) 配筋一覧

(b) 主筋 (上ば筋)

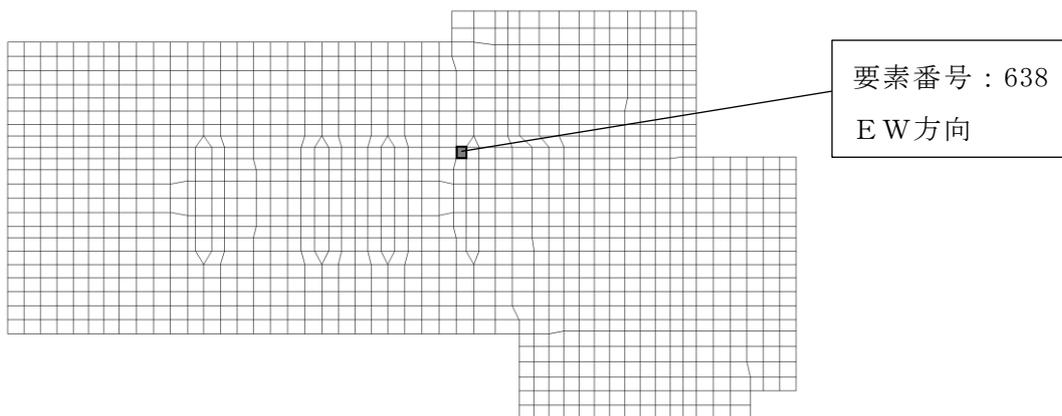
領域	方向	配筋
A	N S	2-D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200 + D32@200
B	N S	2-D32@200 + D32@400
	E W	2-D32@200 + D32@400
C	N S	2-D32@200
	E W	2-D32@200
D	N S	D32@200 + D32@400
	E W	2-D32@200
E	N S	2-D32@200
	E W	D32@200 + D32@400
F	N S	D32@200 + D32@400
	E W	D32@200 + D32@400
G	N S	D32@200
	E W	D32@200

(c) せん断補強筋

領域	配筋
a	D32@400 × 400
b	D38@400 × 400



(a) 軸力+曲げモーメント



(b) 面外せん断力

図 6-2 選定した要素の位置

表 6-2 評価結果 (S s 地震時)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	E W	636	8	0.344	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	E W	614	7	0.576	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$)	E W	638	4	2.98*	4.83

注記* : 応力の再配分等を考慮して、応力平均化を行った結果。

7. 引用文献

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE) ,
1993
- (2) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫 : 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル,
コンクリート工学, Vol.25, No.9, 1987.9

VI-2-2-12 緊急時対策所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	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 地震応答解析による評価方法	9
4. 応力解析による評価方法	11
4.1 評価対象部位及び評価方針	11
4.2 荷重及び荷重の組合せ	12
4.2.1 荷重	12
4.2.2 荷重の組合せ	15
4.3 許容限界	16
4.4 解析モデル及び諸元	18
4.4.1 モデル化の基本方針	18
4.4.2 解析諸元	19
4.5 評価方法	20
4.5.1 応力解析方法	20
4.5.2 断面の評価方法	23
5. 地震応答解析による評価結果	24
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	24
5.2 接地圧の評価結果	27
5.3 保有水平耐力の評価結果	28
6. 応力解析による評価結果	29

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、緊急時対策所の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

緊急時対策所は、設計基準対象施設においては「Cクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。また、緊急時対策所を構成する壁及び屋根スラブの一部は緊急時対策所遮蔽に該当し、その緊急時対策所遮蔽は、重大事故等対処施設において「常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、「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の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価を示す。

なお、緊急時対策所遮蔽の「常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価は、VI-2-8-4-5「緊急時対策所遮蔽の耐震性についての計算書」にて実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

緊急時対策所の設置位置を図 2-1 に示す。

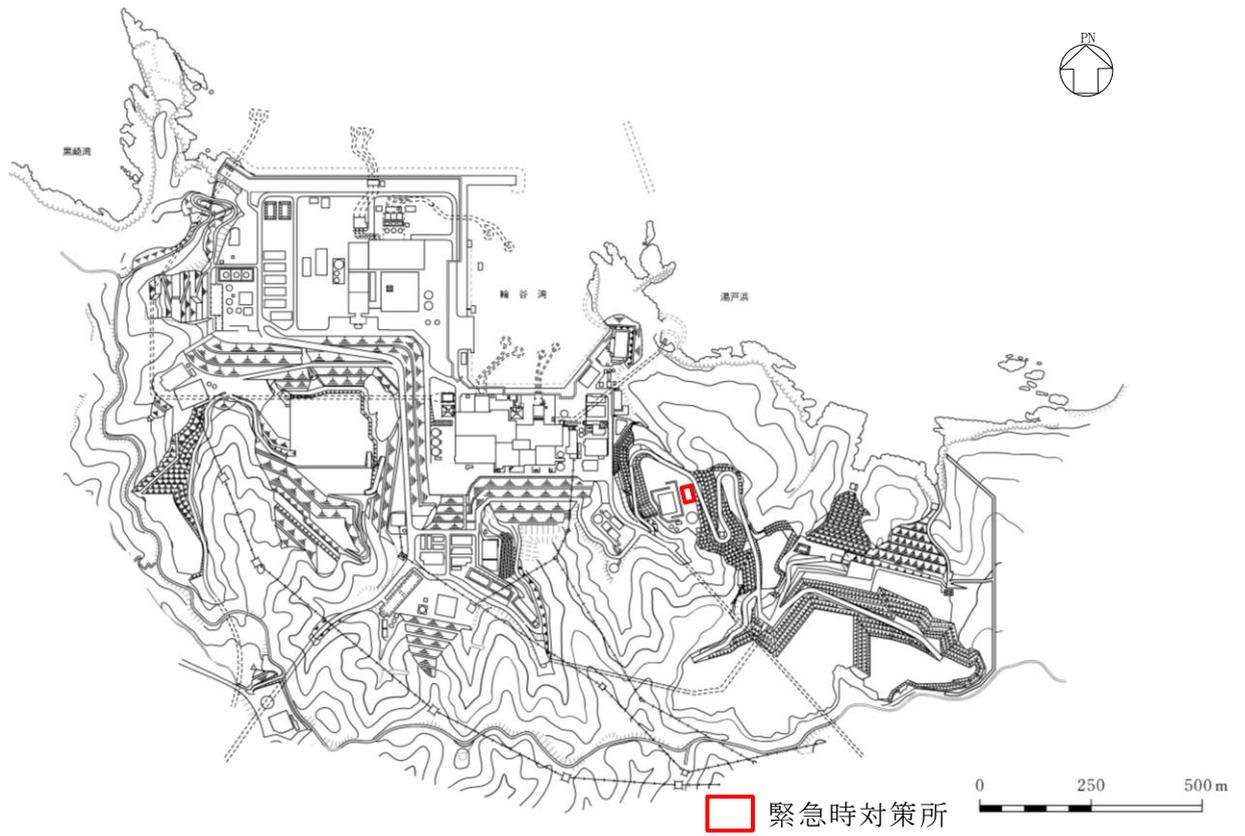


図 2-1 緊急時対策所の設置位置

2.2 構造概要

緊急時対策所は、地上1階建の鉄筋コンクリート造の建物である。

緊急時対策所の平面寸法は、30.5m*（NS）×23.0m*（EW）である。基礎スラブ底面からの高さは8.35mである。

緊急時対策所の基礎は厚さ2.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

建物に加わる地震時の水平力はすべて耐震壁に負担させている。

緊急時対策所の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。

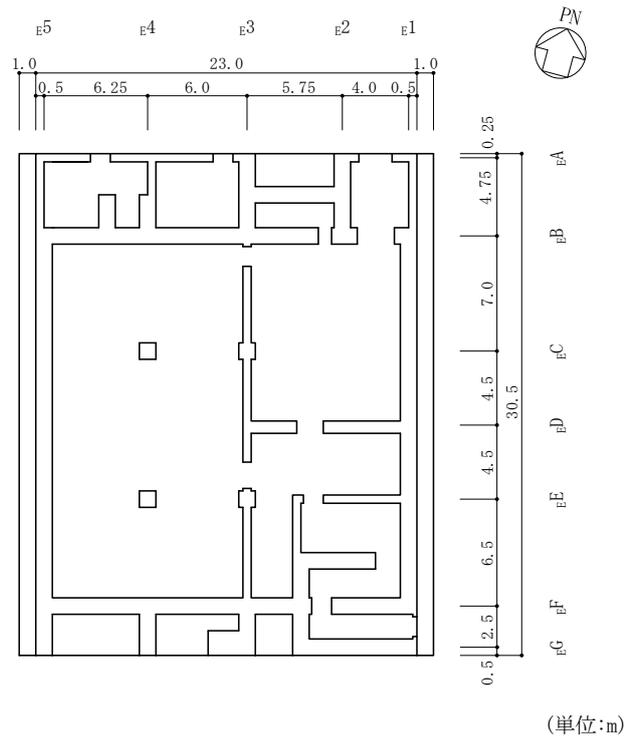


図 2-2(1) 緊急時対策所の概略平面図 (EL 50.25m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

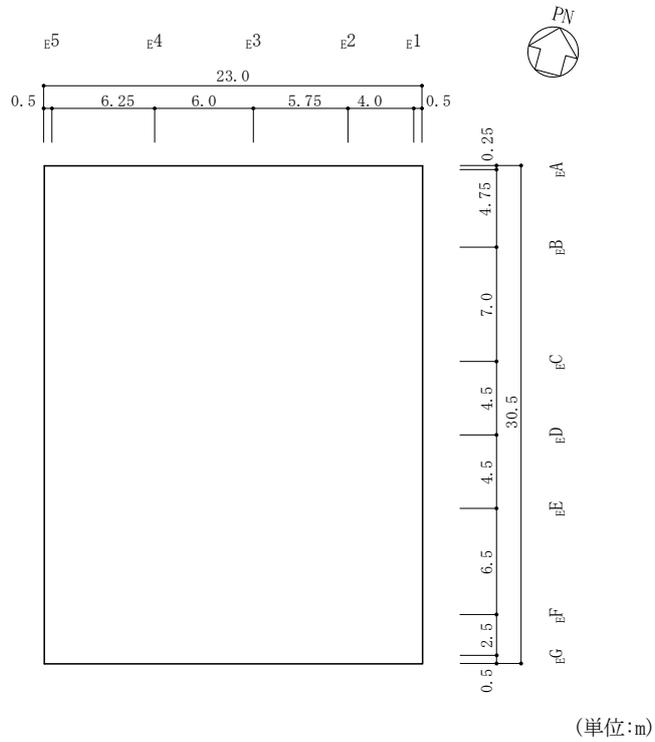


図 2-2(2) 緊急時対策所の概略平面図 (EL 56.6m)

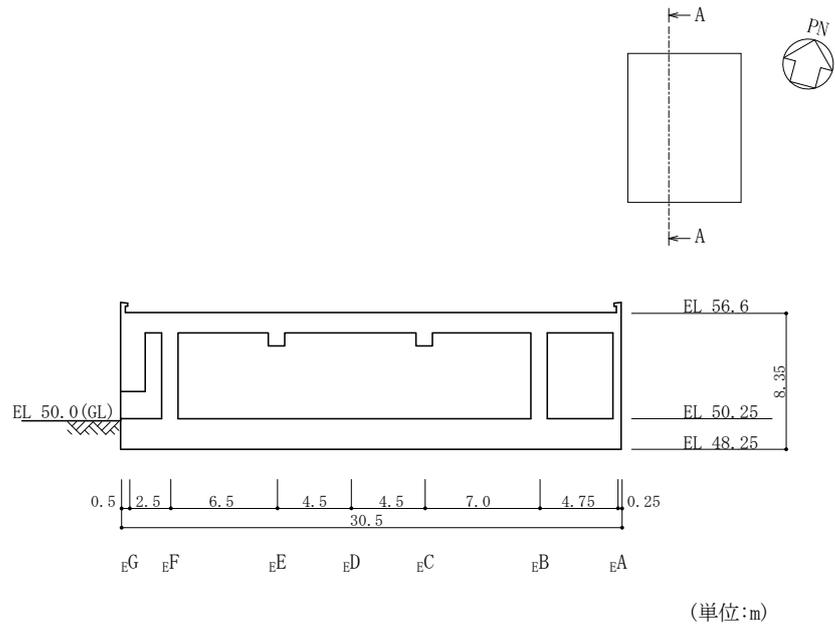


図 2-3(1) 緊急時対策所の概略断面図 (A-A 断面, N S 方向)

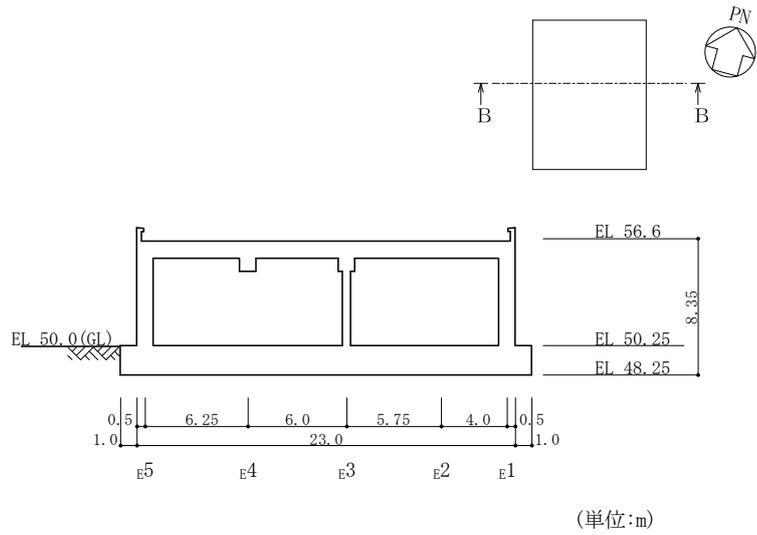


図 2-3(2) 緊急時対策所の概略断面図 (B-B 断面, E W 方向)

2.3 評価方針

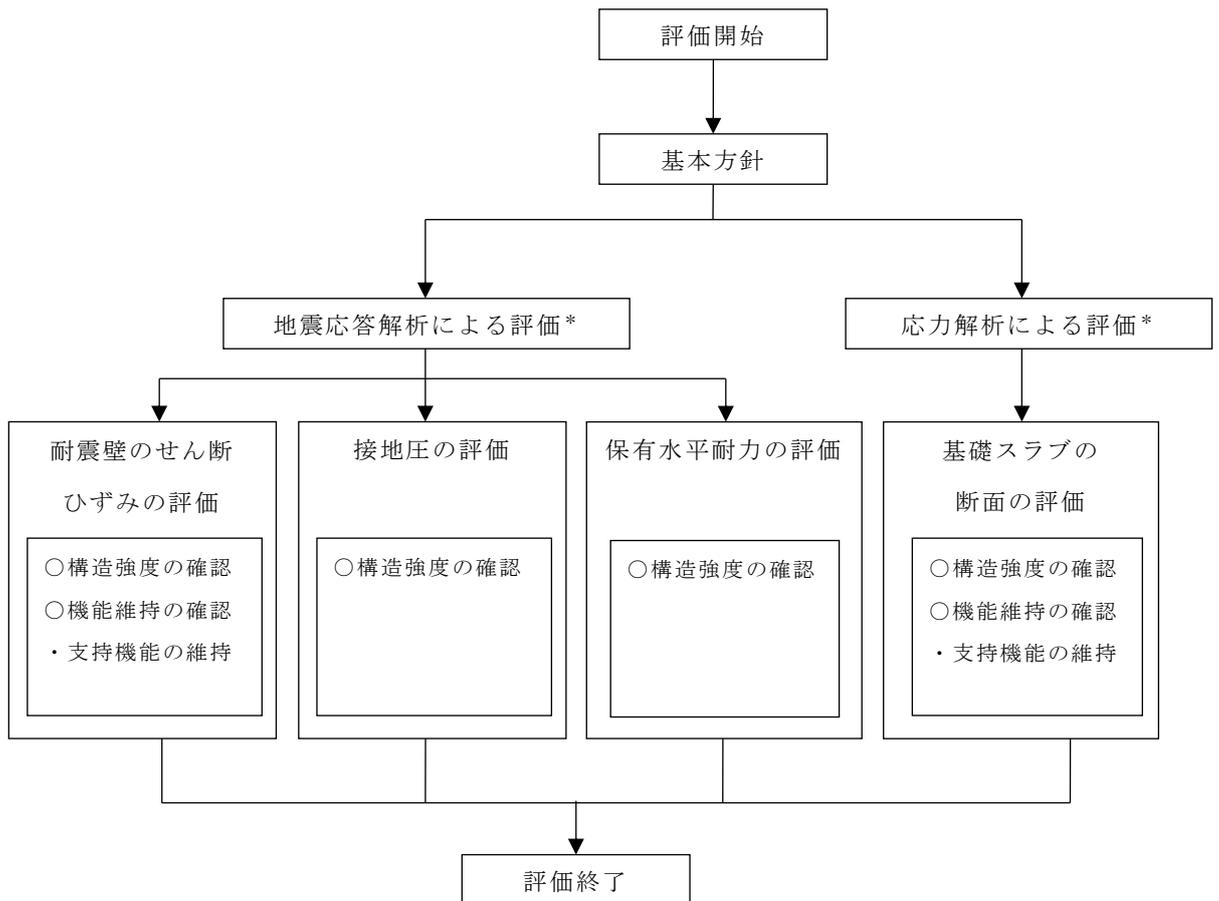
緊急時対策所は、設計基準対象施設においては「Cクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

緊急時対策所の評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。緊急時対策所の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては耐震壁のせん断ひずみ、接地圧及び保有水平耐力の評価を、応力解析による評価においては基礎スラブの断面の評価を行うことで、緊急時対策所の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

図 2-4 に緊急時対策所の評価フローを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

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



注記* : VI-2-2-11 「緊急時対策所の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 緊急時対策所の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)
- ・2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 地震応答解析による評価方法

緊急時対策所の構造強度については、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみ及び最大接地圧が許容限界を超えないこと並びに保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

また、支持機能の維持については、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における緊急時対策所の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度*2 (9.8×10 ³ kN/m ²)
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
支持機能*3	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：支持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。

*3：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

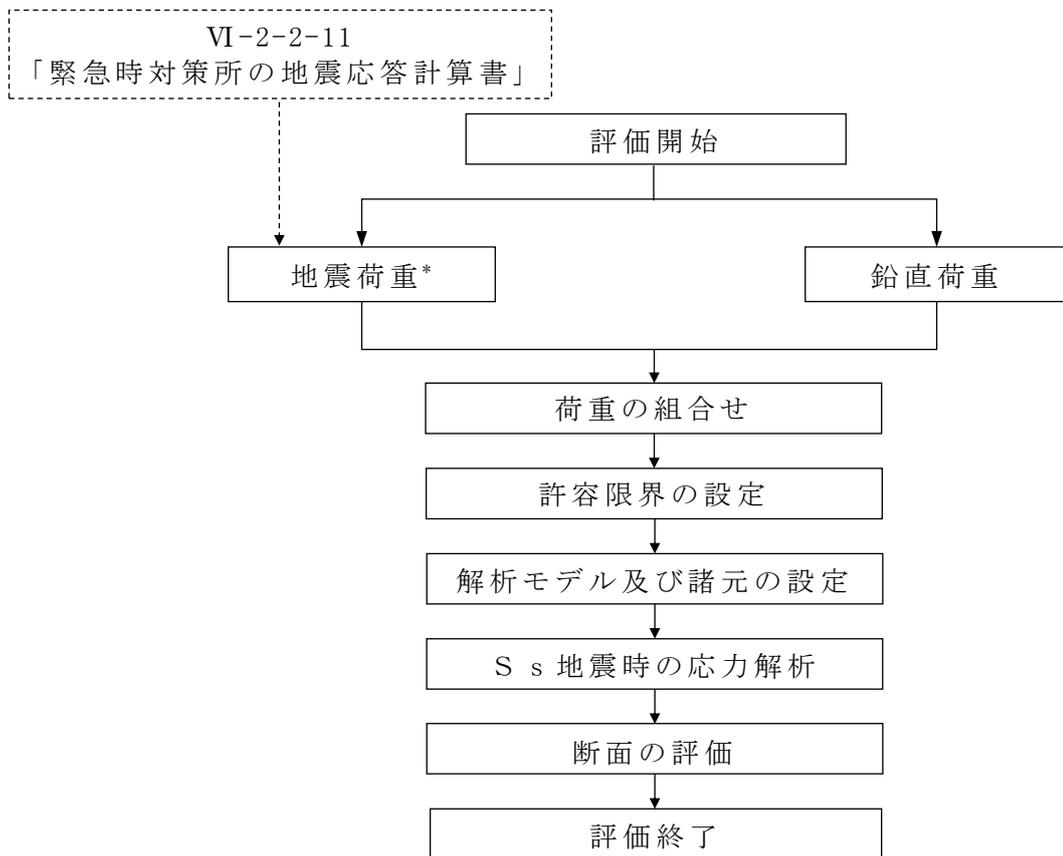
4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

緊急時対策所の応力解析による評価対象部位は、基礎スラブとし、 S_s 地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

S_s 地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析にあたっては、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」より得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

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

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重は，建物自重，機器，配管等の重量を考慮する。

(2) 地震荷重

水平地震力及び鉛直地震力は，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数より設定する。このとき，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数は，VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」に基づき，材料物性の不確かさを考慮して設定する。

地震荷重を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 水平地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
耐震壁 (E_1 通り)	23.1
耐震壁 (E_3 通り E_A-E_B 間)	0.20
耐震壁 (E_3 通り E_D-E_G 間)	6.41
耐震壁 (E_5 通り)	26.0

(b) E W 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
耐震壁 (E_A 通り)	7.71
耐震壁 (E_B 通り)	17.3
耐震壁 (E_D 通り)	6.79
耐震壁 (E_F 通り)	27.5
耐震壁 (E_G 通り E_1-E_3 間)	4.40
耐震壁 (E_G 通り E_3-E_4 間)	0.27

表 4-2 水平地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
耐震壁 (E_1 通り)	16.8
耐震壁 (E_3 通り E_A-E_B 間)	2.10
耐震壁 (E_3 通り E_D-E_G 間)	6.59
耐震壁 (E_5 通り)	19.4

(b) E W 方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
耐震壁 (E_A 通り)	5.95
耐震壁 (E_B 通り)	13.7
耐震壁 (E_D 通り)	6.65
耐震壁 (E_F 通り)	19.7
耐震壁 (E_G 通り E_1-E_3 間)	2.99
耐震壁 (E_G 通り E_3-E_4 間)	0.38

表 4-3 鉛直地震荷重 (軸力係数)

部 位	軸力係数
	S s
上部構造物	0.81
基礎スラブ	0.81

4.2.2 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
S _s 地震時	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価における緊急時対策所の基礎スラブの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表4-5のとおり設定する。

また、表4-6及び表4-7にコンクリート及び鉄筋の許容応力度を示す。

表4-5 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	基礎スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局耐力* ¹
支持機能* ²	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	基礎スラブ	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局耐力* ¹

注記*1：曲げモーメントに対する評価については、「平12建告第2464号」に基づき、鉄筋の基準強度を1.1倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

*2：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-6 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	圧縮	せん断
30.0	20.0	1.18

表 4-7 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD345	345*	345

注記*：材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を 1.1 倍して算定する。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。また、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。

基礎スラブについては、EL 48.25m～EL 50.25mをモデル化する。上部構造については、EL 50.25m～EL 56.6mをモデル化し、剛性を考慮する。基礎スラブの解析モデルを図4-2に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎スラブについてはシェル要素とする。また、基礎スラブより立ち上がっている壁については、EL 50.25m～EL 56.6mをはり要素として剛性を考慮する。解析モデルの節点数は1782、要素数は1891である。

(3) 境界条件

3次元FEMモデルの基礎スラブ底面に、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元FEMモデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

なお、基礎スラブ底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮上りを考慮する。

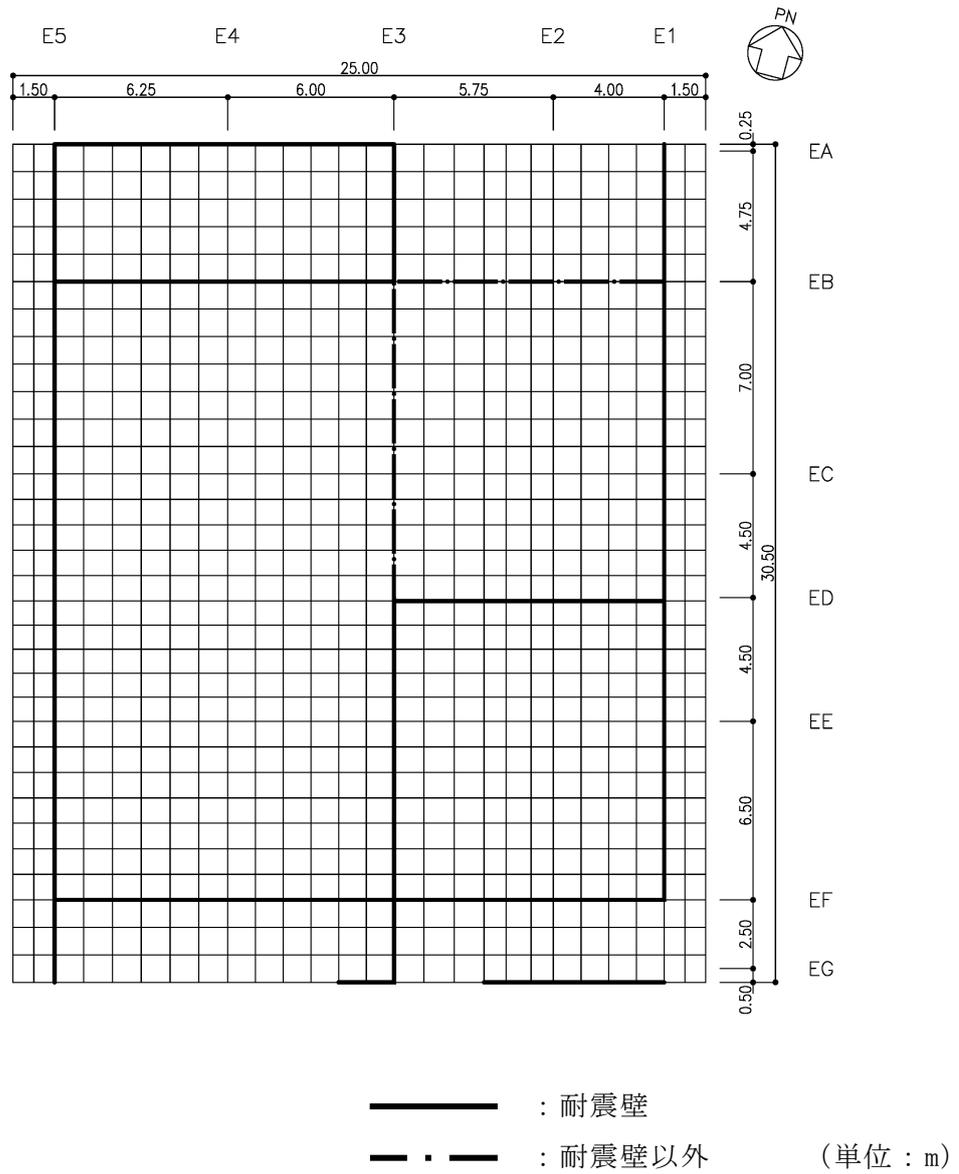


図 4-2 基礎スラブの解析モデル図

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν
30.0	2.44×10^4	0.2

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

緊急時対策所の基礎スラブについて、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S_{SSN}	: S→N方向 S_s 地震荷重
S_{SNS}	: N→S方向 S_s 地震荷重
S_{SEW}	: E→W方向 S_s 地震荷重
S_{SWE}	: W→E方向 S_s 地震荷重
S_{SUD}	: 鉛直方向（下向き） S_s 地震荷重
S_{SDU}	: 鉛直方向（上向き） S_s 地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-9 に示す。

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

表 4-9 荷重の組合せケース

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

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

基礎スラブに上部構造物から作用する水平地震力については、上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントを基礎スラブの当該位置の節点に離散化して節点荷重として入力する。

基礎スラブに上部構造物から作用する鉛直地震力については、上部構造物からの軸力とし、鉛直力に置換し、モデル上の各節点における支配面積に応じた節点荷重として入力する。

基礎スラブ内に作用する荷重については、地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差をFEMモデルの各要素の大きさに応じて分配し、節点荷重として入力する。

b. 地震荷重以外の荷重

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

4.5.2 断面の評価方法

(1) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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

軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。また、引張軸応力度が 2N/mm^2 を超える場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-6 に示す値 (N/mm^2)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-7 に示す値 (N/mm^2)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm^2)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、S s 地震時の最大応答せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.10×10^{-3} (EW方向, S s -D, ケース 4, 要素番号 1) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。耐震壁の最大応答せん断ひずみを表 5-1 に示す。各表において, 最大応答せん断ひずみをせん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 5-1 に示す。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ (NS方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
56.6~50.25	1	0.08	2.0

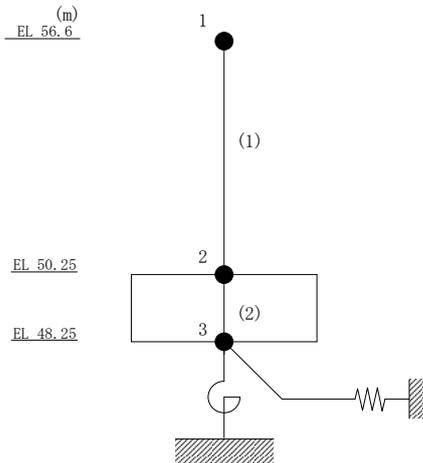
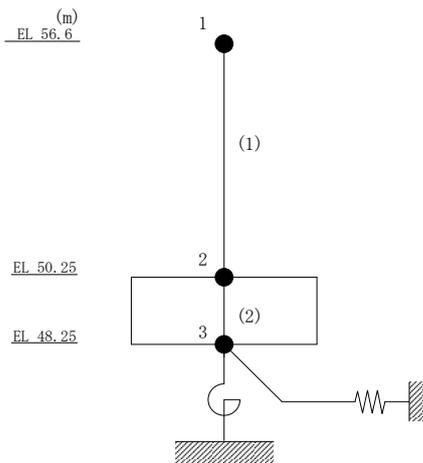
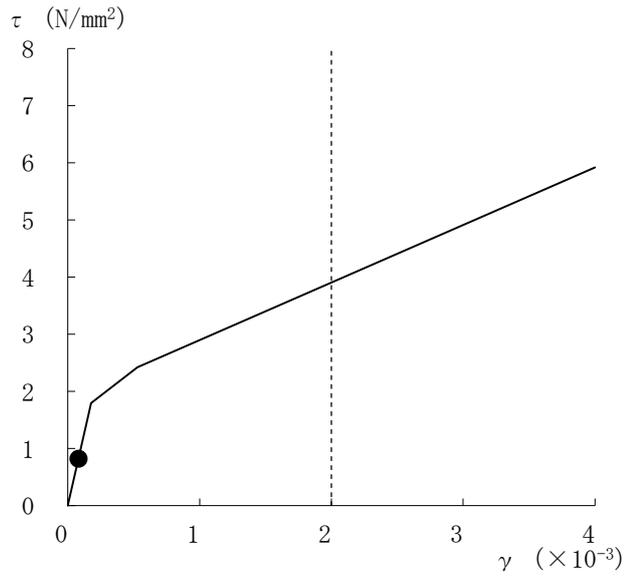


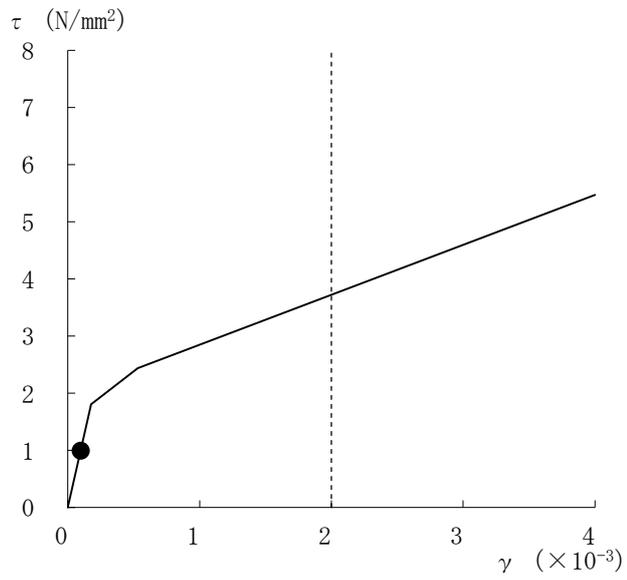
表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ (EW方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
56.6~50.25	1	0.10	2.0





(a) NS方向 (S s -D, ケース 4, 要素番号 1)



(b) EW方向 (S s -D, ケース 4, 要素番号 1)

図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ

5.2 接地圧の評価結果

S s 地震時の最大接地圧が、地盤の許容限界を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した地震時の最大接地圧が $0.512 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ (S s - D, EW方向, ケース 4) であることから、岩盤の極限支持力度 ($9.8 \times 10^3 \text{kN/m}^2$) を超えないことを確認した。

S s 地震時の最大接地圧を表 5-2 に示す。

表 5-2 S s 地震時の最大接地圧

検討ケース	NS方向	EW方向
	S s - D, ケース 4	S s - D, ケース 4
鉛直力 N ($\times 10^4 \text{kN}$)	7.06	7.06
転倒モーメント M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	0.626	0.632
最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	0.321	0.512

5.3 保有水平耐力の評価結果

保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。なお、保有水平耐力 Q_u は、VI-2-2-11「緊急時対策所の地震応答計算書」に示すせん断力のスケルトン曲線の τ_3 に基づき算定する。

必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果を表5-3に示す。保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認した。

なお、必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比は最小で15.51である。

表5-3 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果

(a) NS方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
56.6~50.25	15.97	400.01	25.04

(b) EW方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
56.6~50.25	20.76	322.09	15.51

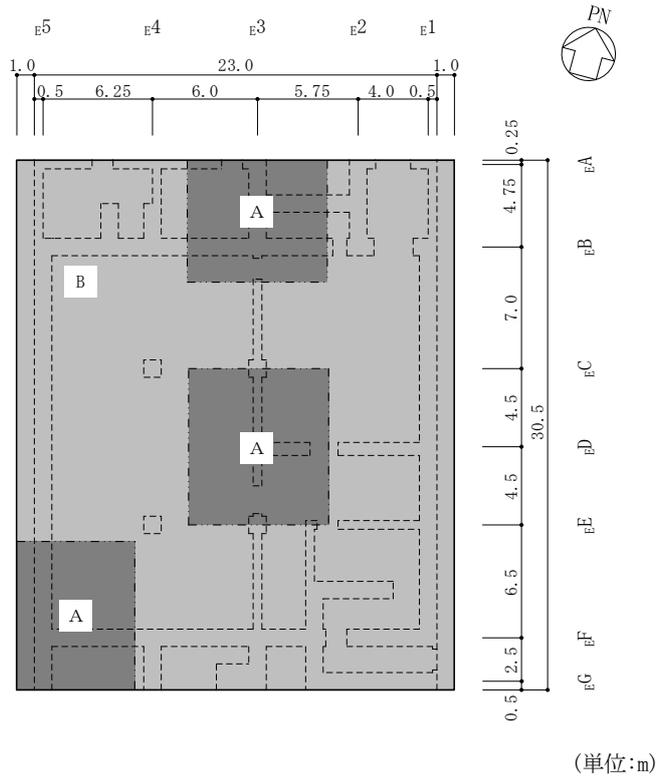
6. 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図6-1に、配筋一覧を表6-1に示す。

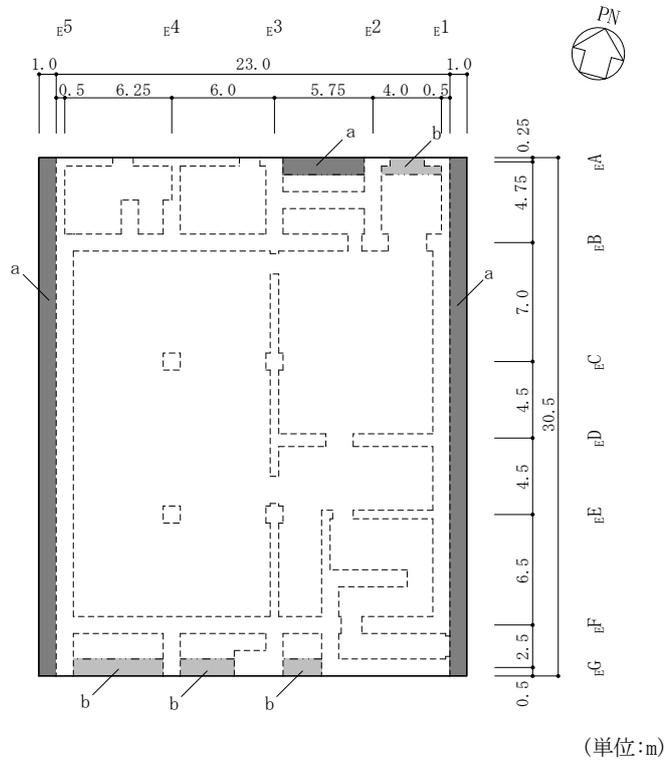
断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントに対する評価については、設計鉄筋比に対する軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比の割合が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、短期許容せん断力に対する面外せん断力の割合が最大となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図6-2に、評価結果を表6-2に示す。

S_s地震時において、軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

図 6-1 配筋領域図

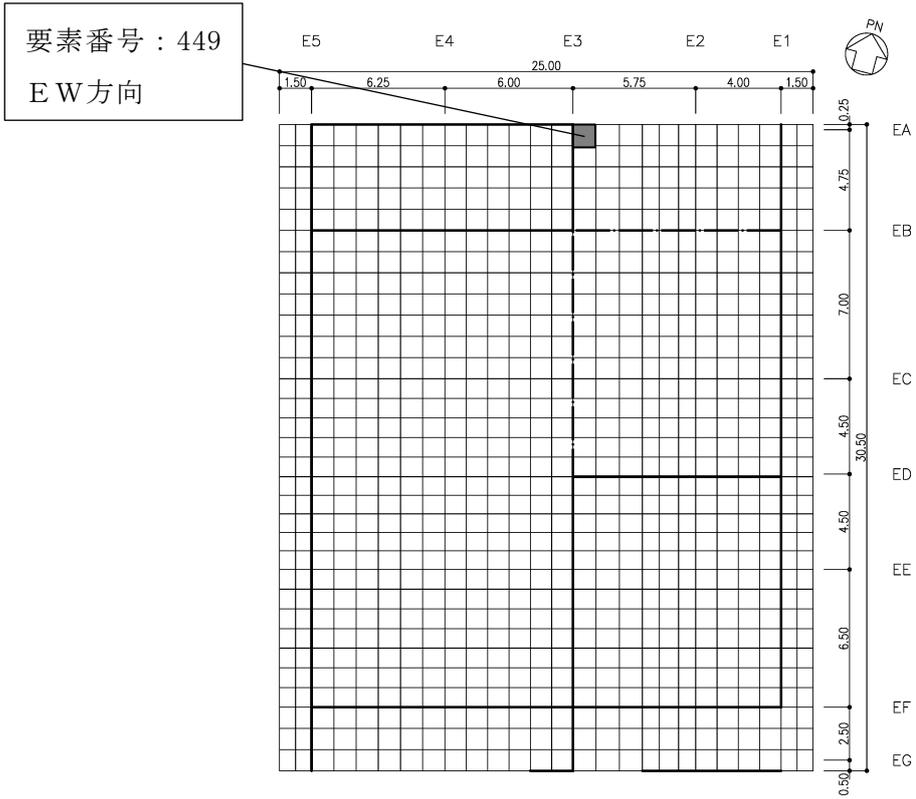
表 6-1 配筋一覧

(a) 主筋

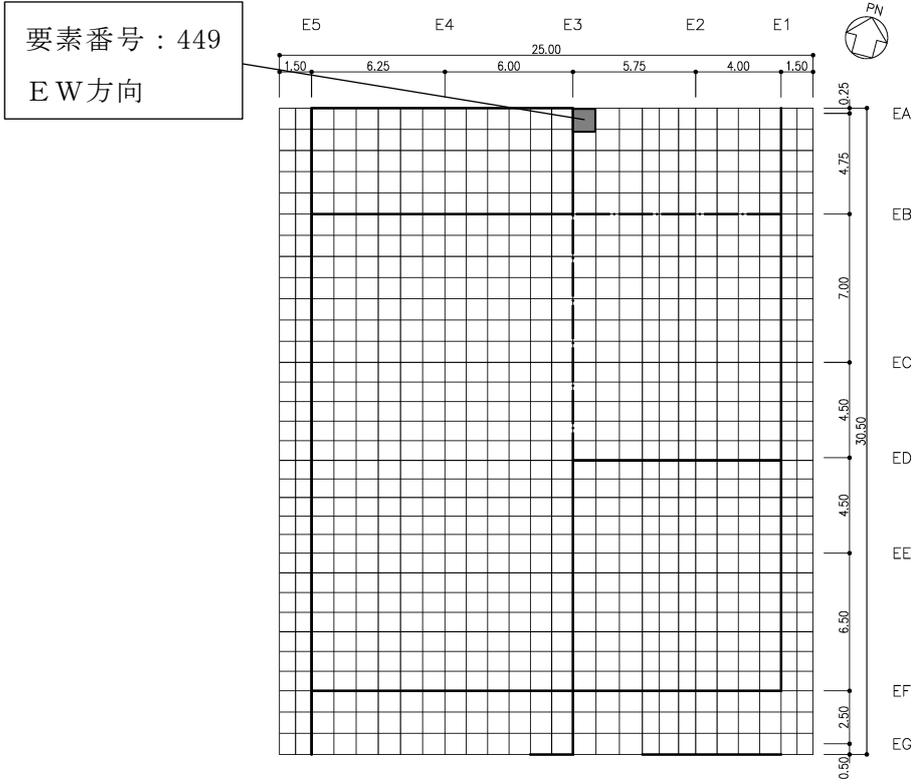
領域	方向	上ば筋	下ば筋
A	N S	2-D38@200	2-D38@200
	E W	2-D38@200	2-D38@200
B	N S	D38@200 + D38@400	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400	D38@200 + D38@400

(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D29@400 × 200
b	D29@400 × 400



(a) 軸力+曲げモーメント



(b) 面外せん断力

図 6-2 選定した要素の位置

表 6-2 評価結果

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	必要鉄筋比 (%)	E W	449	8	0.408	0.570
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$)	E W	449	8	3.56	4.95

VI-2-2-17 ガスタービン発電機建物の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 地震応答解析による評価方法	10
4. 応力解析による評価方法	12
4.1 評価対象部位及び評価方針	12
4.2 荷重及び荷重の組合せ	13
4.2.1 荷重	13
4.2.2 荷重の組合せ	16
4.3 許容限界	17
4.4 解析モデル及び諸元	19
4.4.1 モデル化の基本方針	19
4.4.2 解析諸元	20
4.5 評価方法	21
4.5.1 応力解析方法	21
4.5.2 断面の評価方法	24
5. 地震応答解析による評価結果	25
5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果	25
5.2 接地圧の評価結果	28
5.3 保有水平耐力の評価結果	29
6. 応力解析による評価結果	30

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、ガスタービン発電機建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、その評価は、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

ガスタービン発電機建物は、重大事故等対処施設において「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の間接支持構造物」に分類される。

以下、「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の間接支持構造物」としての分類に応じた耐震評価を示す。

なお、ガスタービン発電機建物に内包するガスタービン駆動補機に関して、仮想的に回転体の損壊を想定しても、ケーシング板厚はタービンミサイルの防護上必要な板厚を上回ることから、損壊した回転体がケーシングを貫通することなくケーシング内部に留まるため、タービンミサイルは発生しない設計としている。仮想的損壊時のミサイル評価結果は、VI-1-1-10「発電用原子炉施設の蒸気タービン、ポンプ等の損壊に伴う飛散物による損傷防護に関する説明書」にて実施する。

2. 基本方針

2.1 位置

ガスタービン発電機建物の設置位置を図 2-1 に示す。

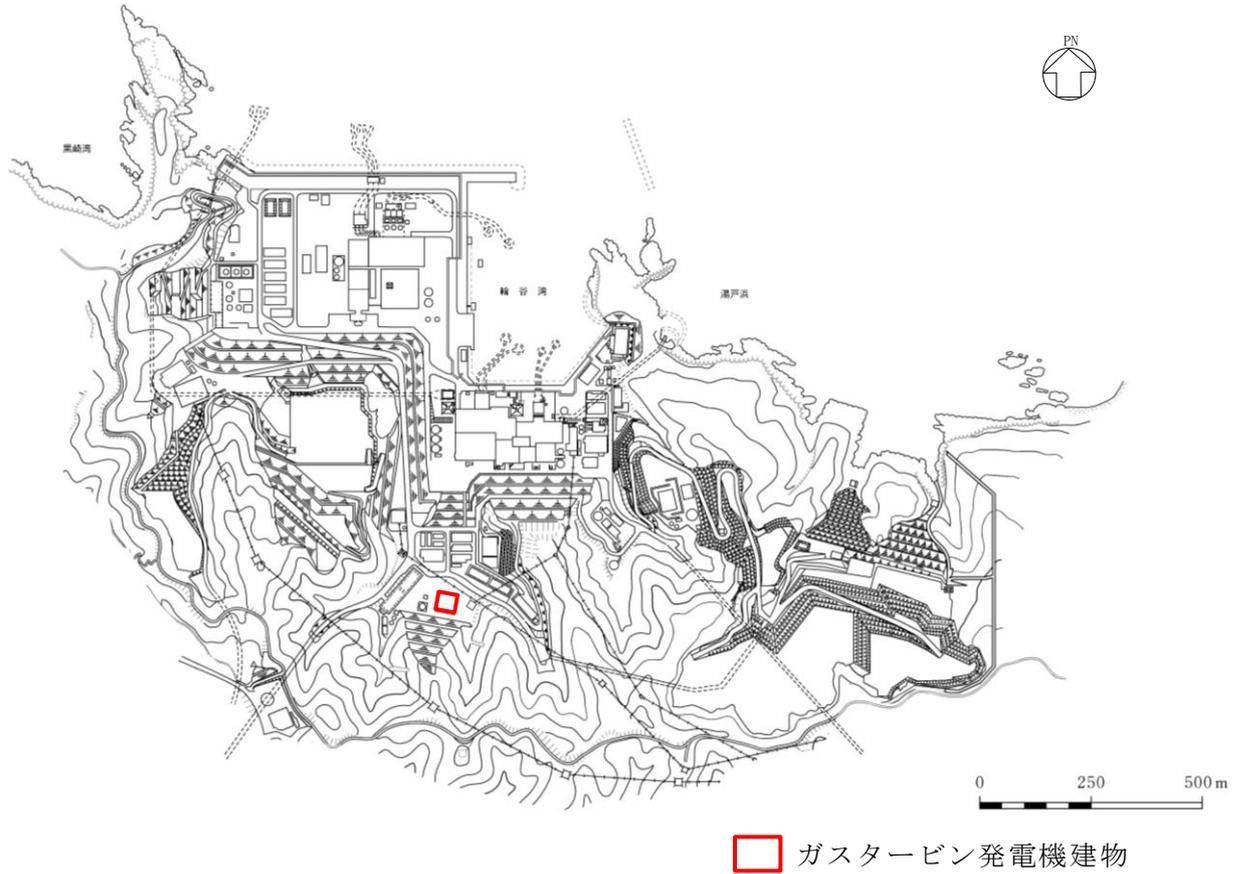


図 2-1 ガスタービン発電機建物の設置位置

2.2 構造概要

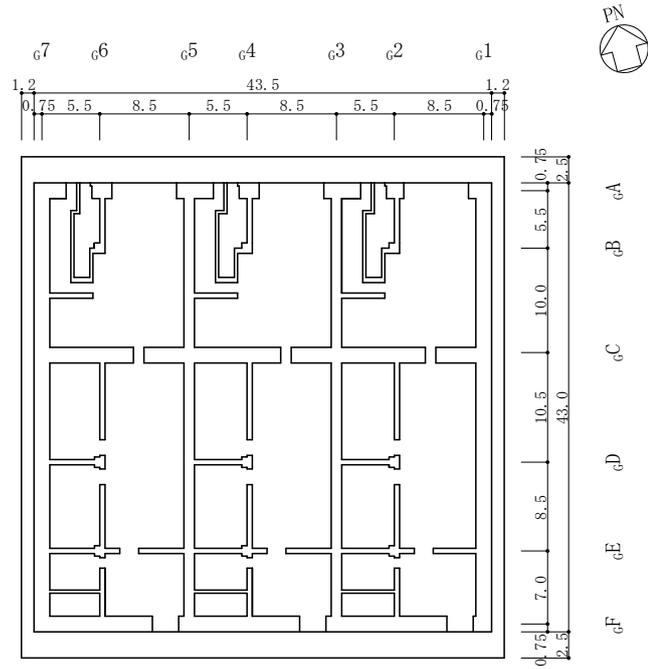
ガスタービン発電機建物は、地上2階建の鉄骨鉄筋コンクリート造（一部鉄骨造）の建物である。

ガスタービン発電機建物の平面寸法は、43.0m*（NS）×43.5m*（EW）である。基礎スラブ底面からの高さは17.5mである。

ガスタービン発電機建物の基礎は厚さ3.5mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。建物に加わる地震時の水平力はすべて耐震壁に負担させている。

ガスタービン発電機建物の概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

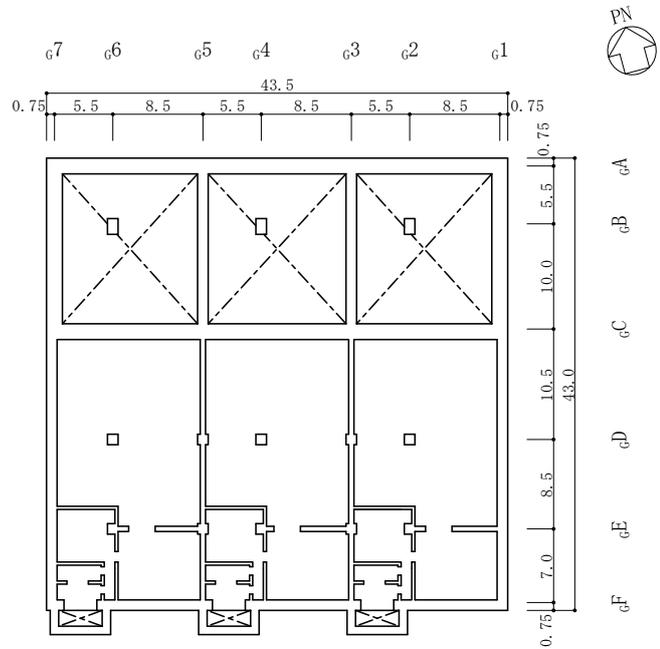
注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。



(単位:m)

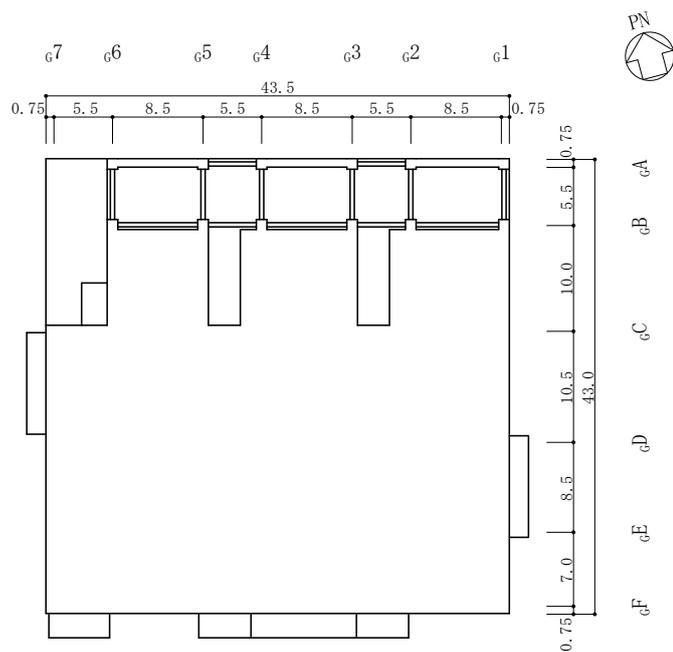
図 2-2(1) ガスタービン発電機建物の概略平面図 (EL 47.5m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。



(単位:m)

図 2-2(2) ガスタービン発電機建物の概略平面図 (EL 54.5m)



(単位:m)

図 2-2(3) ガスタービン発電機建物の概略平面図 (EL 61.5m)

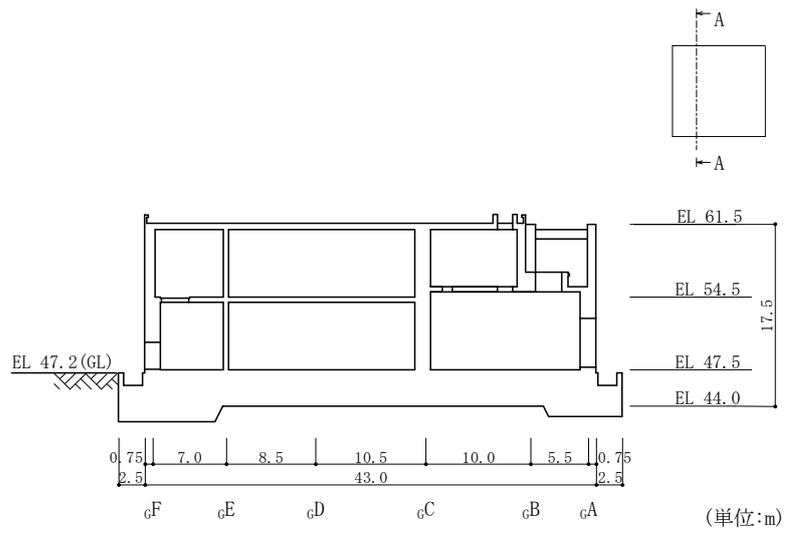


図 2-3(1) ガスタービン発電機建物の概略断面図 (A-A 断面, N S 方向)

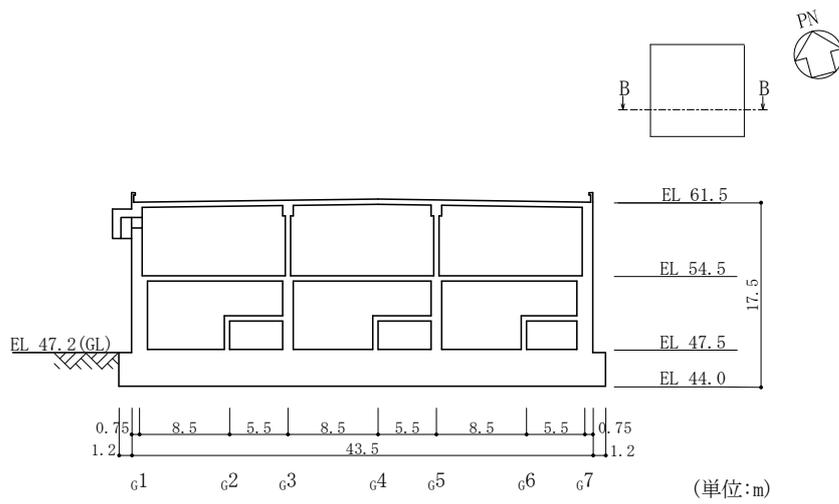


図 2-3(2) ガスタービン発電機建物の概略断面図 (B-B 断面, E W 方向)

2.3 評価方針

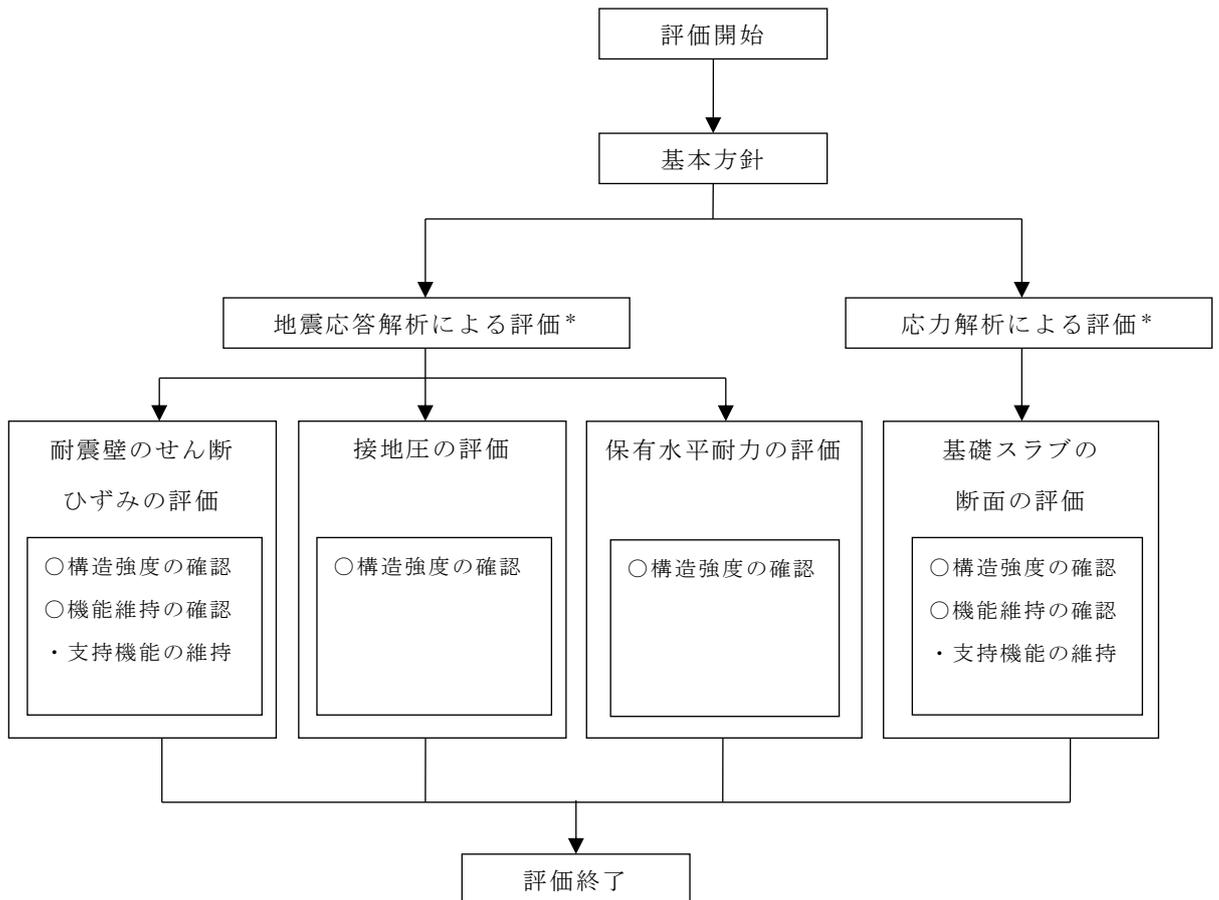
ガスタービン発電機建物は、重大事故等対処施設において「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

ガスタービン発電機建物の評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。ガスタービン発電機建物の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては耐震壁のせん断ひずみ、接地圧及び保有水平耐力の評価を、応力解析による評価においては基礎スラブの断面の評価を行うことで、ガスタービン発電機建物の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

図 2-4 にガスタービン発電機建物の評価フローを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

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



注記* : VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 ガスタービン発電機建物の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)
- ・2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)

3. 地震応答解析による評価方法

ガスタービン発電機建物の構造強度については、VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみ及び最大接地圧が許容限界を超えないこと並びに保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認する。

また、支持機能の維持については、VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価におけるガスタービン発電機建物の許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 3-1 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
			基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* ² (3.9×10 ³ kN/m ²)
		保有水平耐力	構造物全体	保有水平耐力が必要保有水平耐力に対して妥当な安全余裕を有することを確認	必要保有水平耐力
支持機能* ³	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁* ¹	最大応答せん断ひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³

注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：支持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。

*3：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

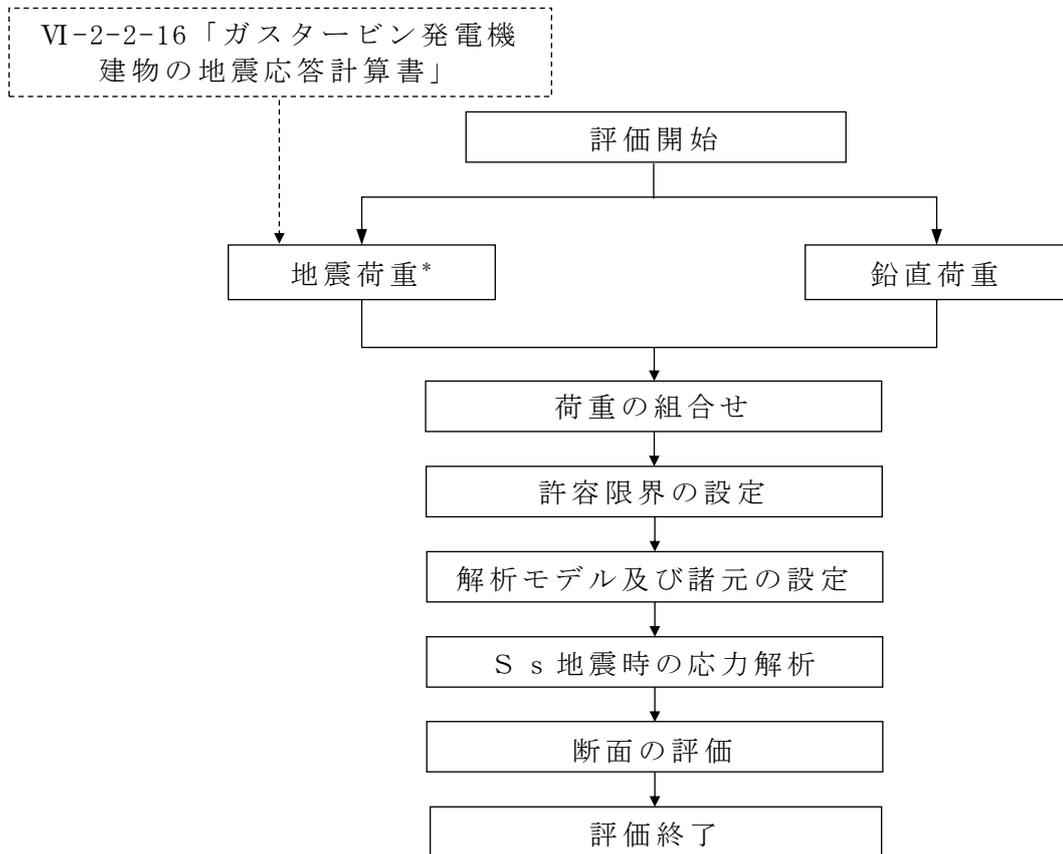
4. 応力解析による評価方法

4.1 評価対象部位及び評価方針

ガスタービン発電機建物の応力解析による評価対象部位は、基礎スラブとし、 S_s 地震時に対して以下の方針に基づき評価を行う。

S_s 地震時に対する評価は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析によることとし、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力が「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析にあたっては、VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」より得られた結果を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

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

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重は，建物自重，機器，配管等の重量を考慮する。

(2) 地震荷重

水平地震力及び鉛直地震力は，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数より設定する。このとき，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数は，VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」に基づき，材料物性の不確かさを考慮して設定する。

地震荷重を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 水平地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
耐震壁 (G1 通り)	76.9
耐震壁 (G3 通り)	51.3
耐震壁 (G5 通り)	50.8
耐震壁 (G7 通り)	76.2

(b) E W 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
耐震壁 (GA 通り)	48.1
耐震壁 (GC 通り)	102
耐震壁 (GE 通り)	20.1
耐震壁 (GF 通り)	92.4

表 4-2 水平地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
耐震壁 (g1 通り)	73.5
耐震壁 (g3 通り)	71.1
耐震壁 (g5 通り)	76.1
耐震壁 (g7 通り)	79.3

(b) E W 方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s
耐震壁 (gA 通り)	65.9
耐震壁 (gC 通り)	139
耐震壁 (gE 通り)	31.6
耐震壁 (gF 通り)	92.6

表 4-3 鉛直地震荷重 (軸力係数)

部 位	軸力係数
	S s
上部構造物	0.72
基礎スラブ	0.58

4.2.2 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
S _s 地震時	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

4.3 許容限界

応力解析による評価におけるガスタービン発電機建物の基礎スラブの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表4-5のとおり設定する。

また、表4-6及び表4-7にコンクリート及び鉄筋の許容応力度を示す。

表4-5 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	基礎スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局耐力* ¹
支持機能* ²	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	基礎スラブ	部材に生じる応力が支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく終局耐力* ¹

注記*1：曲げモーメントに対する評価については、「平12建告第2464号」に基づき、鉄筋の基準強度を1.1倍とする。せん断力に対する評価については、短期許容応力度を適用する。

*2：「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-6 コンクリートの短期許容応力度

(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	圧縮	せん断
30.0	20.0	1.18

表 4-7 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD345	345*	345

注記*：材料強度は許容応力度（引張及び圧縮）を 1.1 倍して算定する。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析とする。解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を用いる。また、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。

基礎スラブについては、EL 44.0m～EL 47.5mをモデル化する。上部構造については、EL 47.5m～EL 61.5mをモデル化し、剛性を考慮する。基礎スラブの解析モデルを図4-2に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎スラブについてはシェル要素とする。また、基礎スラブより立ち上がっている壁については、EL 47.5m～EL 61.5mをはり要素として剛性を考慮する。解析モデルの節点数は1248、要素数は1349である。

(3) 境界条件

3次元FEMモデルの基礎スラブ底面に、VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元FEMモデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

なお、基礎スラブ底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮上りを考慮する。

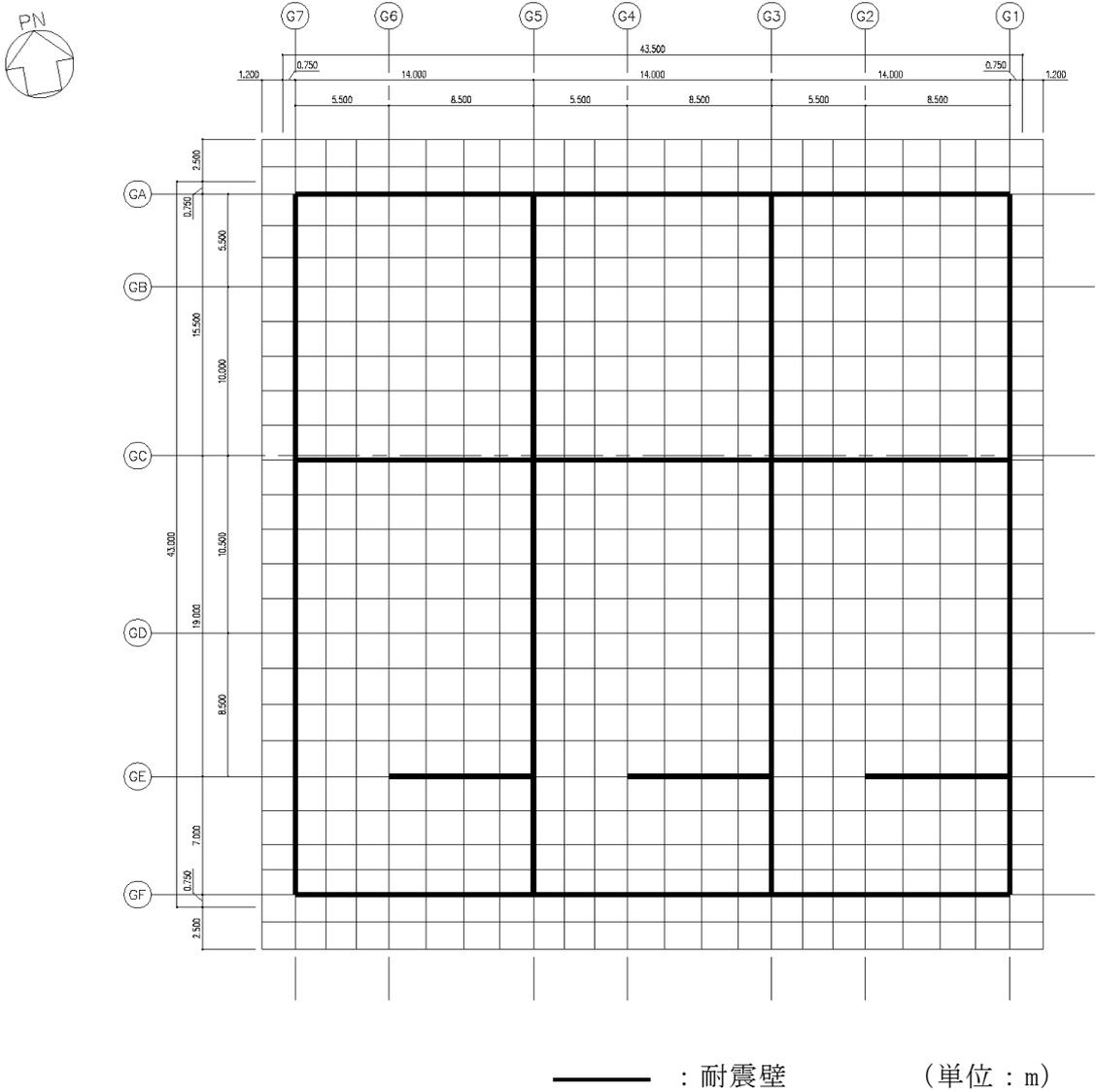


図 4-2 基礎スラブの解析モデル図

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-8 に示す。

表 4-8 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
30.0	2.44×10^4	0.2

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

ガスタービン発電機建物の基礎スラブについて、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S_{SSN}	: S→N方向 S_s 地震荷重
S_{SNS}	: N→S方向 S_s 地震荷重
S_{SEW}	: E→W方向 S_s 地震荷重
S_{SWE}	: W→E方向 S_s 地震荷重
S_{SUD}	: 鉛直方向（下向き） S_s 地震荷重
S_{SDU}	: 鉛直方向（上向き） S_s 地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-9 に示す。

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

表 4-9 荷重の組合せケース

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

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

基礎スラブに上部構造物から作用する水平地震力については、上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントを基礎スラブの当該位置の節点に離散化して節点荷重として入力する。

基礎スラブに上部構造物から作用する鉛直地震力については、上部構造物からの軸力とし、鉛直力に置換し、モデル上の各節点における支配面積に応じた節点荷重として入力する。

基礎スラブ内に作用する荷重については、地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差をFEMモデルの各要素の大きさに応じて分配し、節点荷重として入力する。

b. 地震荷重以外の荷重

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

4.5.2 断面の評価方法

(1) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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

軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

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

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。また、引張軸応力度が 2N/mm^2 を超える場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-6 に示す値 (N/mm^2)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-7 に示す値 (N/mm^2)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm^2)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、S s 地震時の各層の最大応答せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.15×10^{-3} (EW方向, S s-D, ケース 4, 要素番号 2) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 に示す。各表において, 各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について, せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 5-1 に示す。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (NS 方向)

EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
61.5~54.5	1	0.14	2.0
54.5~47.5	2	0.11	2.0

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

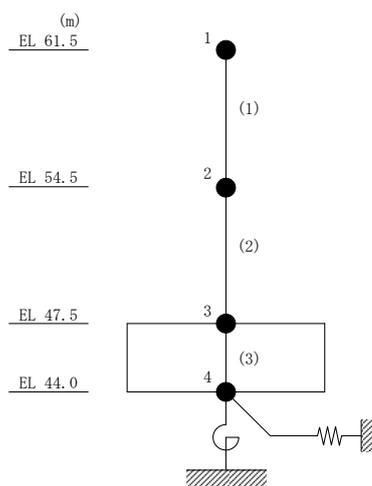
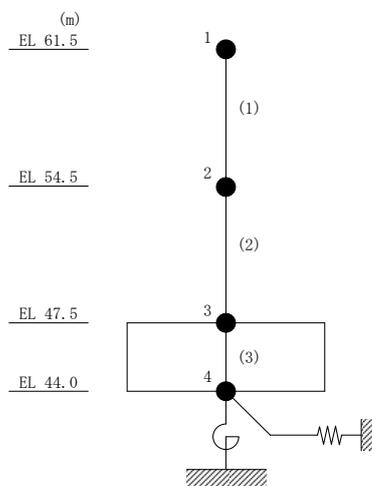
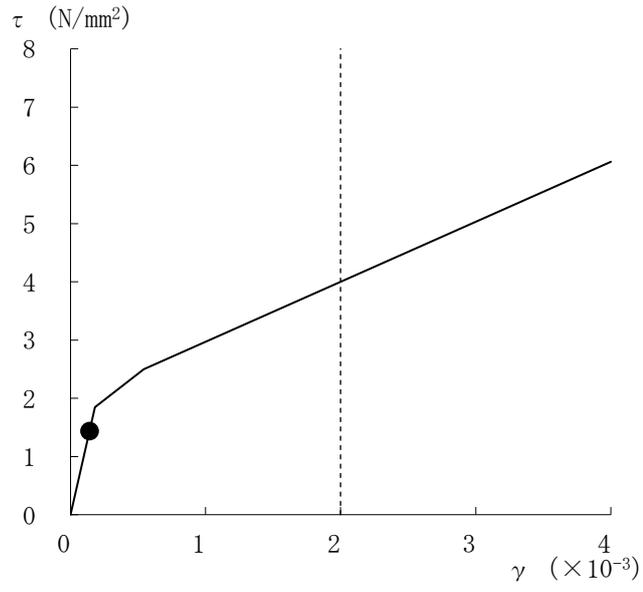


表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (EW 方向)

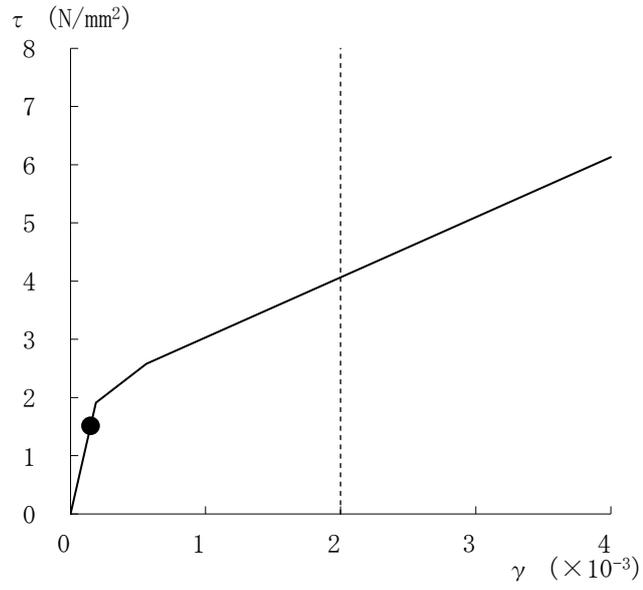
EL (m)	要素 番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
61.5~54.5	1	0.13	2.0
54.5~47.5	2	0.15	2.0

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。





(a) NS方向 (S s -D, ケース 4, 要素番号 1)



(b) EW方向 (S s -D, ケース 4, 要素番号 2)

図 5-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ

5.2 接地圧の評価結果

S s 地震時の最大接地圧が、地盤の許容限界を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した地震時の最大接地圧が $0.491 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ (S s - D, E W 方向, ケース 4) であることから、岩盤の極限支持力度 ($3.9 \times 10^3 \text{kN/m}^2$) を超えないことを確認した。

S s 地震時の最大接地圧を表 5-2 に示す。

表 5-2 S s 地震時の最大接地圧

検討ケース	NS 方向	EW 方向
	S s - D, ケース 4	S s - D, ケース 4
鉛直力 N ($\times 10^4 \text{kN}$)	25.3	25.3
転倒モーメント M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	4.39	4.34
最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	0.483	0.491

5.3 保有水平耐力の評価結果

各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認する。なお、各層の保有水平耐力 Q_u は、VI-2-2-16「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」に示すせん断力のスケルトン曲線の τ_3 に基づき算定する。

必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果を表5-3に示す。各層において、保有水平耐力 Q_u が必要保有水平耐力 Q_{un} に対して妥当な安全余裕を有していることを確認した。

なお、必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比は最小で12.00である。

表5-3 必要保有水平耐力 Q_{un} と保有水平耐力 Q_u の比較結果

(a) NS方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
61.5~54.5	37.26	521.57	13.99
54.5~47.5	70.20	1323.01	18.84

(b) EW方向

EL (m)	必要保有水平耐力 Q_{un} ($\times 10^3$ kN)	保有水平耐力 Q_u ($\times 10^3$ kN)	Q_u/Q_{un}
61.5~54.5	35.30	596.37	16.89
54.5~47.5	84.24	1011.42	12.00

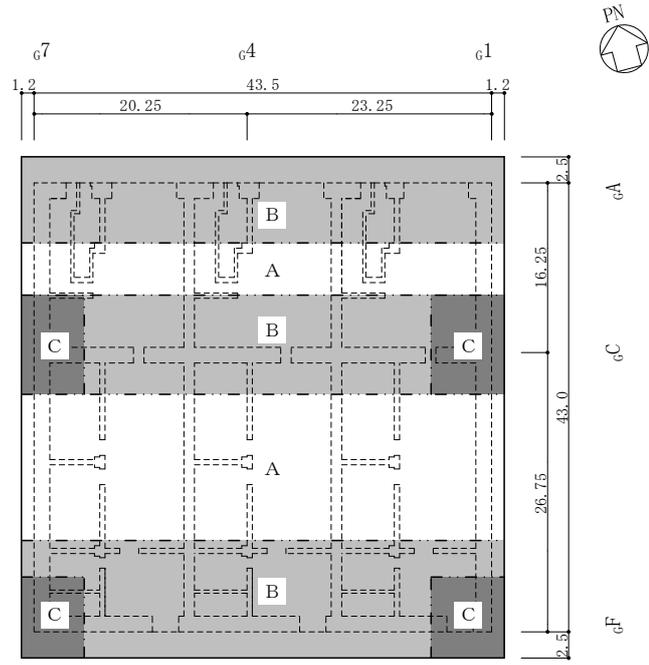
6. 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図6-1に、配筋一覧を表6-1に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントに対する評価については、設計鉄筋比に対する軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比の割合が最大となる要素を選定し、面外せん断力に対する評価については、短期許容せん断力に対する面外せん断力の割合が最大となる要素をそれぞれ選定する。

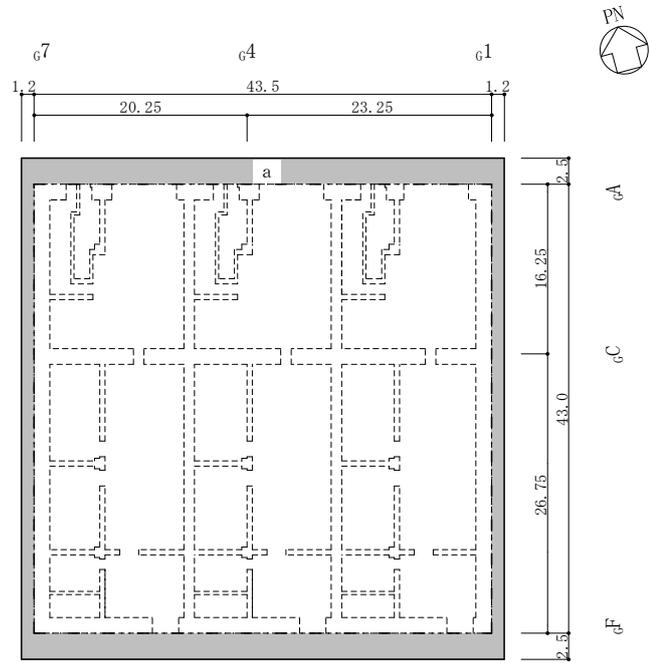
選定した要素の位置を図6-2に、評価結果を表6-2に示す。

S_s地震時において、軸力及び曲げモーメントによる必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。また、面外せん断力が短期許容せん断力を超えないことを確認した。



(単位:m)

(a) 主筋



(単位:m)

(b) せん断補強筋

図 6-1 配筋領域図

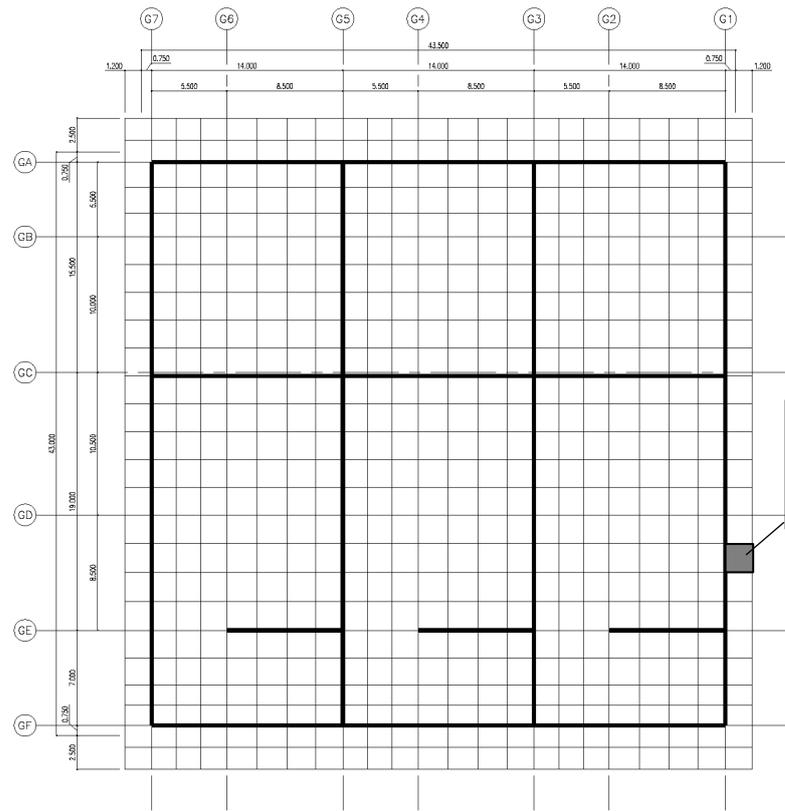
表 6-1 配筋一覧

(a) 主筋

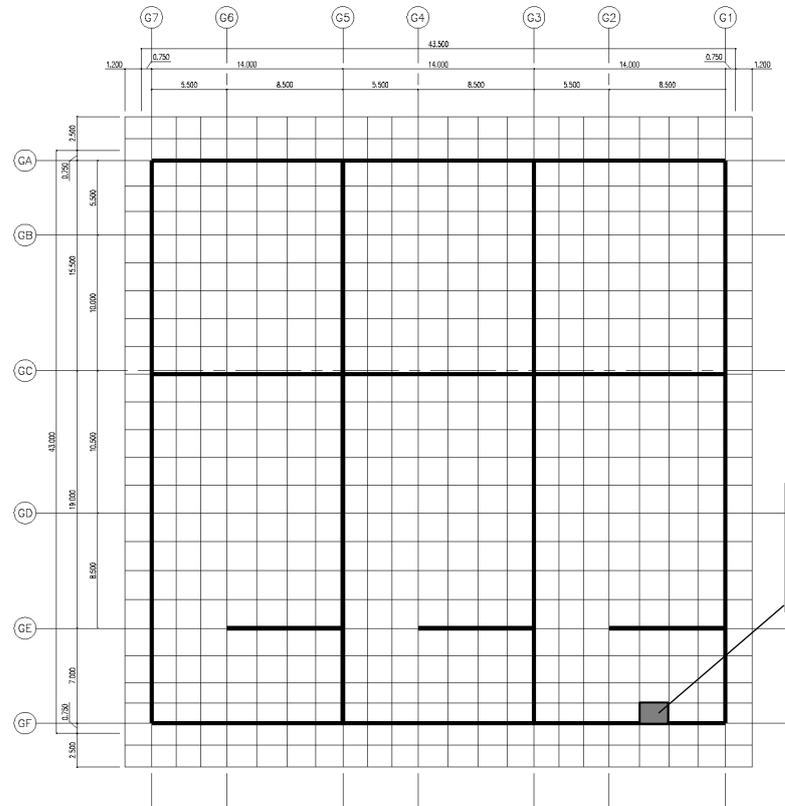
領域	方向	上ば筋	下ば筋
A	N S	2-D38@200	2-D38@200
	E W	2-D38@200	2-D38@200
B	N S	2-D38@200	3-D38@200
	E W	2-D38@200	2-D38@200
C	N S	2-D38@200	3-D38@200
	E W	2-D38@200	3-D38@200

(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D29@600×400



(a) 軸力+曲げモーメント



(b) 面外せん断力

図 6-2 選定した要素の位置

表 6-2 評価結果

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	必要鉄筋比 (%)	N S	228	5	0.072	0.356
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3$ kN/m)	N S	319	6	1.29	5.57

VI-2-2-22 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽
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	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	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
3.5 解析モデル及び諸元	54
3.5.1 解析モデル	54
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	57
3.5.3 地盤の物性値	57
3.5.4 地下水位	58
4. 解析結果	59
4.1 A－A断面の解析結果	59
4.2 B－B断面の解析結果	144

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B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の位置図を図2-1に示す。

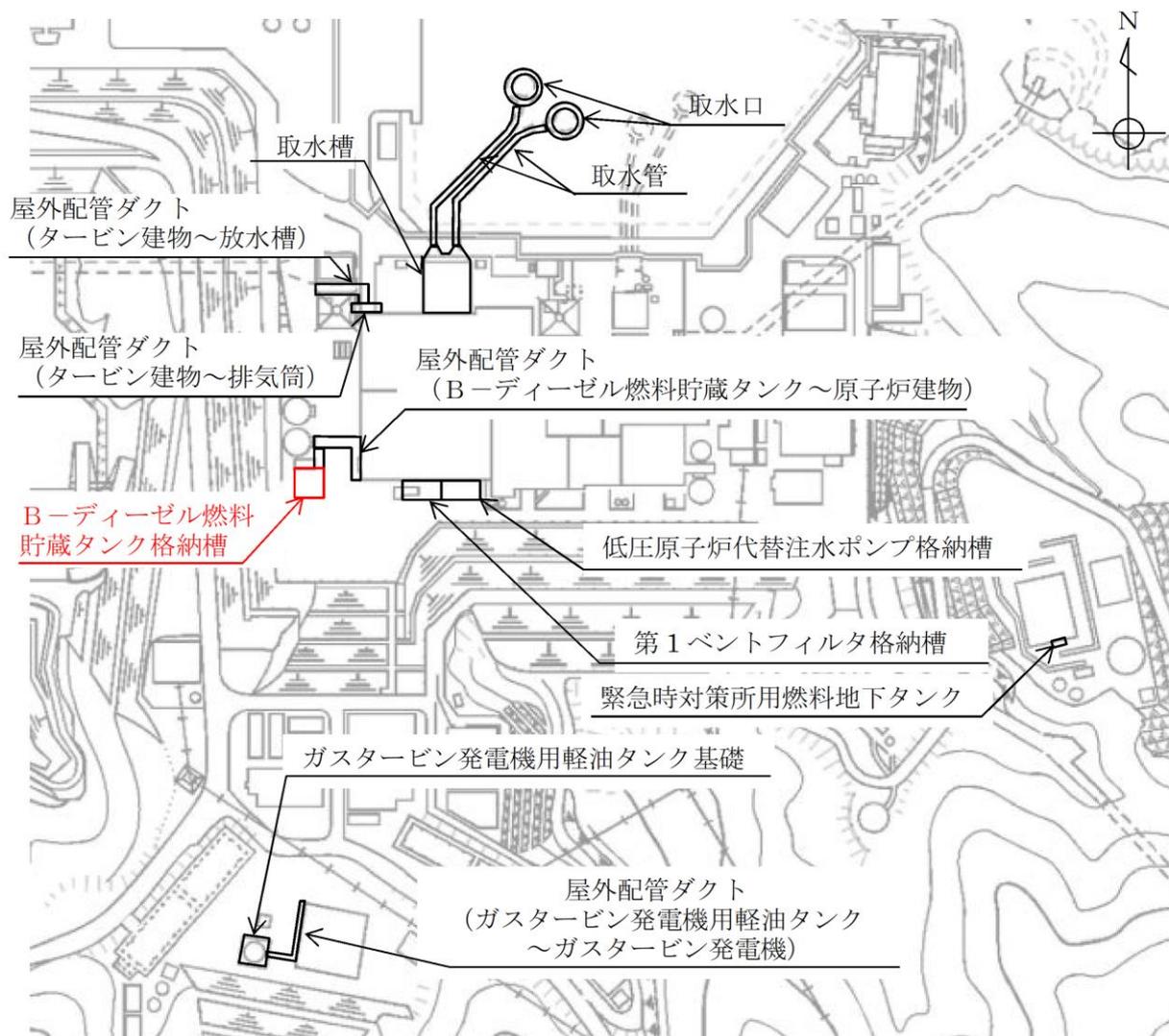


図2-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 位置図

2.2 構造概要

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の平面図を図 2-2 に、断面図を図 2-3 及び図 2-4 に示す。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、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等を間接支持する幅 19.22m (EW 方向) × 約 22.9m (NS 方向)、高さ約 10.55m の鉄筋コンクリート造の地中及び半地下構造物であり、直接十分な支持性能を有する C_M級岩盤に支持される。



図 2-2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 平面図

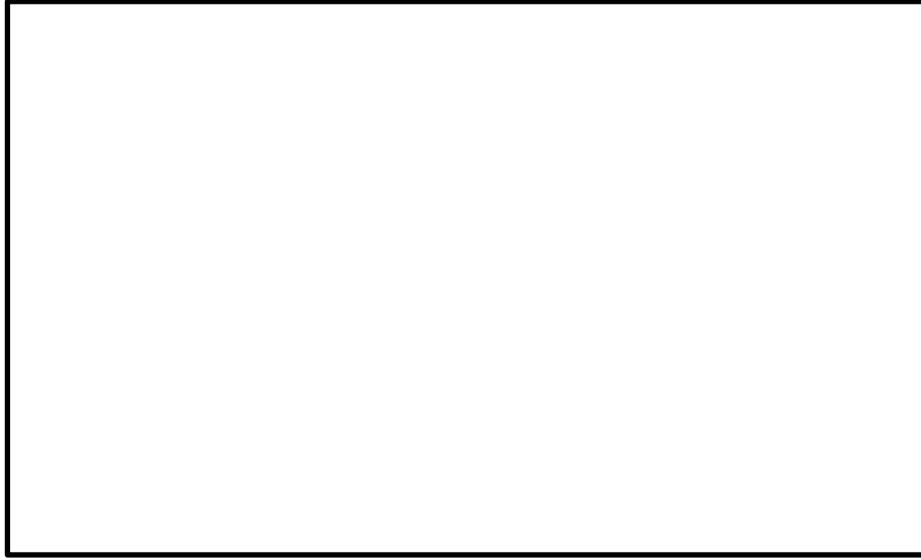


図 2-3 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (A-A 断面)

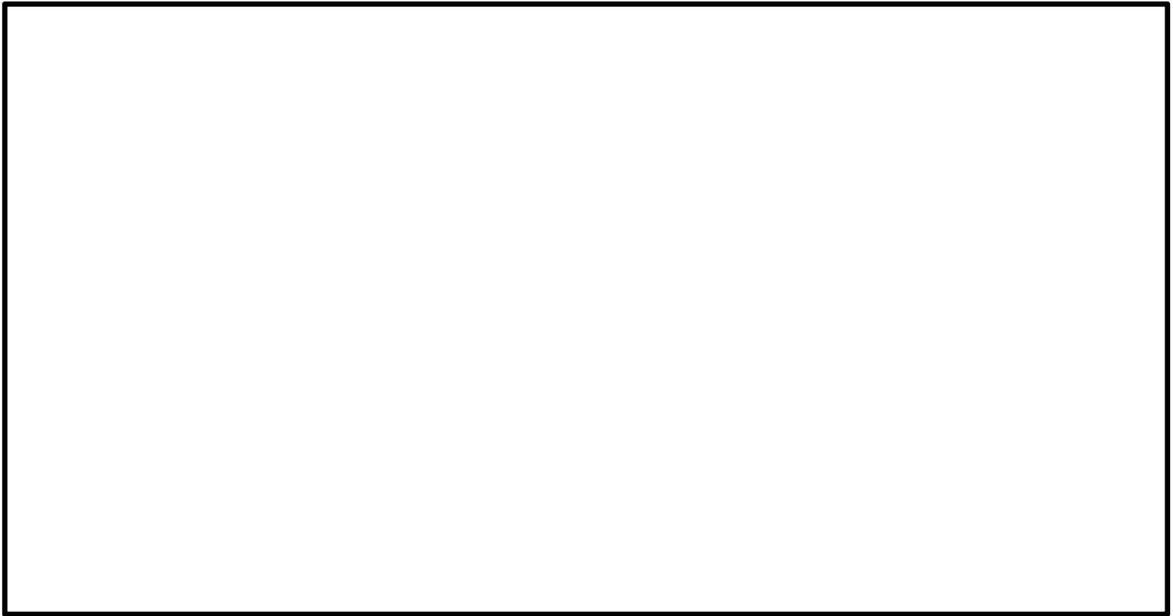


図 2-4 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 断面図 (B-B 断面)

2.3 解析方針

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、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 及び弾性設計用地震動 S_d に対して地震応答解析を実施する。

図2-5にB-ディーゼル燃料貯蔵タンク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、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の耐震評価に用いる。

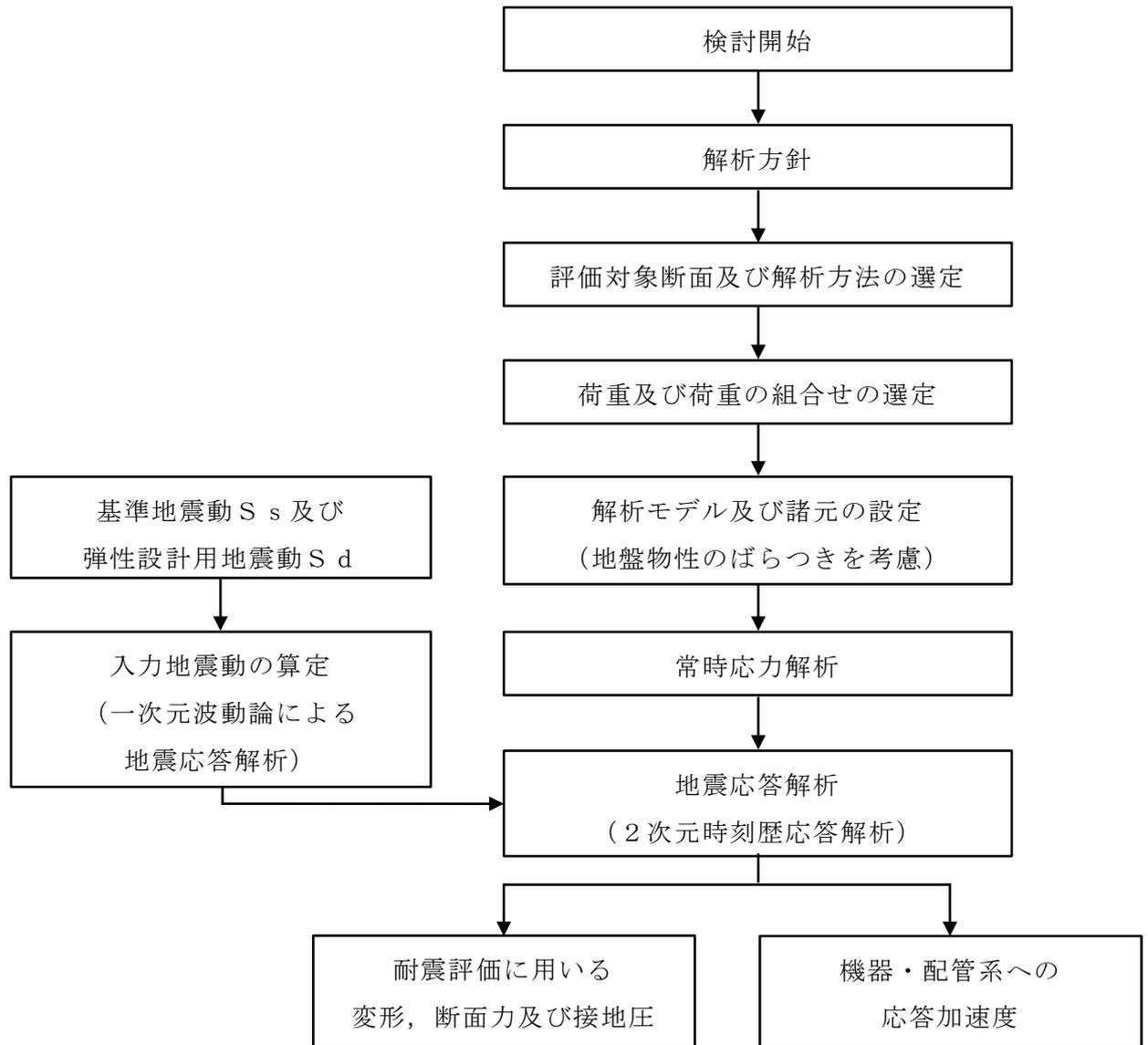


図 2-5 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽
地震応答解析フロー

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）

3. 解析方法

3.1 評価対象断面

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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・配管系に対する応答加速度抽出断面は、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。

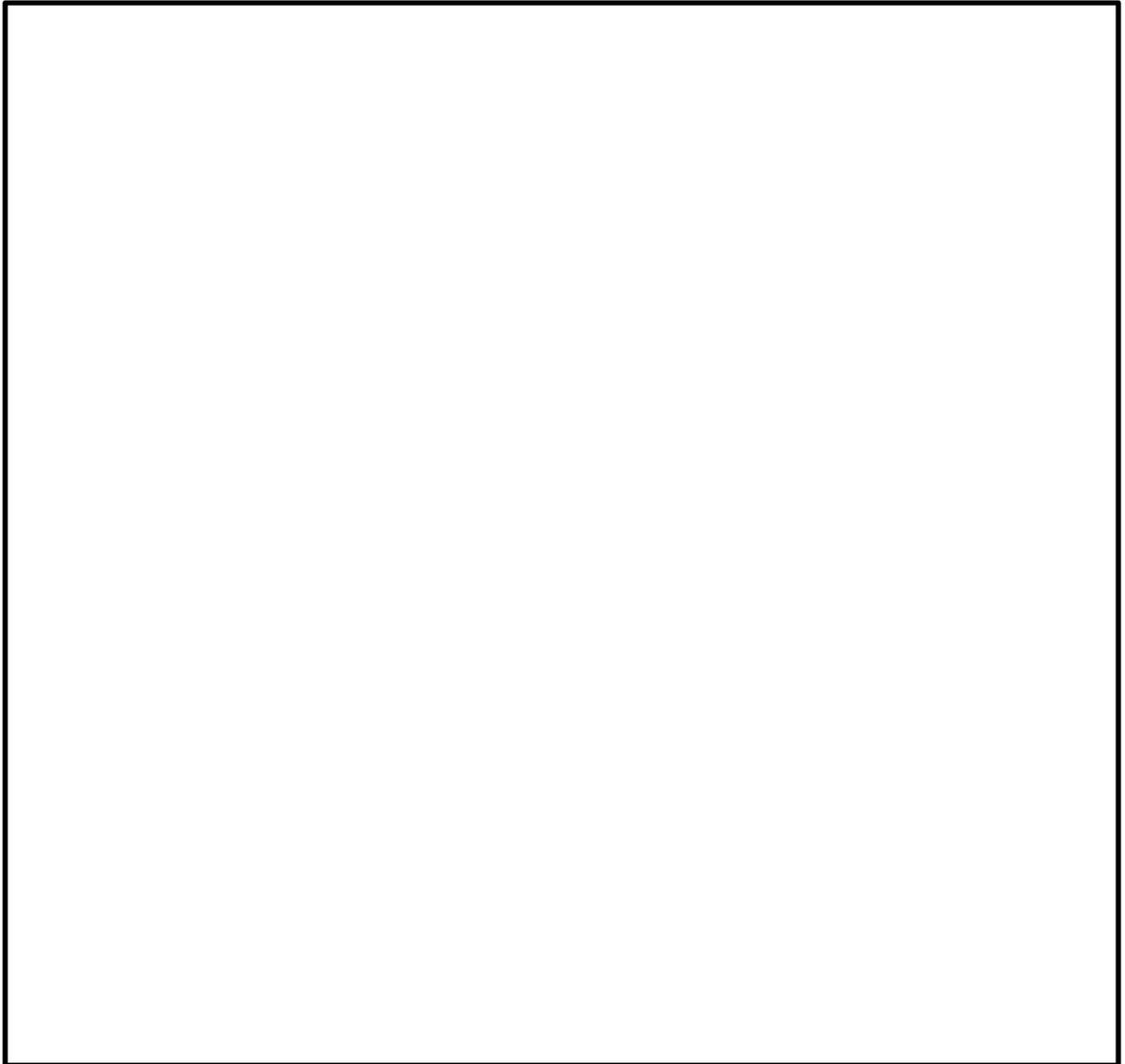


図3-1 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 評価対象断面位置図

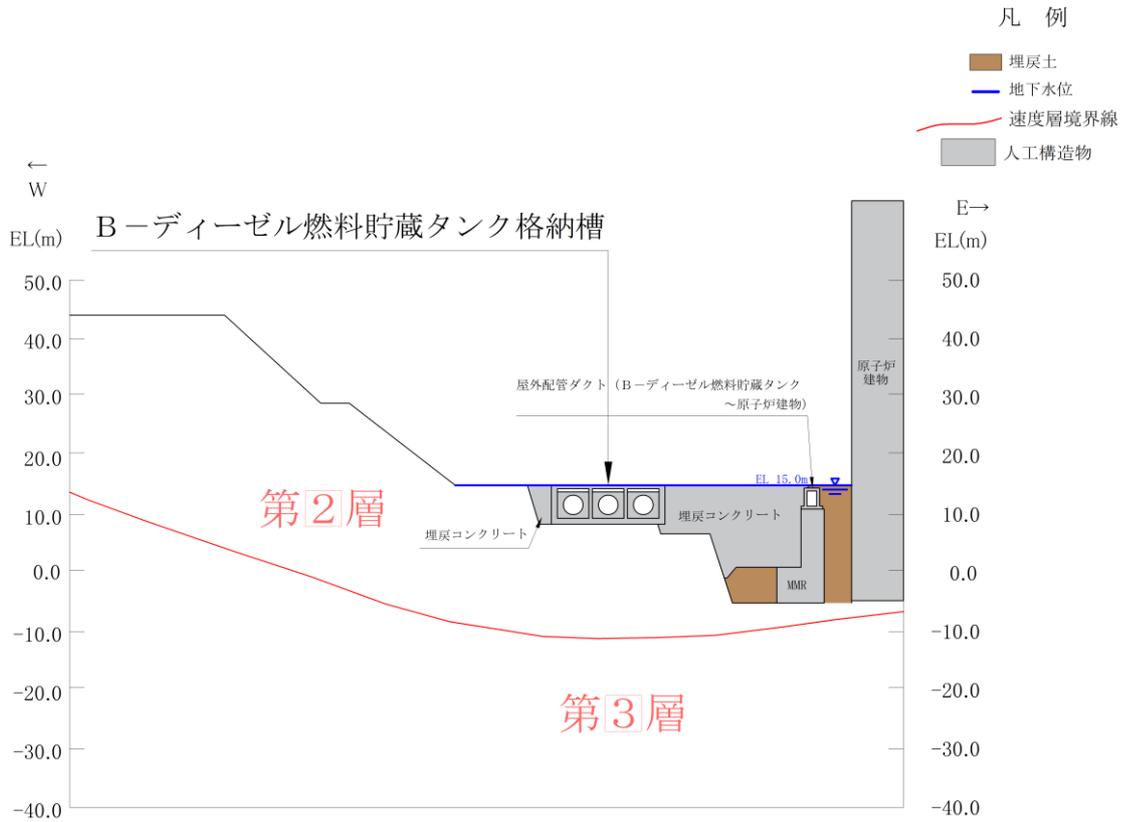


図 3-2 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 評価対象断面図 (A-A 断面)

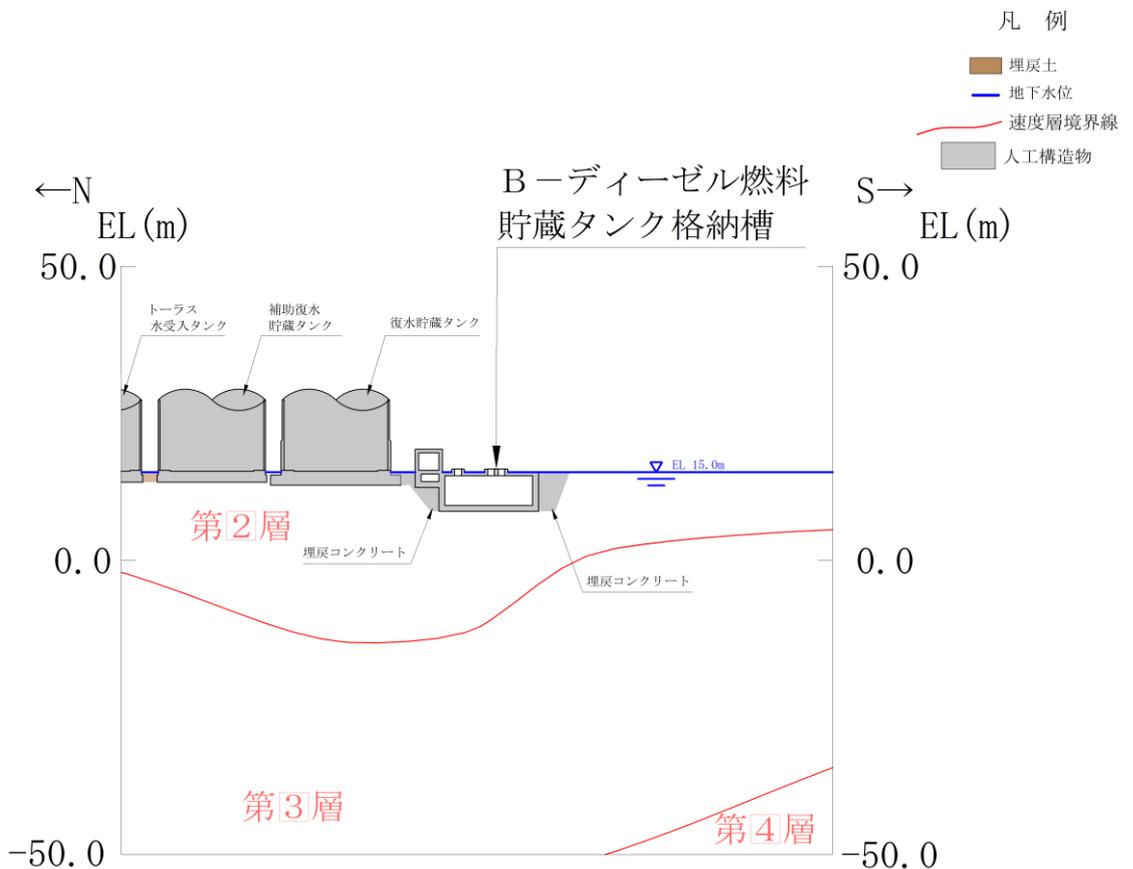


図 3-3 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 評価対象断面図 (B-B 断面)

3.2 解析方法

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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 及び弾性設計用地震動 S_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。B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の周辺は、埋戻コンクリートが敷設され、その外側や局所的に分布する液状化検討対象層の液状化等の影響を受けないと判断し、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3-4参照）、図3-5に示すコンクリートの応力-ひずみ関係及び図3-6に示す鉄筋の応力-ひずみ関係を考慮する。

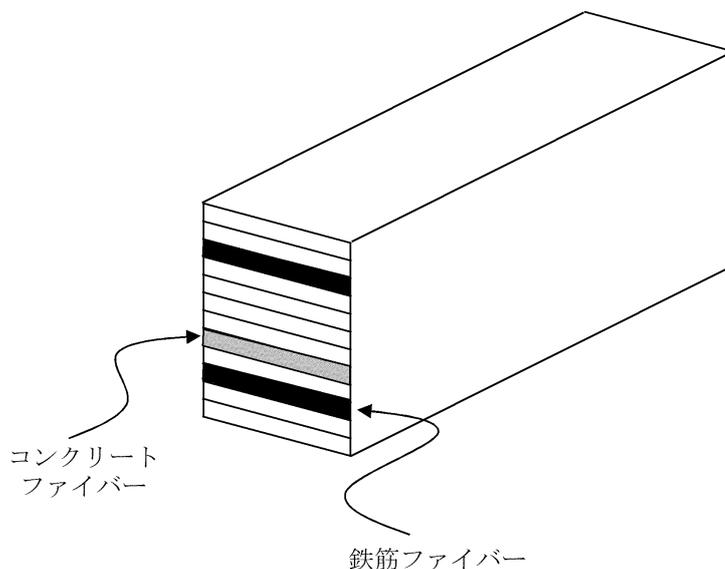
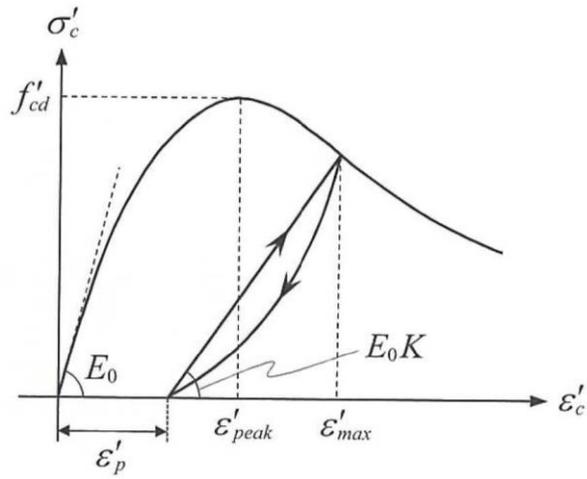
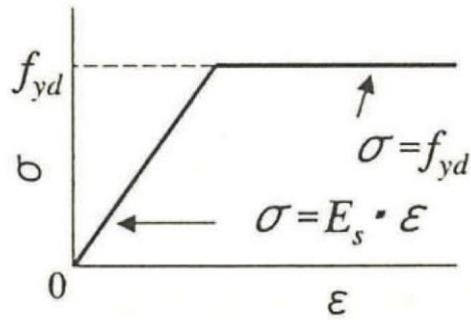


図 3-4 ファイバーモデルの概念図



(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 3-5 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 3-6 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。

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽は、岩盤上に設置され、側面には埋戻コンクリートが敷設されている。周辺には埋戻土のような動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しておらず、主に C_M 級及び C_H 級岩盤が分布していることから、これらの地盤が地震時の構造物への応答に大きく影響を与えると判断し、岩盤の動せん断弾性係数のばらつきを考慮する。

動せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」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	平均値 + 1σ
ケース③	平均値	平均値 - 1σ

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	1.197	5.501×10^{-4}
B-B 断面	1.787	3.621×10^{-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波を用いて、表3-3に示す解析ケース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3-3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。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)	$S_s - D$	++*	○	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。											
		-+*	○												
		+ -*	○												
		--*	○												
	$S_s - F1$	++*	○												
	$S_s - F2$	++*	○												
	$S_s - N1$	++*	○												
		-+*	○												
	$S_s - N2$ (NS)	++*	○												
		-+*	○												
$S_s - N2$ (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3-4(1)に示す解析ケース①～③を行う。

弾性設計用地震動による機器・配管系の耐震評価に適用する解析ケースについては、表3-4(2)に示す解析ケース①～③について、弾性設計用地震動 S_d 全波（7波）及びこれらに位相反転を考慮した地震動（9波）を加えた全16波を用いて解析を行う。

表3-4(1) 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース（基準地震動 S_s ）

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 ($+1\sigma$) 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 $+1\sigma$	平均値 -1σ	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○
		+ -*	○	○	○
		--*	○	○	○
	$S_s - F1$	++*	○	○	○
	$S_s - F2$	++*	○	○	○
	$S_s - N1$	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○
	$S_s - N2$ (NS)	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○
	$S_s - N2$ (EW)	++*	○	○	○
		-+*	○	○	○

注記*：地震動の位相について，++の左側は水平動，右側は鉛直動を表す。

表 3-4(2) 機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース（弾性設計用地震動 S d）

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 d - D	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
		+ - *	○	○	○	○	○
		--*	○	○	○	○	○
	S d - F 1	++*	○	○	○	○	○
	S d - F 2	++*	○	○	○	○	○
	S d - N 1	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S d - N 2 (NS)	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S d - N 2 (EW)	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
	S d - 1	++*	○	○	○	○	○
		-+*	○	○	○	○	○
		+ - *	○	○	○	○	○
		--*	○	○	○	○	○

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

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク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、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、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。

(5) 地震荷重 (S_d)

弾性設計用地震動 S_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 3-5 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
地震時 (S _d) *	G + P + S _d

注記* : 機器・配管系の耐震設計に用いる。

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

S_d : 地震荷重 (弾性設計用地震動 S_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 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 3-7 に入力地震動算定の概念図を、図 3-8～図 3-41 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。

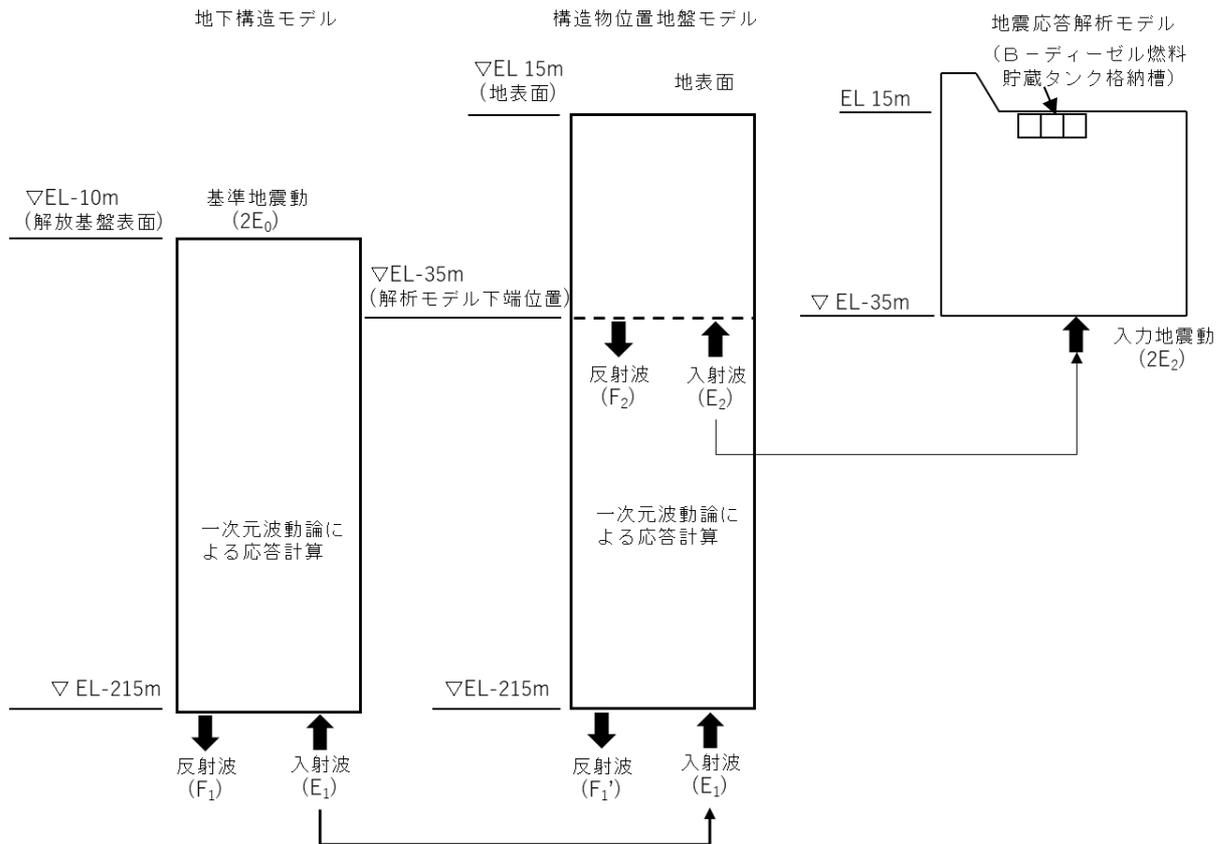
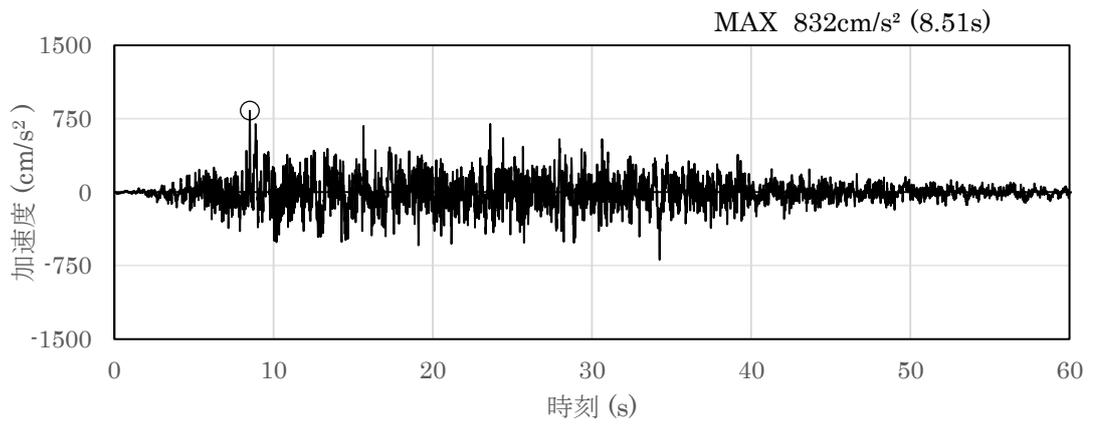
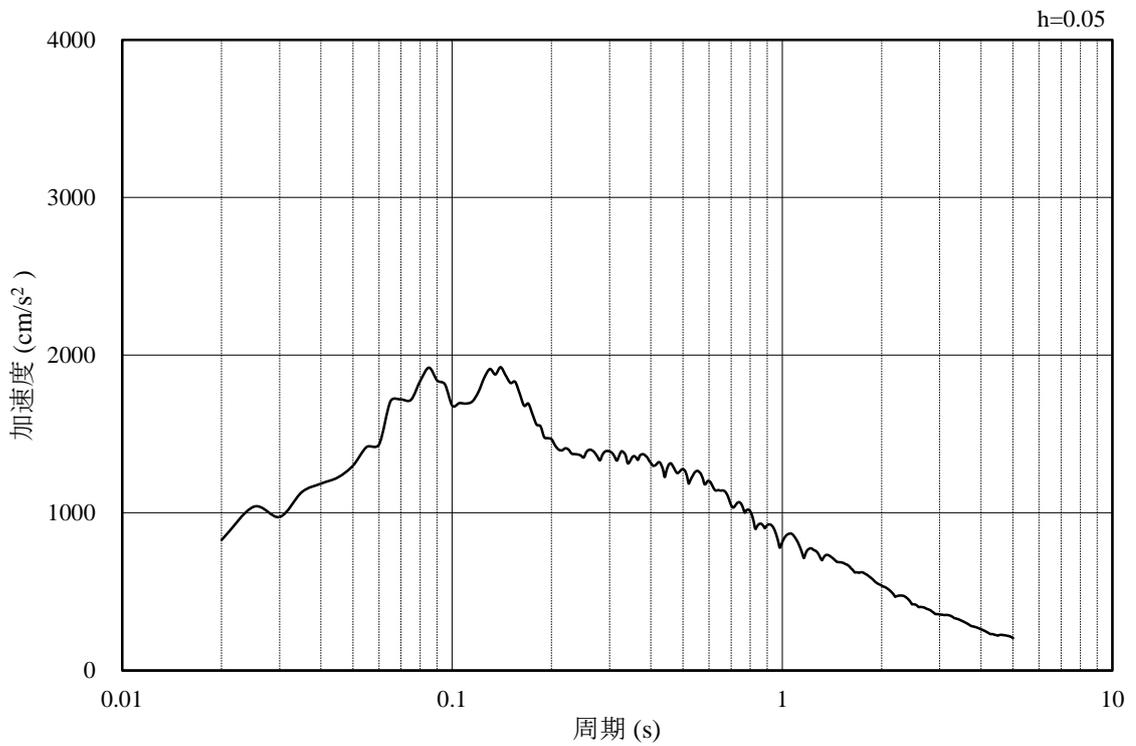


図 3-7 入力地震動算定の概念図

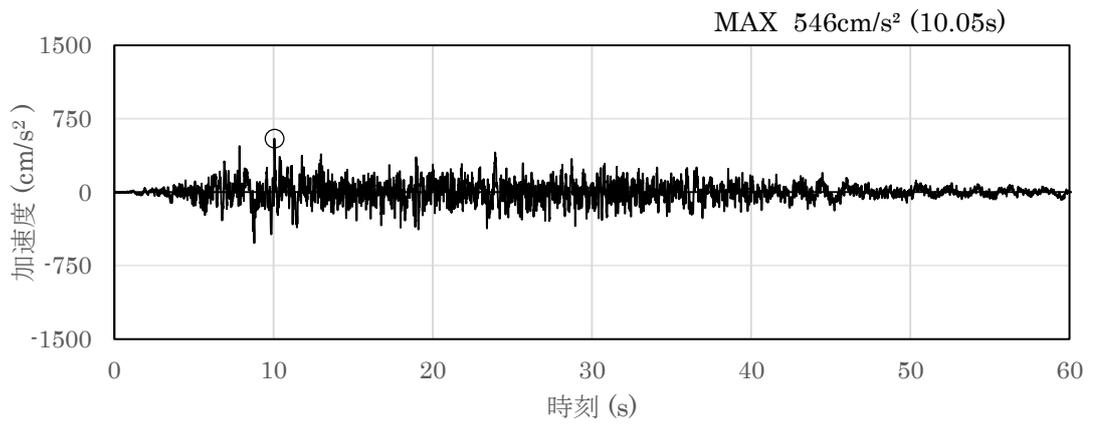


(a) 加速度時刻歴波形

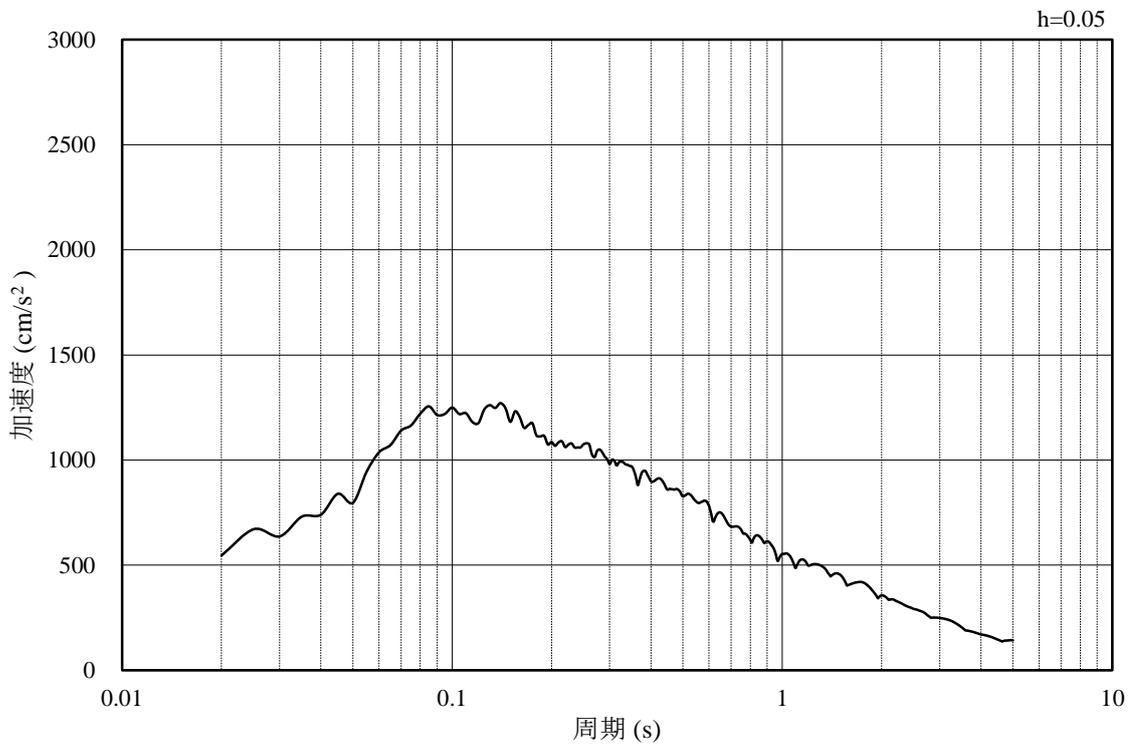


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 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 - D)

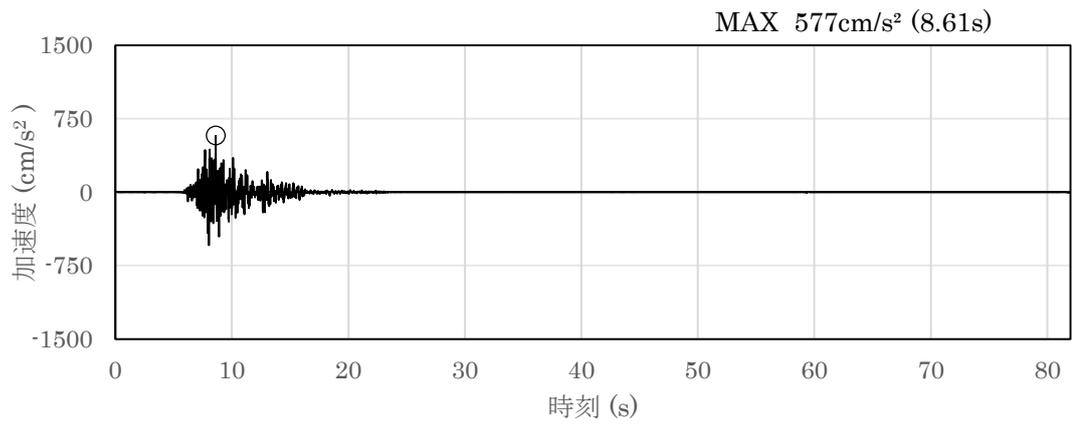


(a) 加速度時刻歴波形

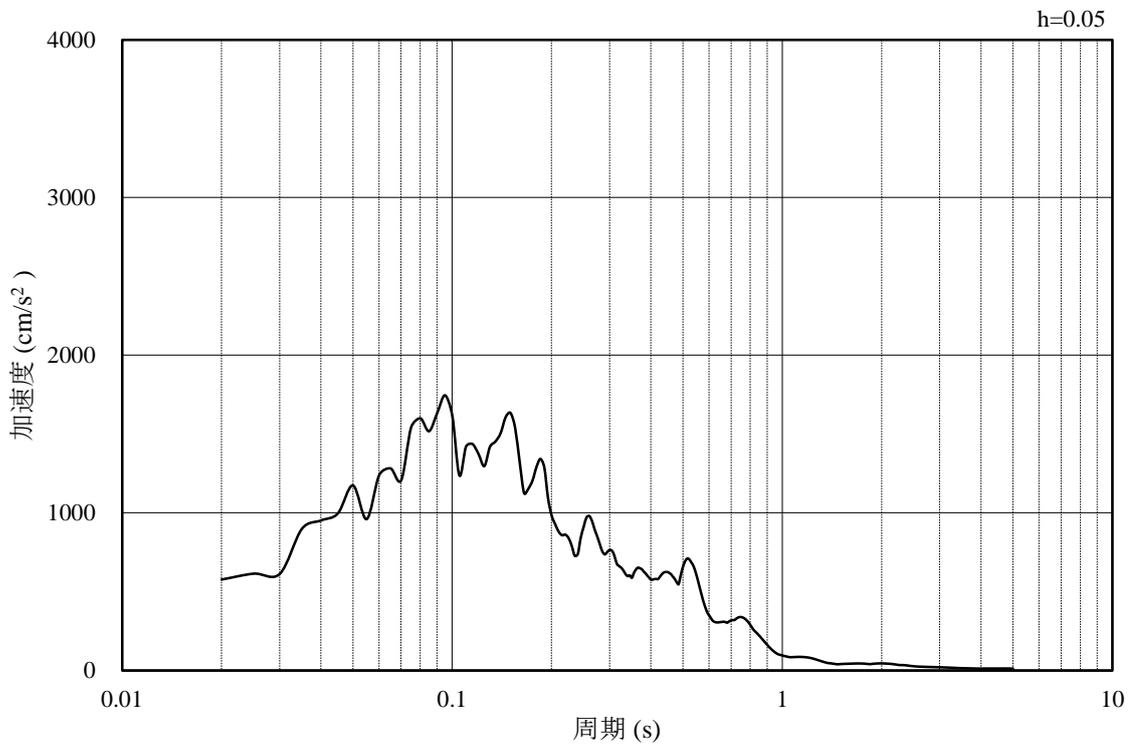


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - D)

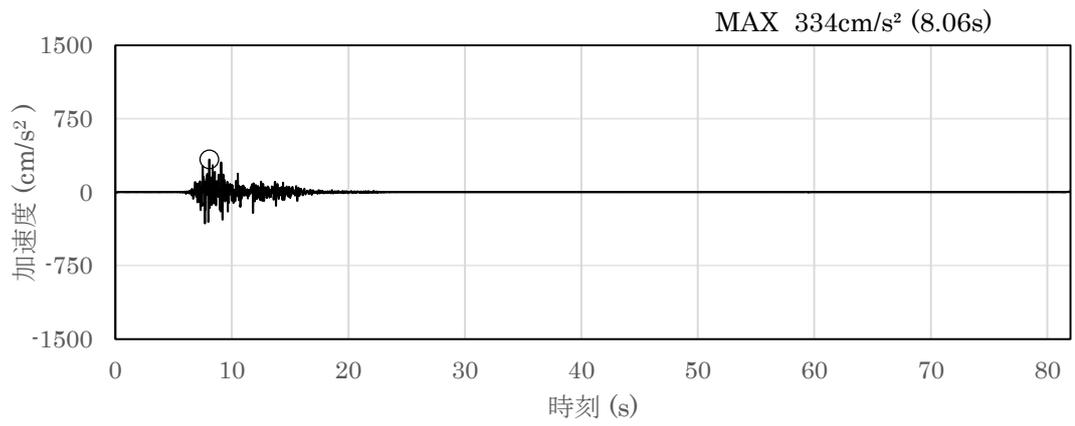


(a) 加速度時刻歴波形

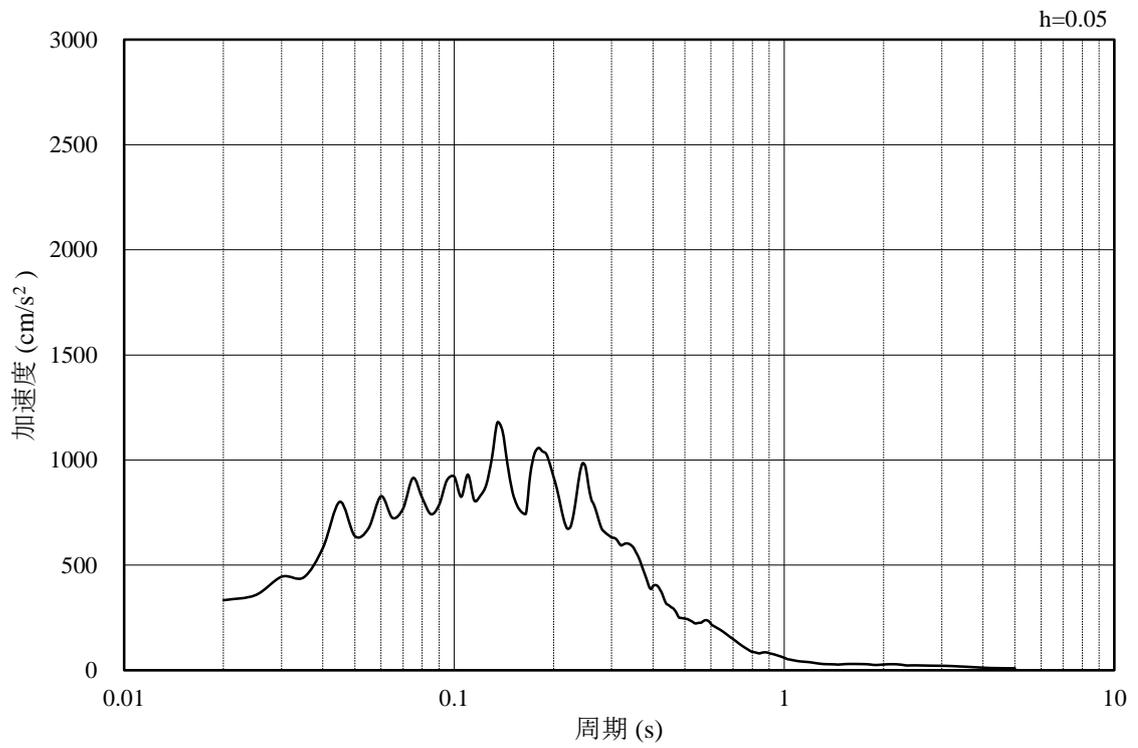


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 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 - F 1, N S 方向)

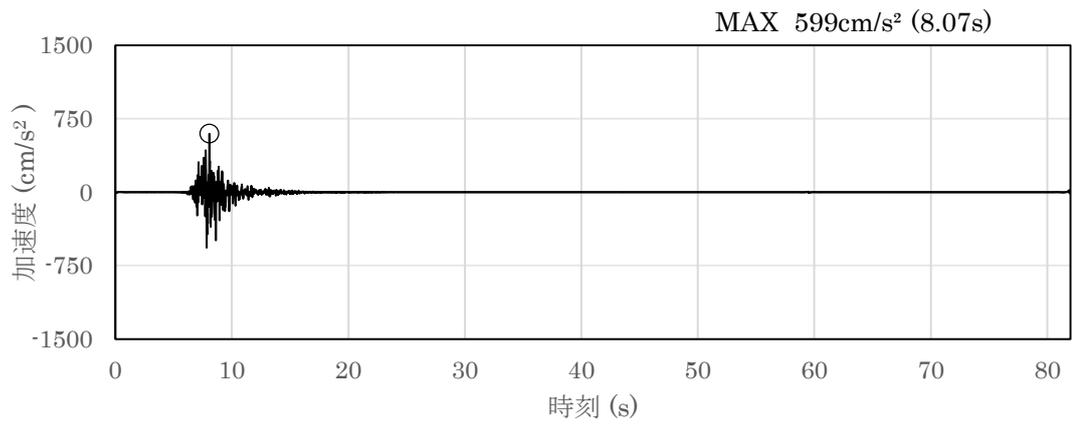


(a) 加速度時刻歴波形

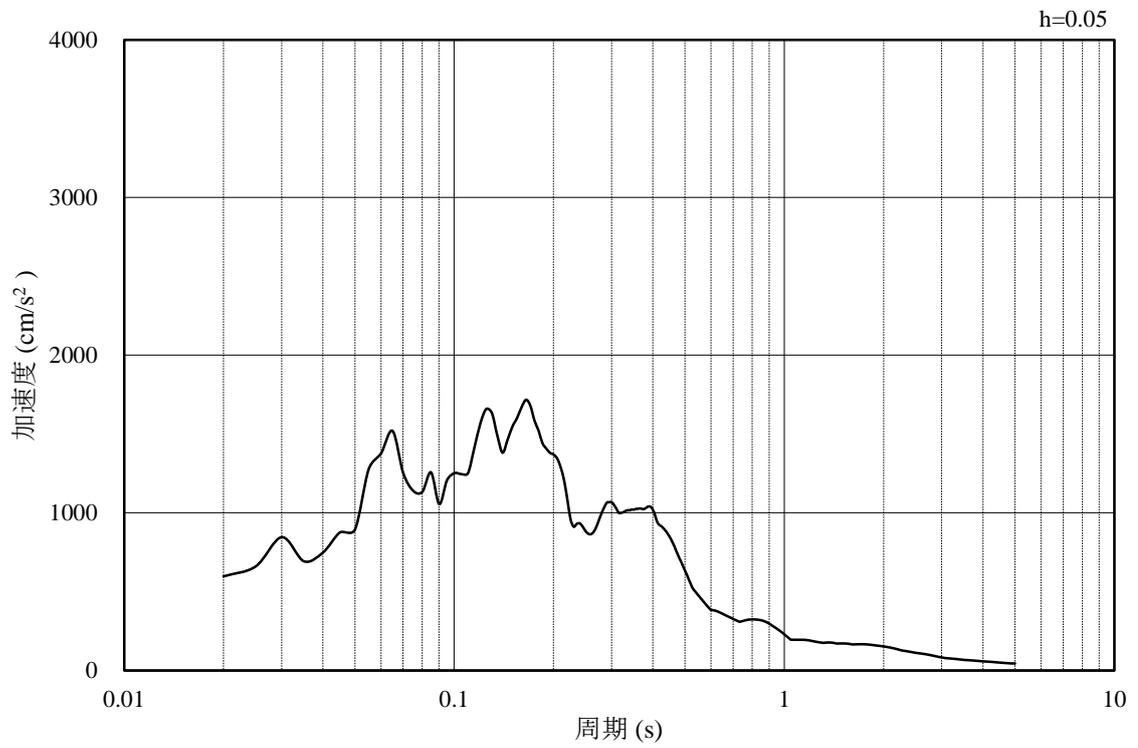


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - F 1, N S 方向)

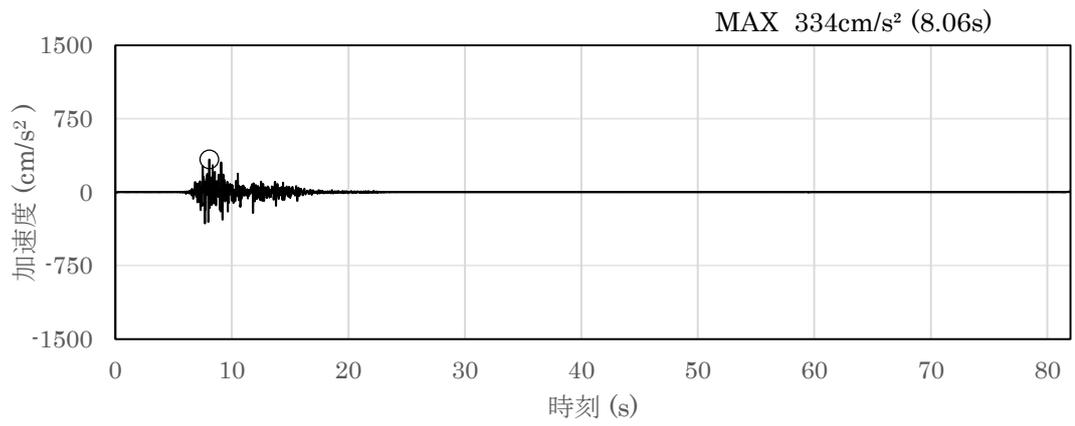


(a) 加速度時刻歴波形

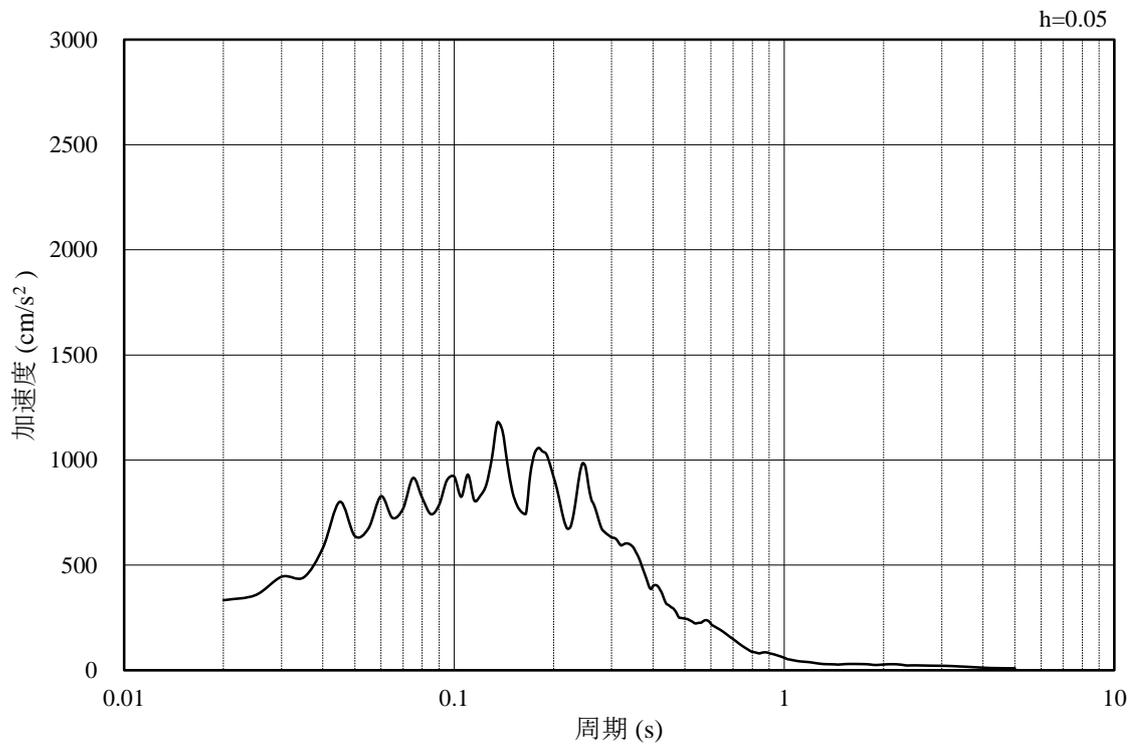


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 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, E W方向)

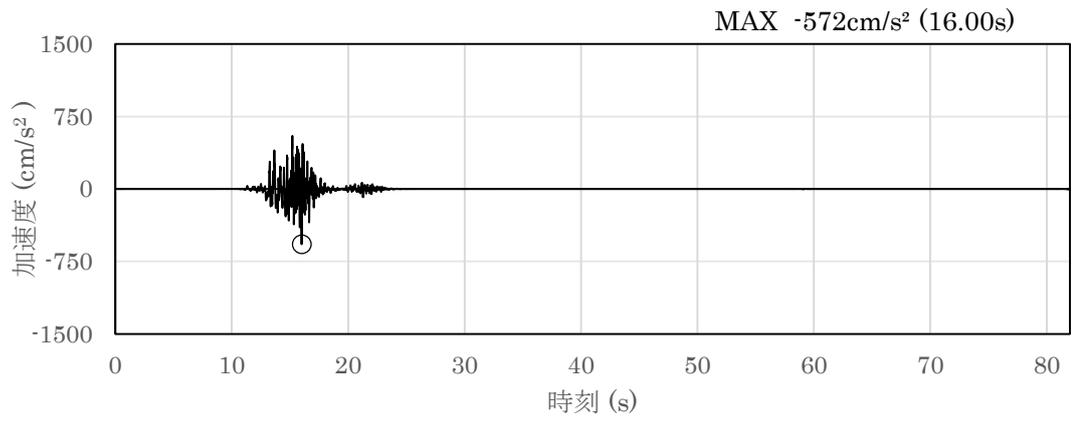


(a) 加速度時刻歴波形

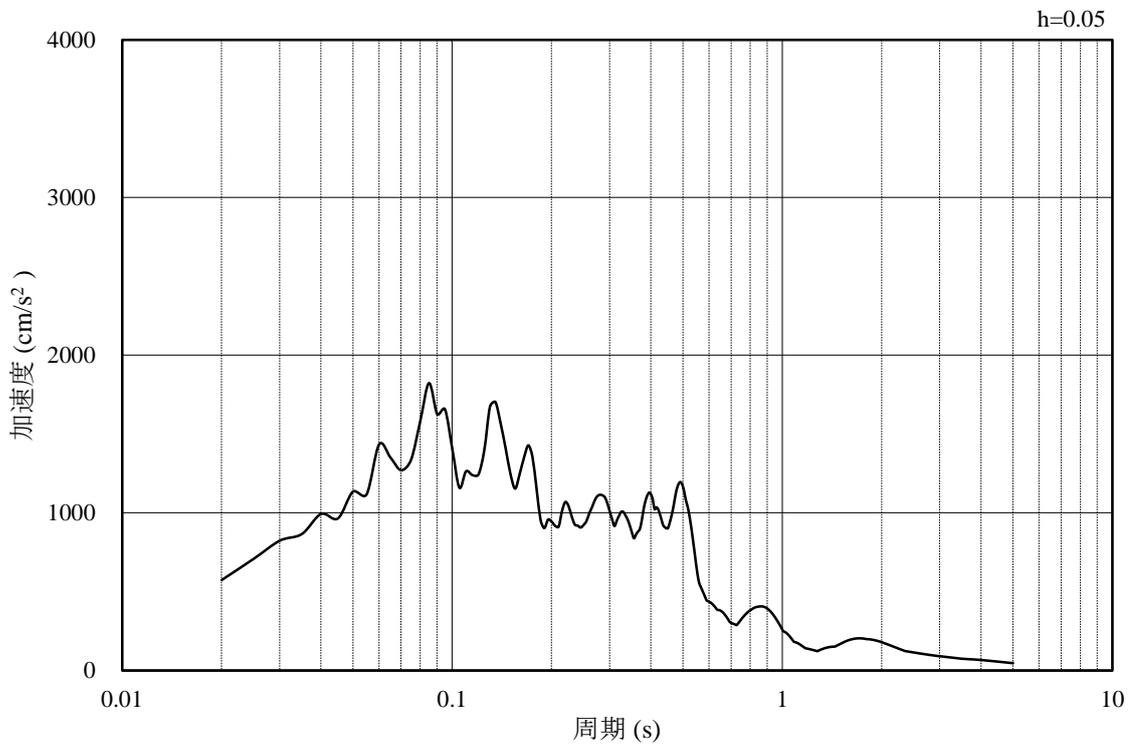


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - F 1, E W方向)

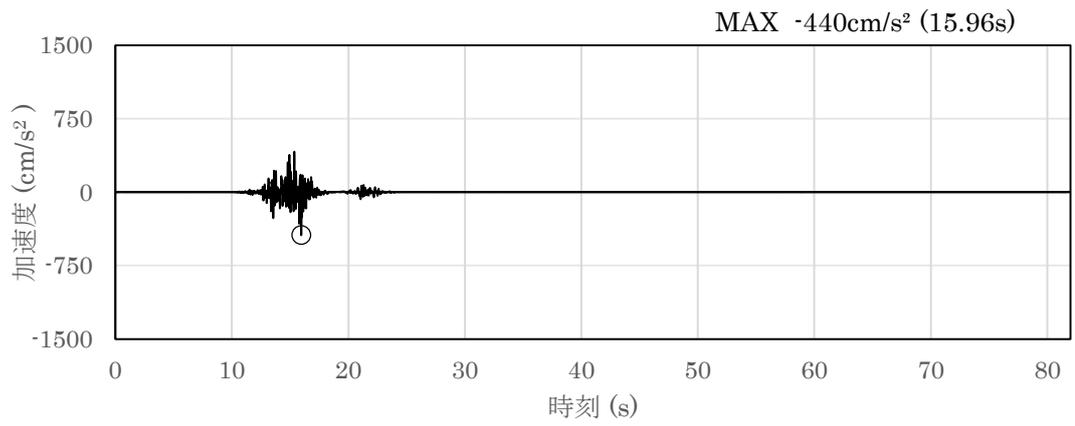


(a) 加速度時刻歴波形

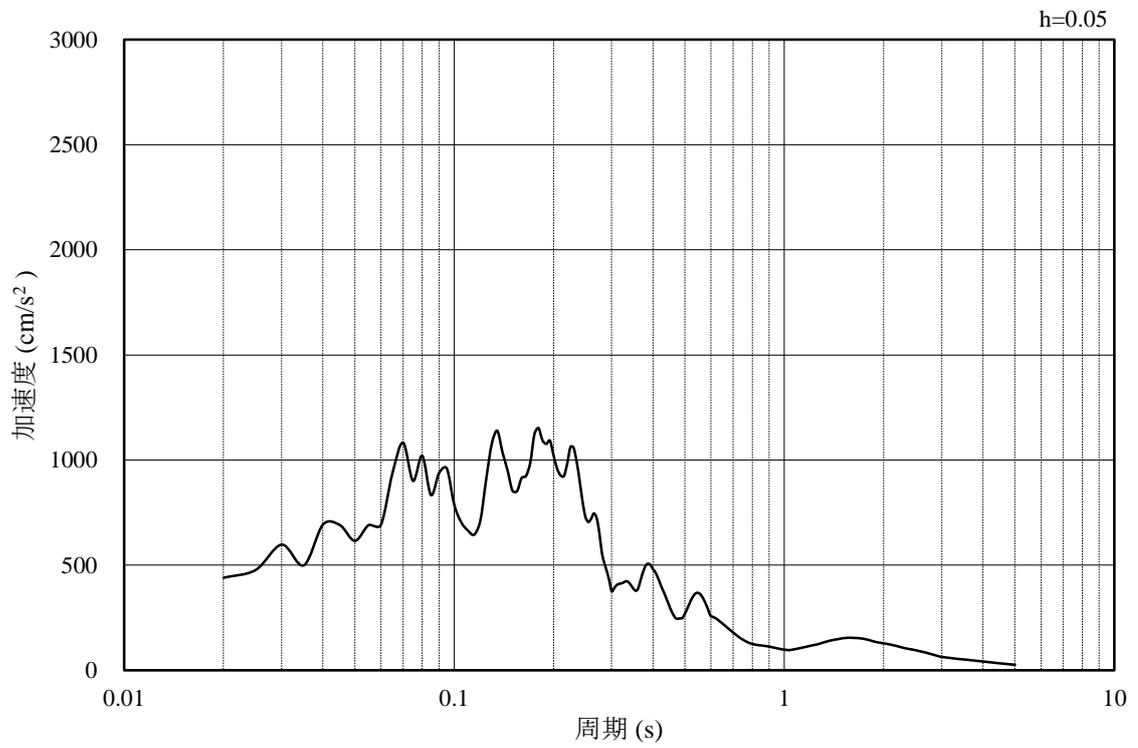


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 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, N S 方向)

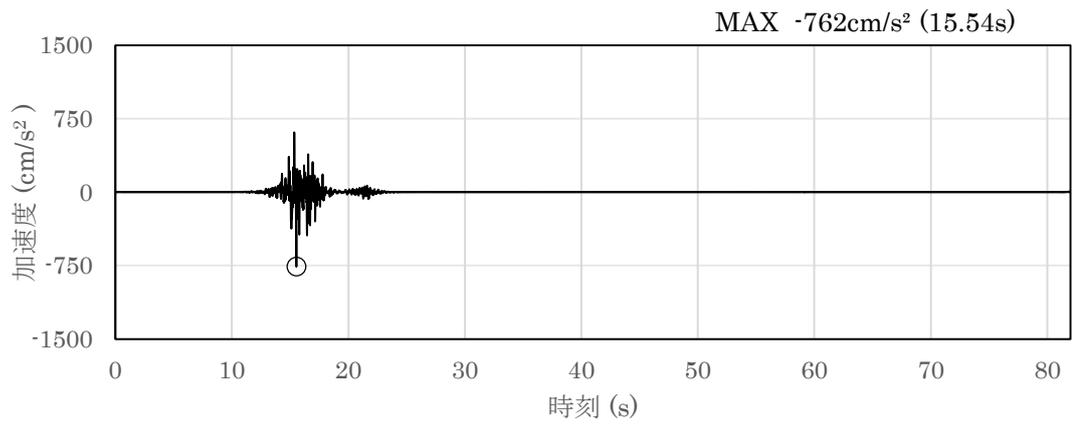


(a) 加速度時刻歴波形

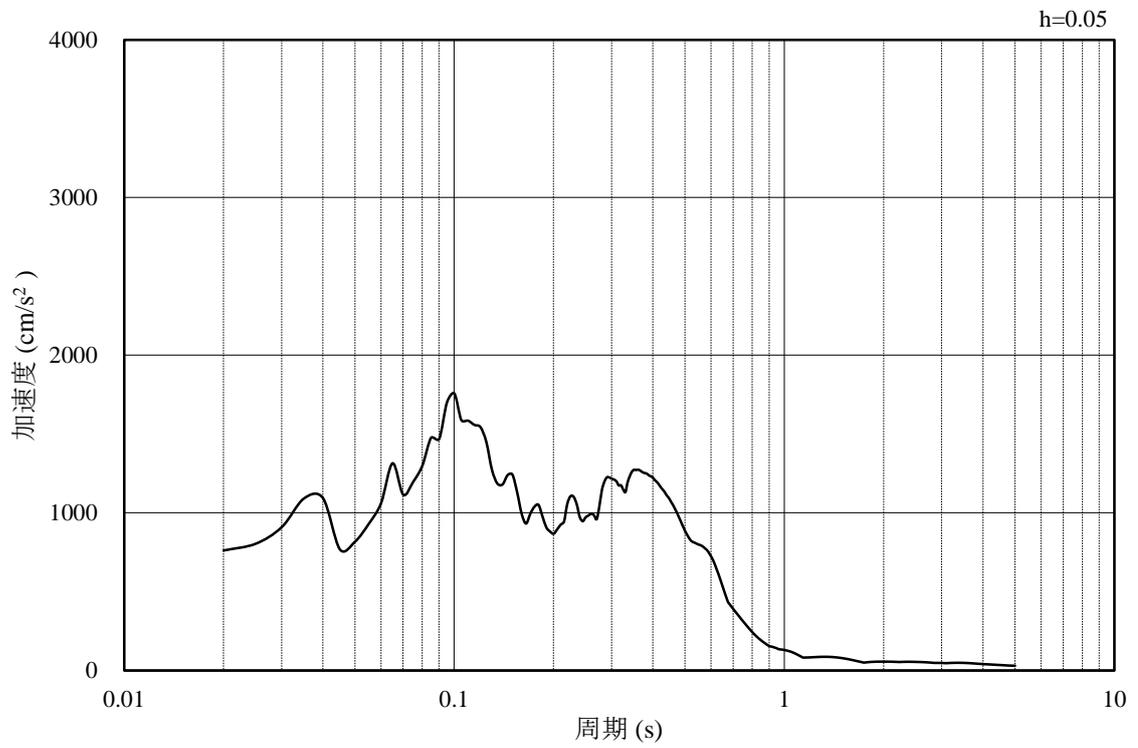


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - F 2, NS方向)

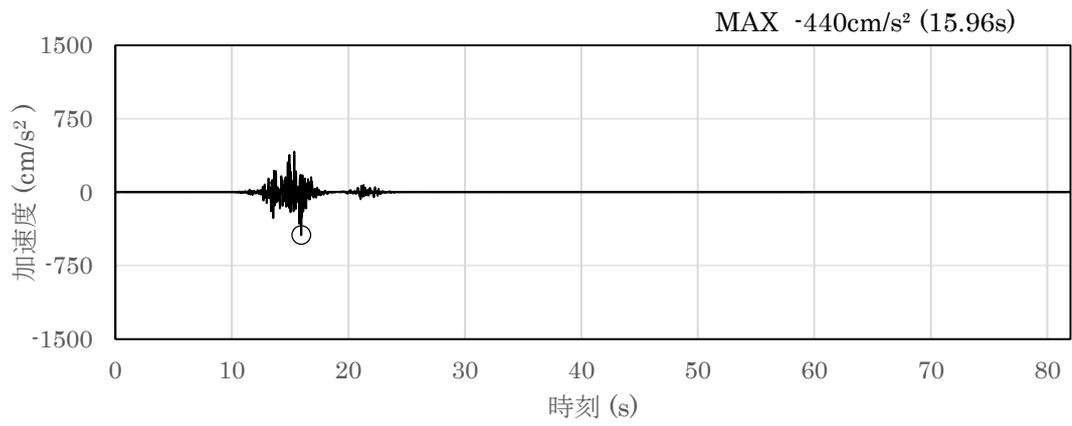


(a) 加速度時刻歴波形

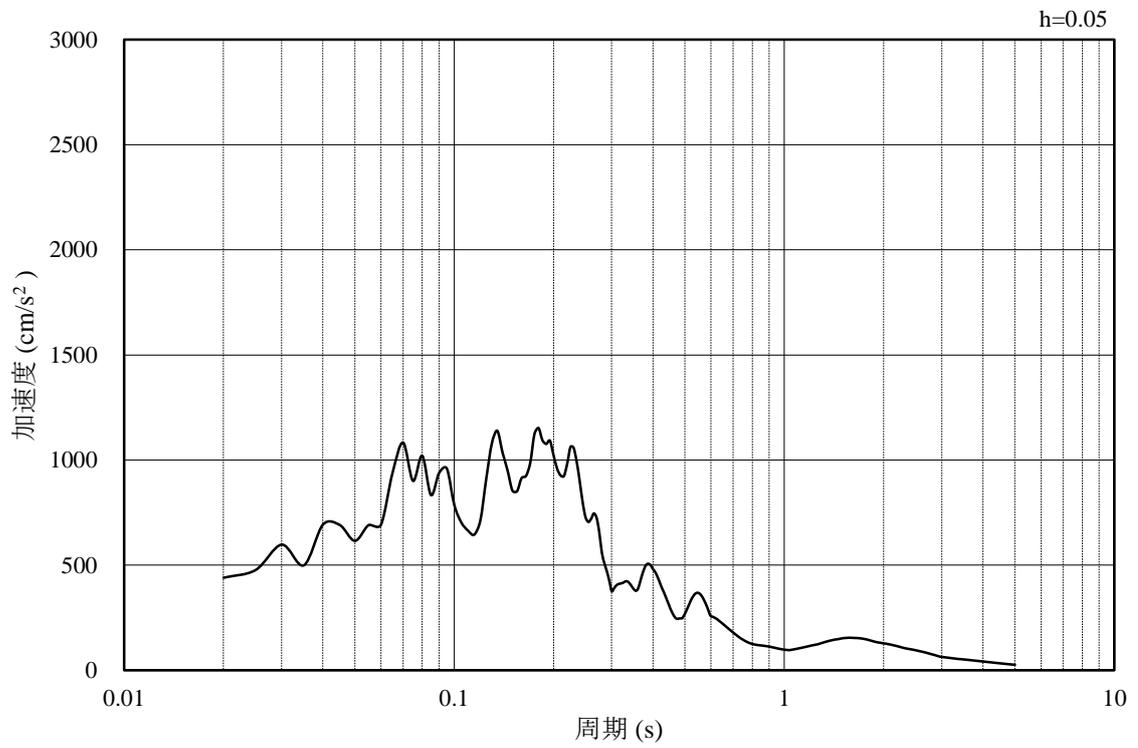


(b) 加速度応答スペクトル

図 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, E W方向)

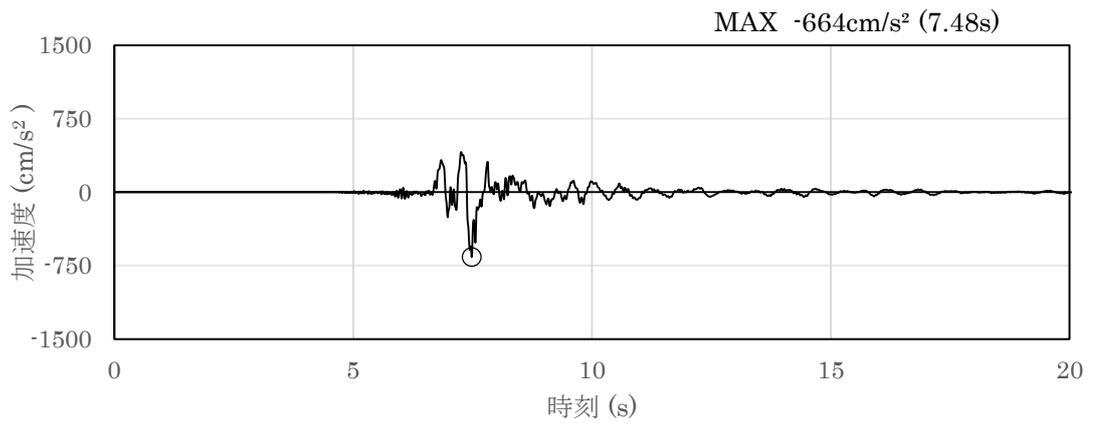


(a) 加速度時刻歴波形

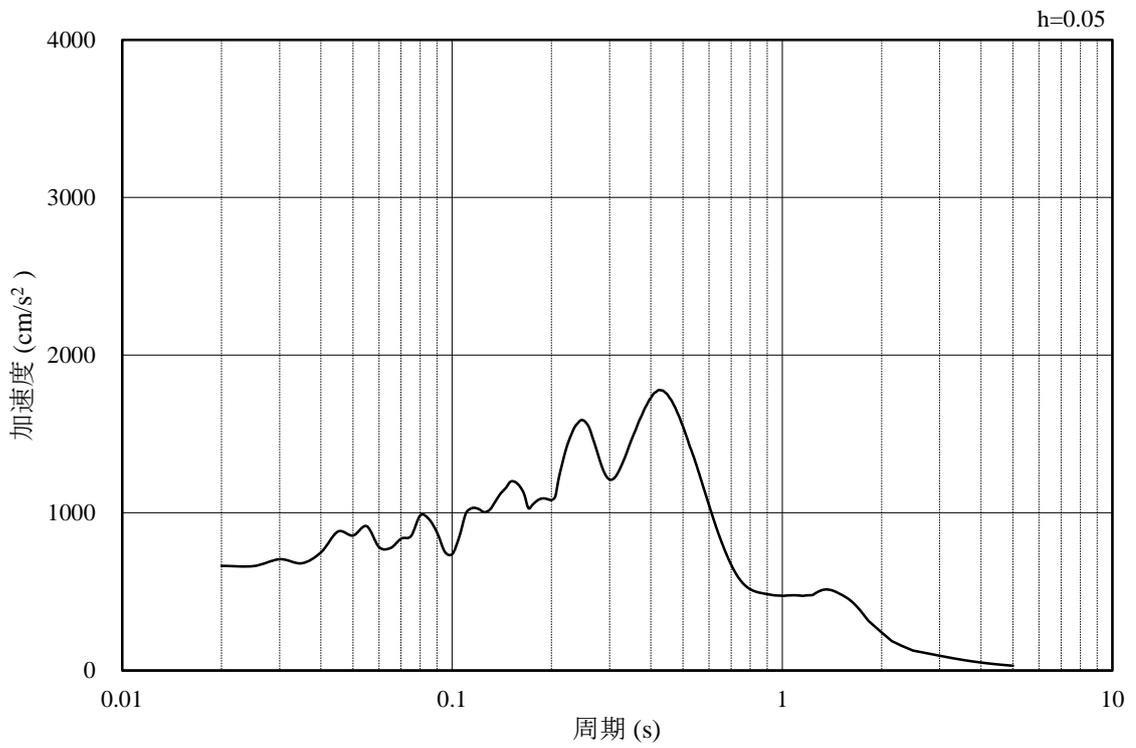


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - F 2, E W方向)

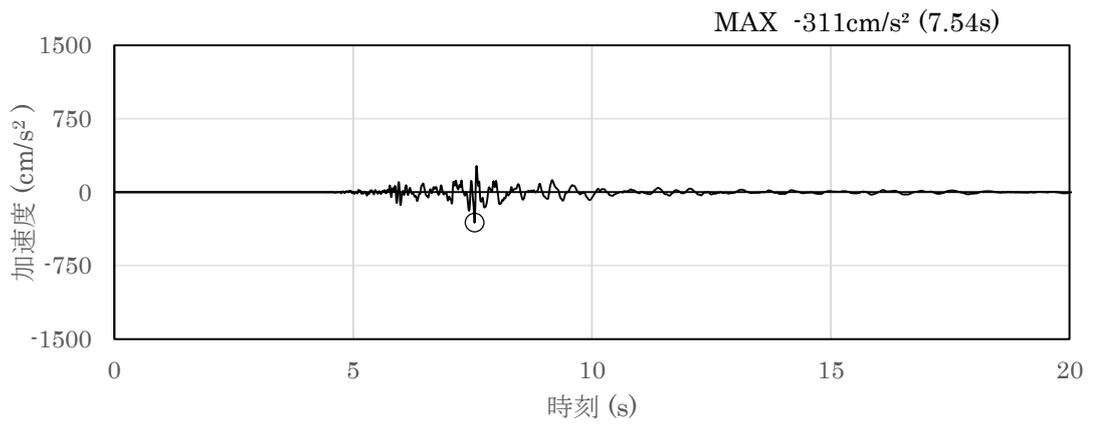


(a) 加速度時刻歴波形

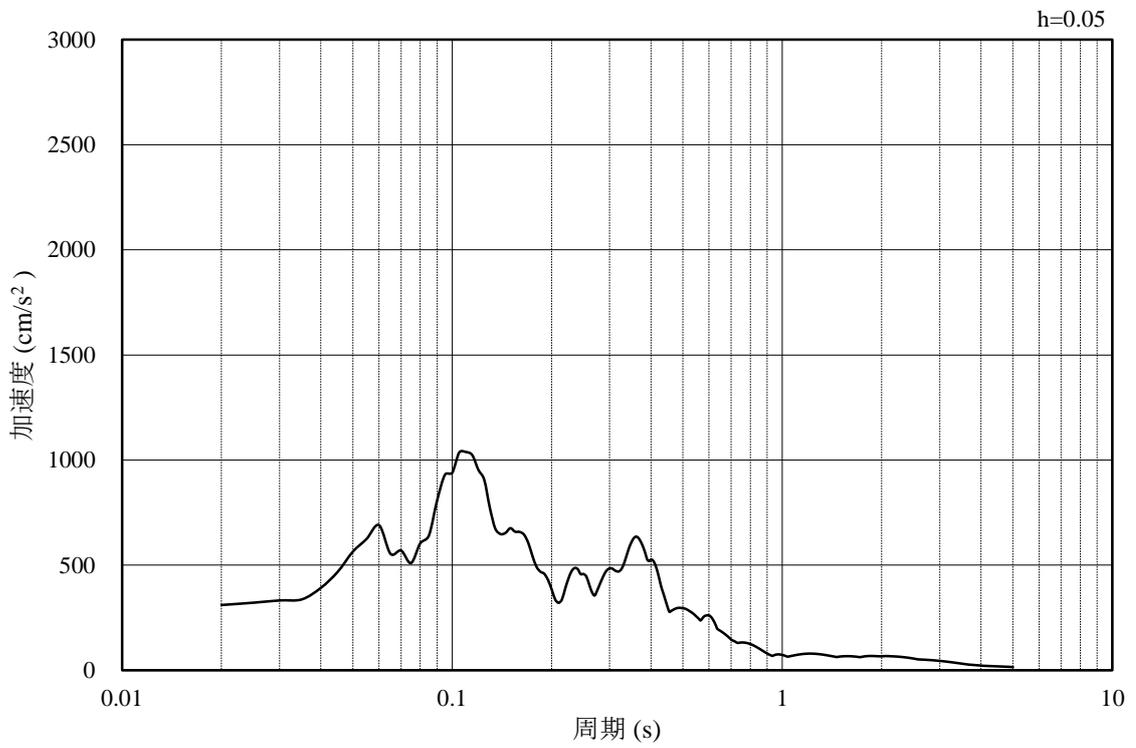


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 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)

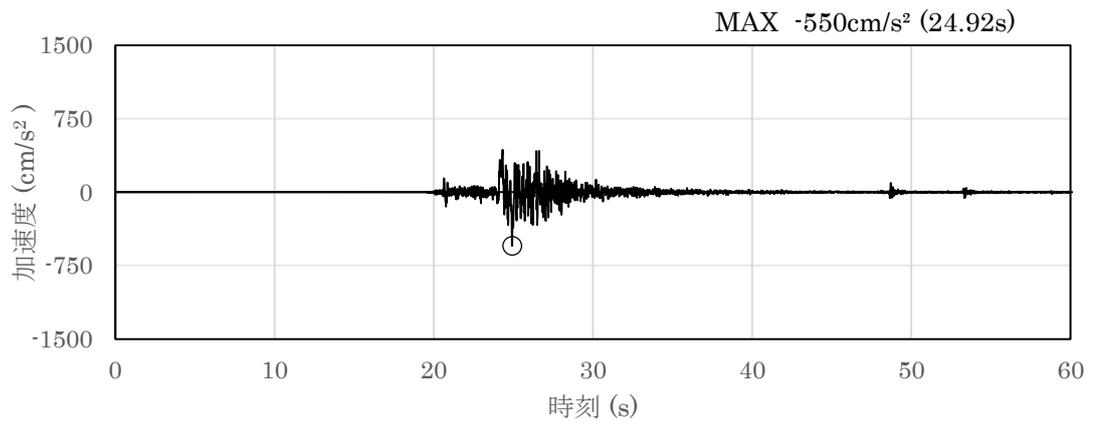


(a) 加速度時刻歴波形

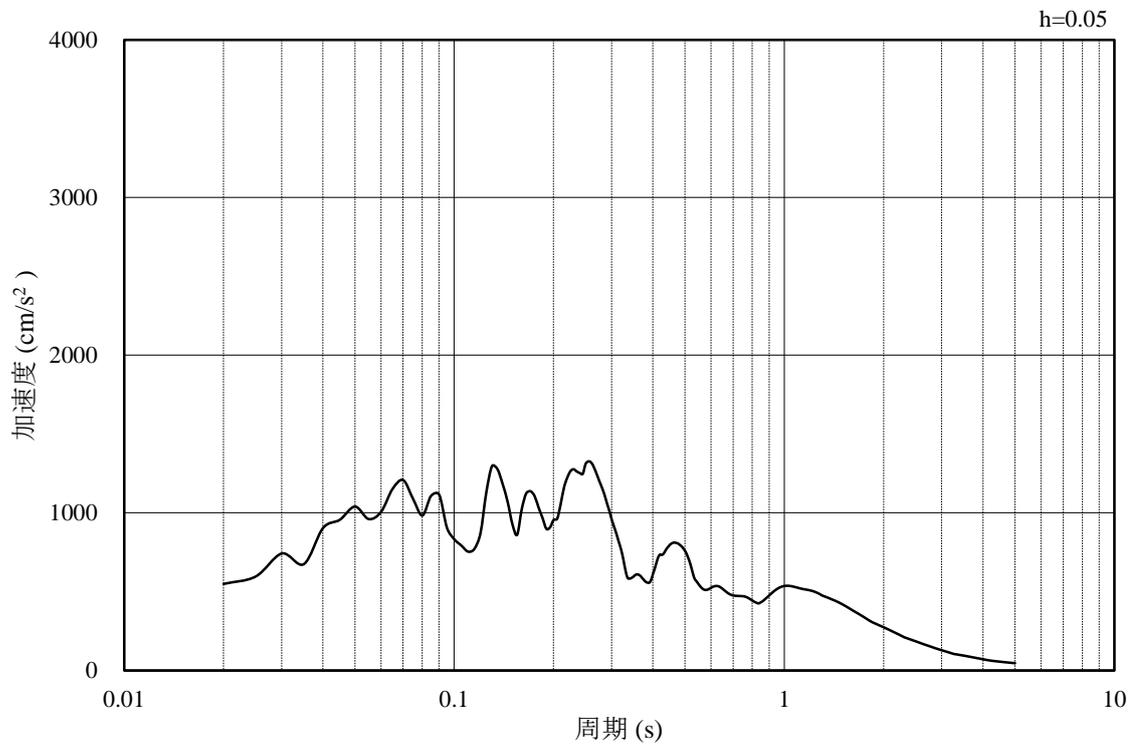


(b) 加速度応答スペクトル

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)

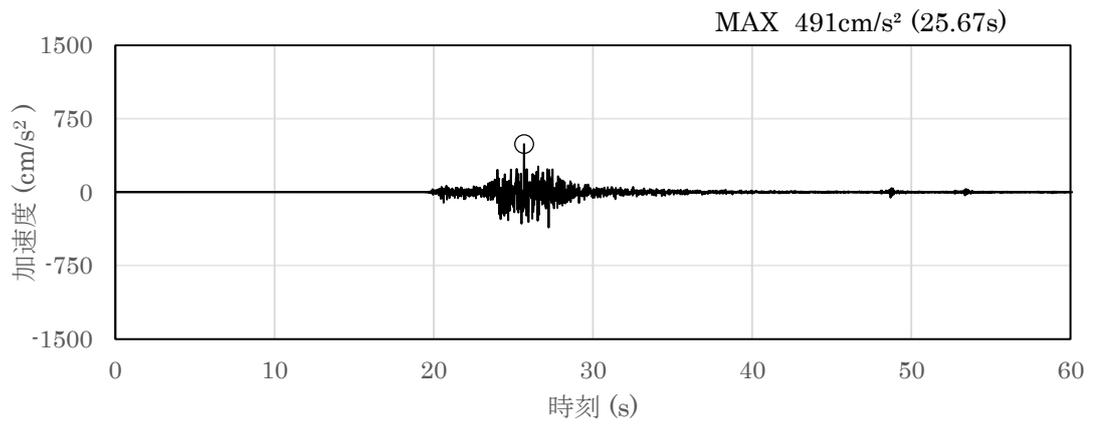


(a) 加速度時刻歴波形

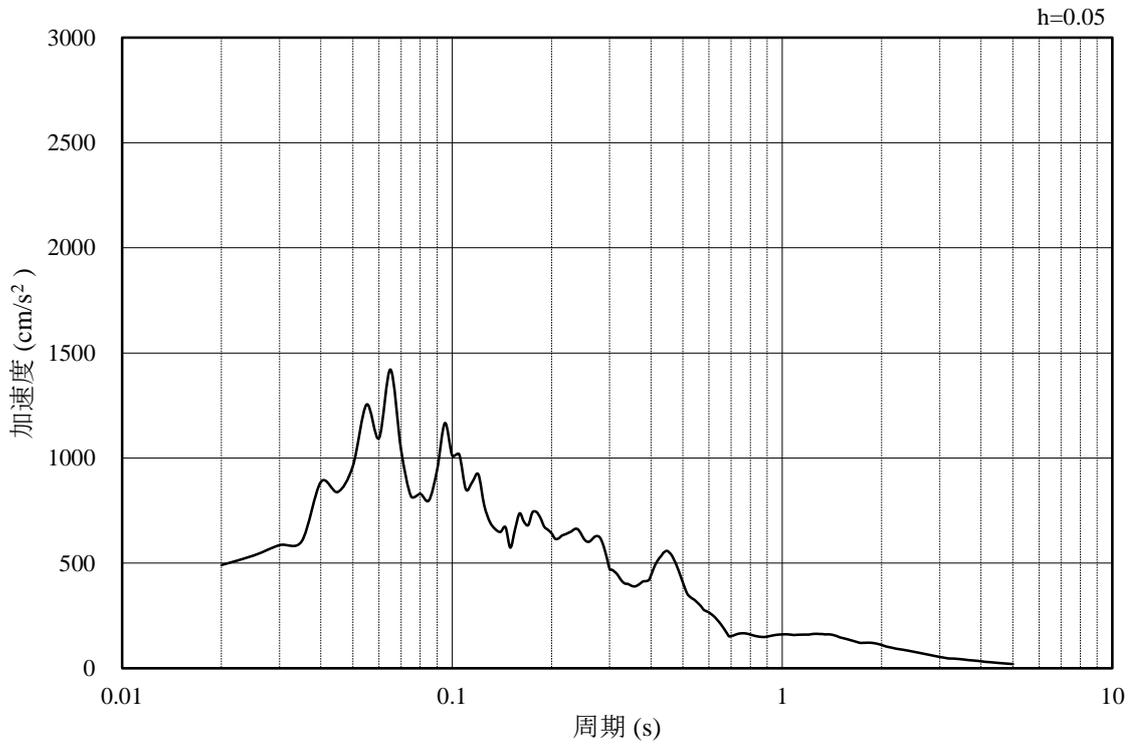


(b) 加速度応答スペクトル

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-N₂，NS方向)

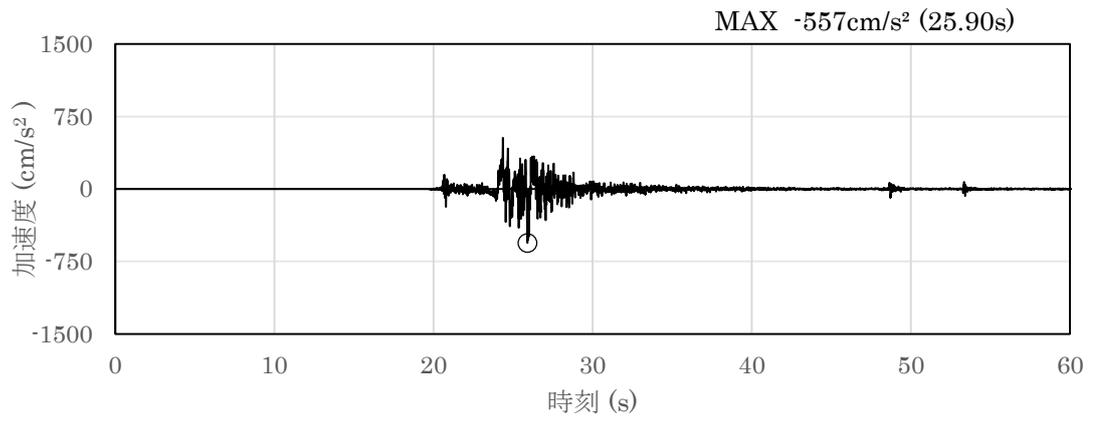


(a) 加速度時刻歴波形

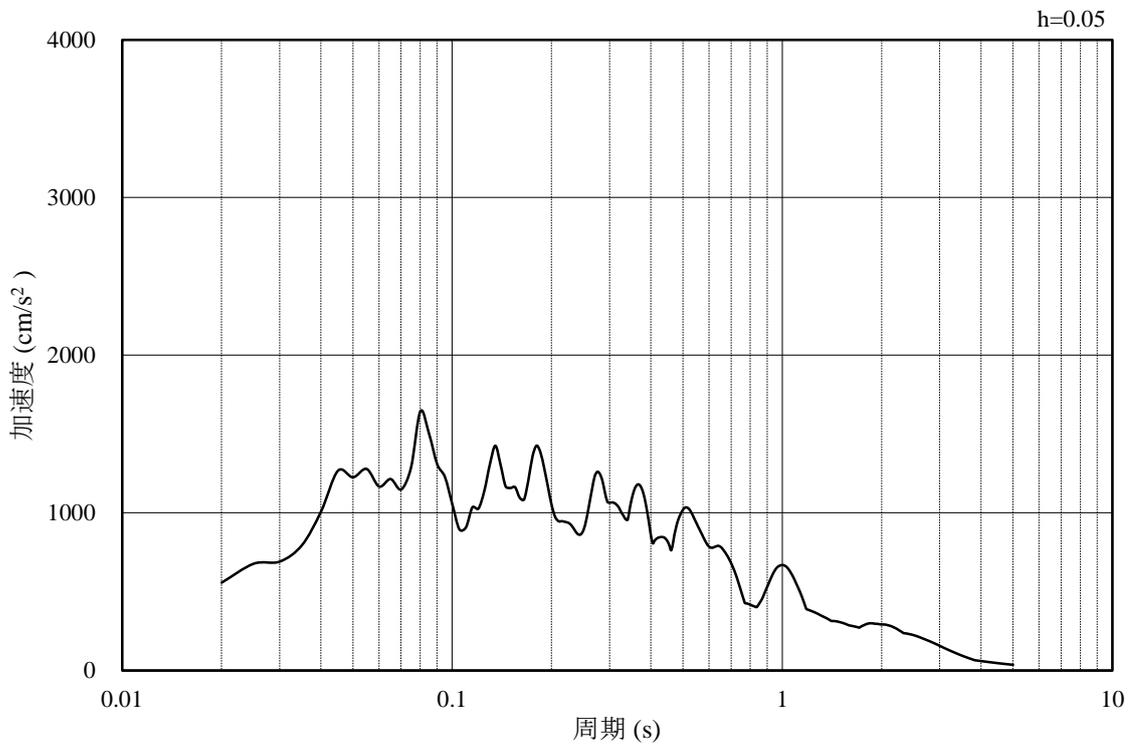


(b) 加速度応答スペクトル

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
(鉛直成分：S s - N 2, N S 方向)

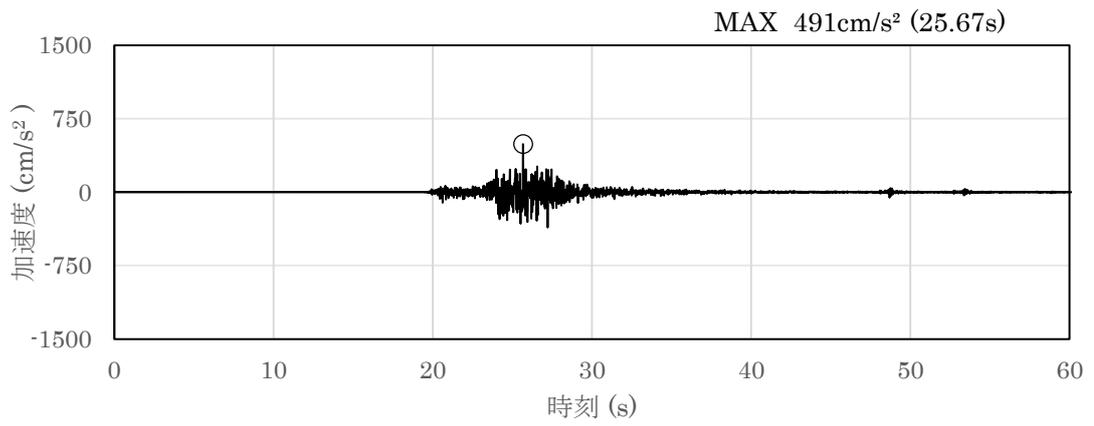


(a) 加速度時刻歴波形

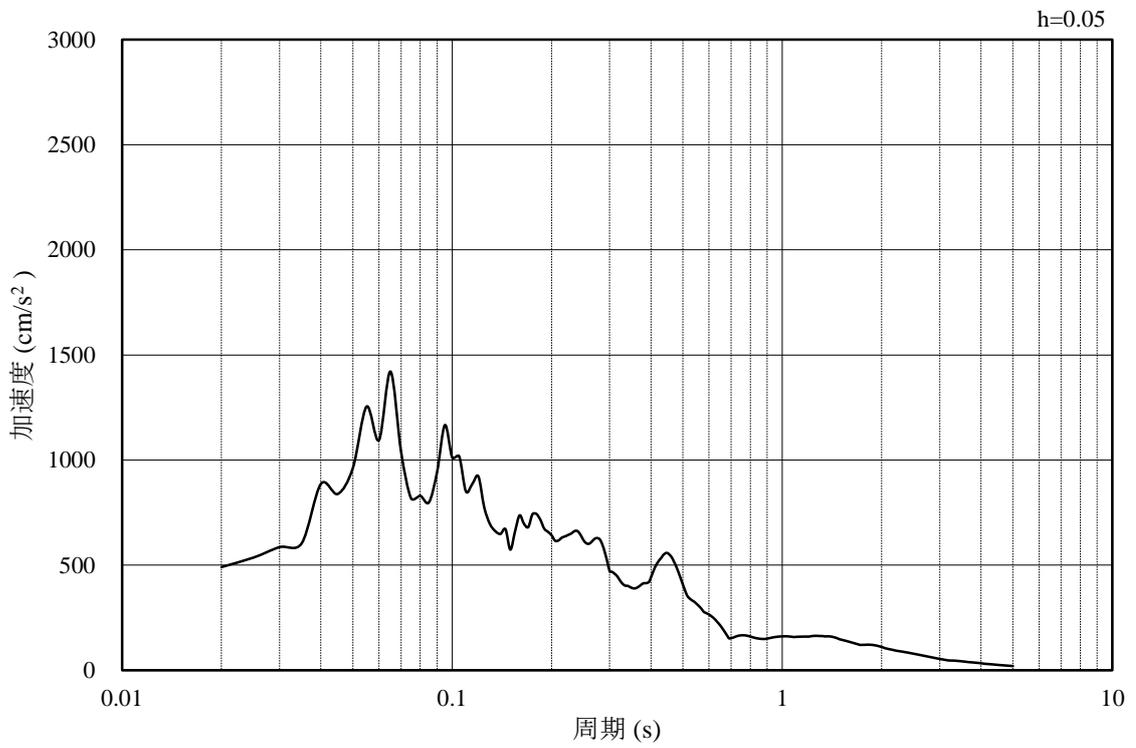


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-22 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)

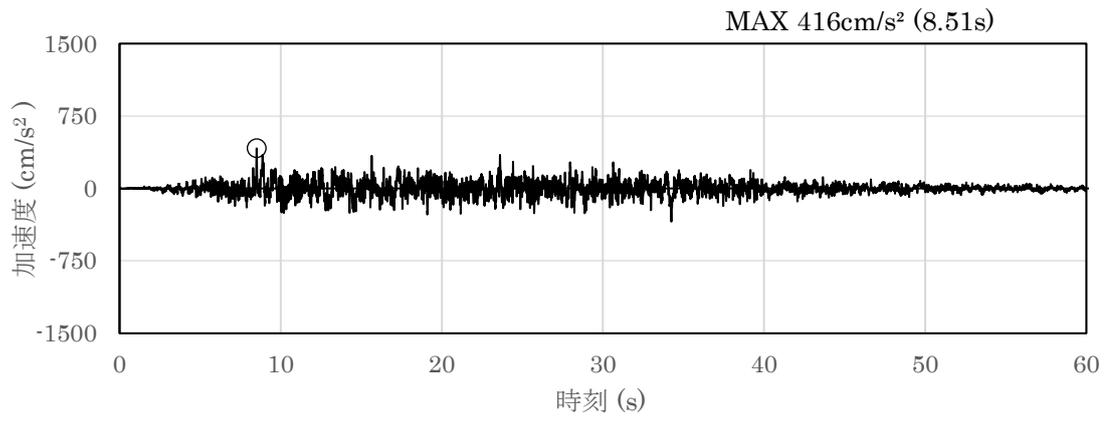


(a) 加速度時刻歴波形

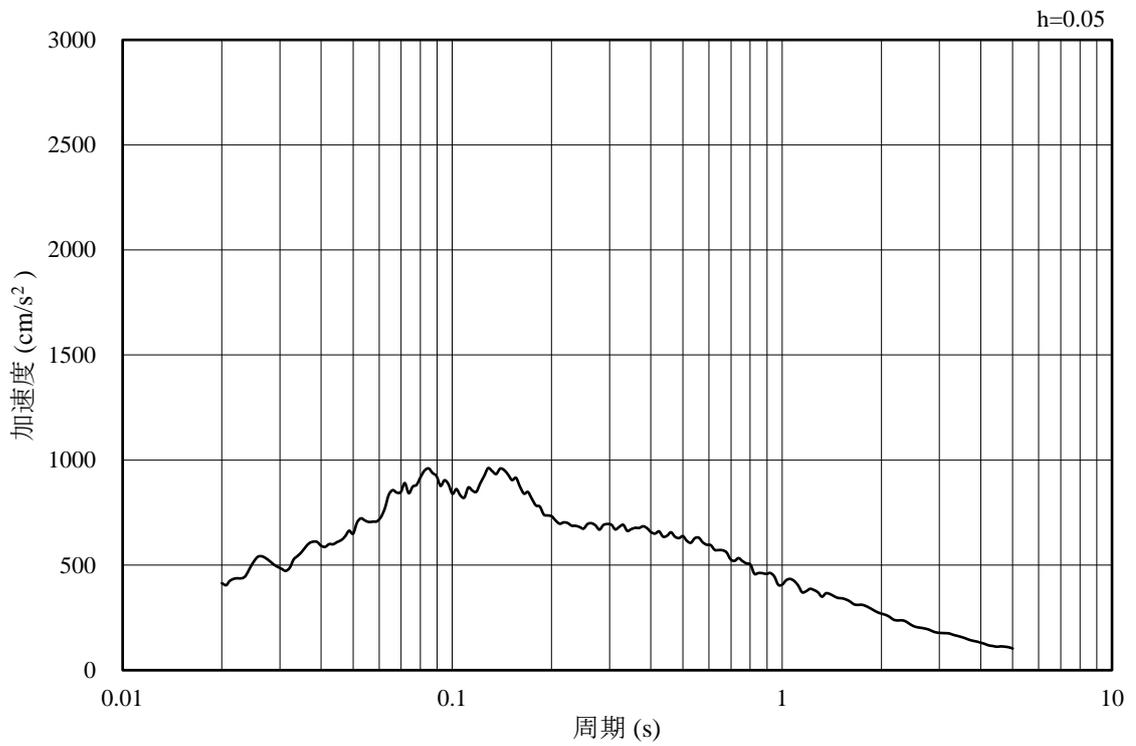


(b) 加速度応答スペクトル

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)

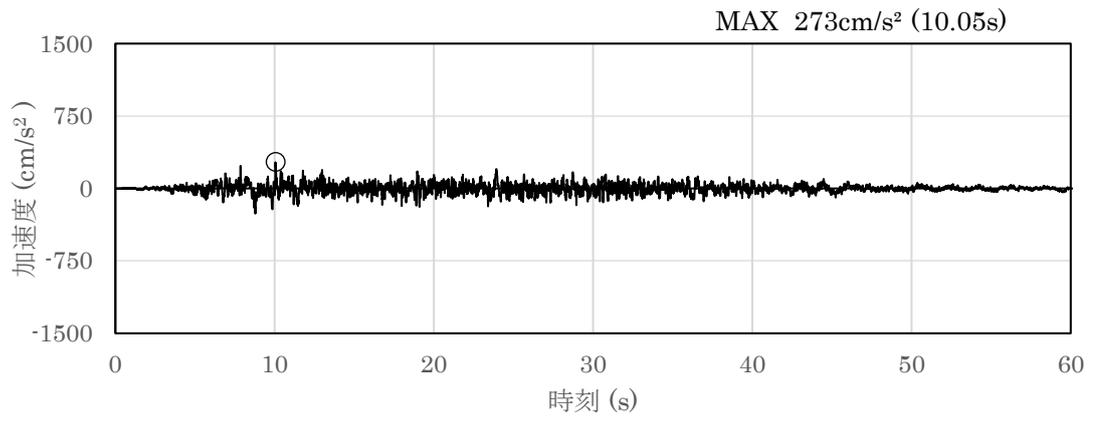


(a) 加速度時刻歴波形

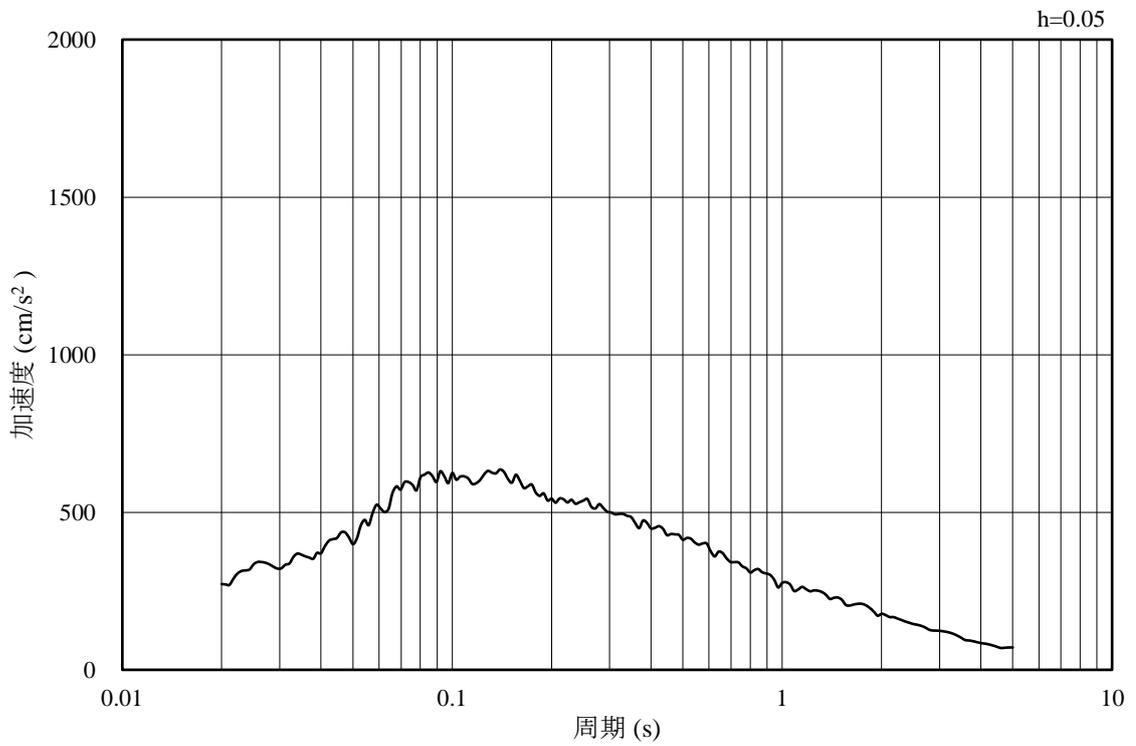


(b) 加速度応答スペクトル

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 d - D)

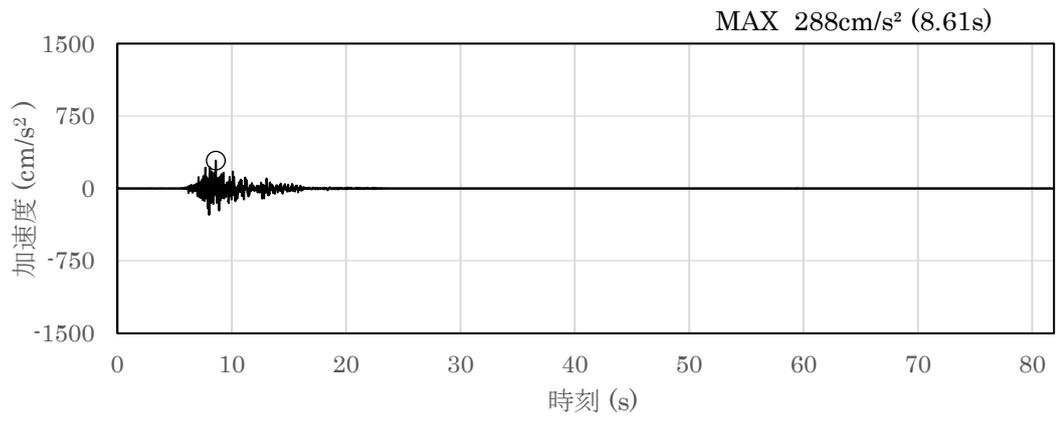


(a) 加速度時刻歴波形

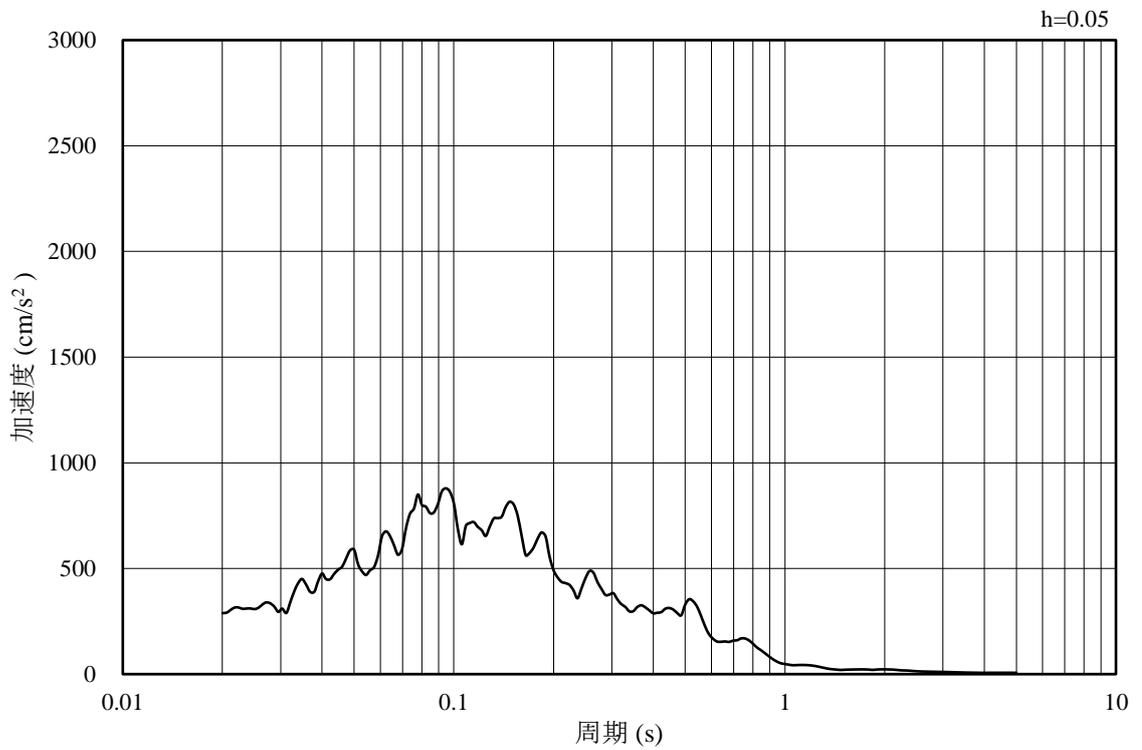


(b) 加速度応答スペクトル

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 d - D)

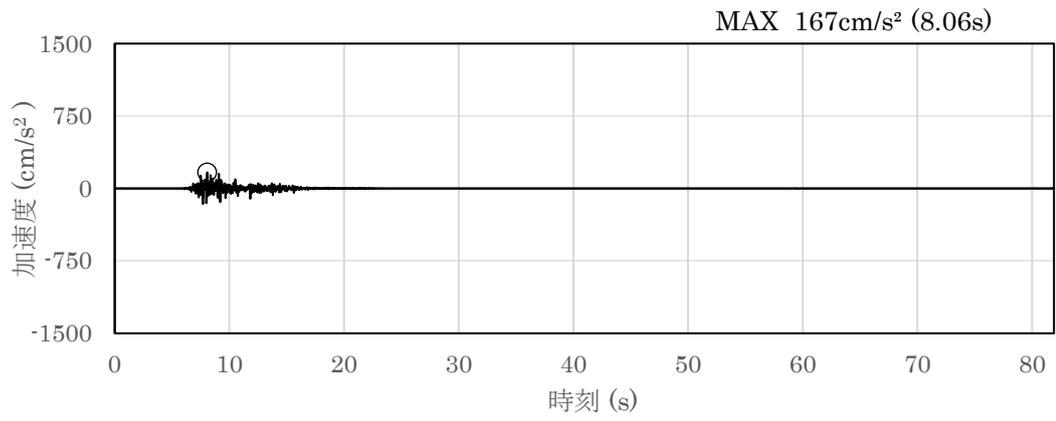


(a) 加速度時刻歴波形

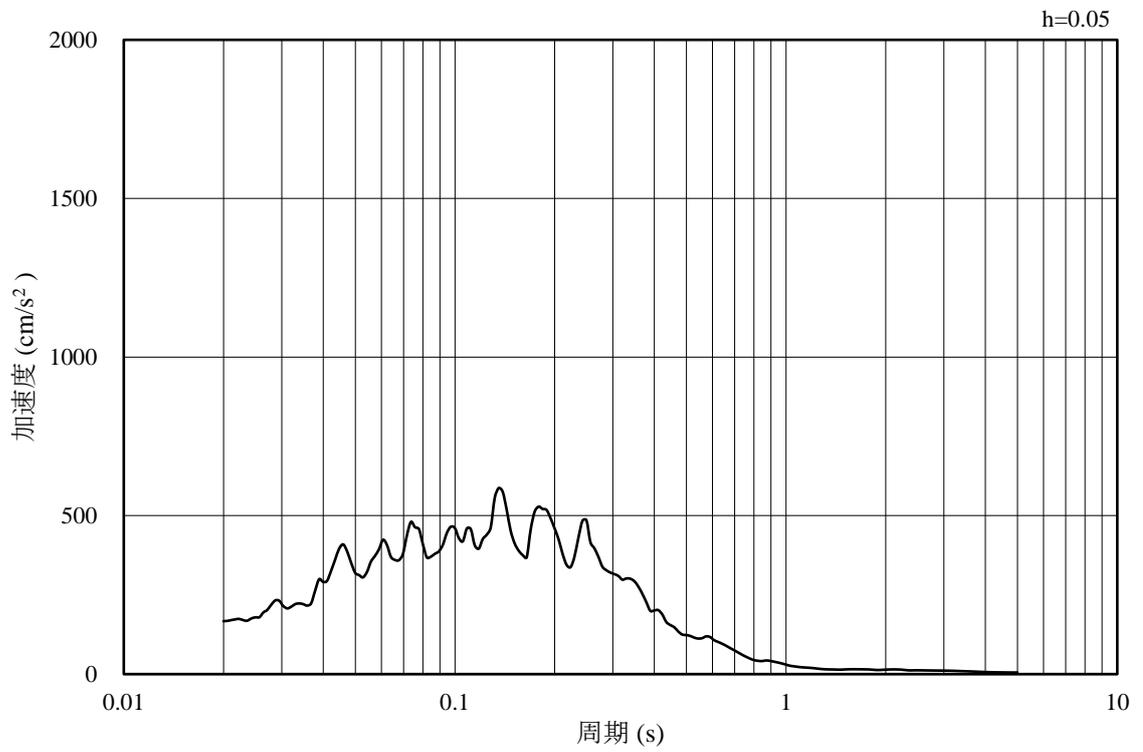


(b) 加速度応答スペクトル

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 d - F 1, N S 方向)

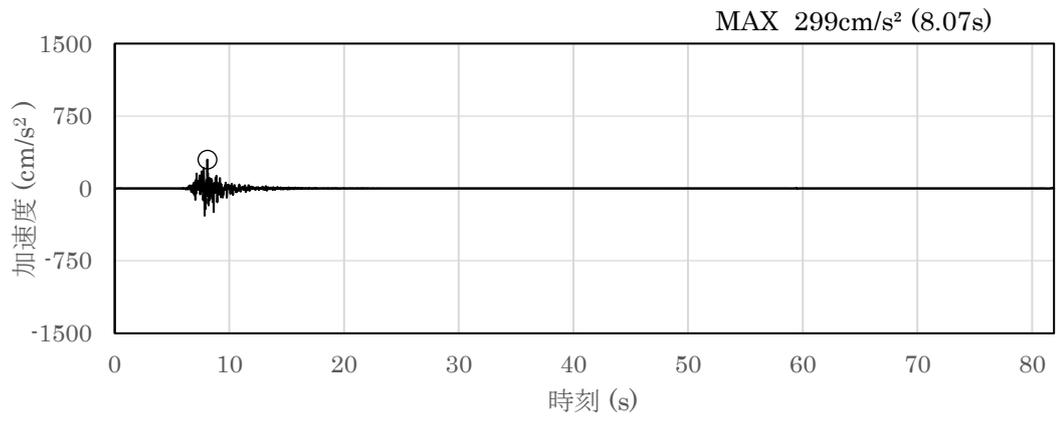


(a) 加速度時刻歴波形

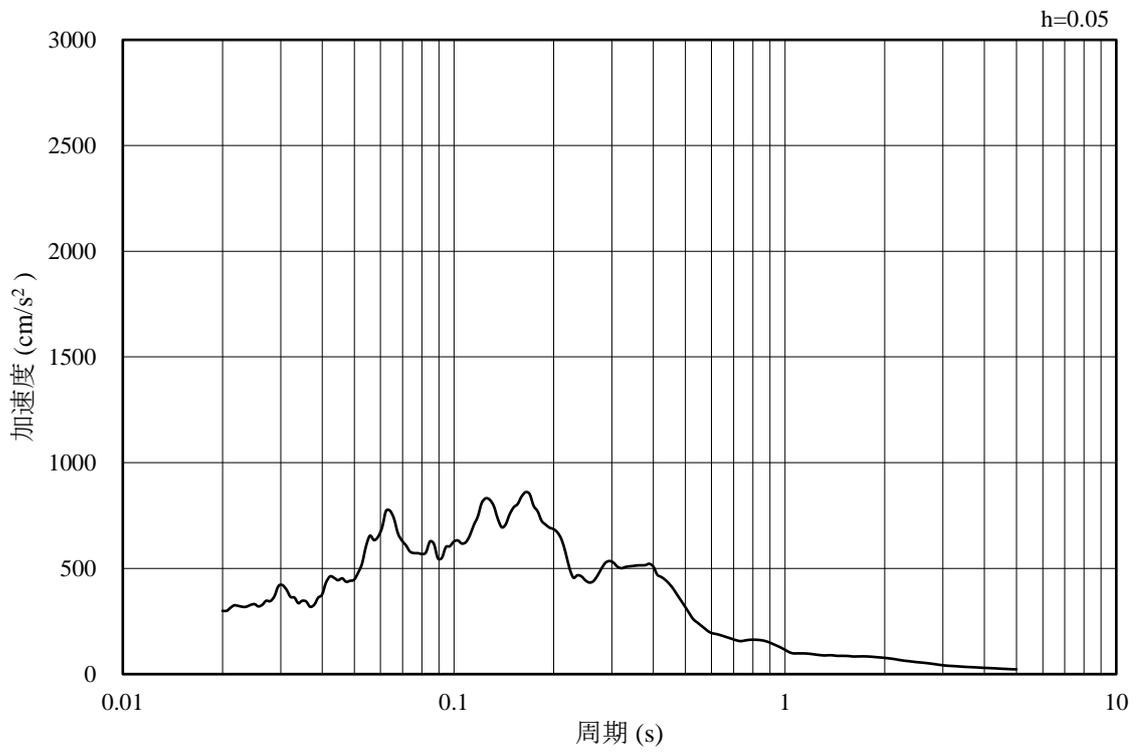


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-27 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 d - F 1, N S 方向)

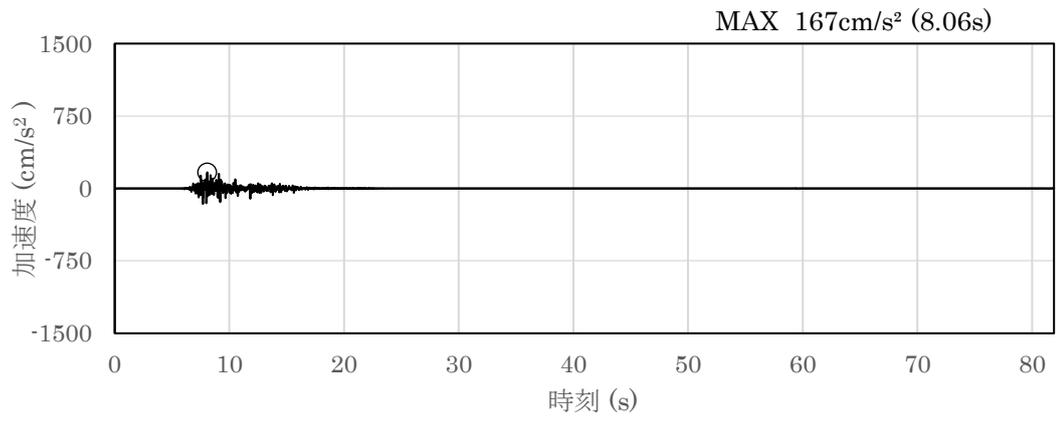


(a) 加速度時刻歴波形

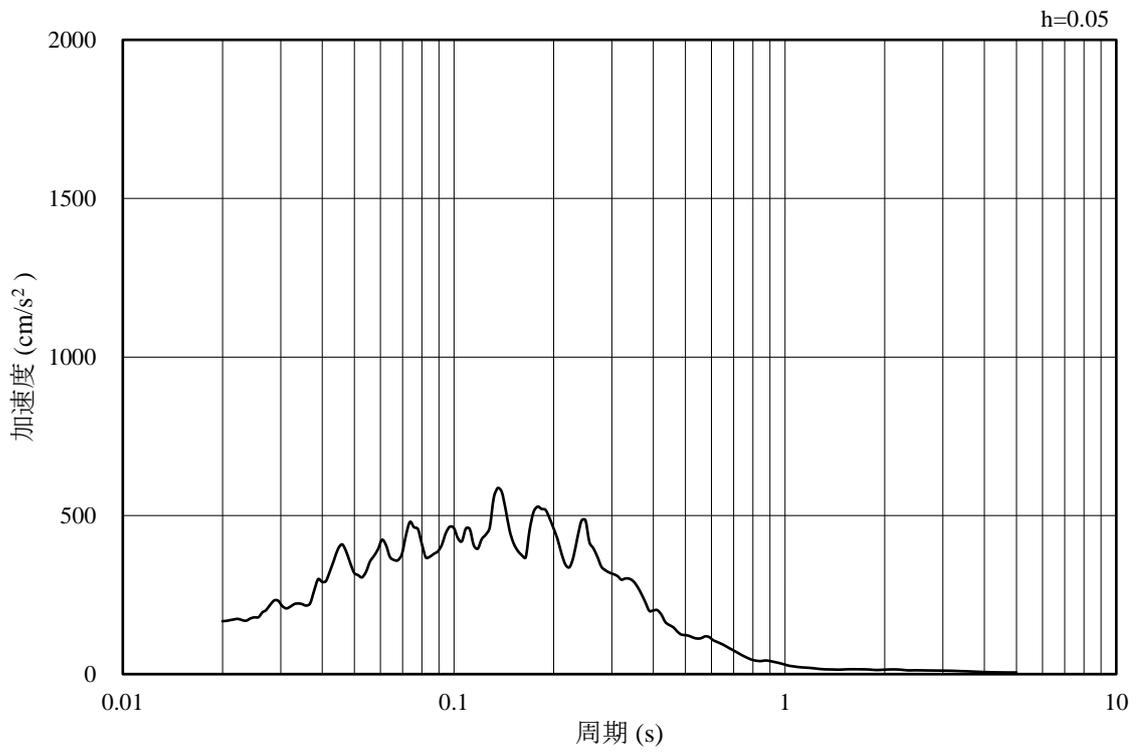


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 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 d - F 1, E W方向)

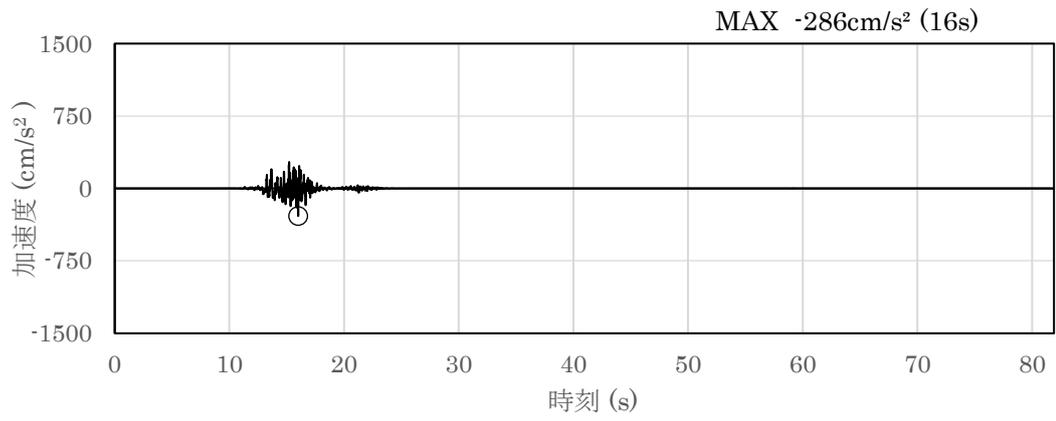


(a) 加速度時刻歴波形

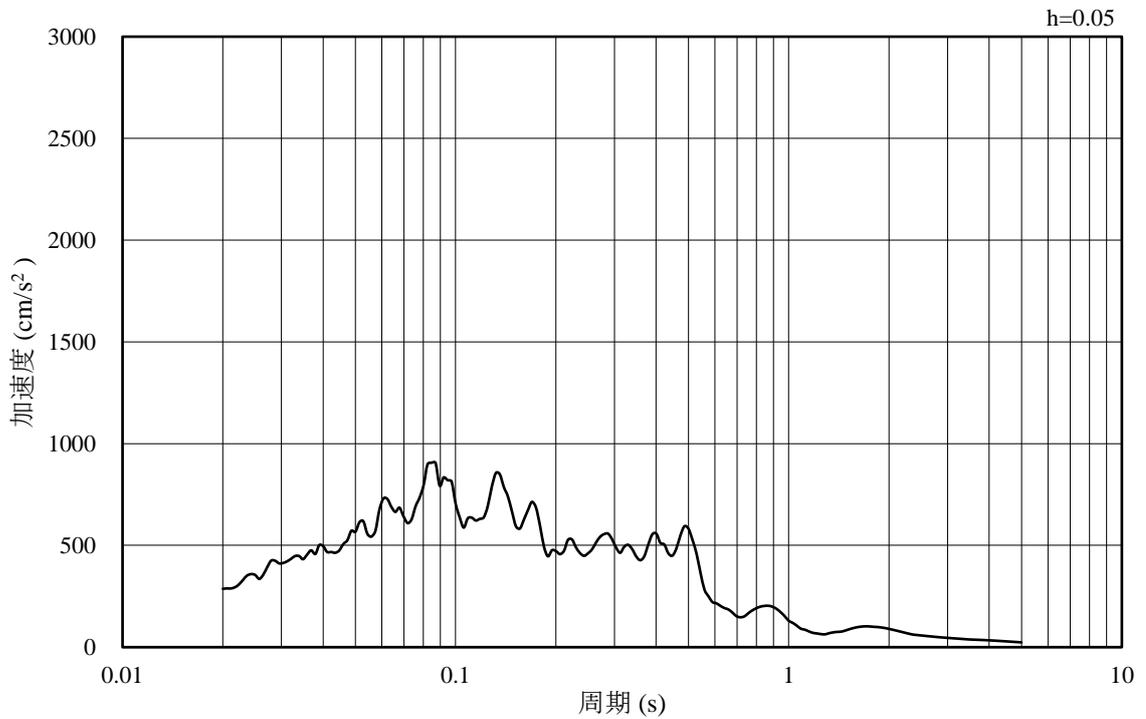


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-29 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 d - F 1, E W方向)

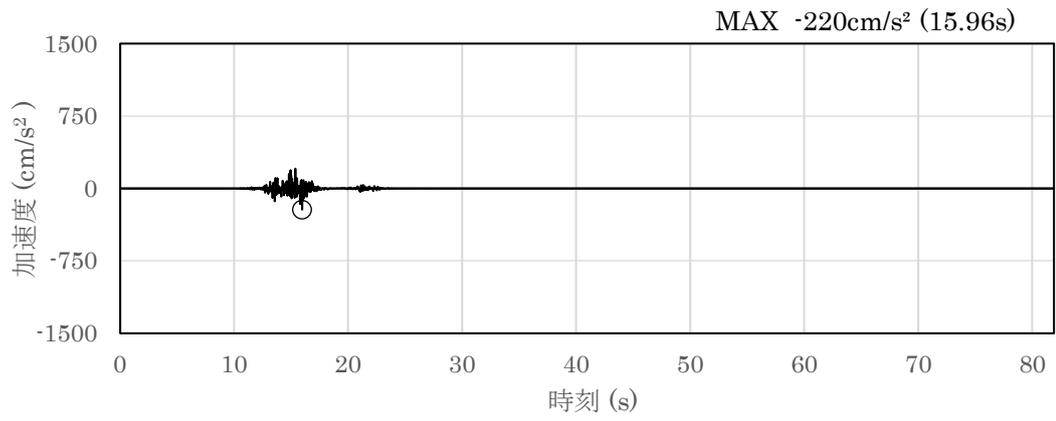


(a) 加速度時刻歴波形

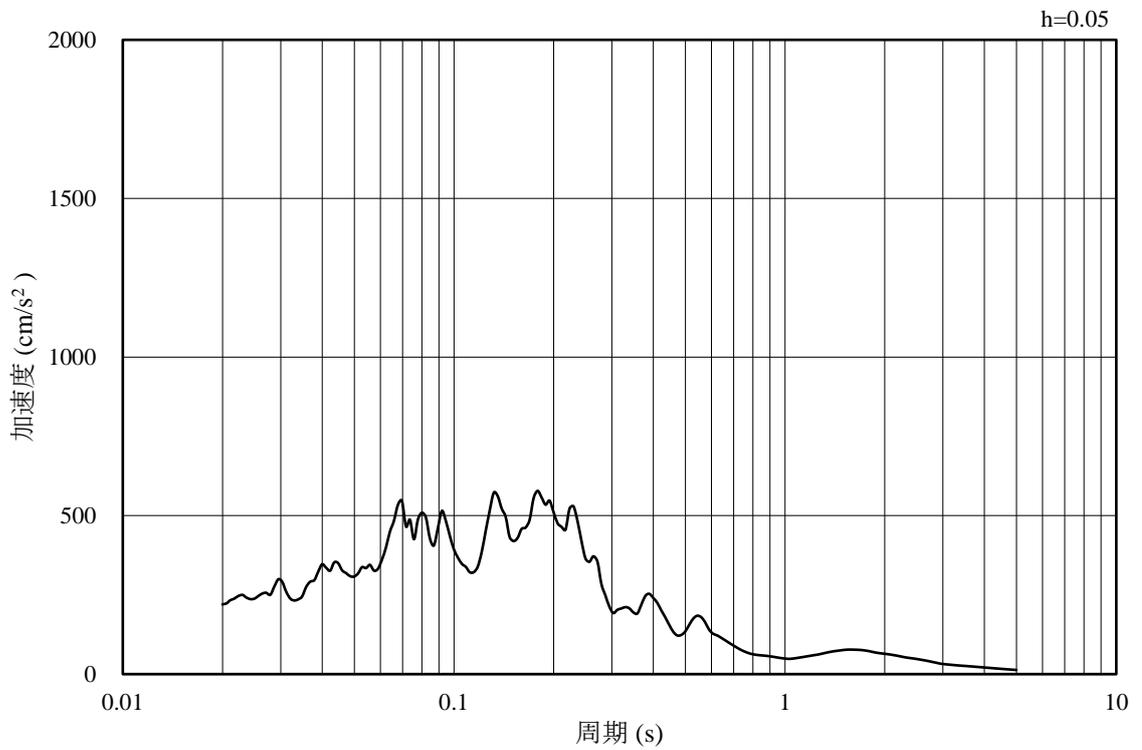


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-30 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 d - F 2, N S 方向)

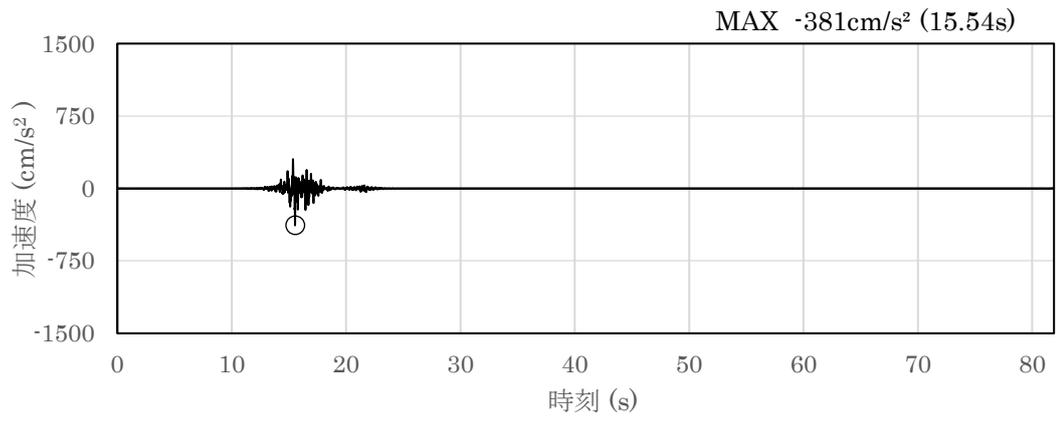


(a) 加速度時刻歴波形

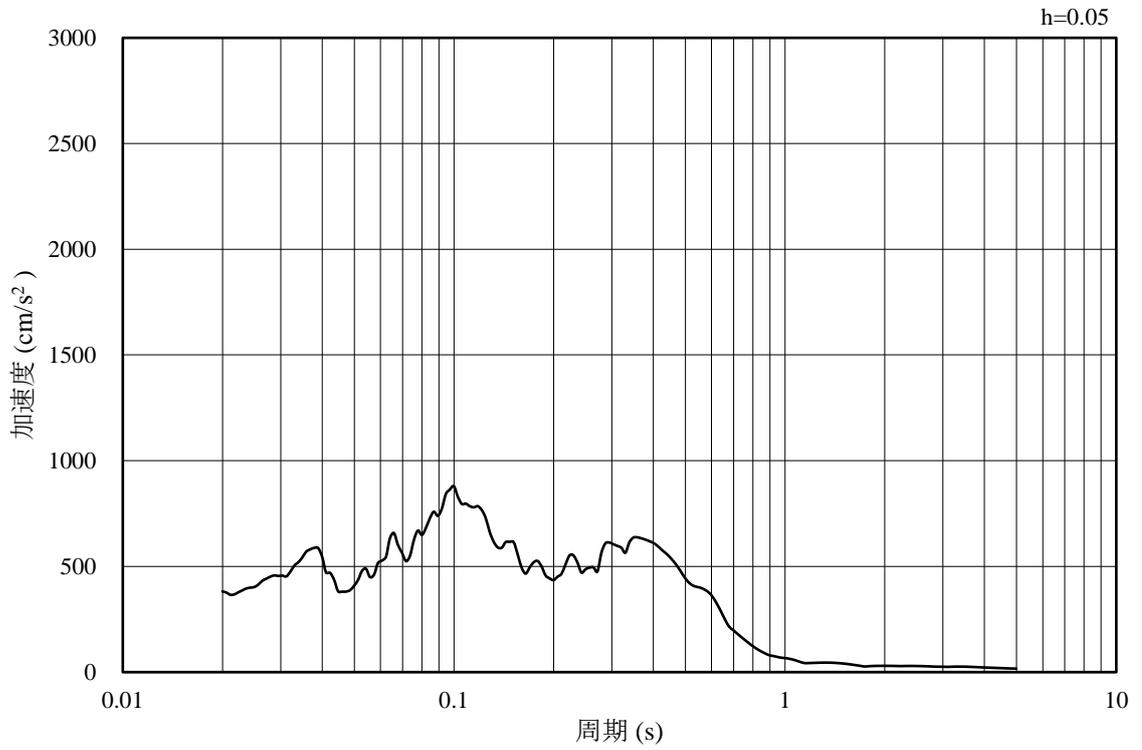


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-31 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 d - F 2, N S 方向)

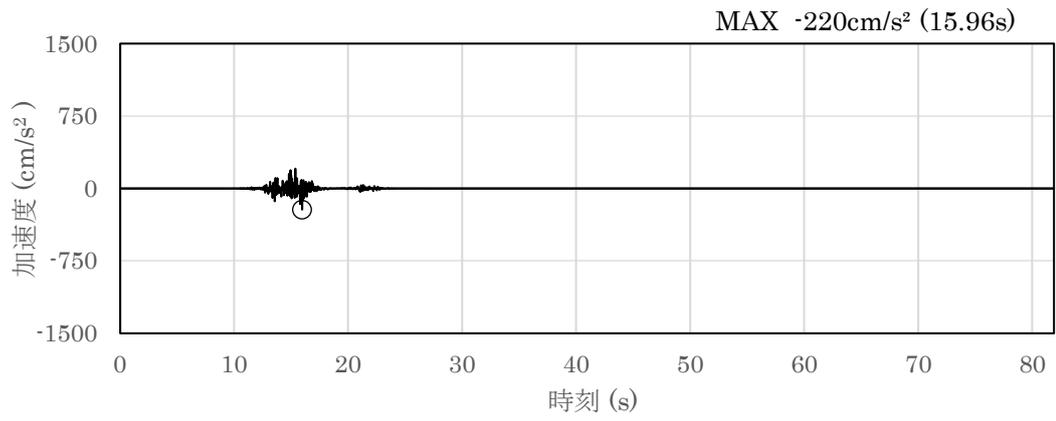


(a) 加速度時刻歴波形

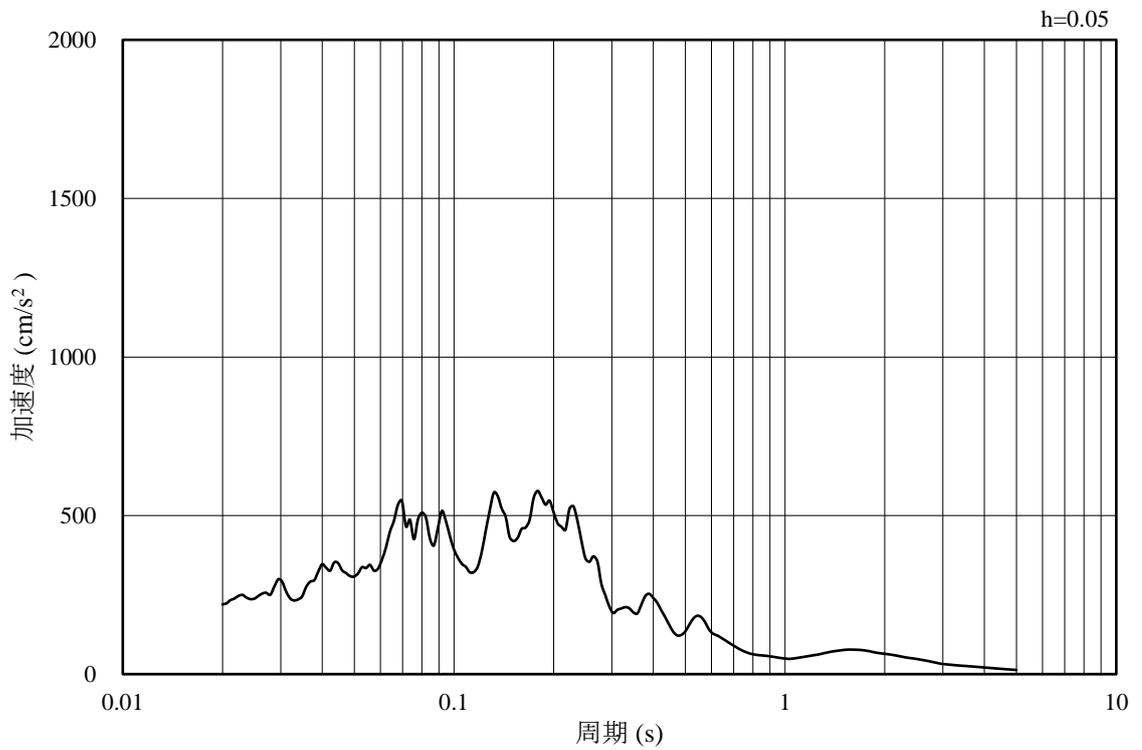


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-32 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 d - F 2, E W方向)

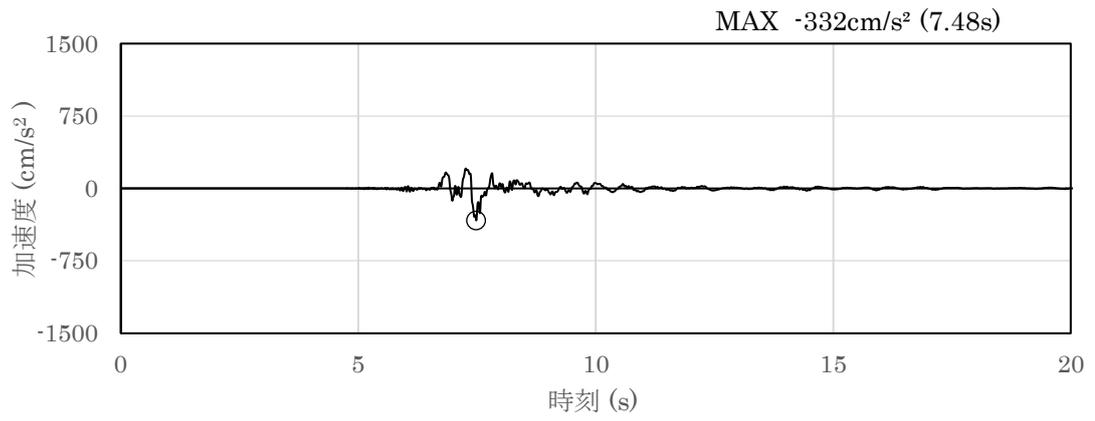


(a) 加速度時刻歴波形

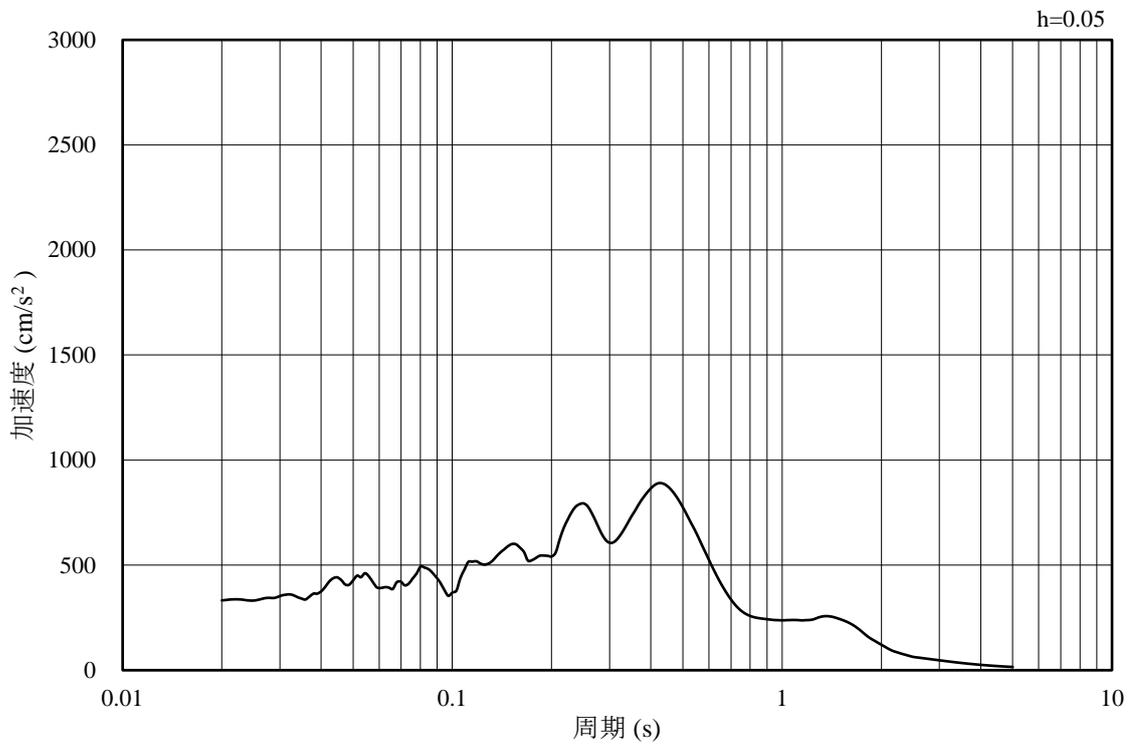


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-33 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 d - F 2, E W方向)

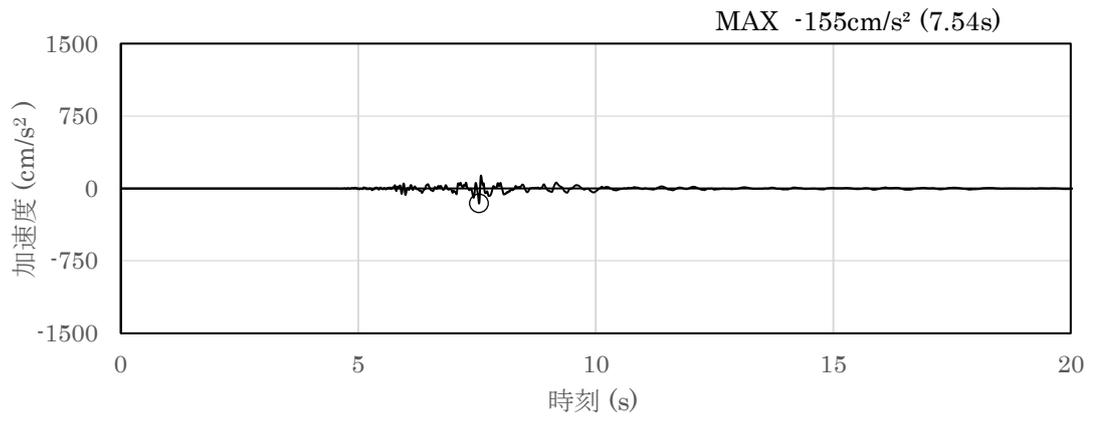


(a) 加速度時刻歴波形

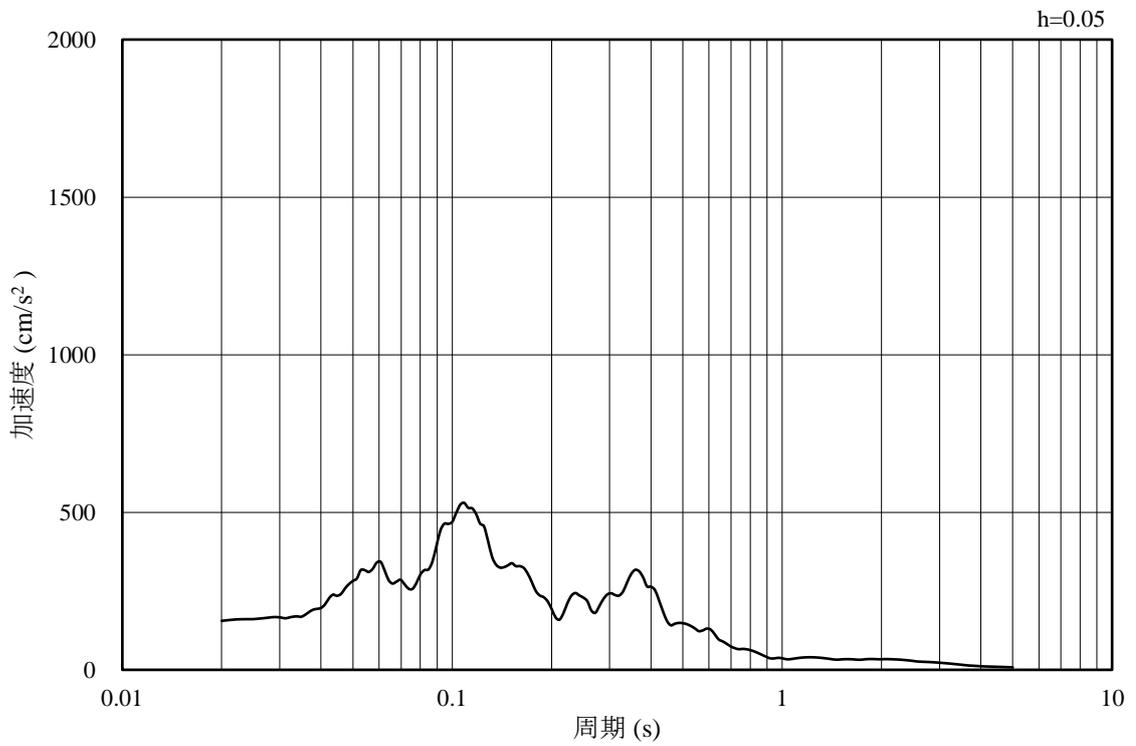


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-34 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 - N 1)

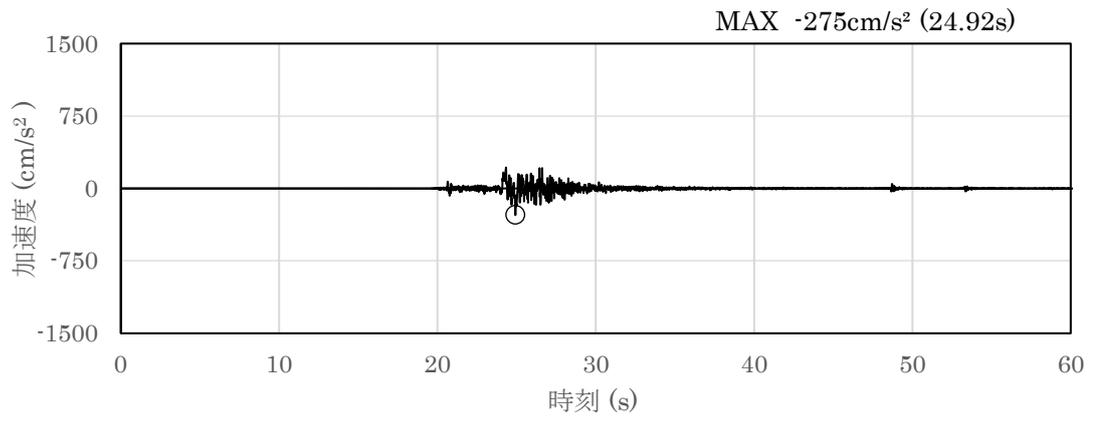


(a) 加速度時刻歴波形

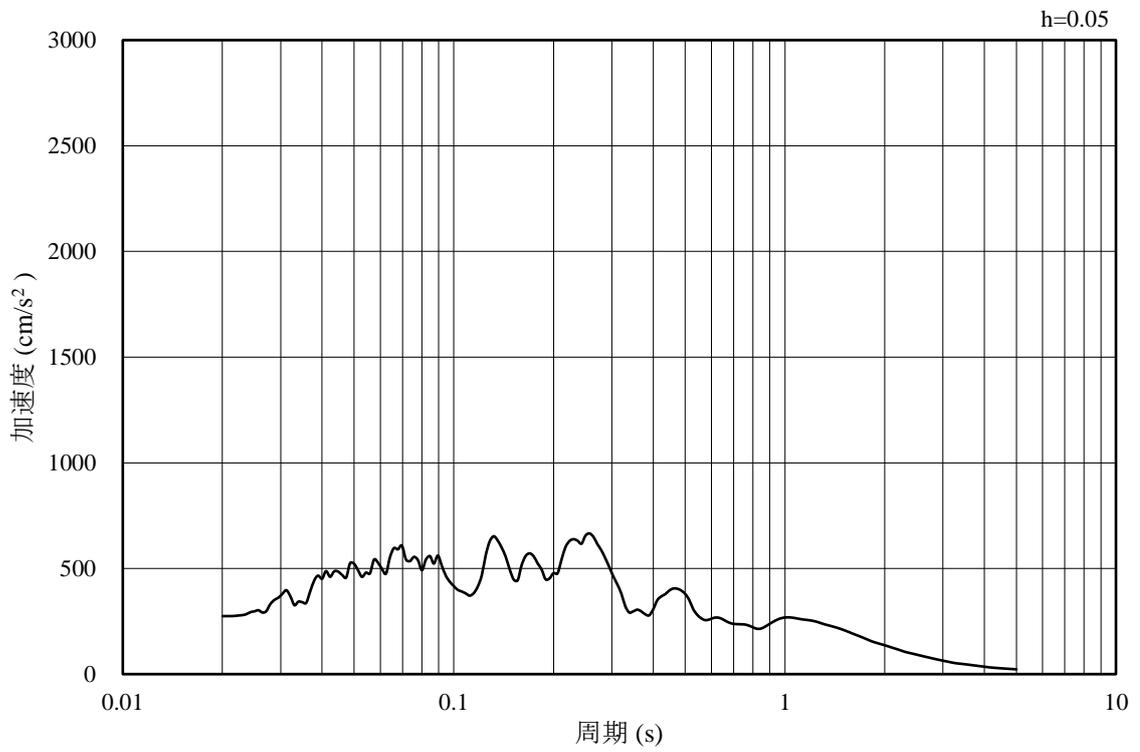


(b) 加速度応答スペクトル

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 - N 1)

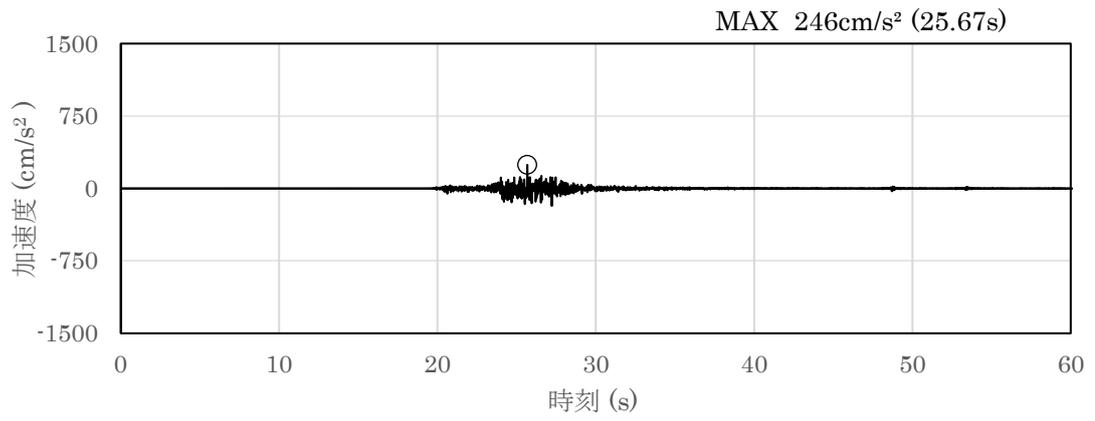


(a) 加速度時刻歴波形

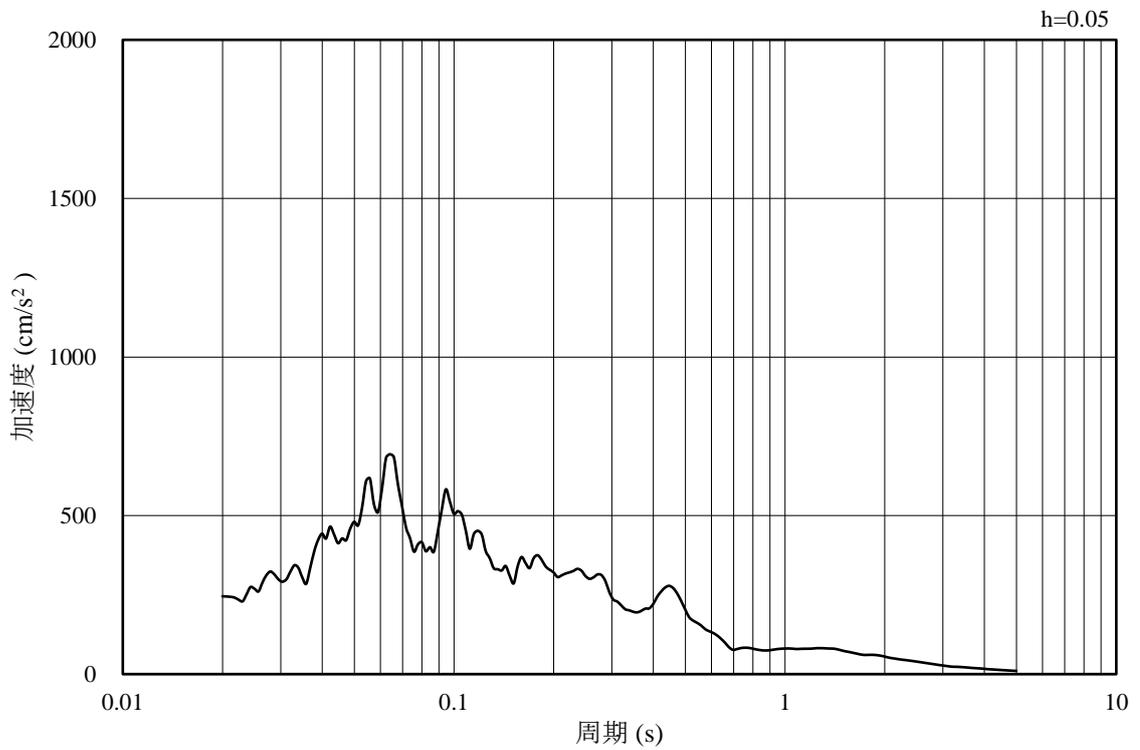


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-36 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 - N 2, N S 方向)

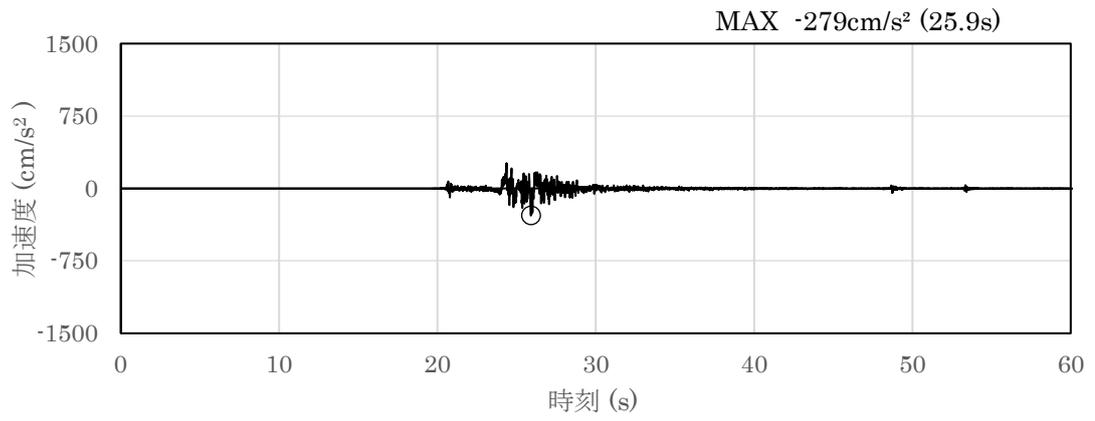


(a) 加速度時刻歴波形

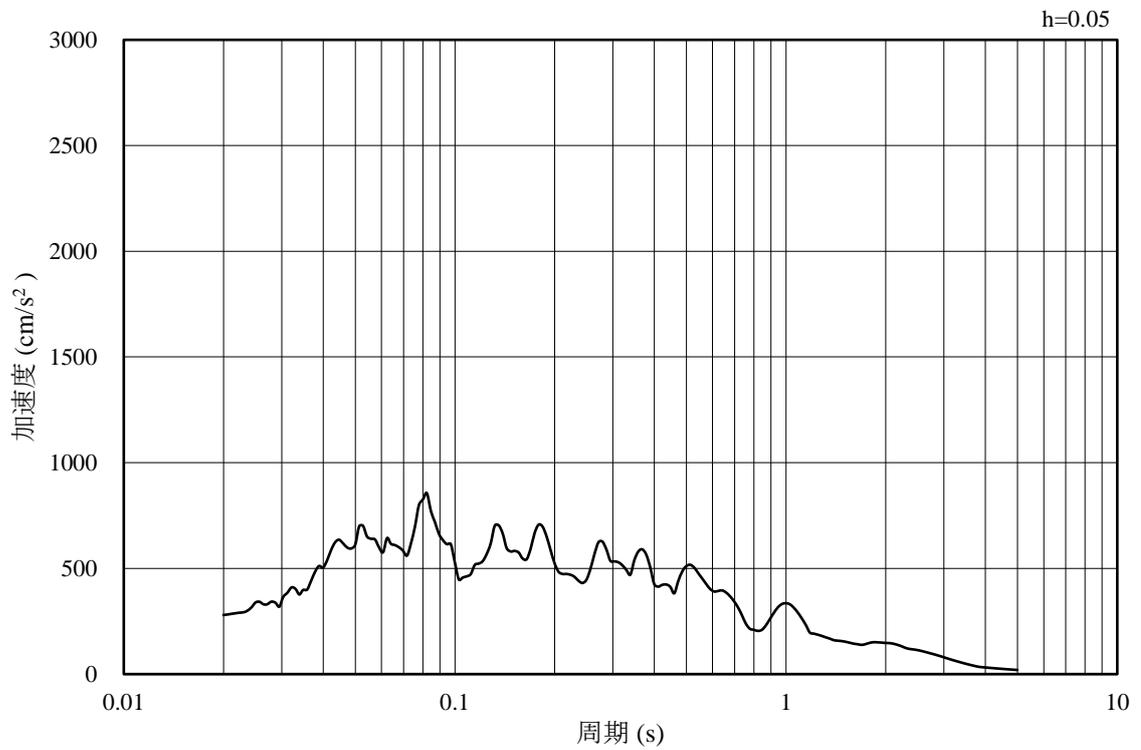


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-37 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 - N 2, N S 方向)

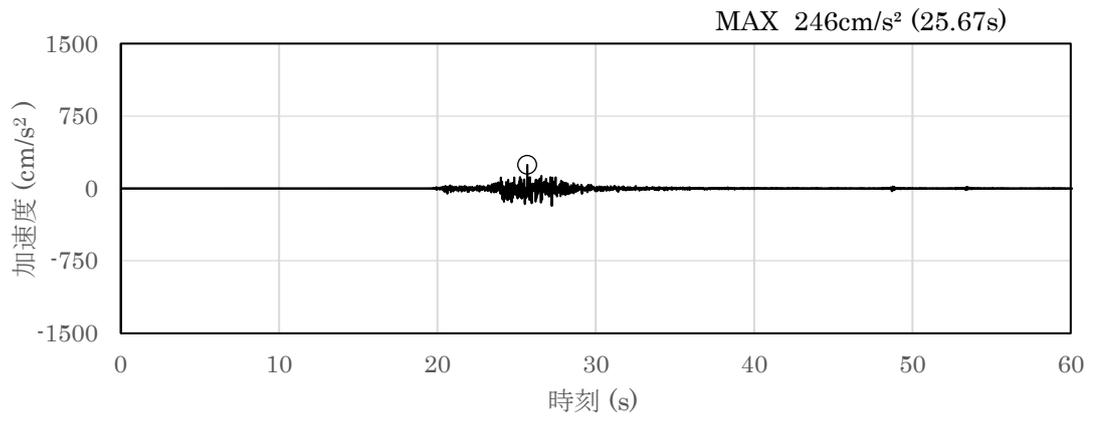


(a) 加速度時刻歴波形

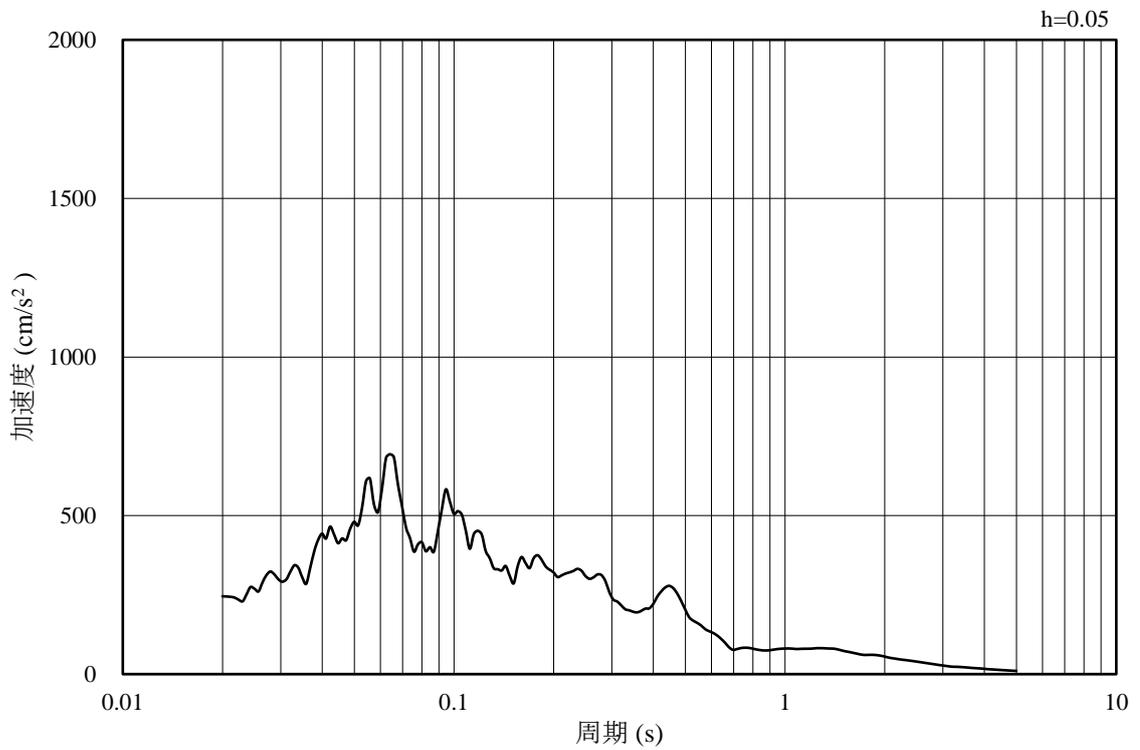


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-38 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 - N 2, E W方向)

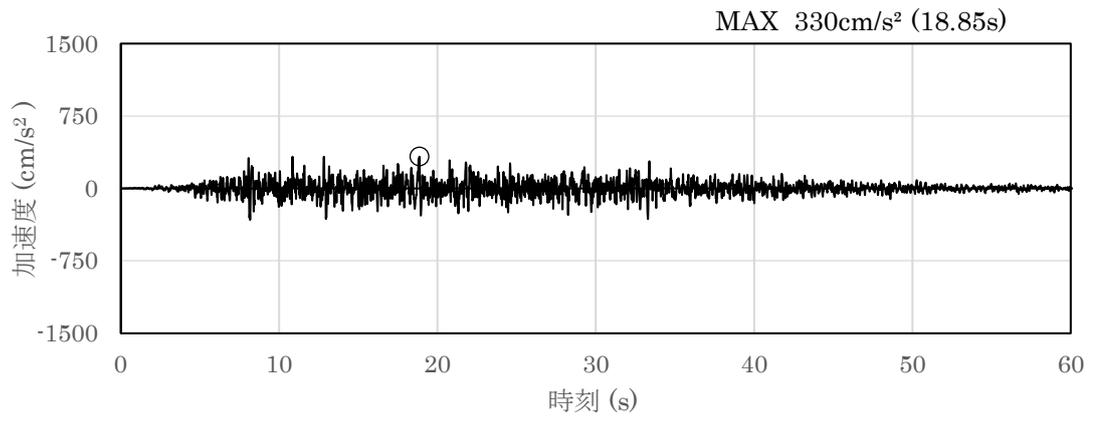


(a) 加速度時刻歴波形

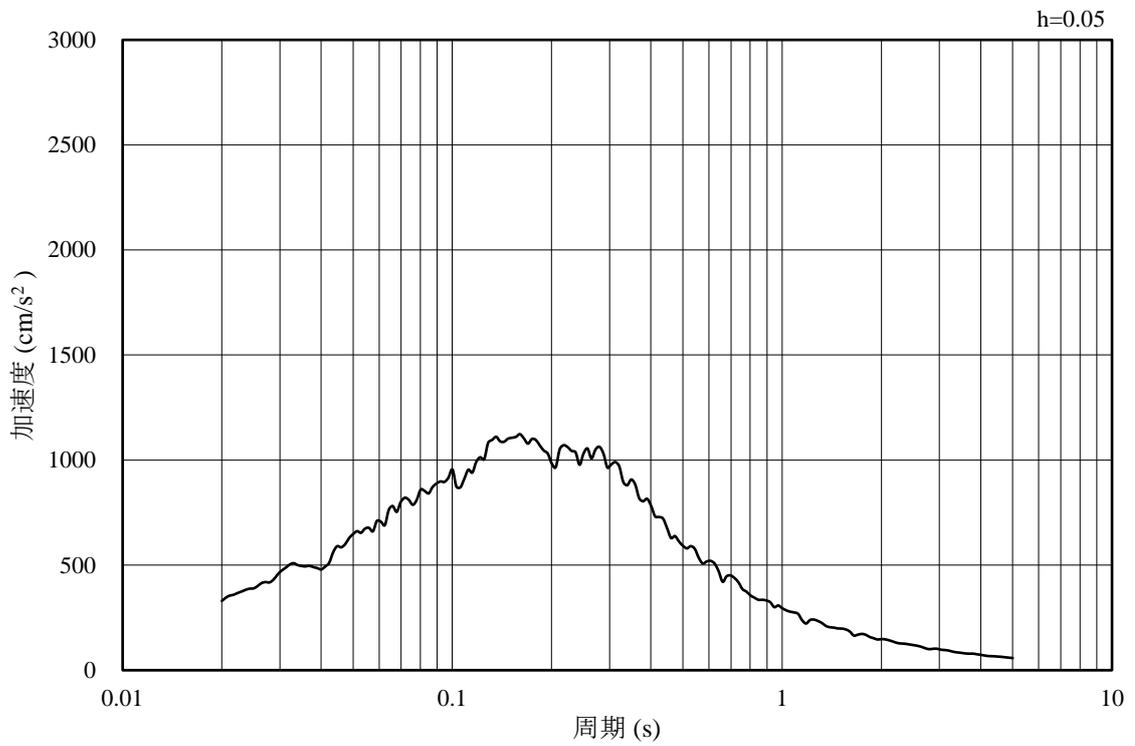


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-39 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 - N 2, E W方向)

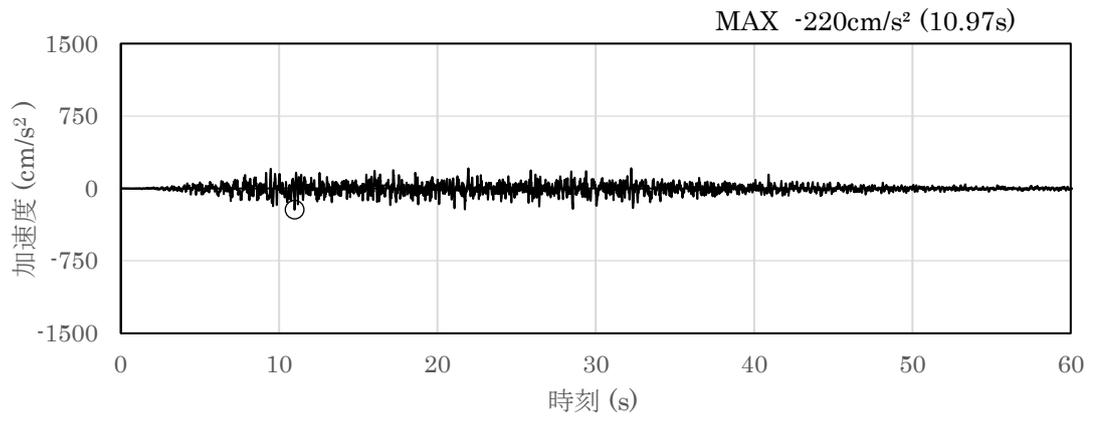


(a) 加速度時刻歴波形

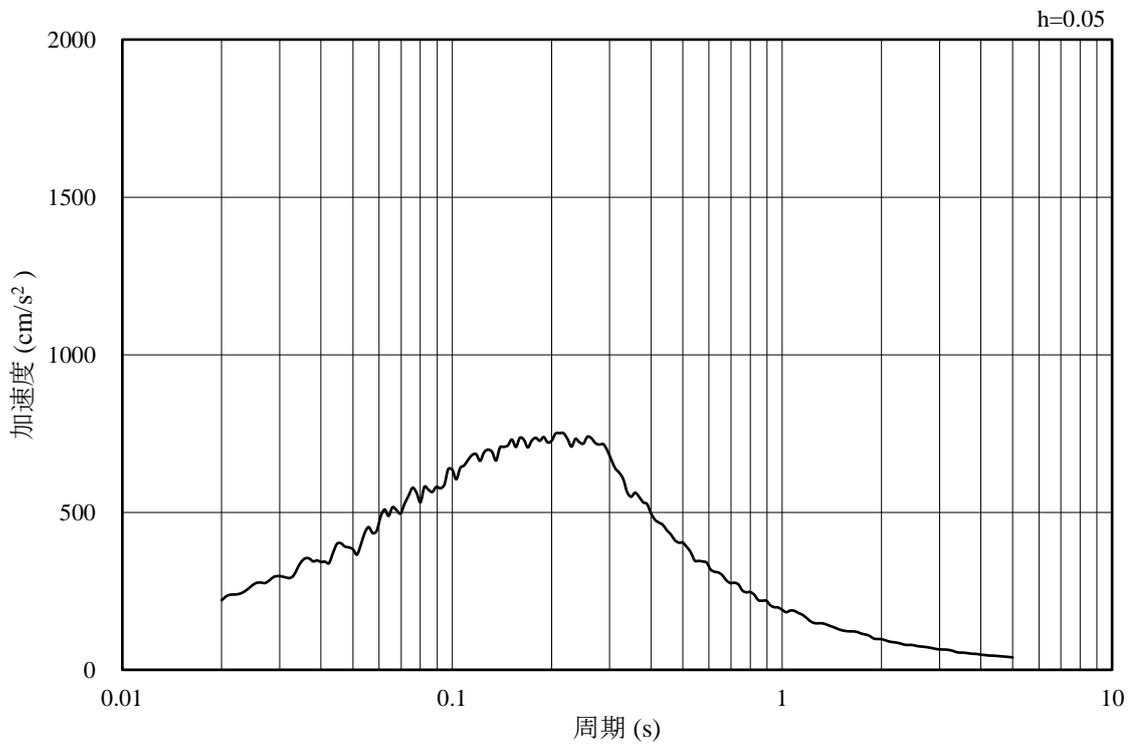


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-40 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 - 1)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-41 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 - 1)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の地震応答解析モデルを図3-42及び図3-43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。

なお、B-B断面（地中部）における鉄筋コンクリート部材は、非線形のはり要素及び平面応力要素でモデル化する。

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) 隣接構造物のモデル化

A-A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、埋戻土としてモデル化する。

(6) 埋戻コンクリートとMMRのモデル化

埋戻コンクリートと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。

(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」、「地盤とMMR」及び「地盤と埋戻コンクリート」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。

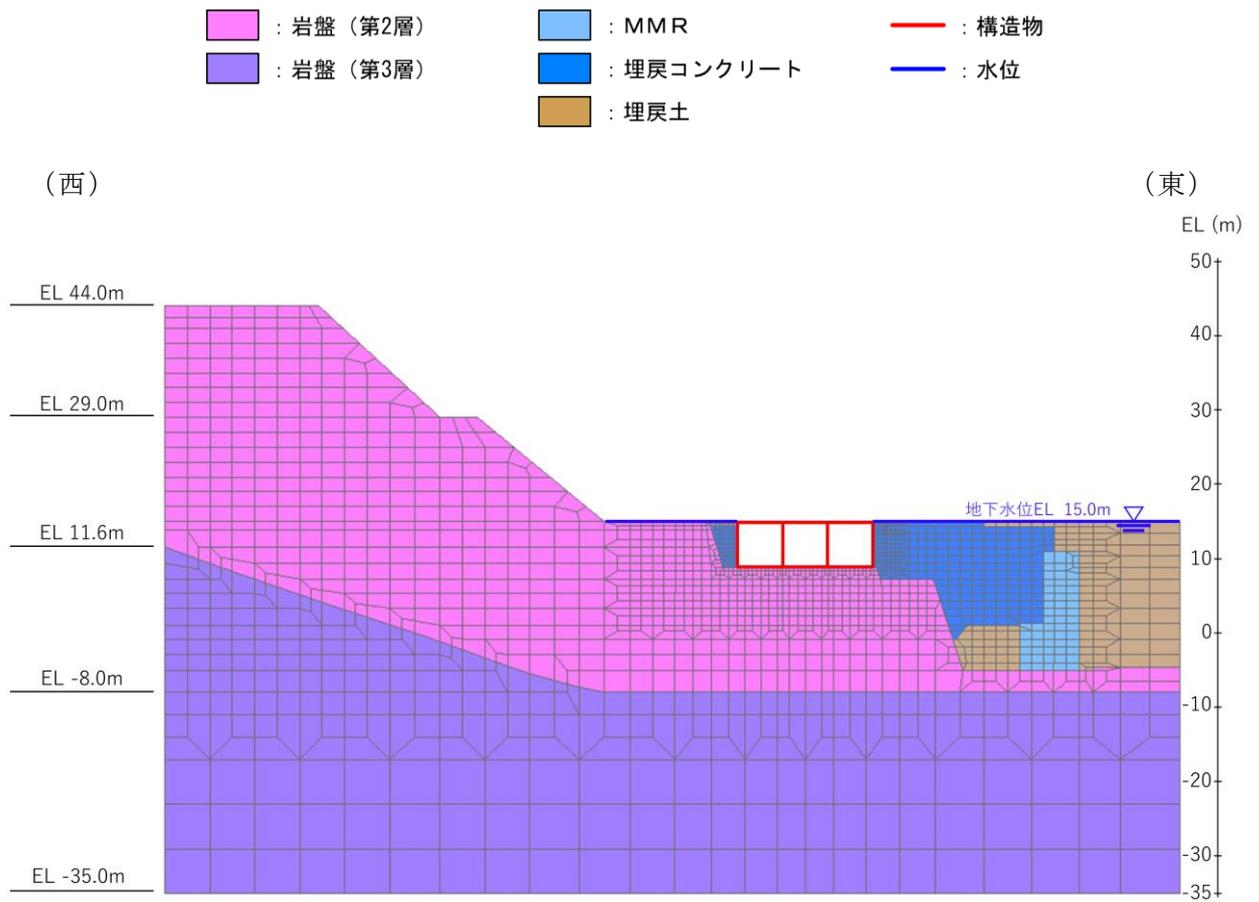


図 3-42 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽
地震応答解析モデル図 (A-A断面)

- : 岩盤 (第2層)
- : 埋戻コンクリート
- : 構造物
- : 岩盤 (第3層)
- : 構造物 (面内壁)
- : 水位

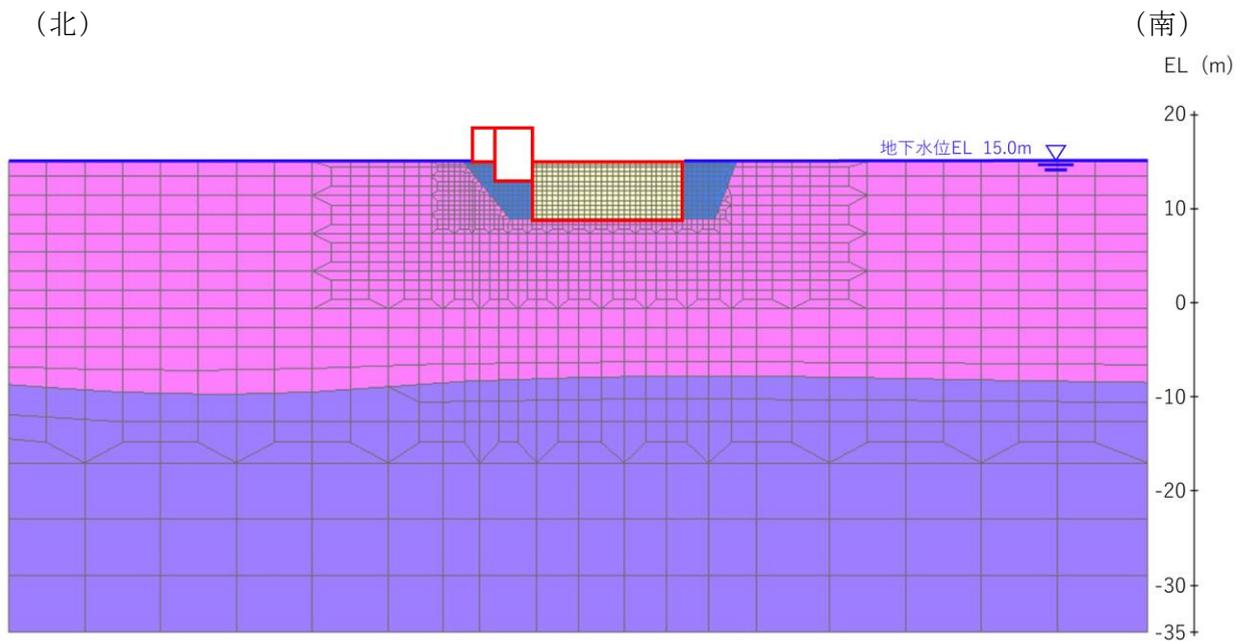


図 3-43 B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽
地震応答解析モデル図 (B-B断面)

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	設計基準強度 24.0N/mm ²
鉄筋	SD345
MMR	設計基準強度 15.6N/mm ²
埋戻コンクリート	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	2.08×10 ⁴	22.6* ²	
埋戻コンクリート	2.20×10 ⁴		

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」に基づき設定する。設計地下水位の一覧を表 3-8 に示す。

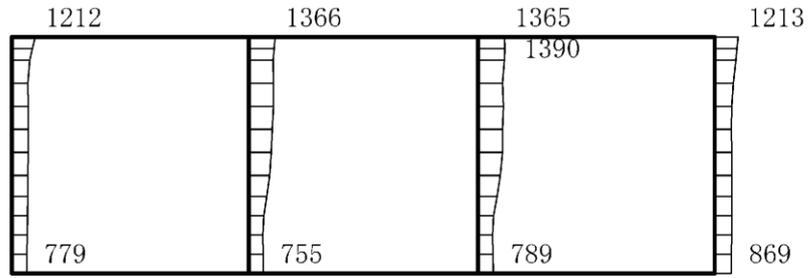
表 3-8 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク 格納槽	A-A断面	15.0
	B-B断面	

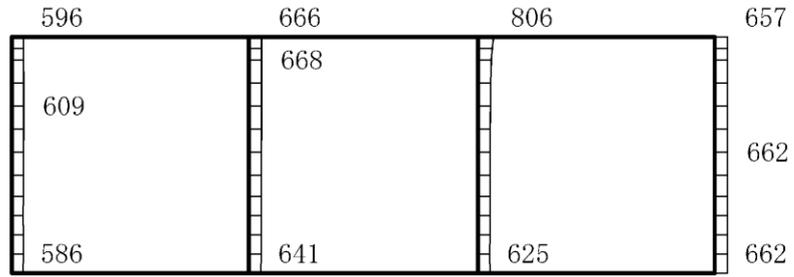
4. 解析結果

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。また、機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース②及び③の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 及び図 4-36 に示す。これらに加え、解析ケース①～③のすべての弾性設計用地震動 S_d に対する最大加速度分布図を図 4-37～図 4-84 に示す。



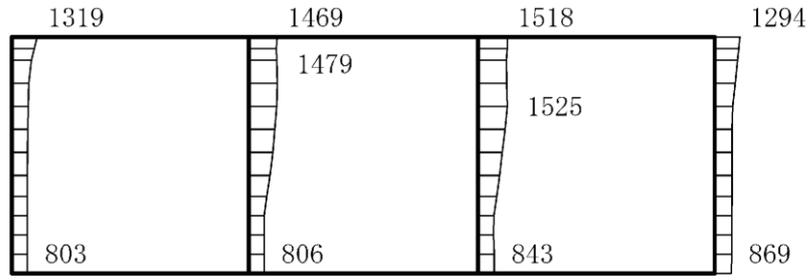
(a) S s - D (++) 水平



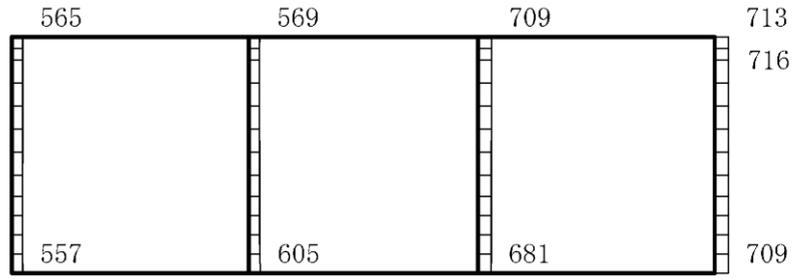
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-1 最大応答加速度分布図 (1/84) (解析ケース①)



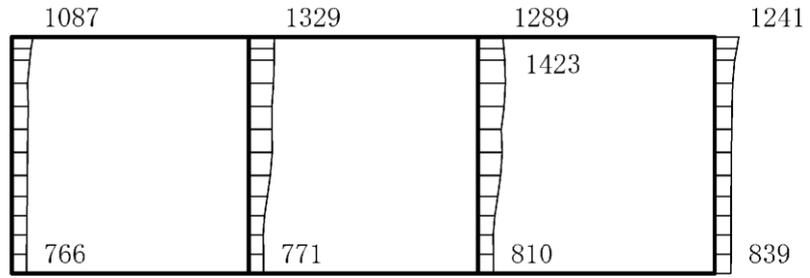
(a) S s - D (-+) 水平



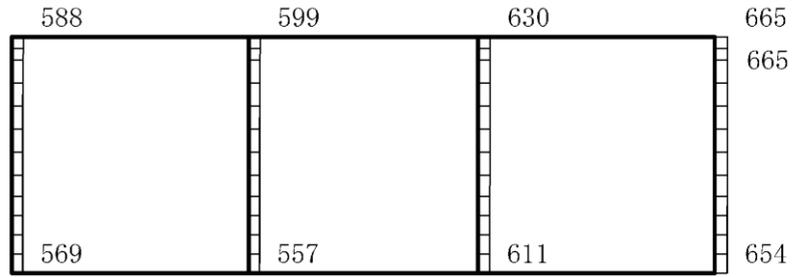
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-2 最大応答加速度分布図 (2/84) (解析ケース①)



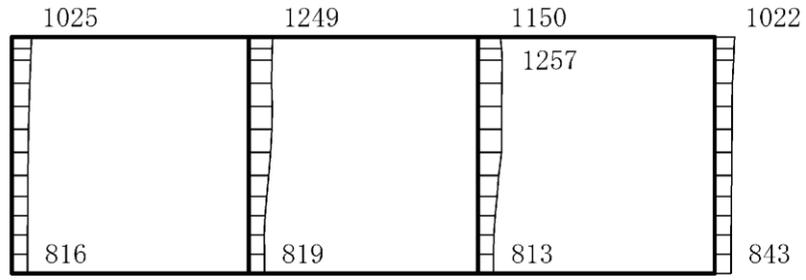
(a) S s - D (+ -) 水平



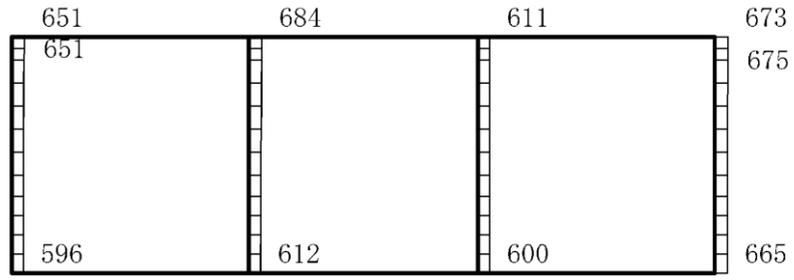
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-3 最大応答加速度分布図 (3/84) (解析ケース①)



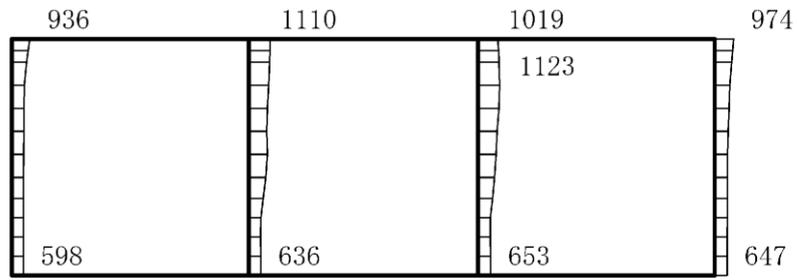
(a) S s - D (--) 水平



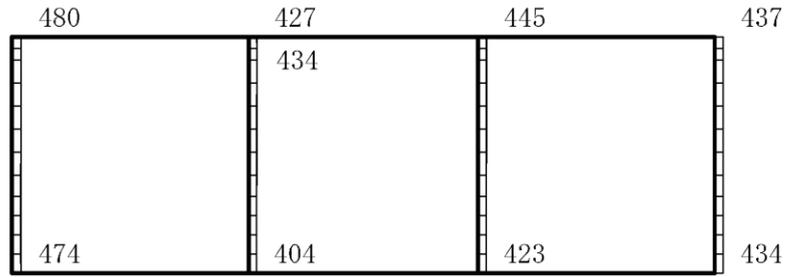
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-4 最大応答加速度分布図 (4/84) (解析ケース①)



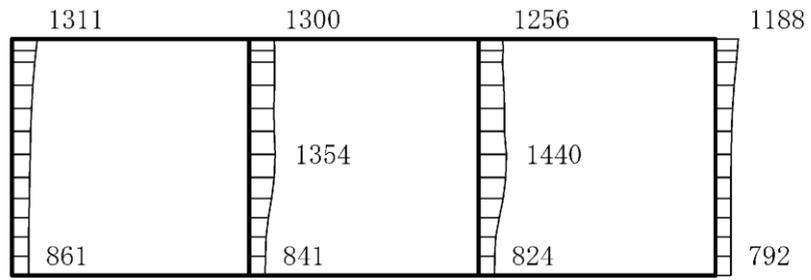
(a) S s - F 1 (E W) (++) 水平



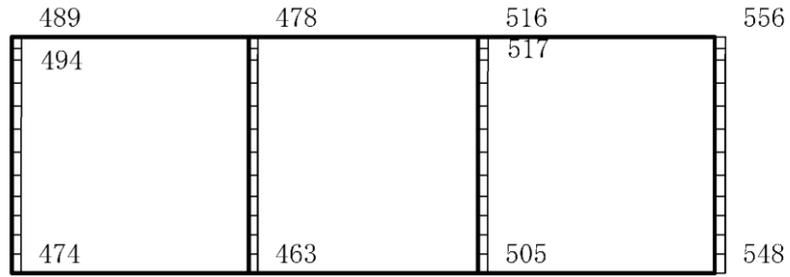
(b) S s - F 1 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-5 最大応答加速度分布図 (5/84) (解析ケース①)



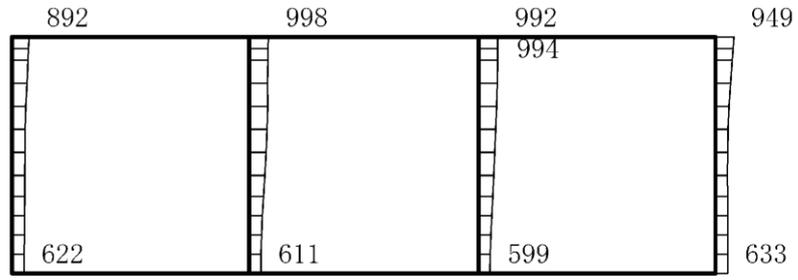
(a) $S_s - F_2$ (EW) (++) 水平



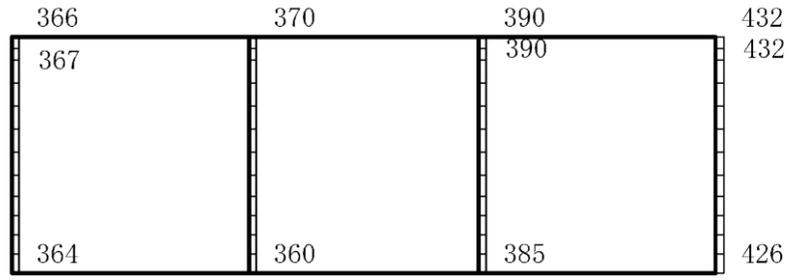
(b) $S_s - F_2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-6 最大応答加速度分布図 (6/84) (解析ケース①)



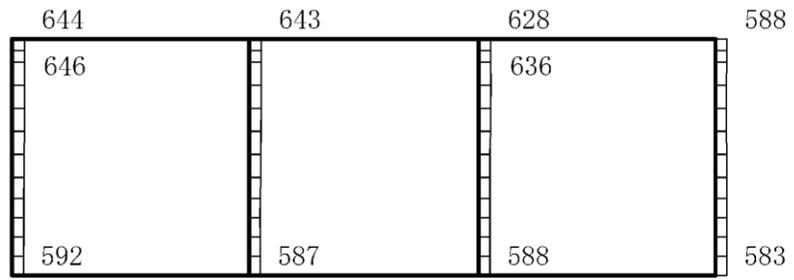
(a) S s - N 1 (++) 水平



(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-7 最大応答加速度分布図 (7/84) (解析ケース①)



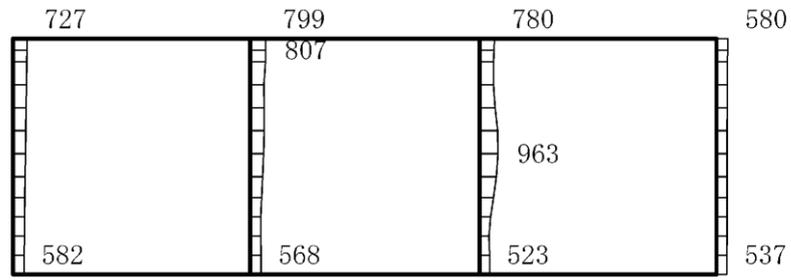
(a) S s - N 1 (- +) 水平



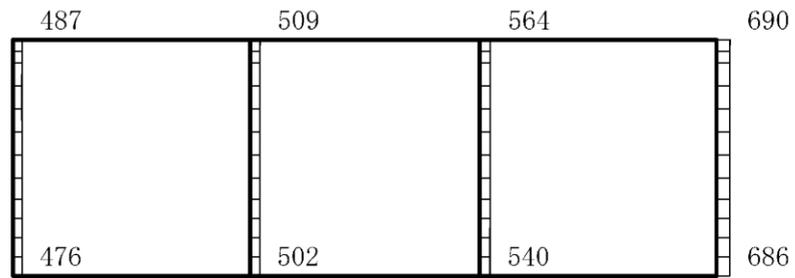
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-8 最大応答加速度分布図 (8/84) (解析ケース①)



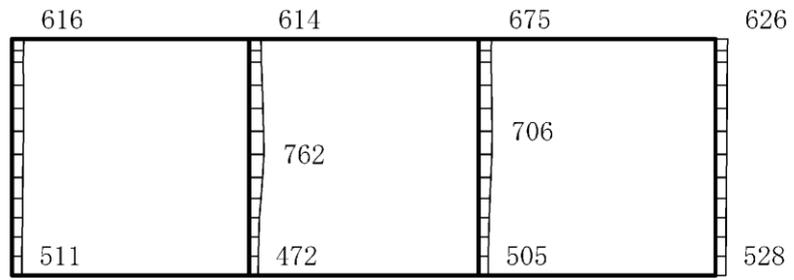
(a) $S_s - N2 (NS)$ (++) 水平



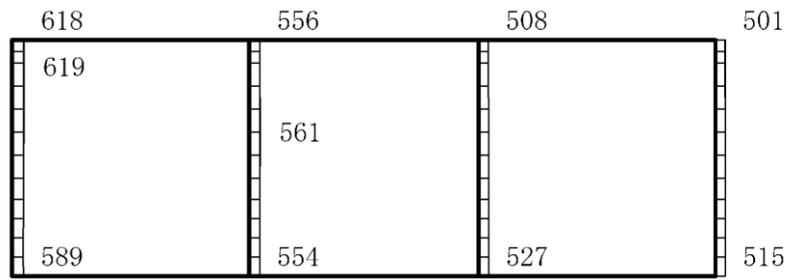
(b) $S_s - N2 (NS)$ (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-9 最大応答加速度分布図 (9/84) (解析ケース①)



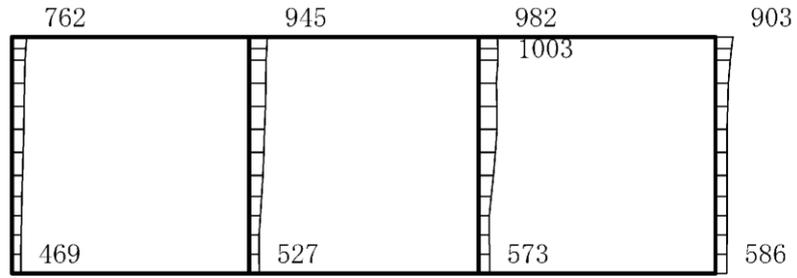
(a) $S_s - N2 (NS)$ (- +) 水平



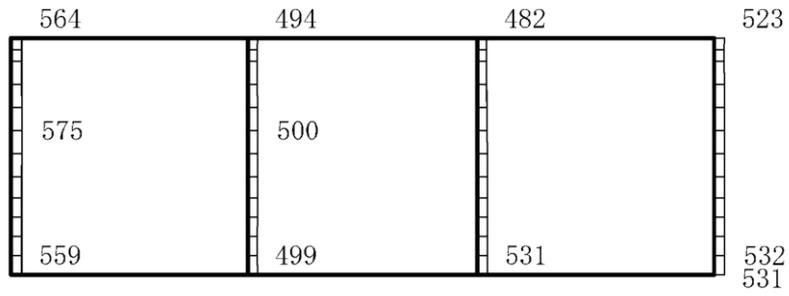
(b) $S_s - N2 (NS)$ (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-10 最大応答加速度分布図 (10/84) (解析ケース①)



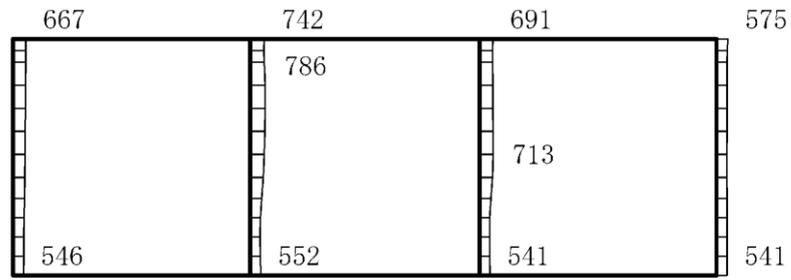
(a) $S_s - N2$ (EW) (++) 水平



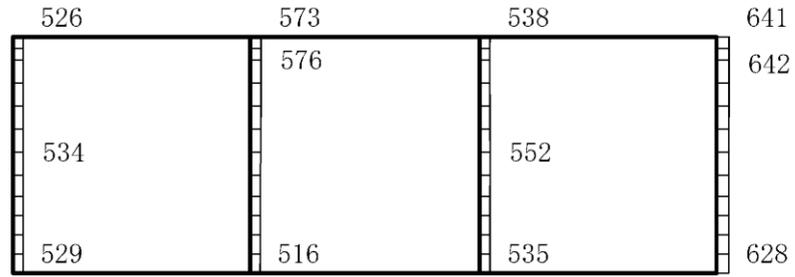
(b) $S_s - N2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-11 最大応答加速度分布図 (11/84) (解析ケース①)



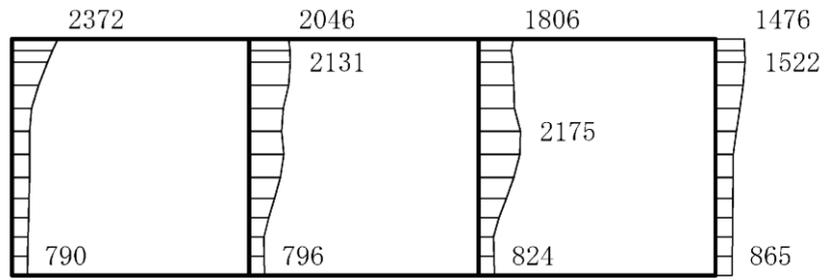
(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平



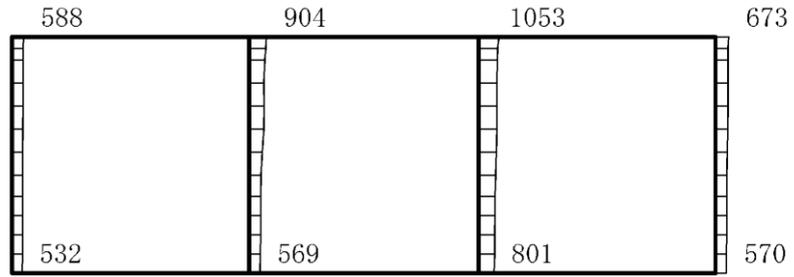
(b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-12 最大応答加速度分布図 (12/84) (解析ケース①)



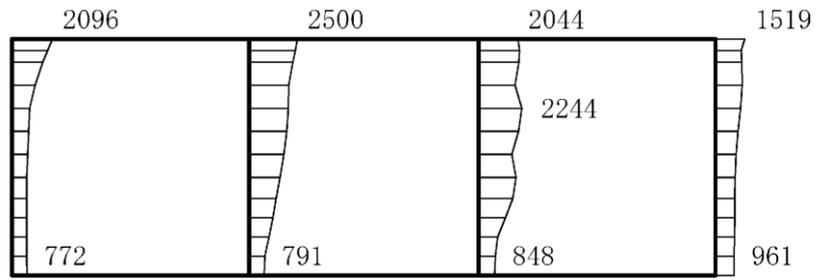
(a) S s - D (++) 水平



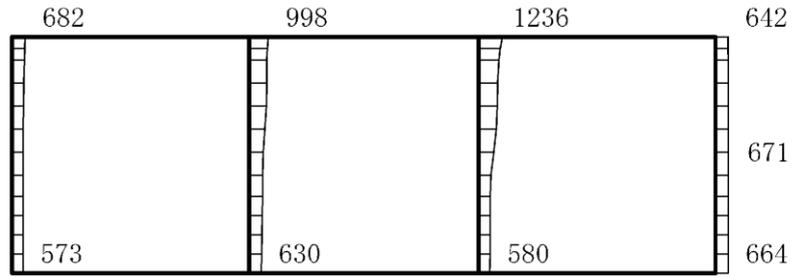
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-13 最大応答加速度分布図 (13/84) (解析ケース②)



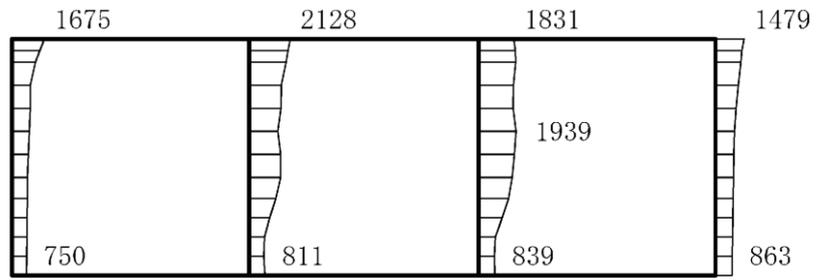
(a) S s - D (-+) 水平



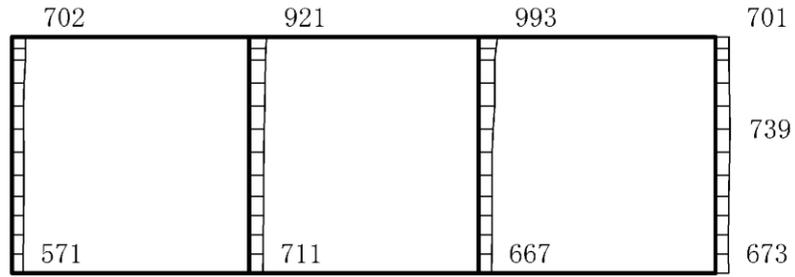
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-14 最大応答加速度分布図 (14/84) (解析ケース②)



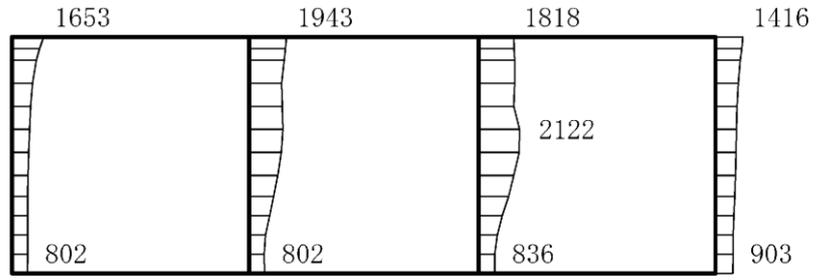
(a) S s - D (+ -) 水平



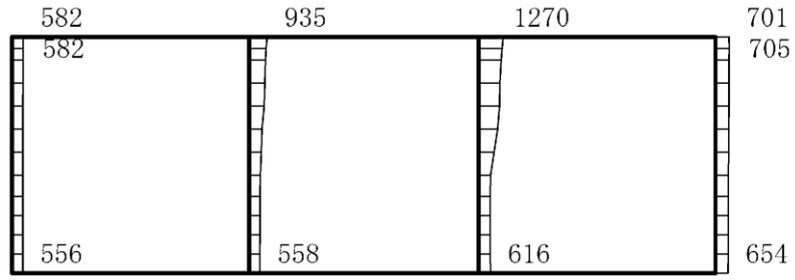
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-15 最大応答加速度分布図 (15/84) (解析ケース②)



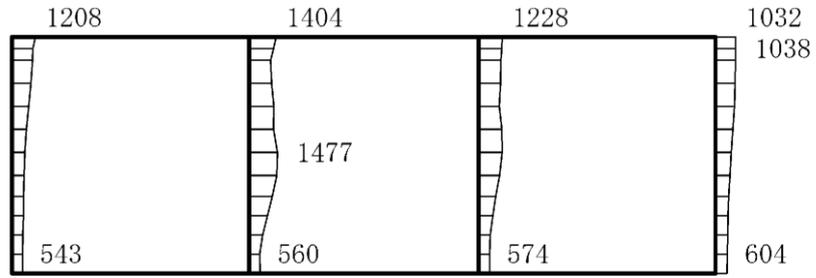
(a) S s - D (--) 水平



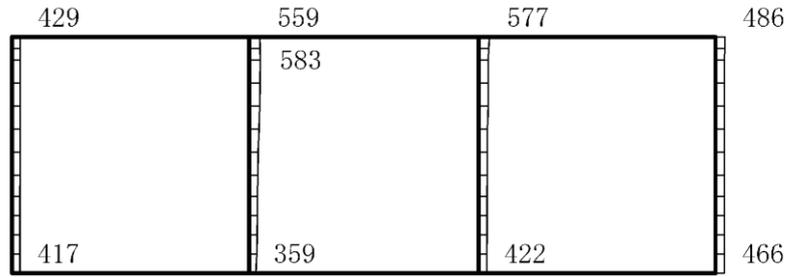
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-16 最大応答加速度分布図 (16/84) (解析ケース②)



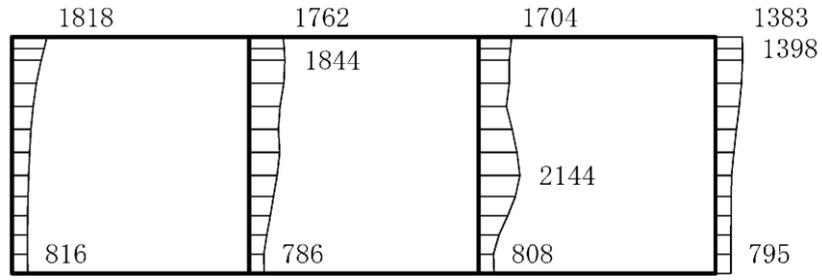
(a) $S_s - F1$ (EW) (++) 水平



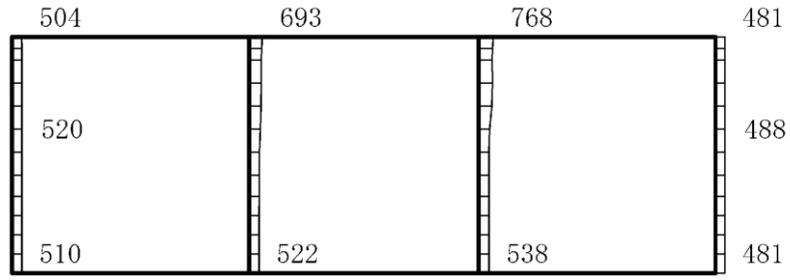
(b) $S_s - F1$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-17 最大応答加速度分布図 (17/84) (解析ケース②)



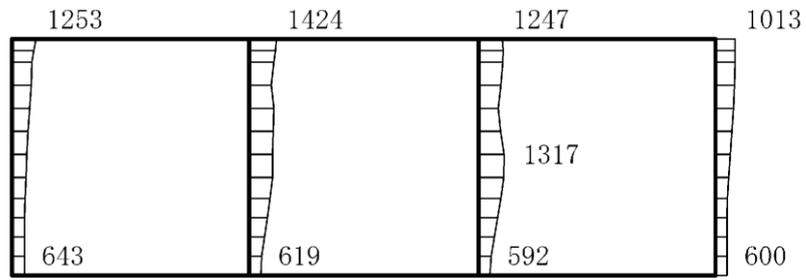
(a) S s - F 2 (E W) (++) 水平



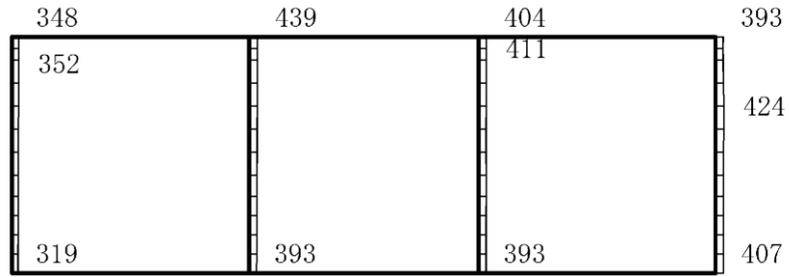
(b) S s - F 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-18 最大応答加速度分布図 (18/84) (解析ケース②)



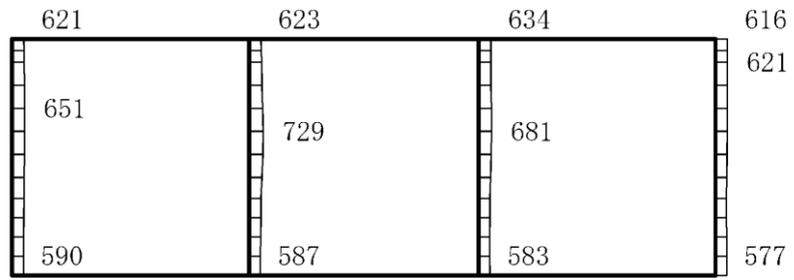
(a) S s - N 1 (++) 水平



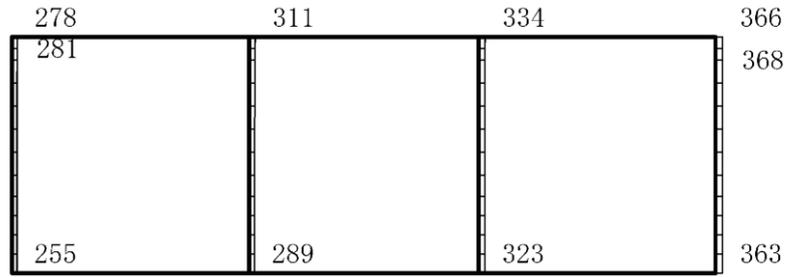
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-19 最大応答加速度分布図 (19/84) (解析ケース②)



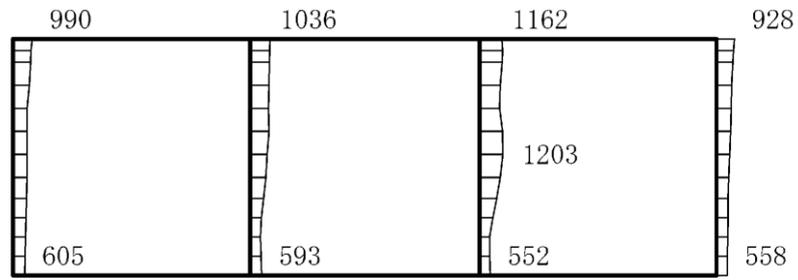
(a) S s - N 1 (- +) 水平



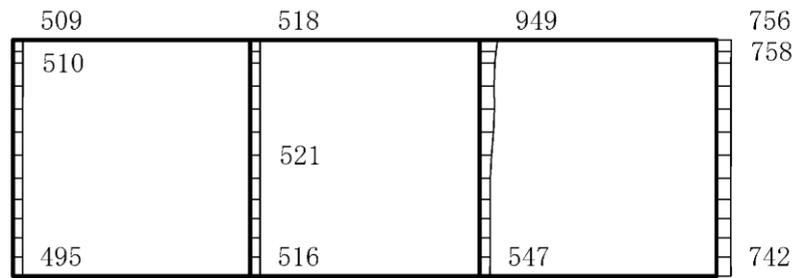
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-20 最大応答加速度分布図 (20/84) (解析ケース②)



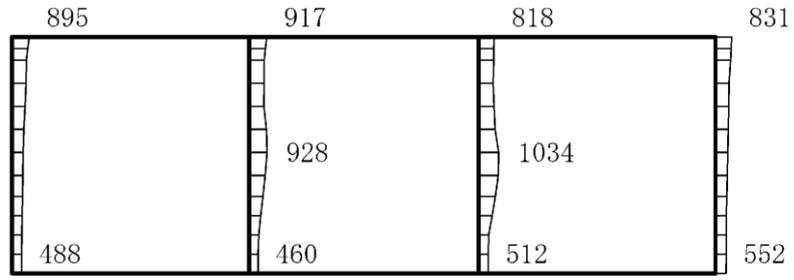
(a) S_s-N2 (NS) (++) 水平



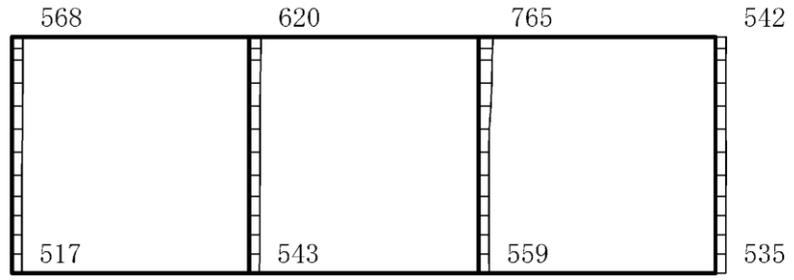
(b) S_s-N2 (NS) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-21 最大応答加速度分布図 (21/84) (解析ケース②)



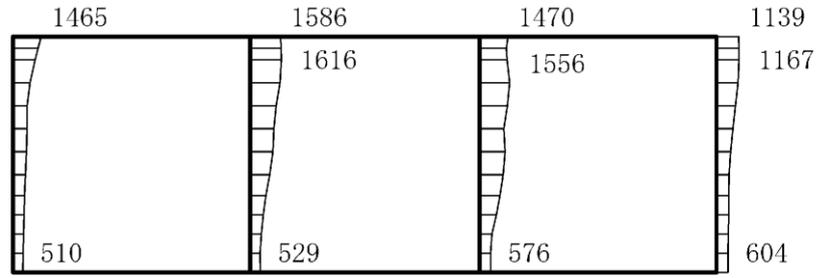
(a) $S_s - N2$ (NS) (-+) 水平



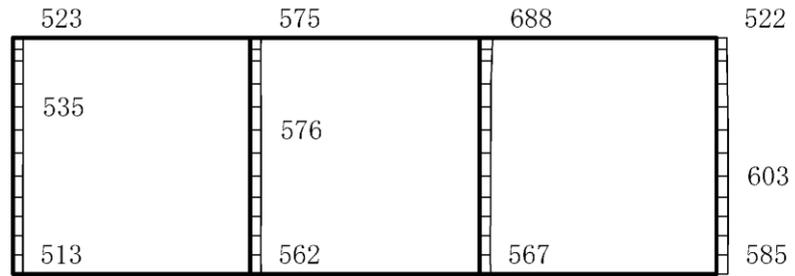
(b) $S_s - N2$ (NS) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-22 最大応答加速度分布図 (22/84) (解析ケース②)



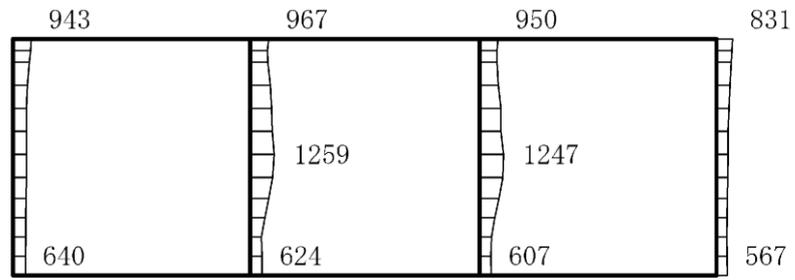
(a) $S_s - N2$ (EW) (++) 水平



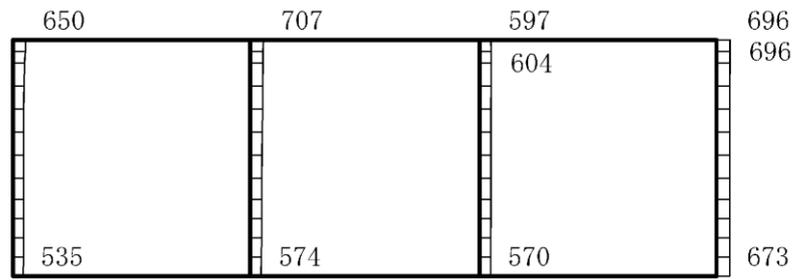
(b) $S_s - N2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 2(m) 応答値スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 4000 (cm/s²)

図 4-23 最大応答加速度分布図 (23/84) (解析ケース②)



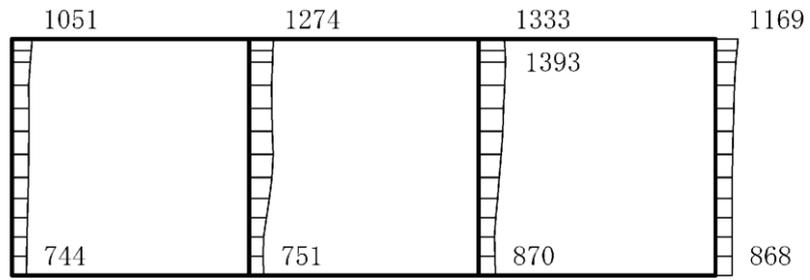
(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平



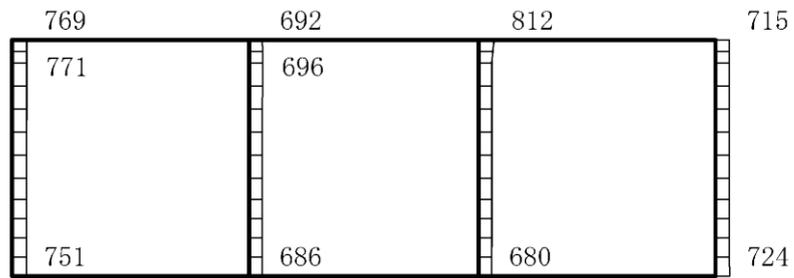
(b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-24 最大応答加速度分布図 (24/84) (解析ケース②)



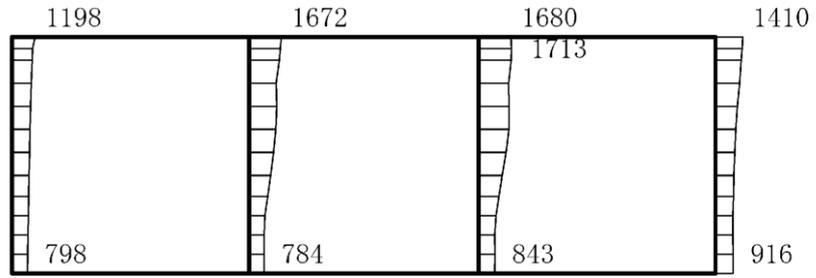
(a) S s - D (++) 水平



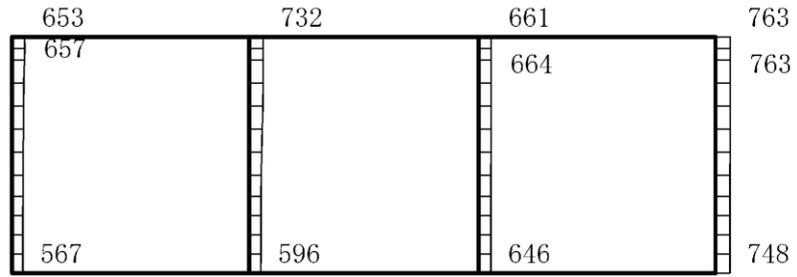
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-25 最大応答加速度分布図 (25/84) (解析ケース③)



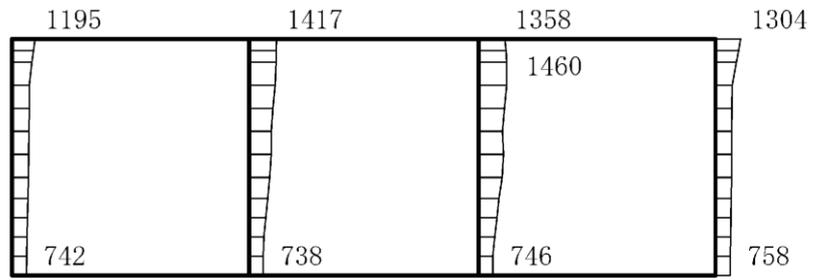
(a) S s - D (-+) 水平



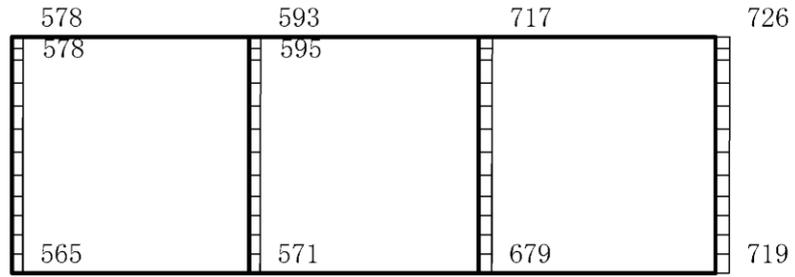
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-26 最大応答加速度分布図 (26/84) (解析ケース③)



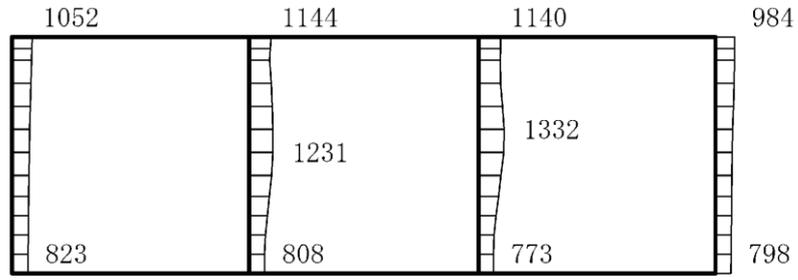
(a) S s - D (+ -) 水平



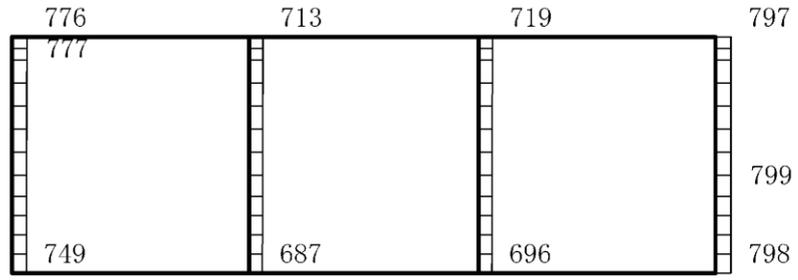
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-27 最大応答加速度分布図 (27/84) (解析ケース③)



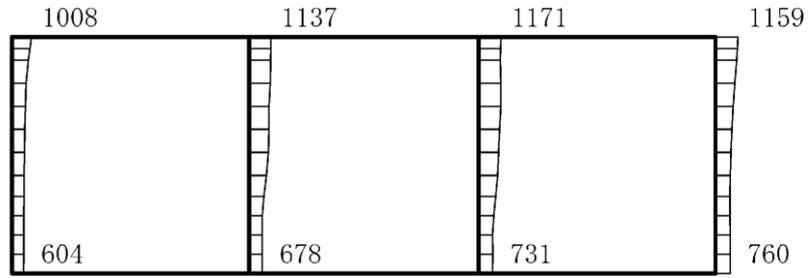
(a) S s - D (--) 水平



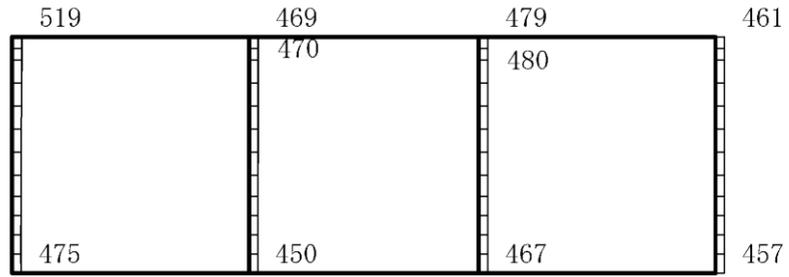
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-28 最大応答加速度分布図 (28/84) (解析ケース③)



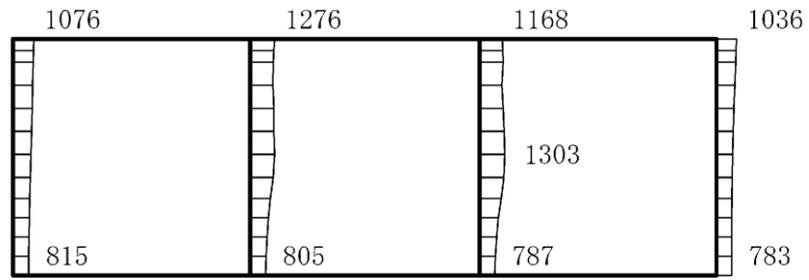
(a) $S_s - F1$ (EW) (++) 水平



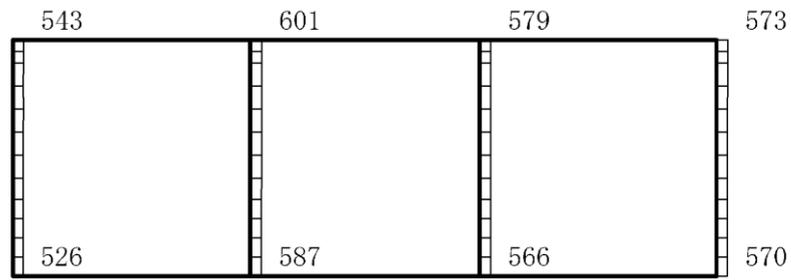
(b) $S_s - F1$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-29 最大応答加速度分布図 (29/84) (解析ケース③)



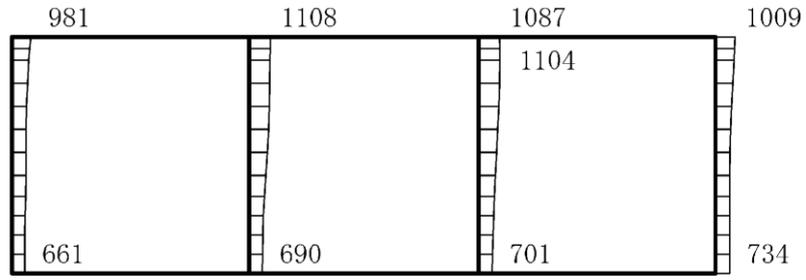
(a) $S_s - F_2$ (EW) (++) 水平



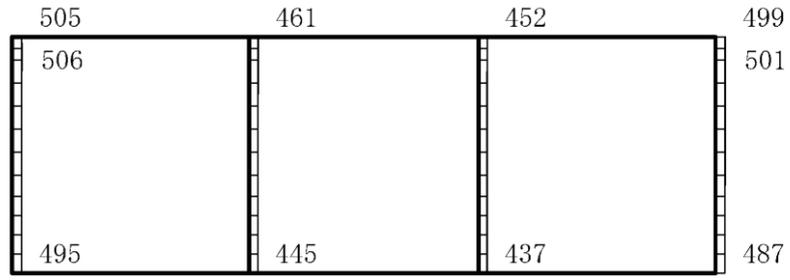
(b) $S_s - F_2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-30 最大応答加速度分布図 (30/84) (解析ケース③)



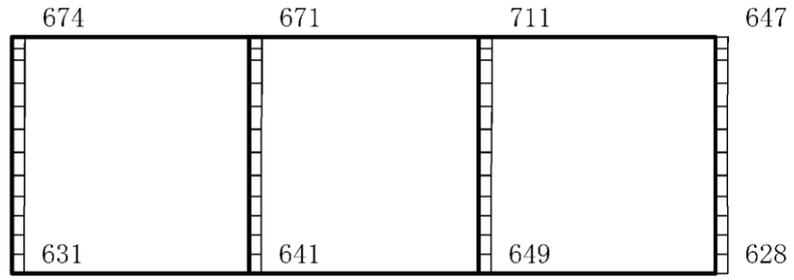
(a) S s - N 1 (++) 水平



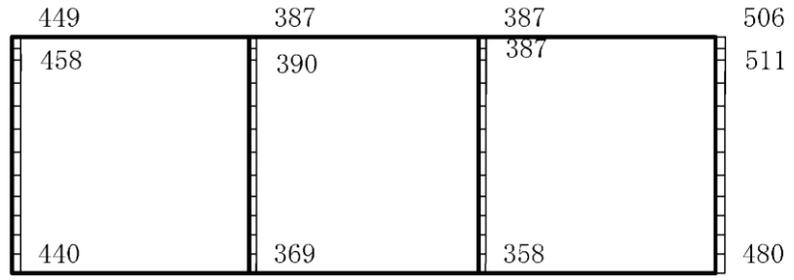
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-31 最大応答加速度分布図 (31/84) (解析ケース③)



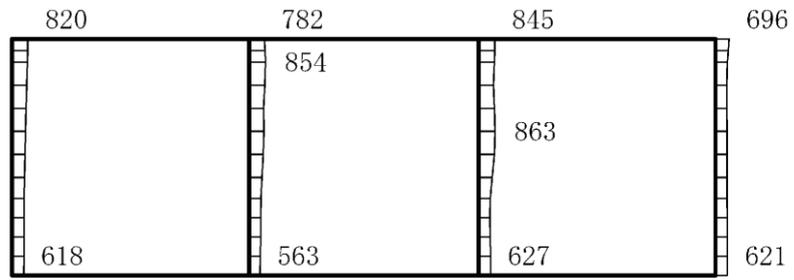
(a) S s - N 1 (- +) 水平



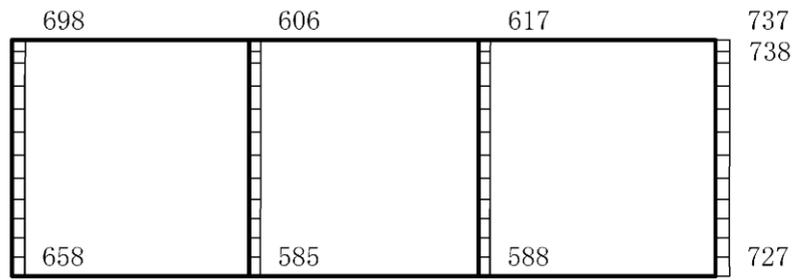
(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-32 最大応答加速度分布図 (32/84) (解析ケース③)



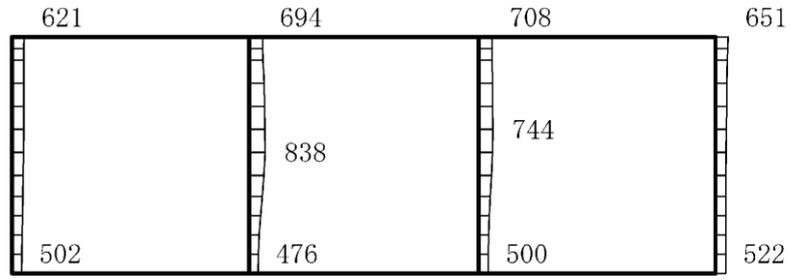
(a) $S_s - N2$ (NS) (++) 水平



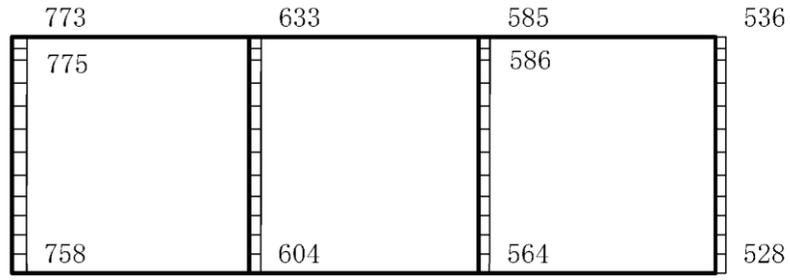
(b) $S_s - N2$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-33 最大応答加速度分布図 (33/84) (解析ケース③)



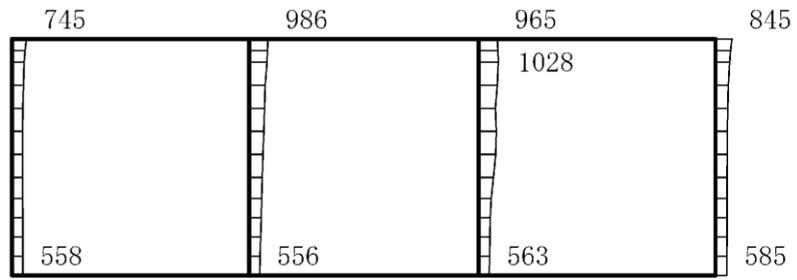
(a) $S_s - N2$ (NS) (-+) 水平



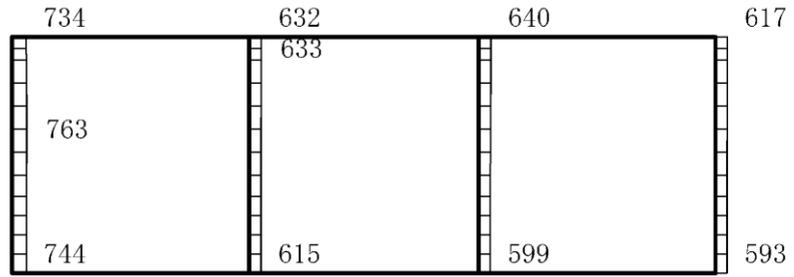
(b) $S_s - N2$ (NS) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-34 最大応答加速度分布図 (34/84) (解析ケース③)



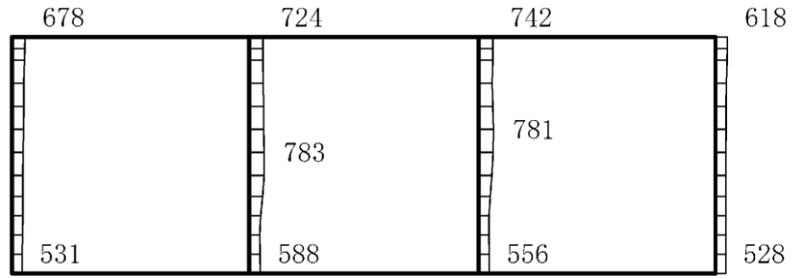
(a) S s - N 2 (E W) (++) 水平



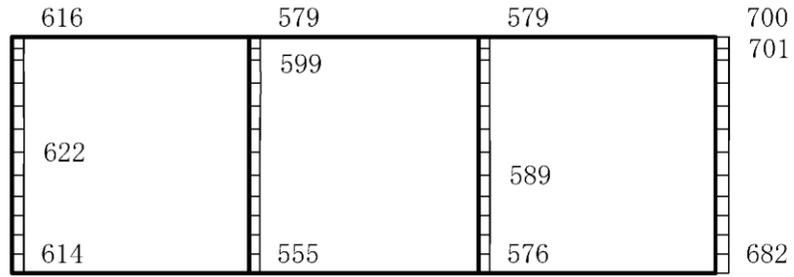
(b) S s - N 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-35 最大応答加速度分布図 (35/84) (解析ケース③)



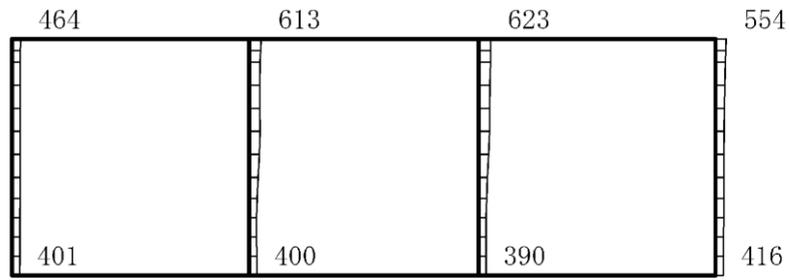
(a) S s - N 2 (E W) (- +) 水平



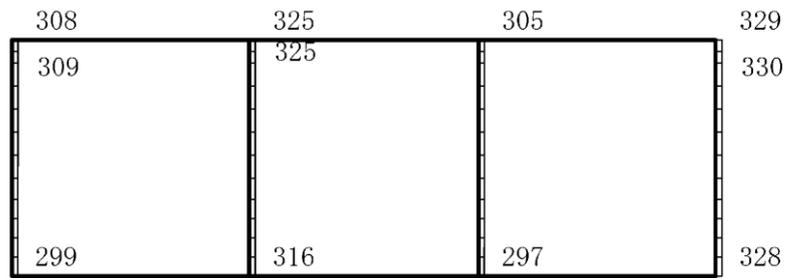
(b) S s - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-36 最大応答加速度分布図 (36/84) (解析ケース③)



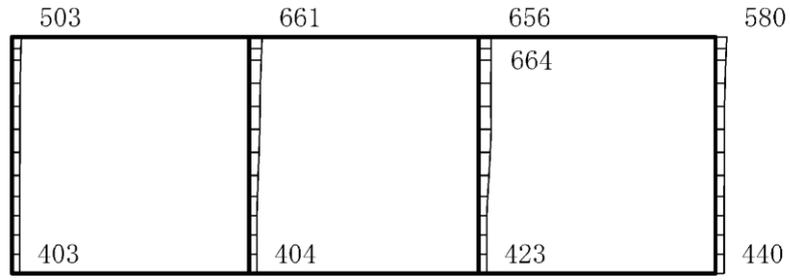
(a) S d - D (++) 水平



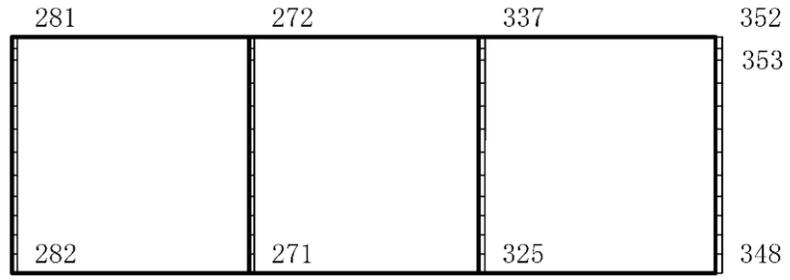
(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 2(m) 応答値スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 4000 (cm/s²)

図 4-37 最大応答加速度分布図 (37/84) (解析ケース①)



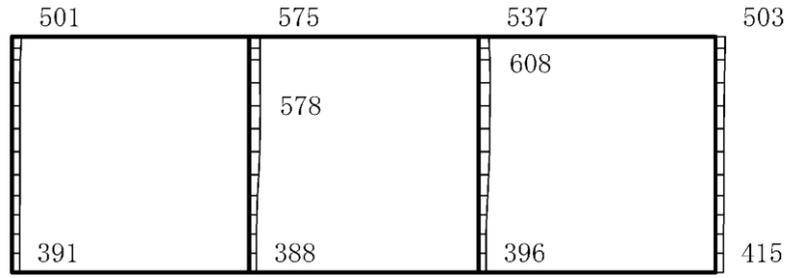
(a) S d - D (- +) 水平



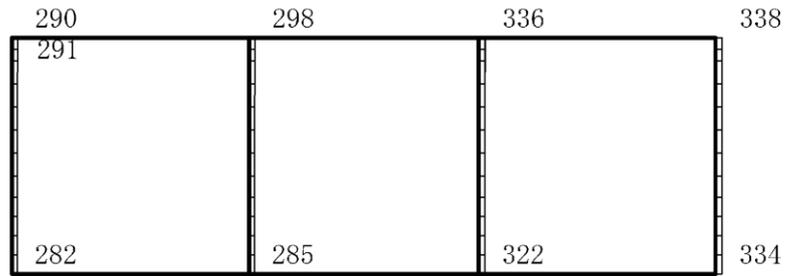
(b) S d - D (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-38 最大応答加速度分布図 (38/84) (解析ケース①)



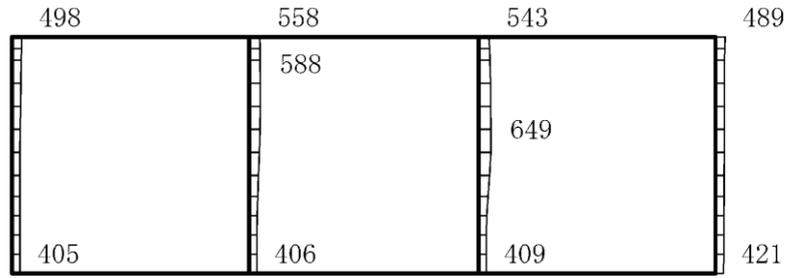
(a) S d - D (+ -) 水平



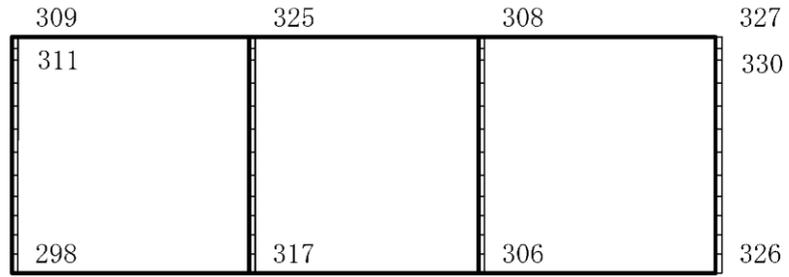
(b) S d - D (+ -) 鉛直

構造スケール $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-39 最大応答加速度分布図 (39/84) (解析ケース①)



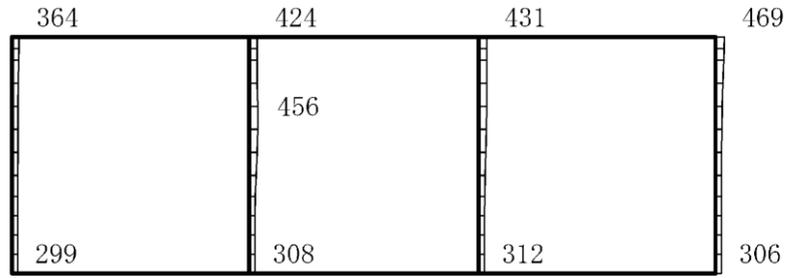
(a) S d - D (--) 水平



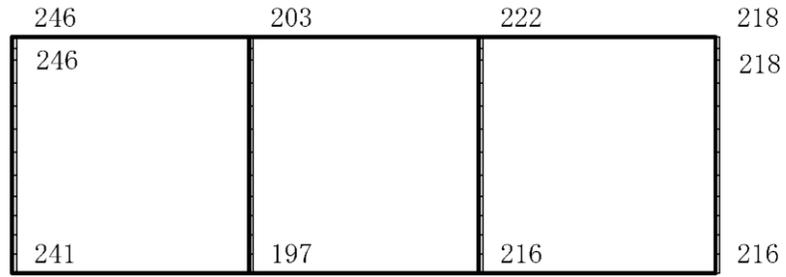
(b) S d - D (--) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-40 最大応答加速度分布図 (40/84) (解析ケース①)



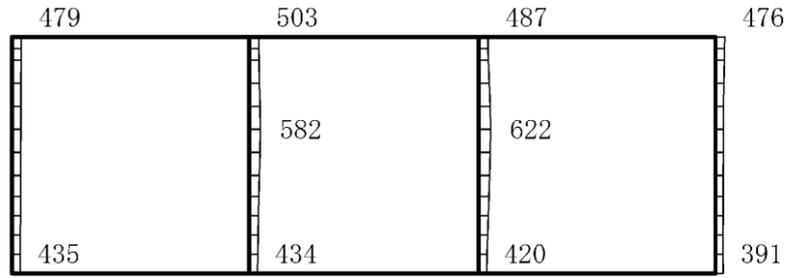
(a) S d - F 1 (E W) (++) 水平



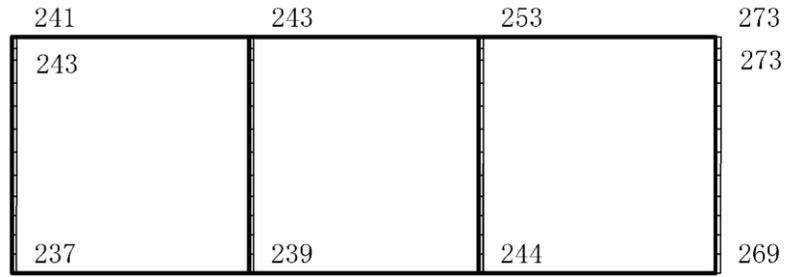
(b) S d - F 1 (E W) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-41 最大応答加速度分布図 (41/84) (解析ケース①)



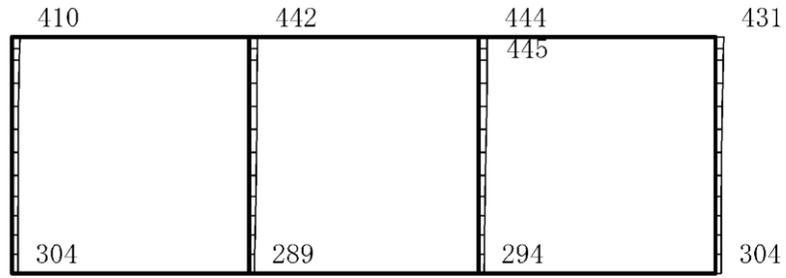
(a) S d - F 2 (E W) (++) 水平



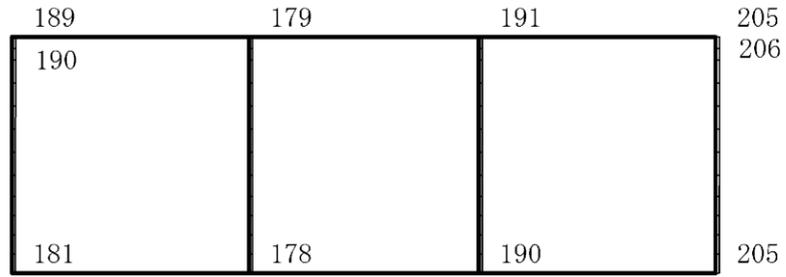
(b) S d - F 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-42 最大応答加速度分布図 (42/84) (解析ケース①)



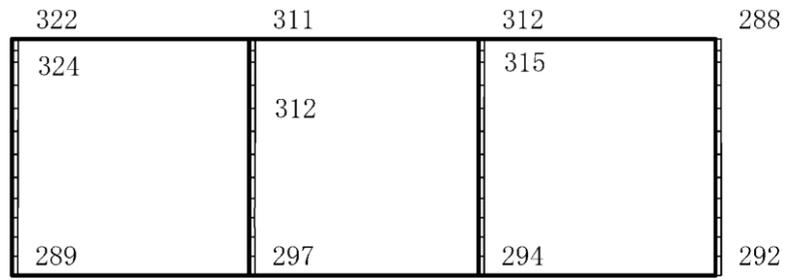
(a) S d - N 1 (++) 水平



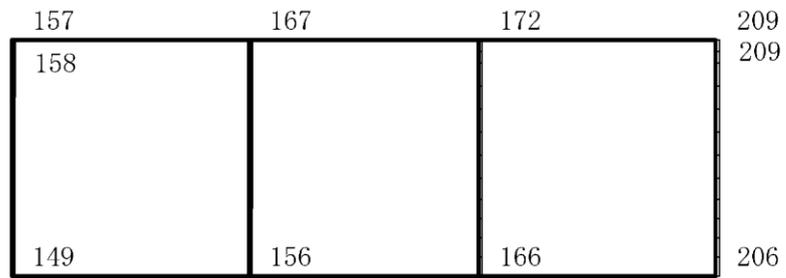
(b) S d - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-43 最大応答加速度分布図 (43/84) (解析ケース①)



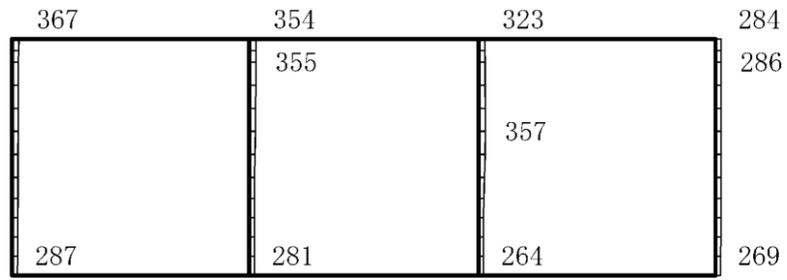
(a) S d - N 1 (- +) 水平



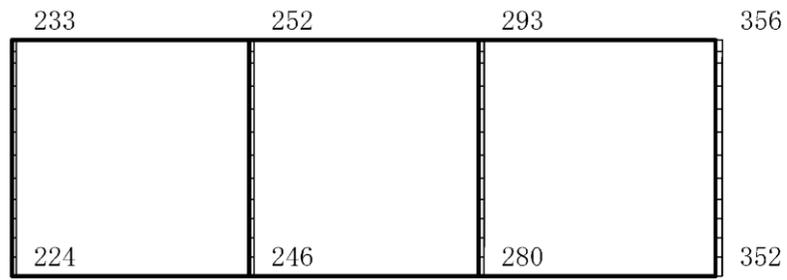
(b) S d - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-44 最大応答加速度分布図 (44/84) (解析ケース①)



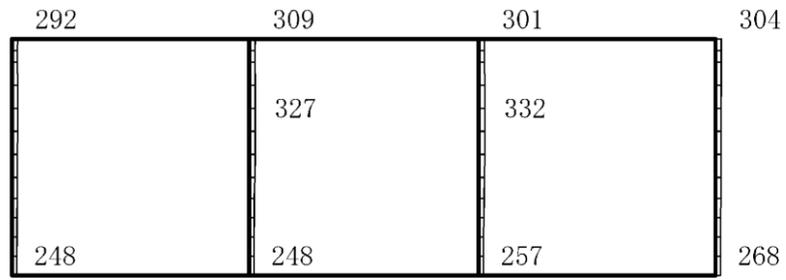
(a) S d - N 2 (N S) (++) 水平



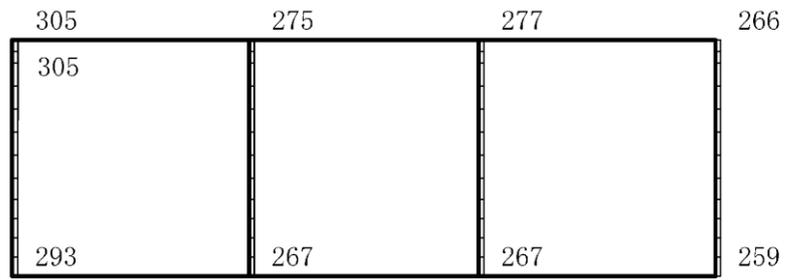
(b) S d - N 2 (N S) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-45 最大応答加速度分布図 (45/84) (解析ケース①)



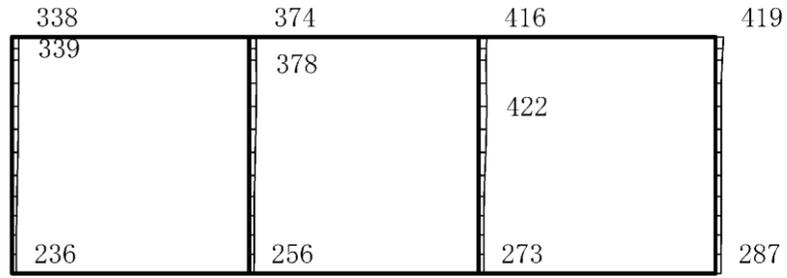
(a) S d - N 2 (N S) (-+) 水平



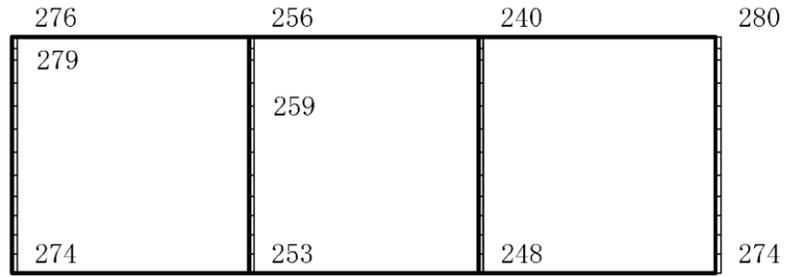
(b) S d - N 2 (N S) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-46 最大応答加速度分布図 (46/84) (解析ケース①)



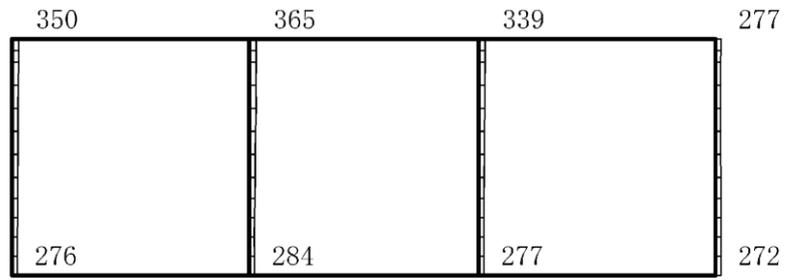
(a) S d - N 2 (E W) (++) 水平



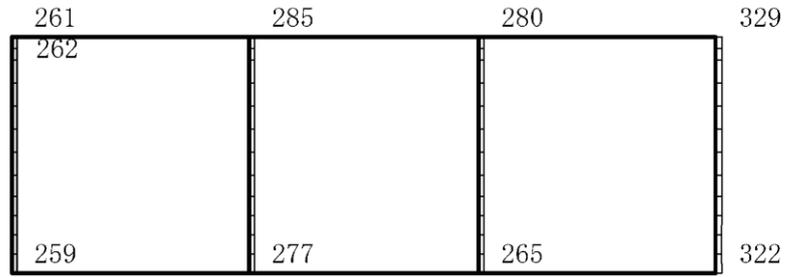
(b) S d - N 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-47 最大応答加速度分布図 (47/84) (解析ケース①)



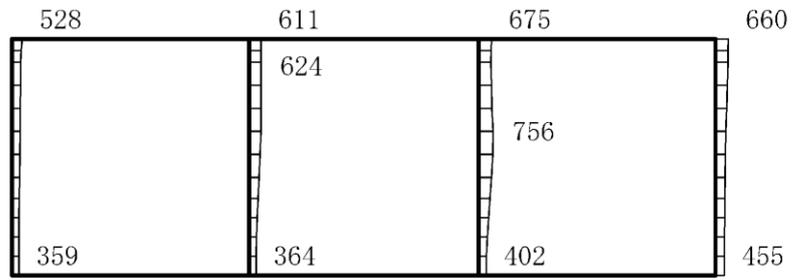
(a) S d - N 2 (E W) (- +) 水平



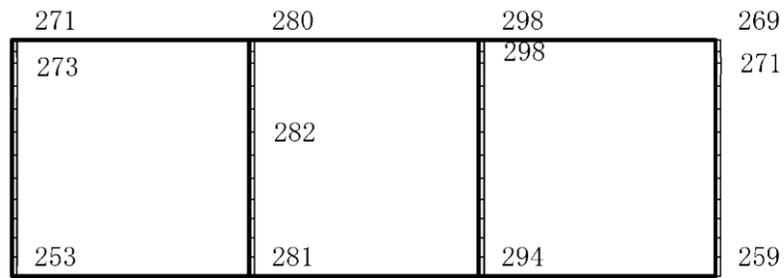
(b) S d - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 2(m) 応答値スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 4000 (cm/s²)

図 4-48 最大応答加速度分布図 (48/84) (解析ケース①)



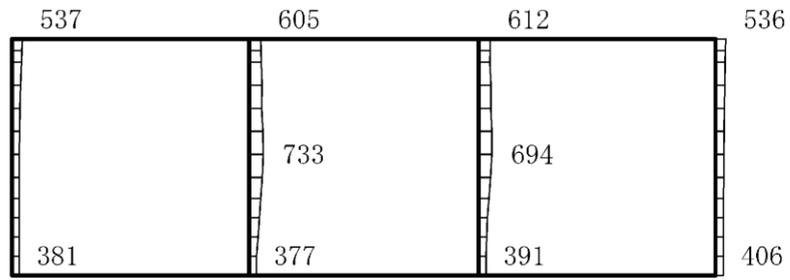
(a) S d - 1 (++) 水平



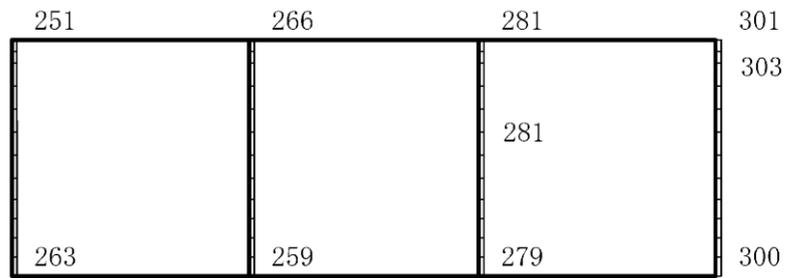
(b) S d - 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \sim 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-49 最大応答加速度分布図 (49/84) (解析ケース①)



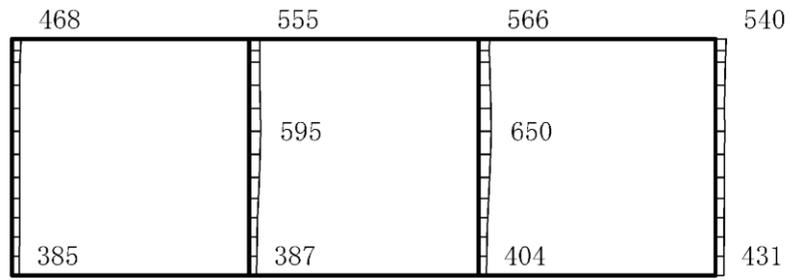
(a) S d - 1 (- +) 水平



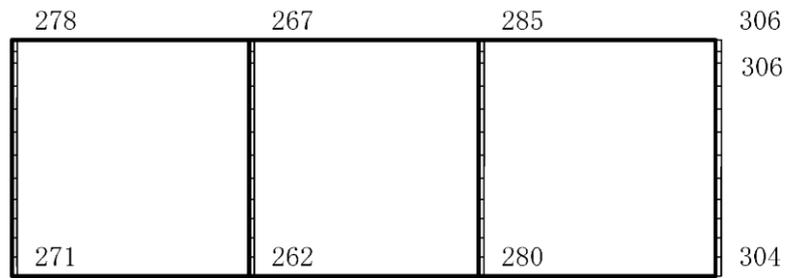
(b) S d - 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-50 最大応答加速度分布図 (50/84) (解析ケース①)



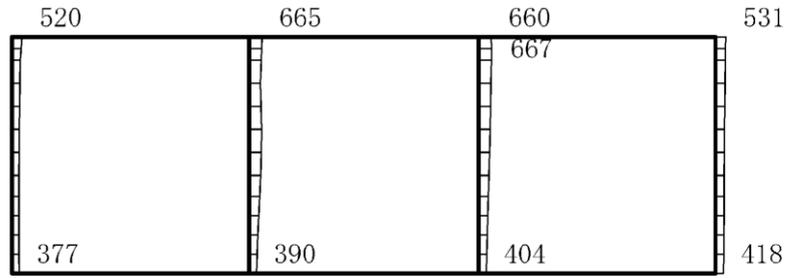
(a) S d - 1 (+ -) 水平



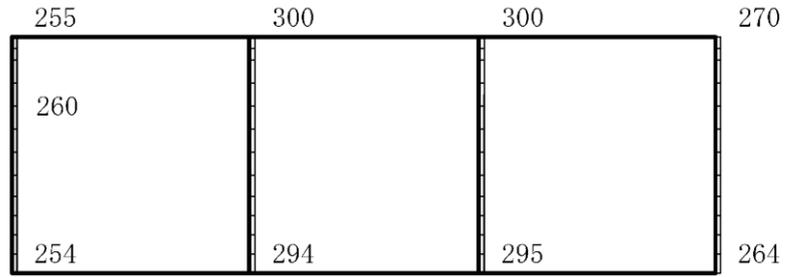
(b) S d - 1 (+ -) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-51 最大応答加速度分布図 (51/84) (解析ケース①)



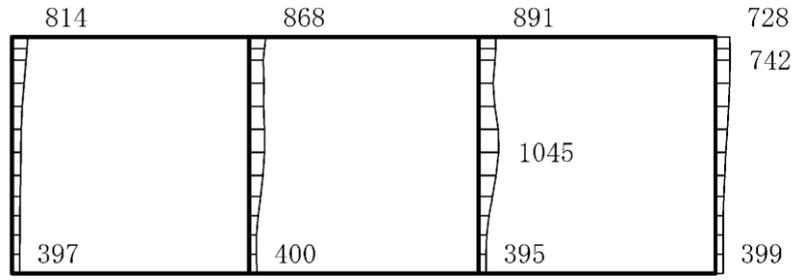
(a) S d - 1 (- -) 水平



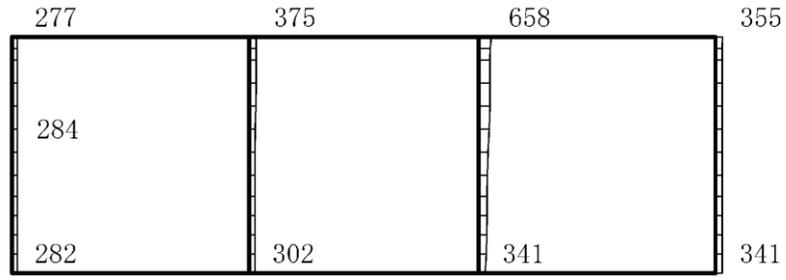
(b) S d - 1 (- -) 鉛直

構造スケール $0 \sim 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-52 最大応答加速度分布図 (52/84) (解析ケース①)



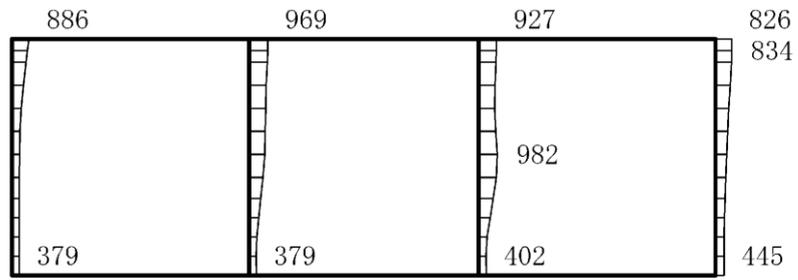
(a) S d - D (++) 水平



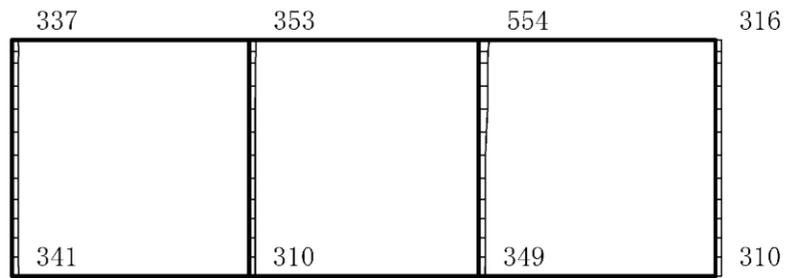
(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-53 最大応答加速度分布図 (53/84) (解析ケース②)



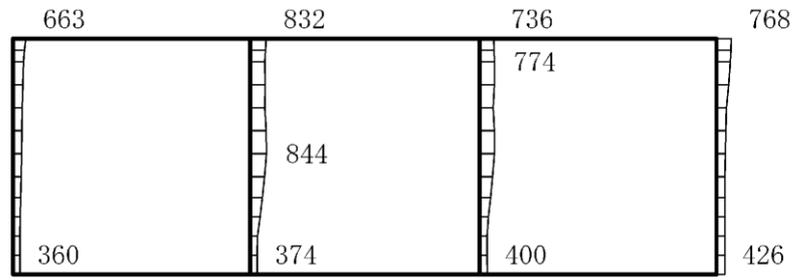
(a) S d - D (-+) 水平



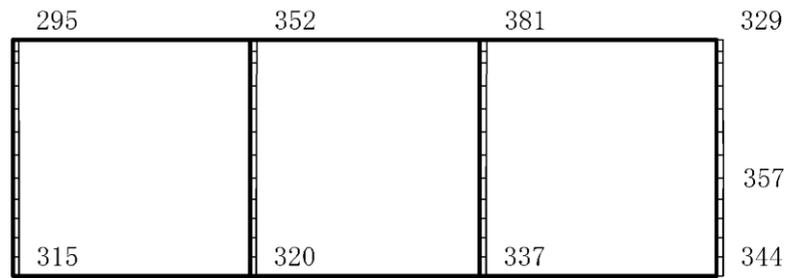
(b) S d - D (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-54 最大応答加速度分布図 (54/84) (解析ケース②)



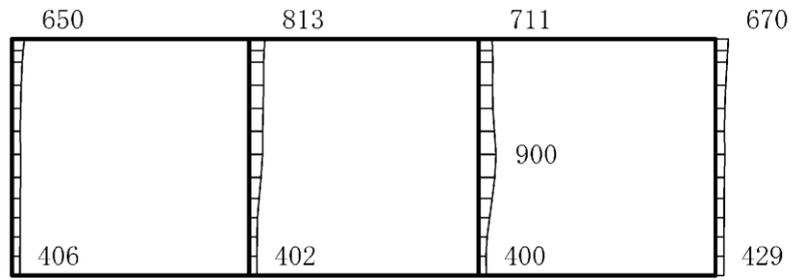
(a) S d - D (+ -) 水平



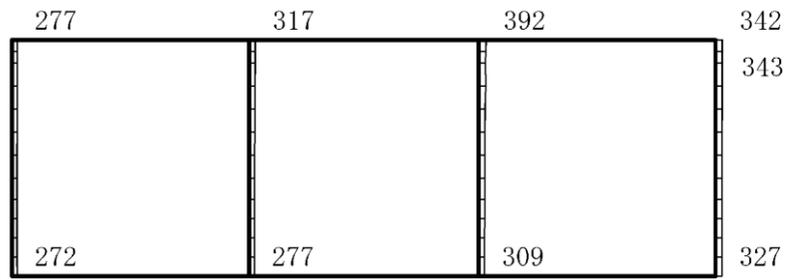
(b) S d - D (+ -) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-55 最大応答加速度分布図 (55/84) (解析ケース②)



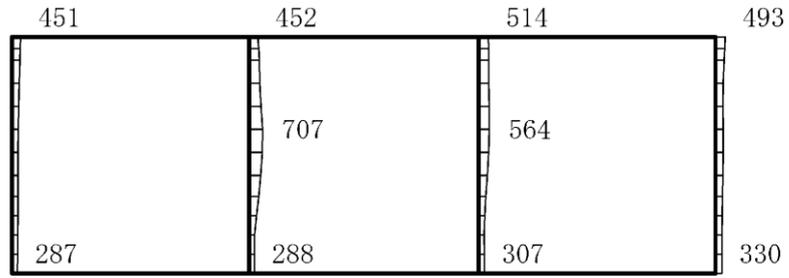
(a) S d - D (- -) 水平



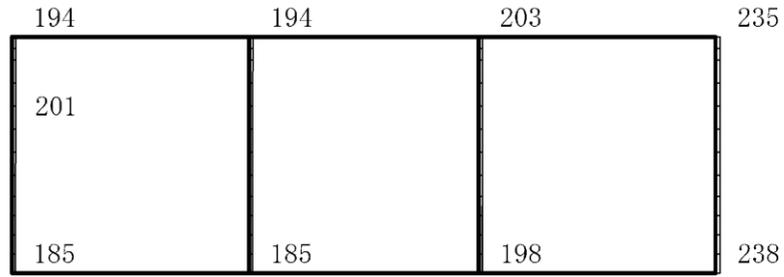
(b) S d - D (- -) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-56 最大応答加速度分布図 (56/84) (解析ケース②)



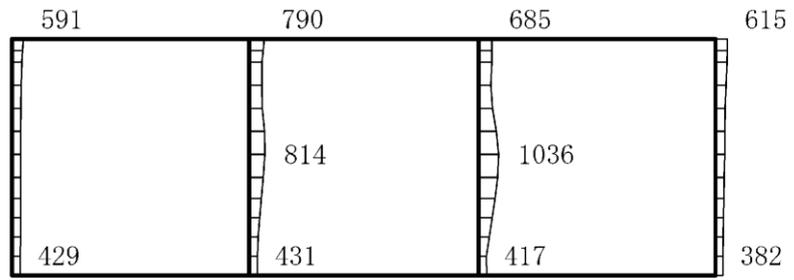
(a) S d - F 1 (E W) (++) 水平



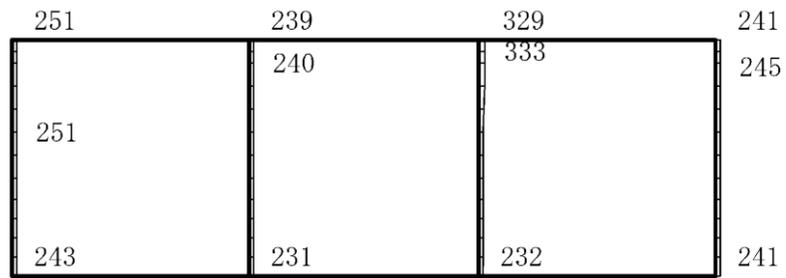
(b) S d - F 1 (E W) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-57 最大応答加速度分布図 (57/84) (解析ケース②)



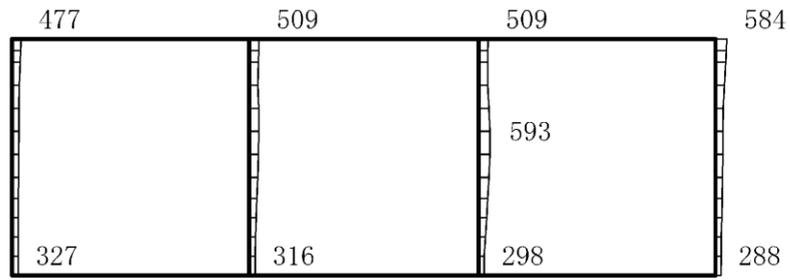
(a) S d - F 2 (E W) (++) 水平



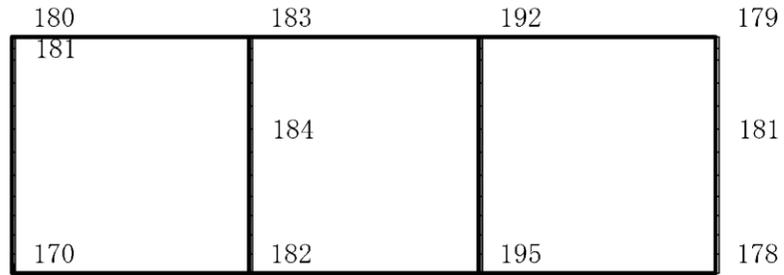
(b) S d - F 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-58 最大応答加速度分布図 (58/84) (解析ケース②)



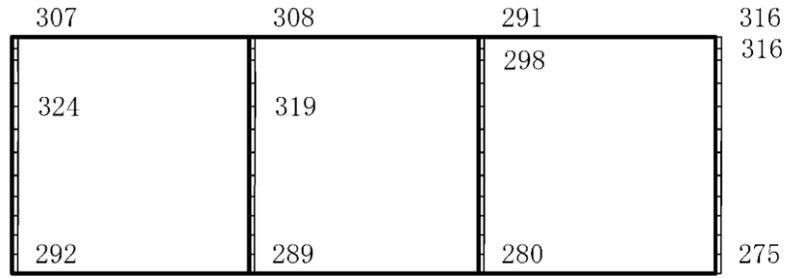
(a) S d - N 1 (++) 水平



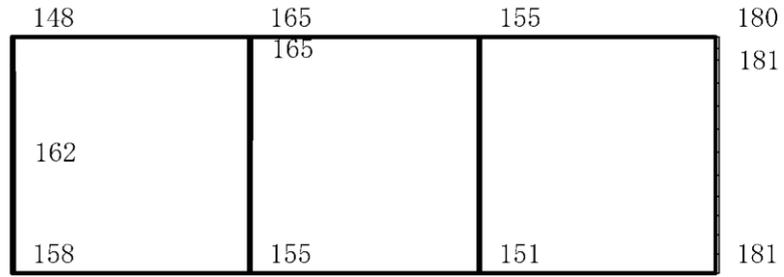
(b) S d - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \sim 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-59 最大応答加速度分布図 (59/84) (解析ケース②)



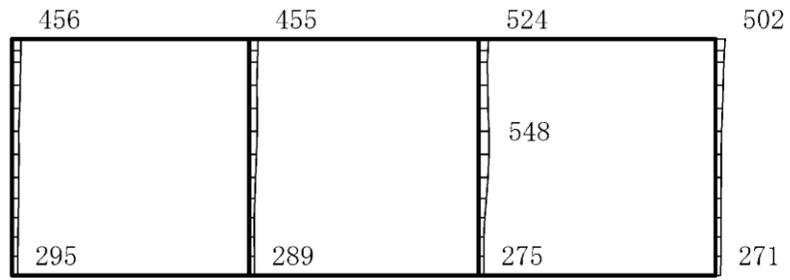
(a) S d - N 1 (- +) 水平



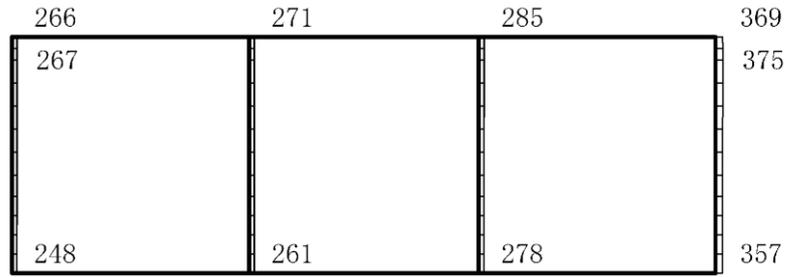
(b) S d - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-60 最大応答加速度分布図 (60/84) (解析ケース②)



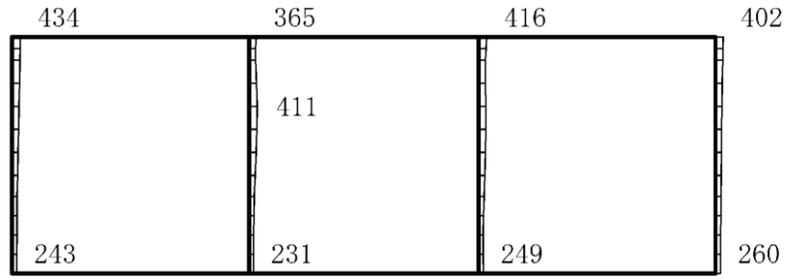
(a) S d - N 2 (N S) (++) 水平



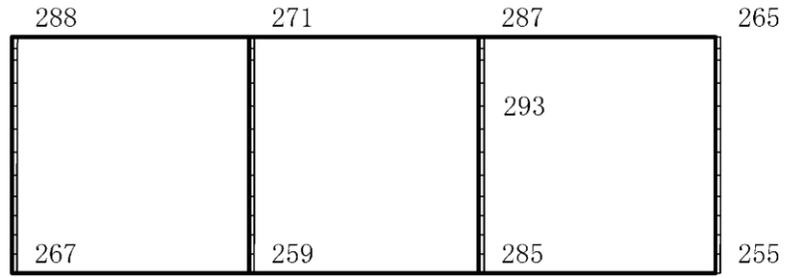
(b) S d - N 2 (N S) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-61 最大応答加速度分布図 (61/84) (解析ケース②)



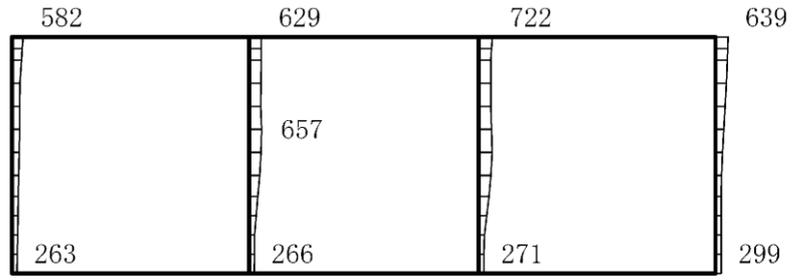
(a) S d - N 2 (N S) (- +) 水平



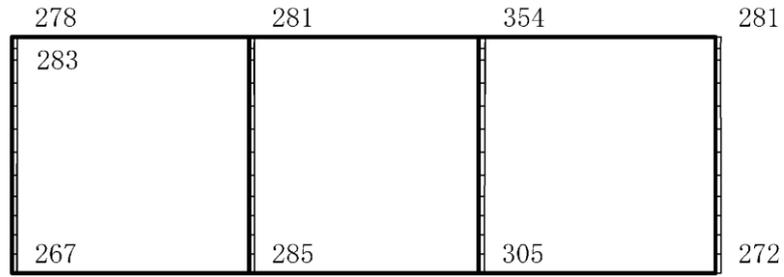
(b) S d - N 2 (N S) (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-62 最大応答加速度分布図 (62/84) (解析ケース②)



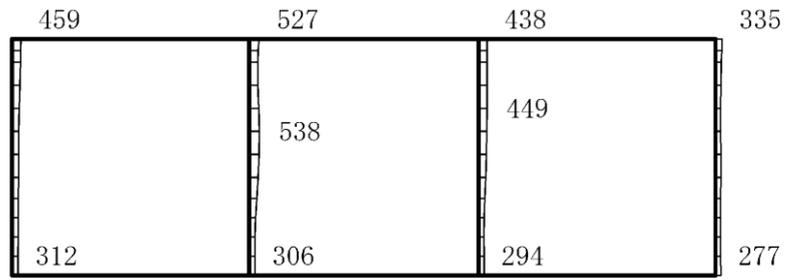
(a) S d - N 2 (E W) (++) 水平



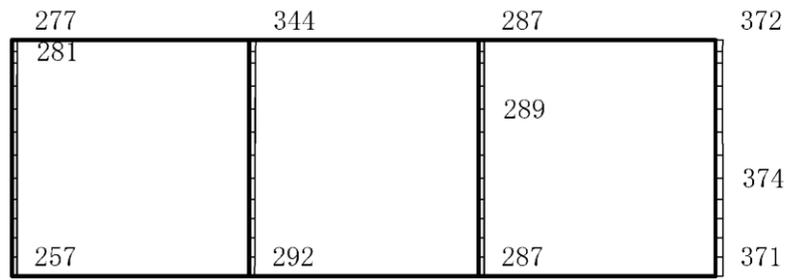
(b) S d - N 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-63 最大応答加速度分布図 (63/84) (解析ケース②)



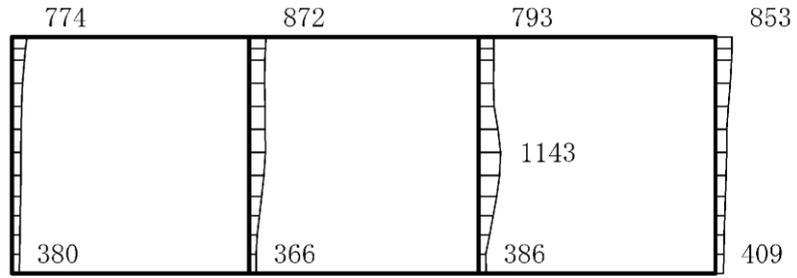
(a) S d - N 2 (E W) (- +) 水平



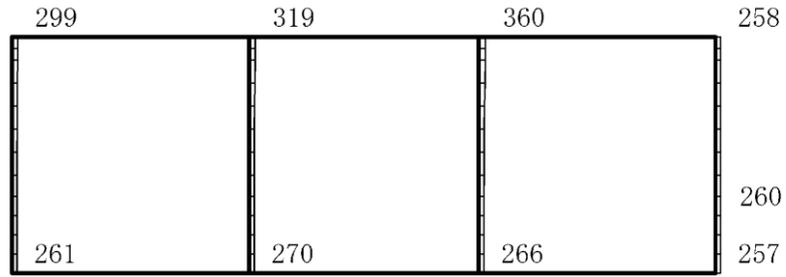
(b) S d - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-64 最大応答加速度分布図 (64/84) (解析ケース②)



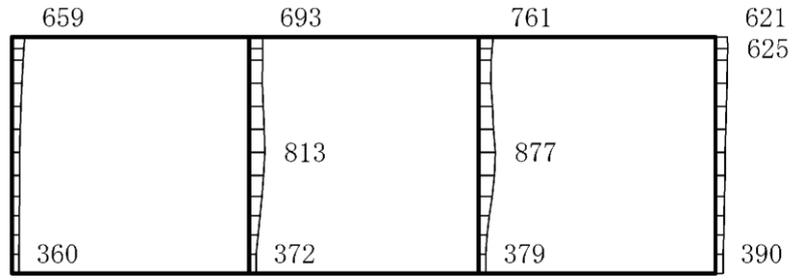
(a) S d - 1 (++) 水平



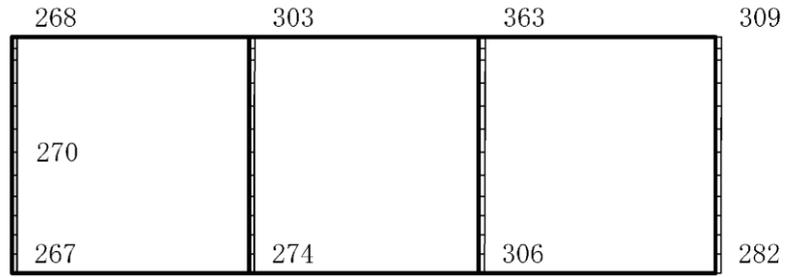
(b) S d - 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-65 最大応答加速度分布図 (65/84) (解析ケース②)



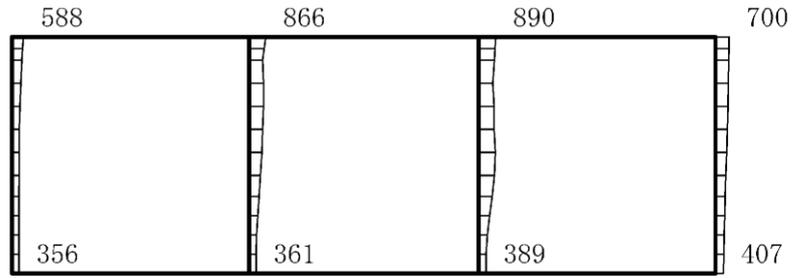
(a) S d - 1 (- +) 水平



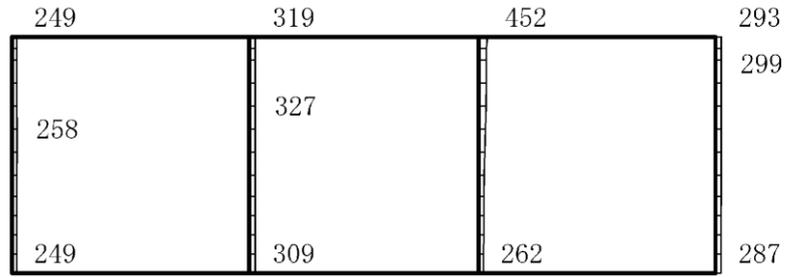
(b) S d - 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-66 最大応答加速度分布図 (66/84) (解析ケース②)



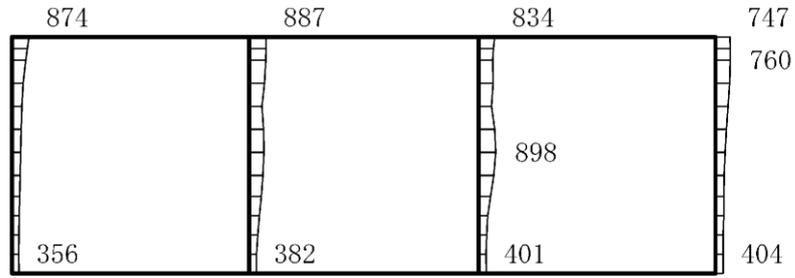
(a) S d - 1 (+ -) 水平



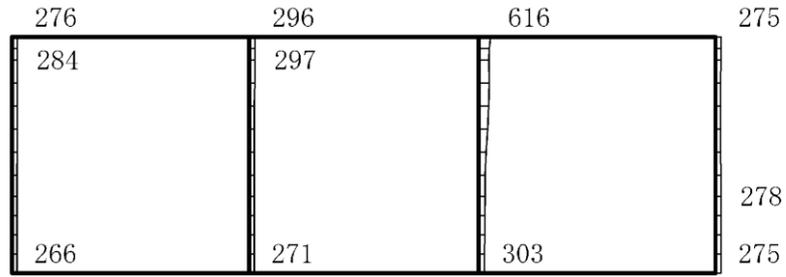
(b) S d - 1 (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-67 最大応答加速度分布図 (67/84) (解析ケース②)



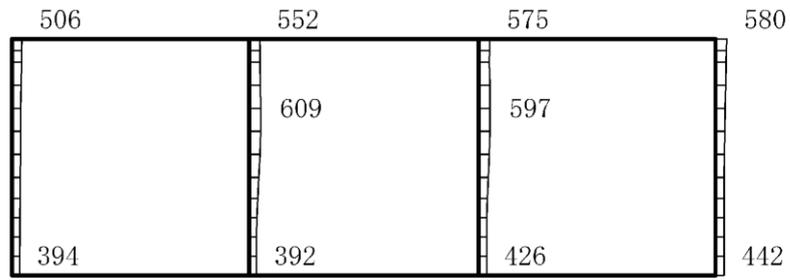
(a) S d - 1 (--) 水平



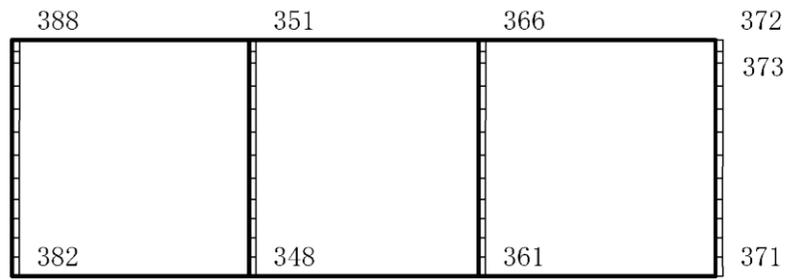
(b) S d - 1 (--) 鉛直

構造スケール $0 \sim 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \sim 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-68 最大応答加速度分布図 (68/84) (解析ケース②)



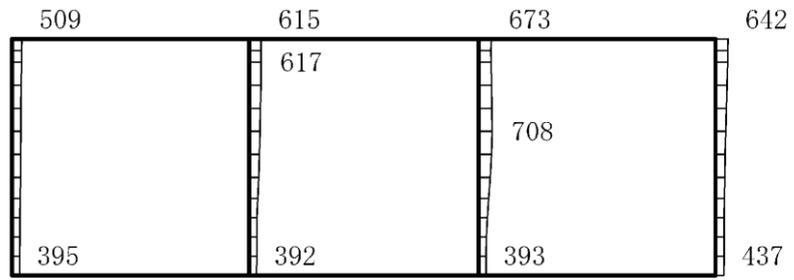
(a) S d - D (++) 水平



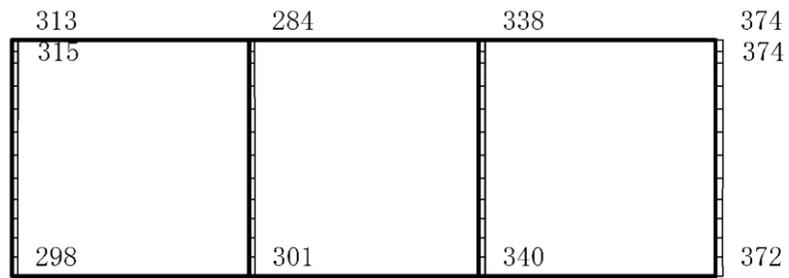
(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-69 最大応答加速度分布図 (69/84) (解析ケース③)



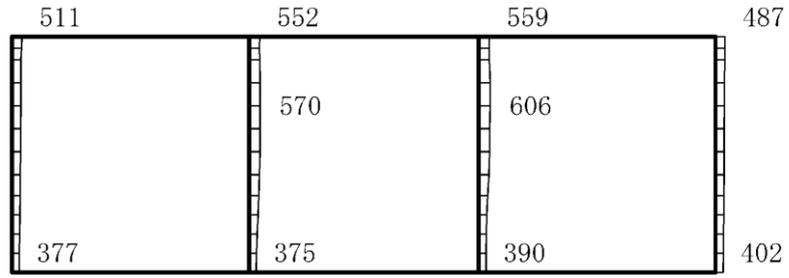
(a) S d - D (-+) 水平



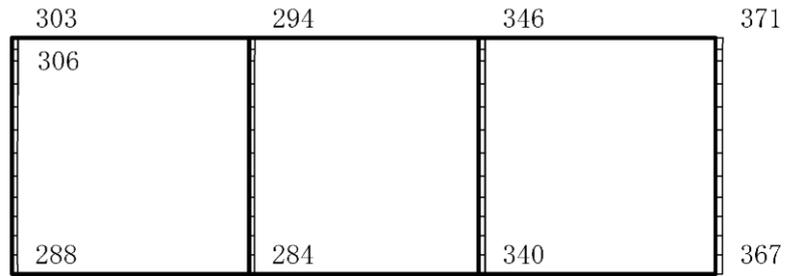
(b) S d - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-70 最大応答加速度分布図 (70/84) (解析ケース③)



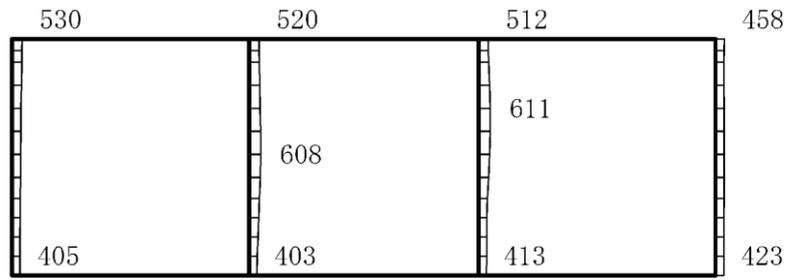
(a) S d - D (+ -) 水平



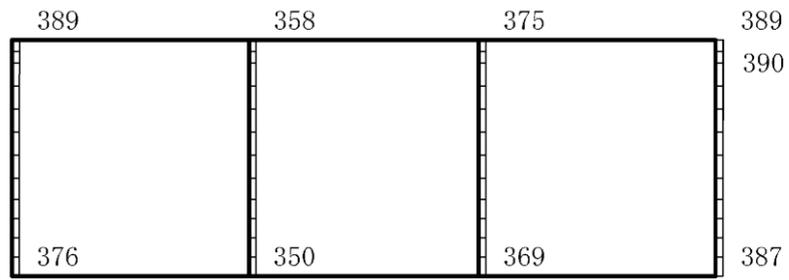
(b) S d - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-71 最大応答加速度分布図 (71/84) (解析ケース③)



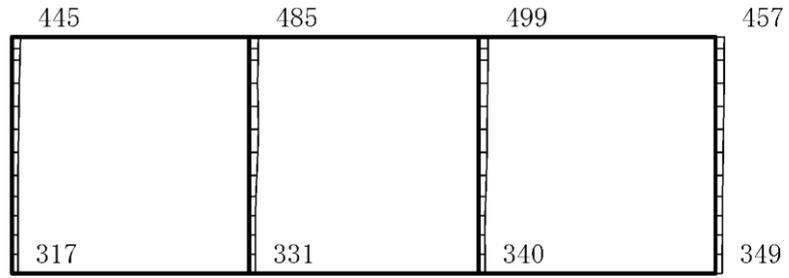
(a) S d - D (--) 水平



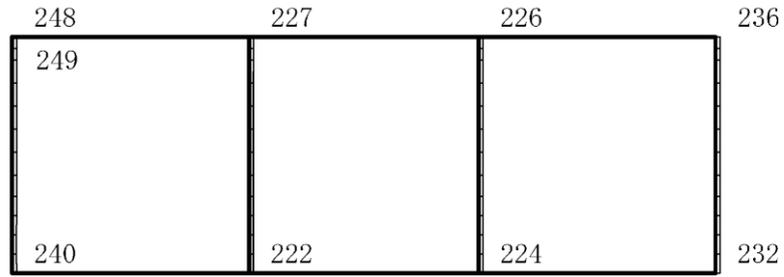
(b) S d - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-72 最大応答加速度分布図 (72/84) (解析ケース③)



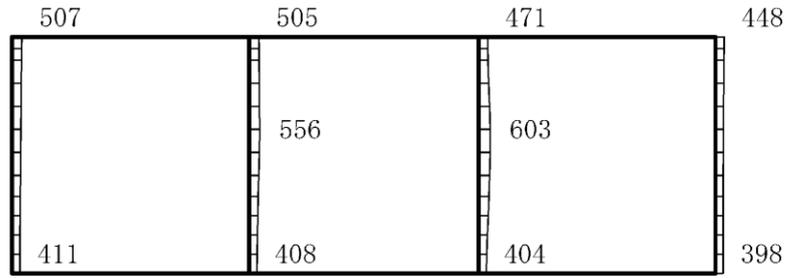
(a) S d - F 1 (E W) (++) 水平



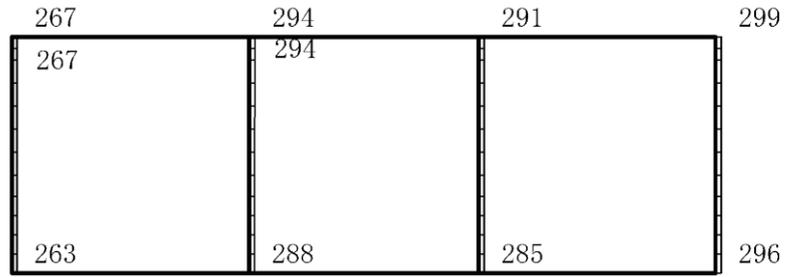
(b) S d - F 1 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 2(m) 応答値スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 4000 (cm/s²)

図 4-73 最大応答加速度分布図 (73/84) (解析ケース③)



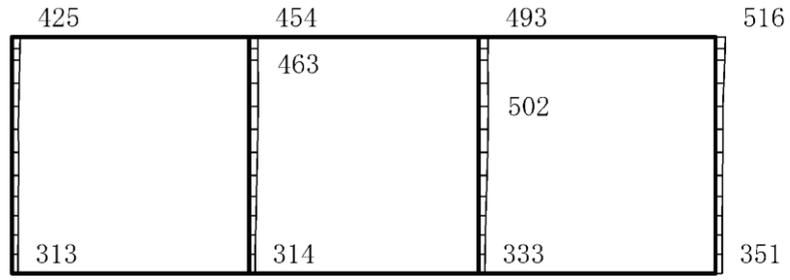
(a) S d - F 2 (E W) (++) 水平



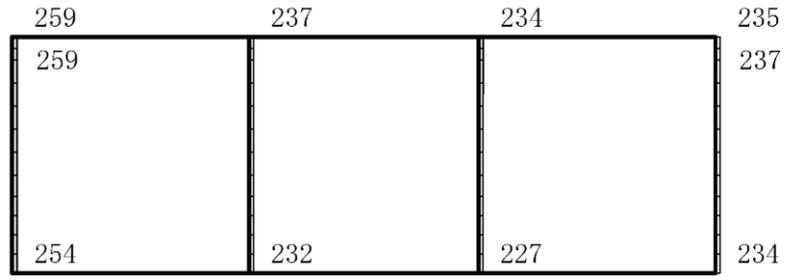
(b) S d - F 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-74 最大応答加速度分布図 (74/84) (解析ケース③)



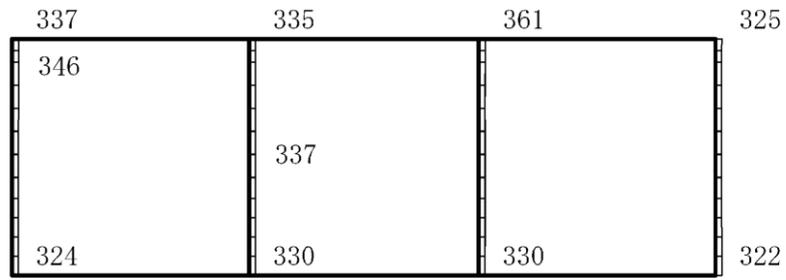
(a) S d - N 1 (++) 水平



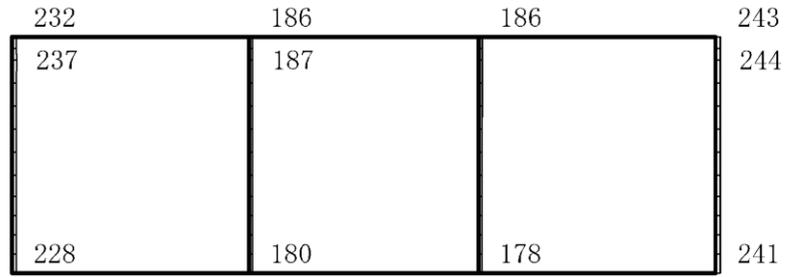
(b) S d - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-75 最大応答加速度分布図 (75/84) (解析ケース③)



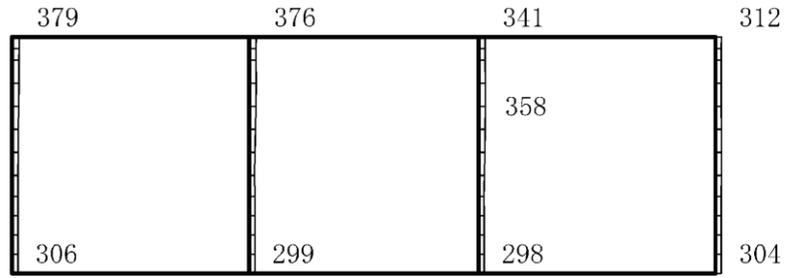
(a) S d - N 1 (- +) 水平



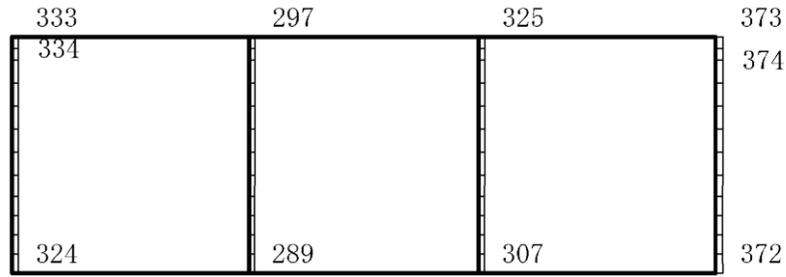
(b) S d - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-76 最大応答加速度分布図 (76/84) (解析ケース③)



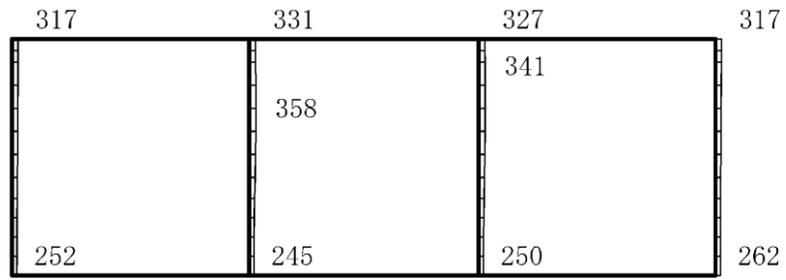
(a) S d - N 2 (N S) (++) 水平



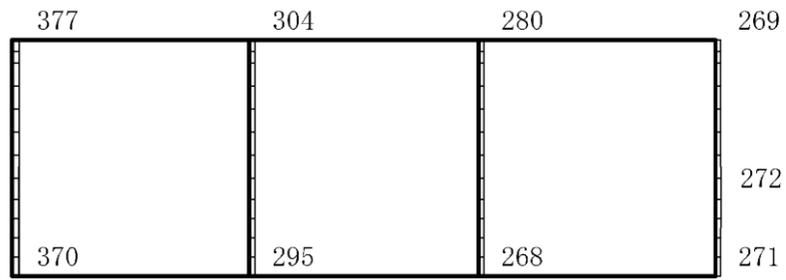
(b) S d - N 2 (N S) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-77 最大応答加速度分布図 (77/84) (解析ケース③)



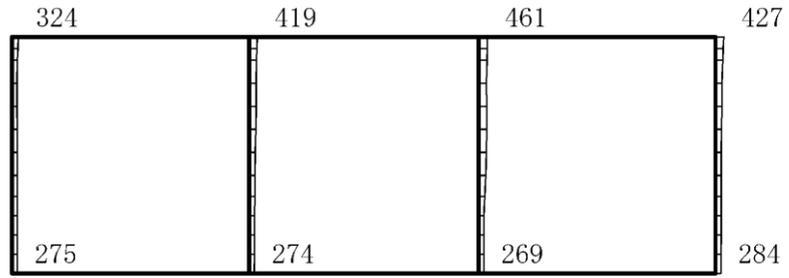
(a) S d - N 2 (N S) (- +) 水平



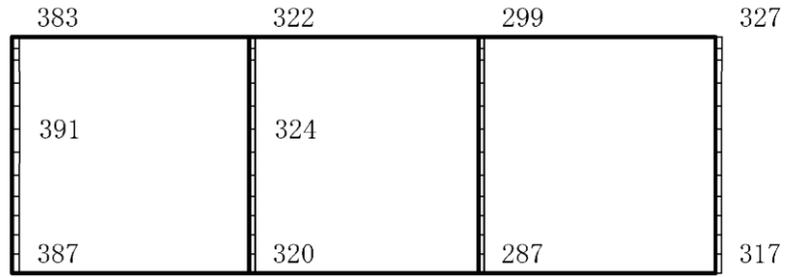
(b) S d - N 2 (N S) (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-78 最大応答加速度分布図 (78/84) (解析ケース③)



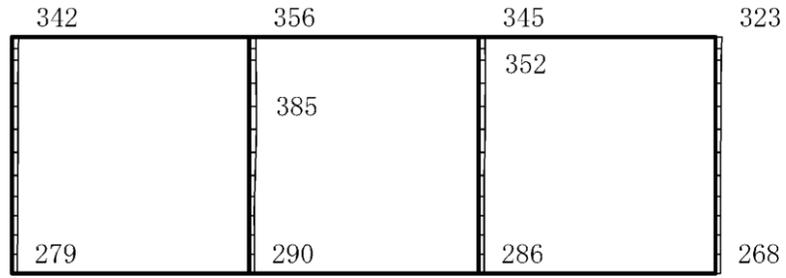
(a) S d - N 2 (E W) (++) 水平



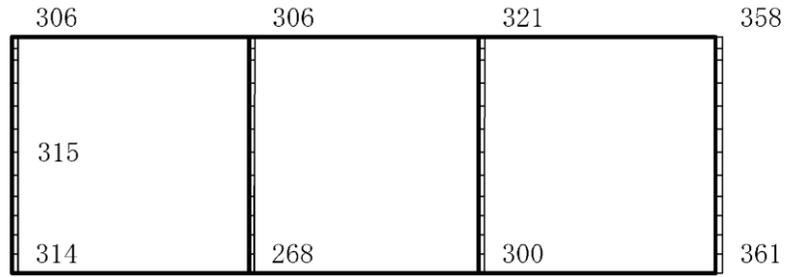
(b) S d - N 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-79 最大応答加速度分布図 (79/84) (解析ケース③)



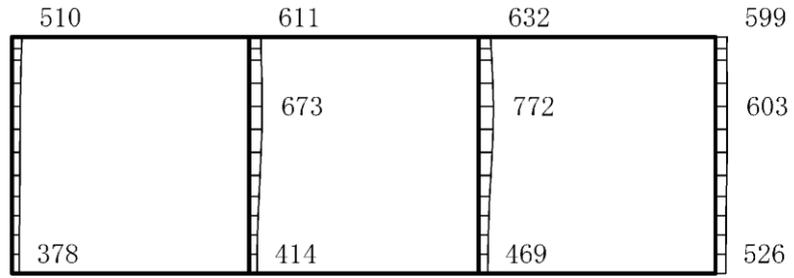
(a) S d - N 2 (E W) (- +) 水平



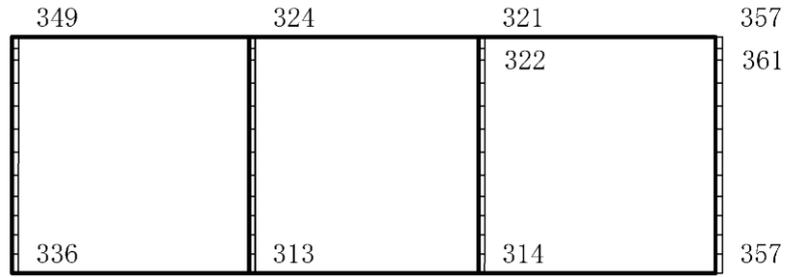
(b) S d - N 2 (E W) (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-80 最大応答加速度分布図 (80/84) (解析ケース③)



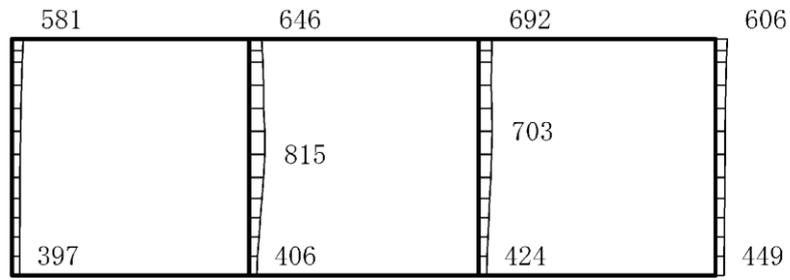
(a) S d - 1 (++) 水平



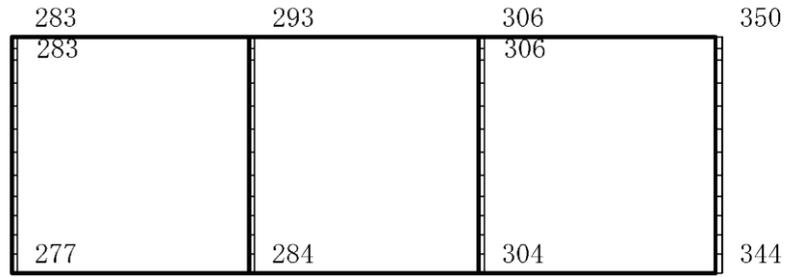
(b) S d - 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-81 最大応答加速度分布図 (81/84) (解析ケース③)



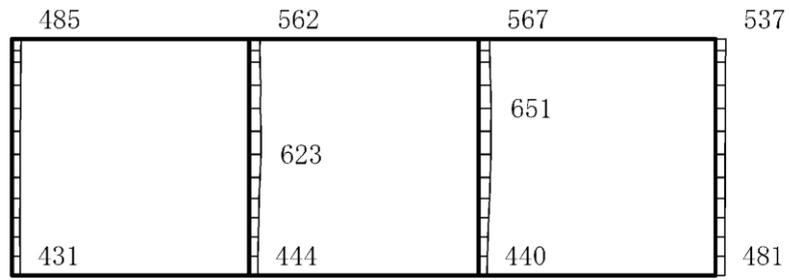
(a) S d - 1 (- +) 水平



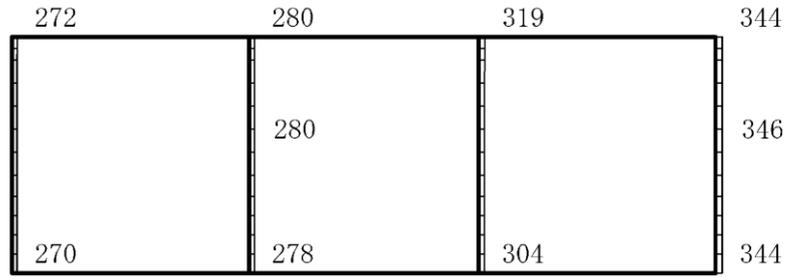
(b) S d - 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-82 最大応答加速度分布図 (82/84) (解析ケース③)



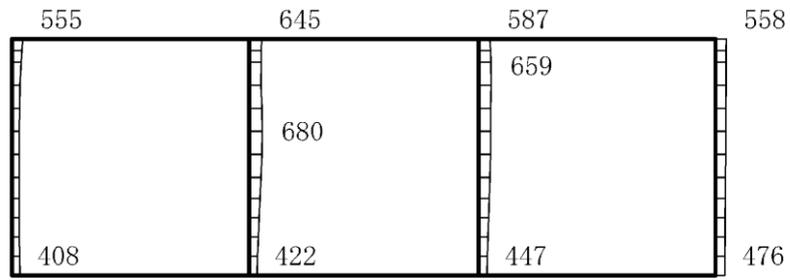
(a) S d - 1 (+ -) 水平



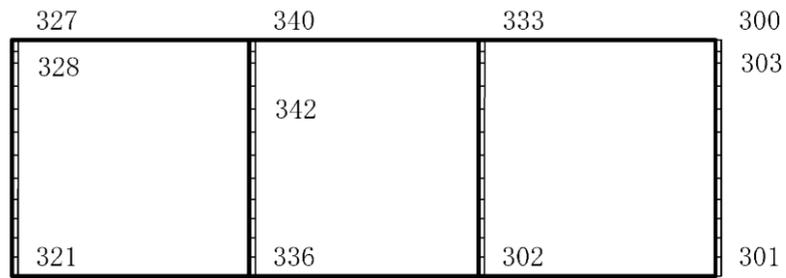
(b) S d - 1 (+ -) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-83 最大応答加速度分布図 (83/84) (解析ケース③)



(a) S d - 1 (--) 水平



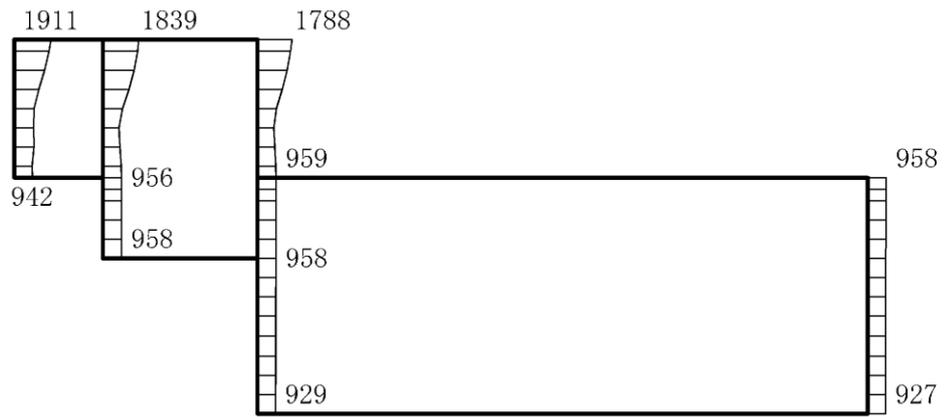
(b) S d - 1 (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

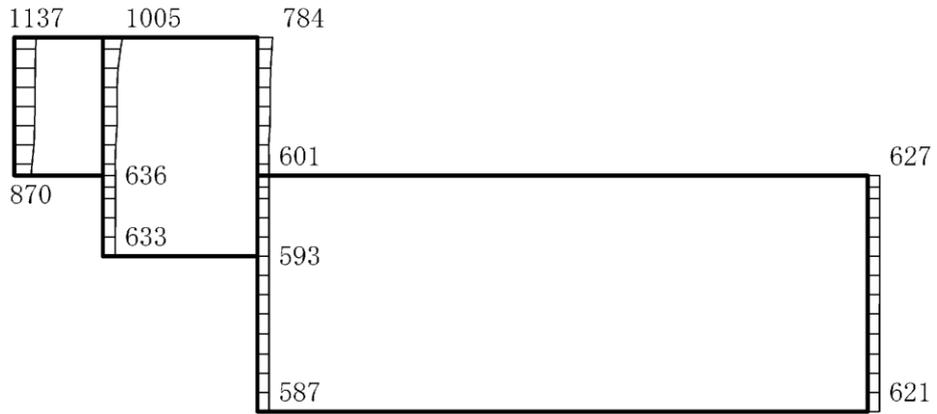
図 4-84 最大応答加速度分布図 (84/84) (解析ケース③)

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4-85～図4-96に示す。また、機器・配管系の応答加速度抽出のための解析ケース②及び③の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4-97～図4-120に示す。これらに加え、解析ケース①～③のすべての弾性設計用地震動 S_d に対する最大加速度分布図を図4-121～図4-168に示す。



(a) S s - D (++) 水平

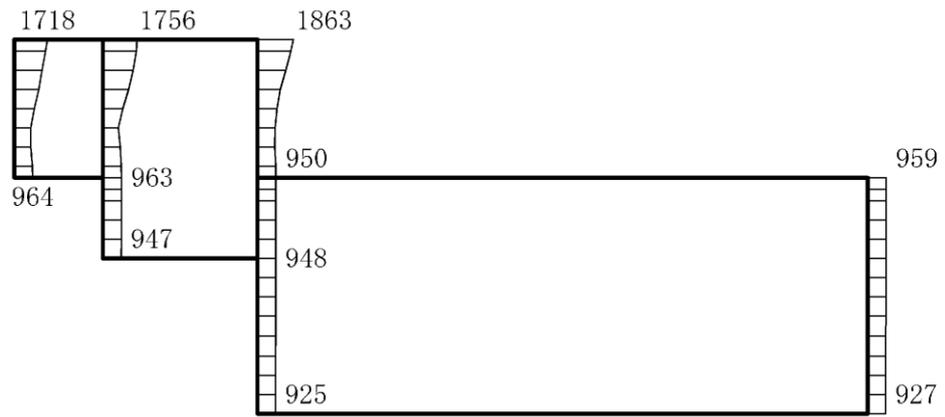


(b) S s - D (++) 鉛直

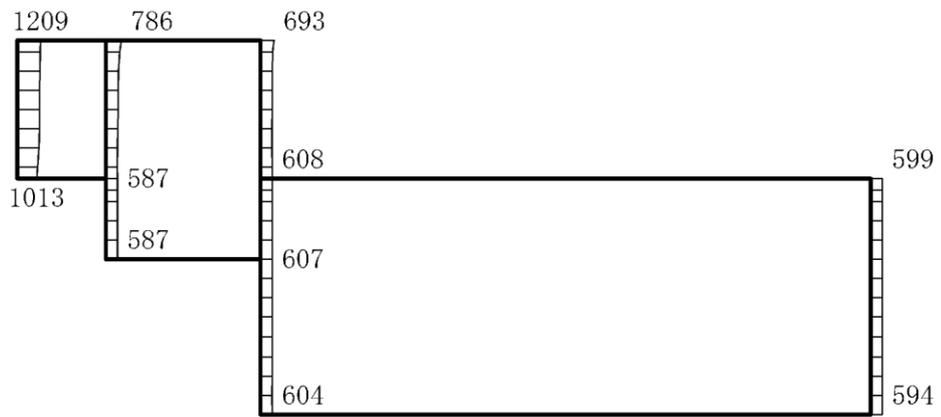
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-85 最大応答加速度分布図 (1/84) (解析ケース①)



(a) S s - D (-+) 水平



(b) S s - D (-+) 鉛直

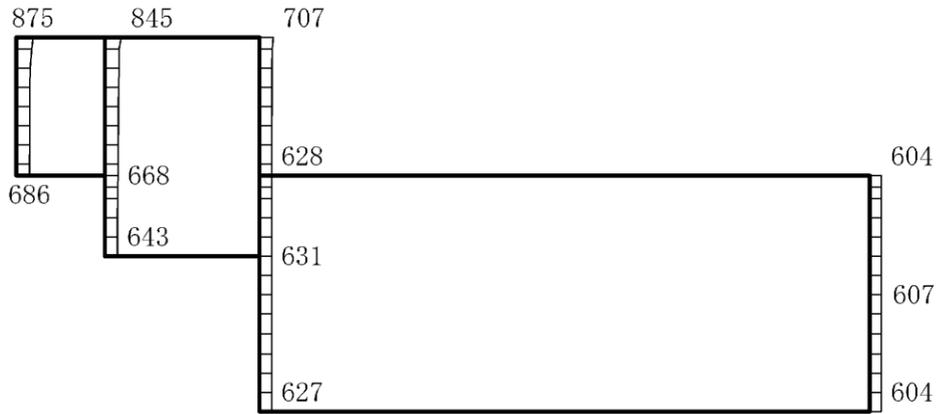
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-86 最大応答加速度分布図 (2/84) (解析ケース①)



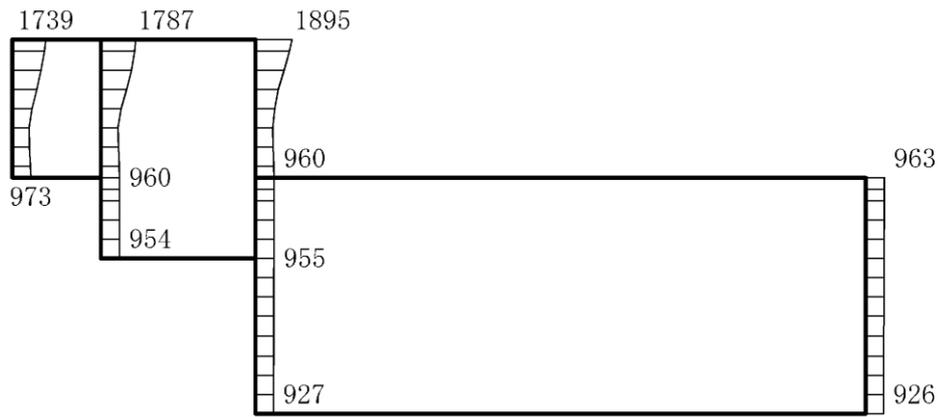
(a) S s - D (+ -) 水平



(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-87 最大応答加速度分布図 (3/84) (解析ケース①)



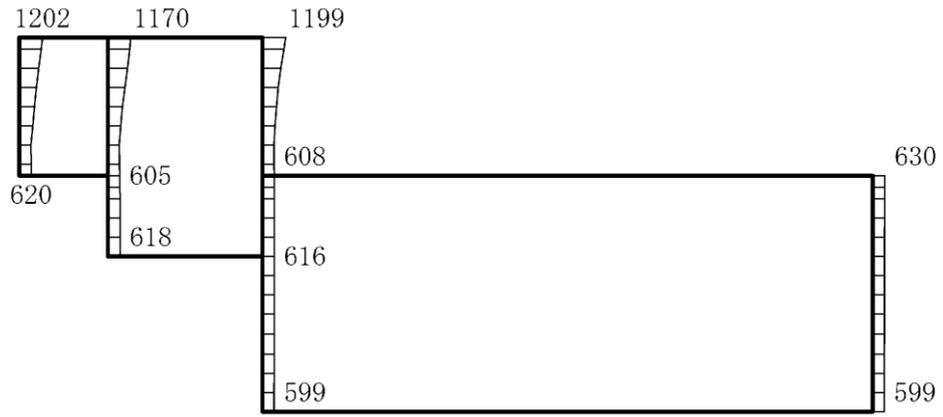
(a) S s - D (--) 水平



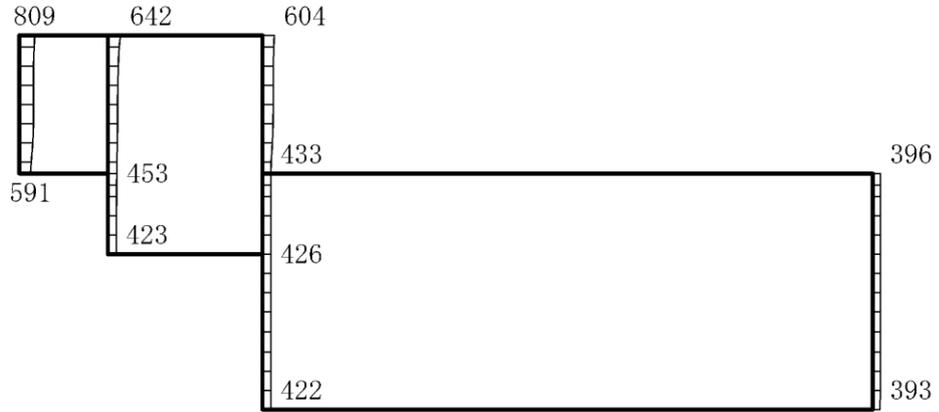
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-88 最大応答加速度分布図 (4/84) (解析ケース①)



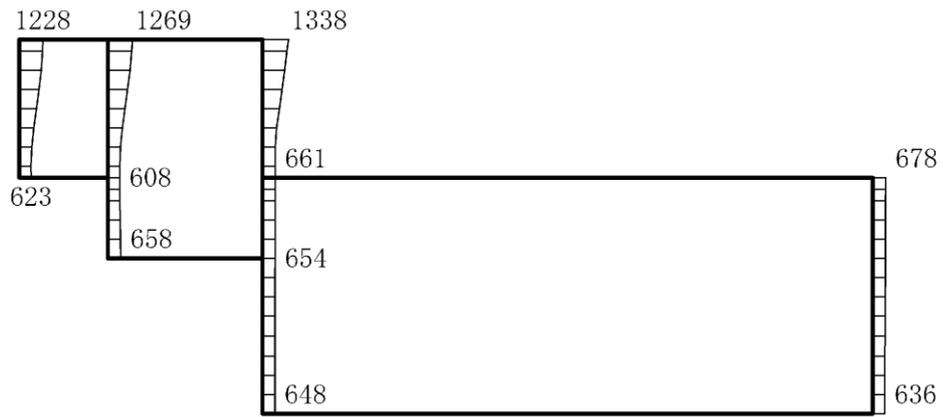
(a) $S_s - F1$ (NS) (++) 水平



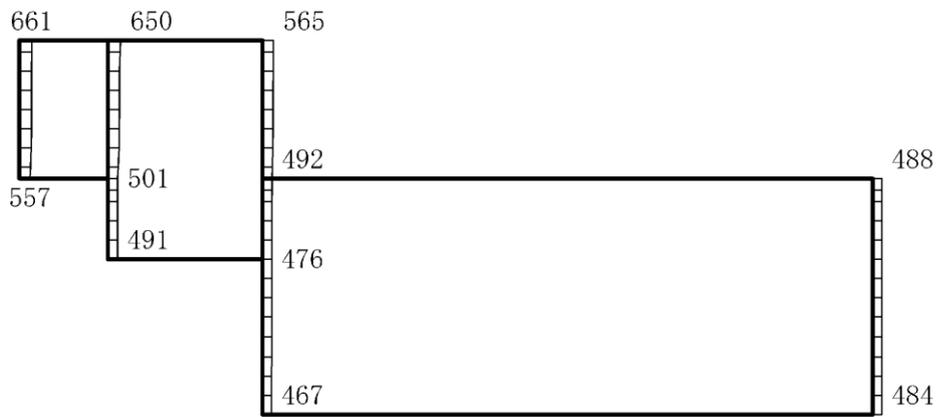
(b) $S_s - F1$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-89 最大応答加速度分布図 (5/84) (解析ケース①)



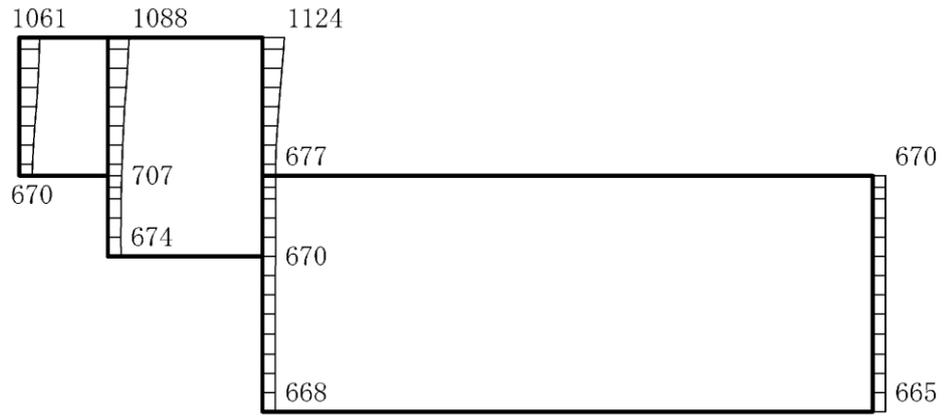
(a) $S_s - F_2$ (NS) (++) 水平



(b) $S_s - F_2$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-90 最大応答加速度分布図 (6/84) (解析ケース①)



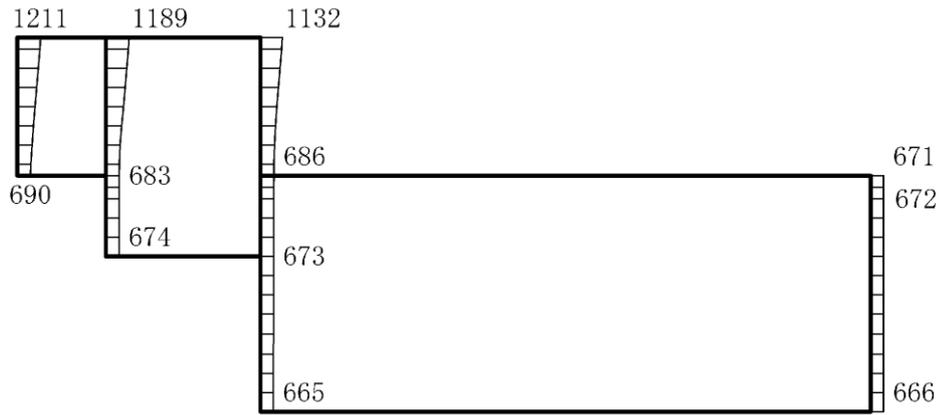
(a) S s - N 1 (++) 水平



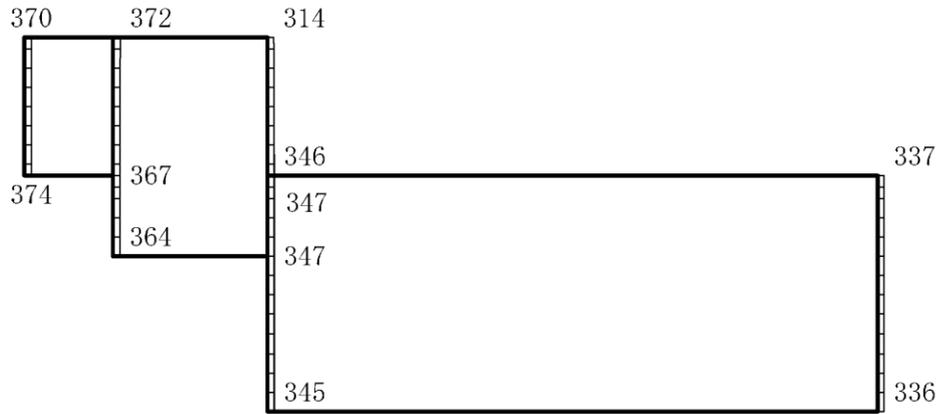
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-91 最大応答加速度分布図 (7/84) (解析ケース①)



(a) S s - N 1 (- +) 水平

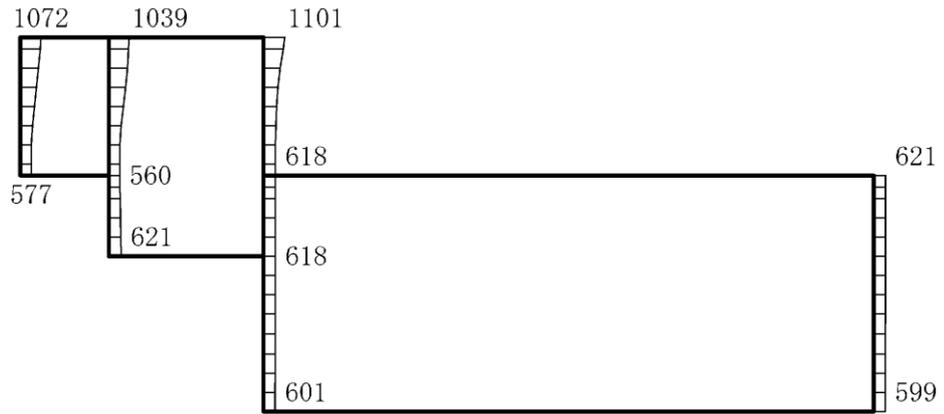


(b) S s - N 1 (- +) 鉛直

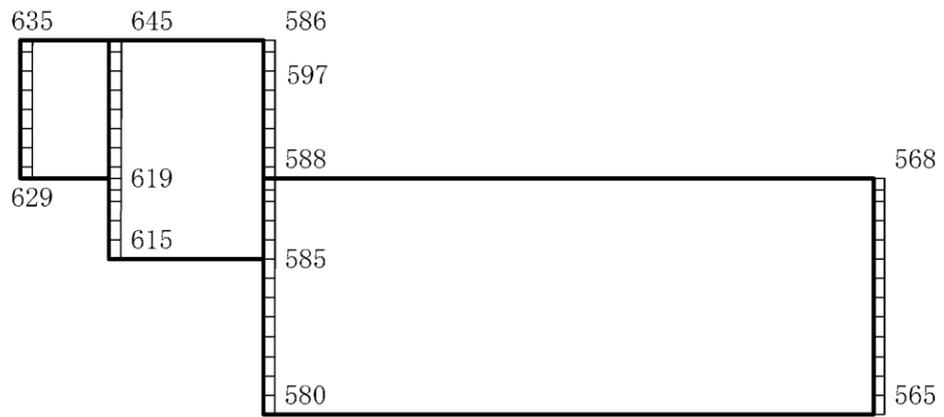
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-92 最大応答加速度分布図 (8/84) (解析ケース①)



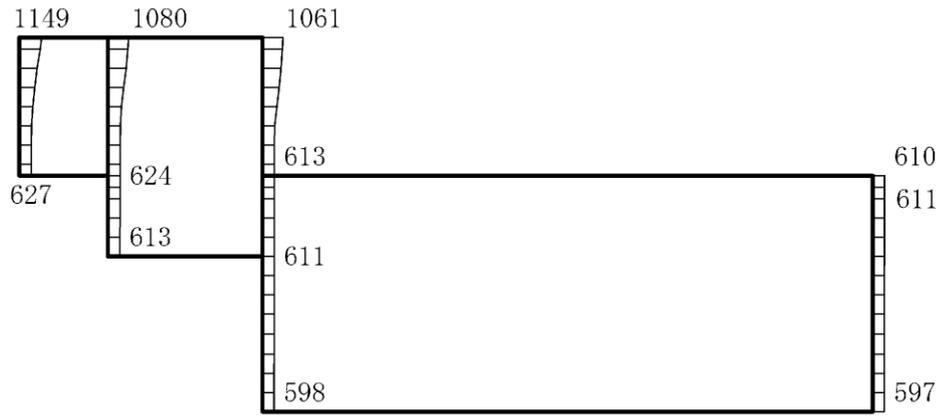
(a) $S_s - N2$ (NS) (++) 水平



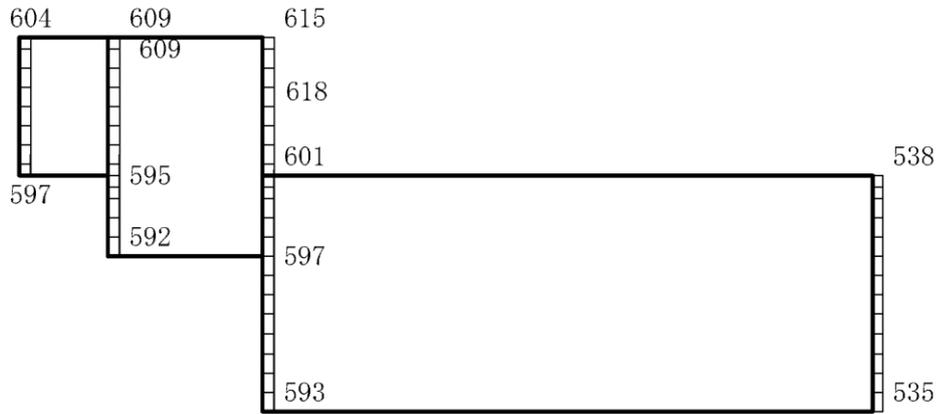
(b) $S_s - N2$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-93 最大応答加速度分布図 (9/84) (解析ケース①)



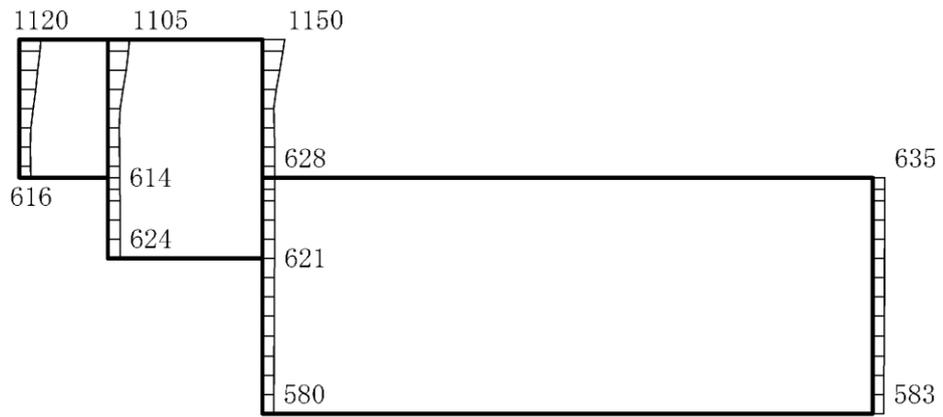
(a) $S_s - N_2$ (NS) (-+) 水平



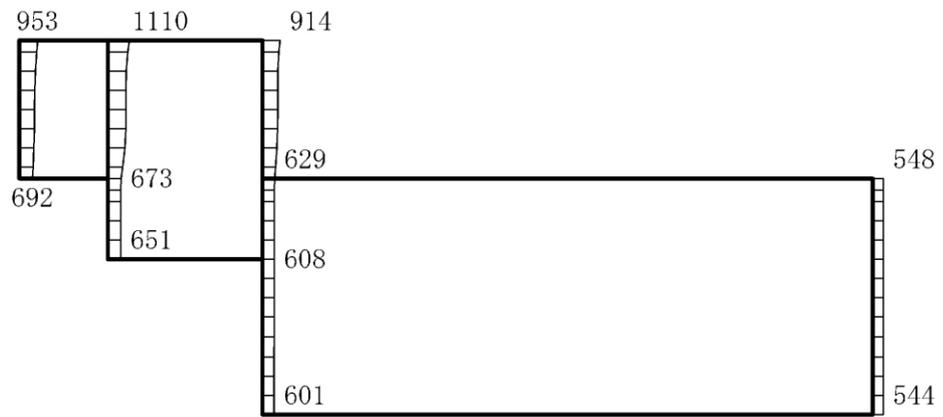
(b) $S_s - N_2$ (NS) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-94 最大応答加速度分布図 (10/84) (解析ケース①)



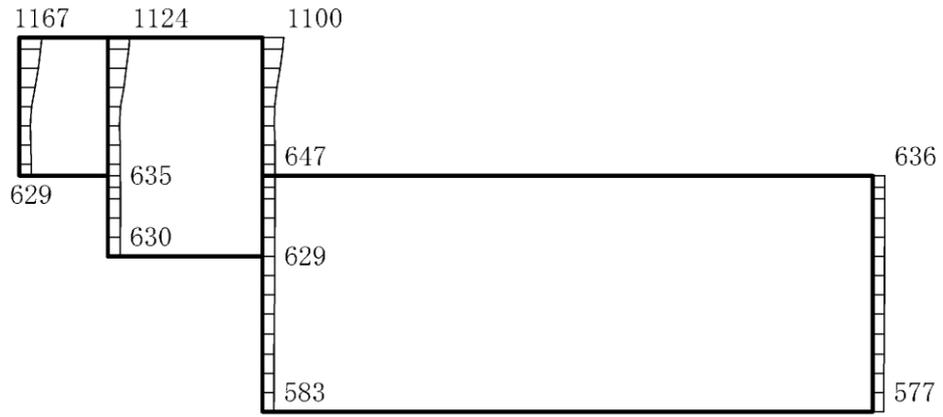
(a) $S_s - N_2$ (EW) (++) 水平



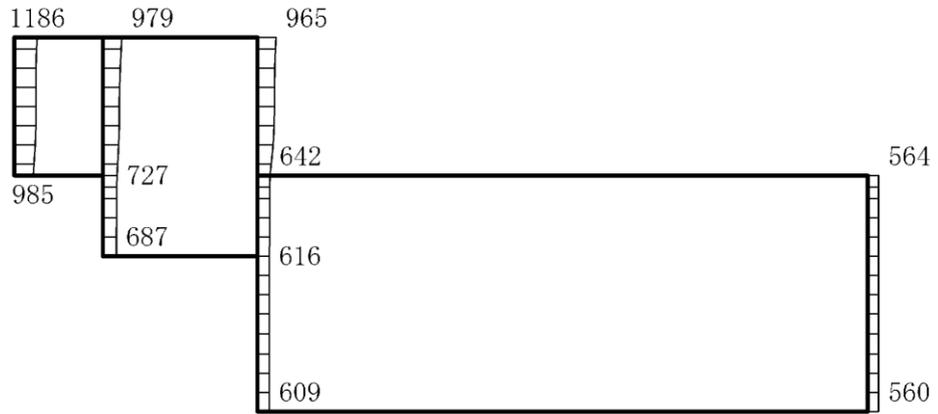
(b) $S_s - N_2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-95 最大応答加速度分布図 (11/84) (解析ケース①)



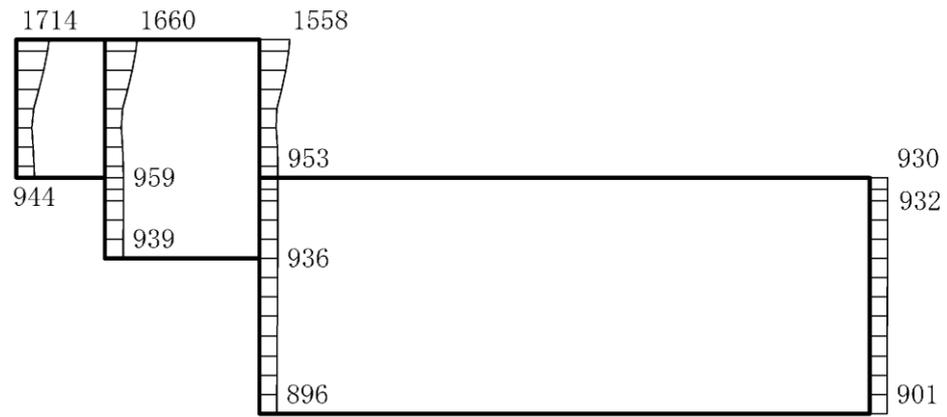
(a) $S_s - N2$ (EW) (-+) 水平



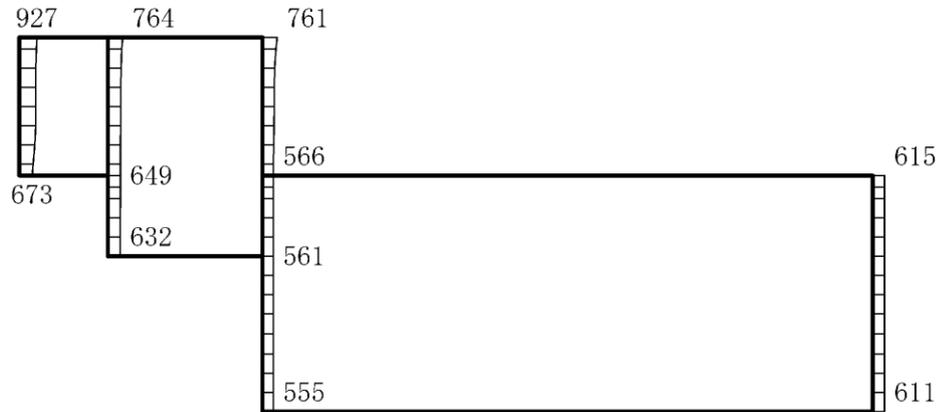
(b) $S_s - N2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-96 最大応答加速度分布図 (12/84) (解析ケース①)



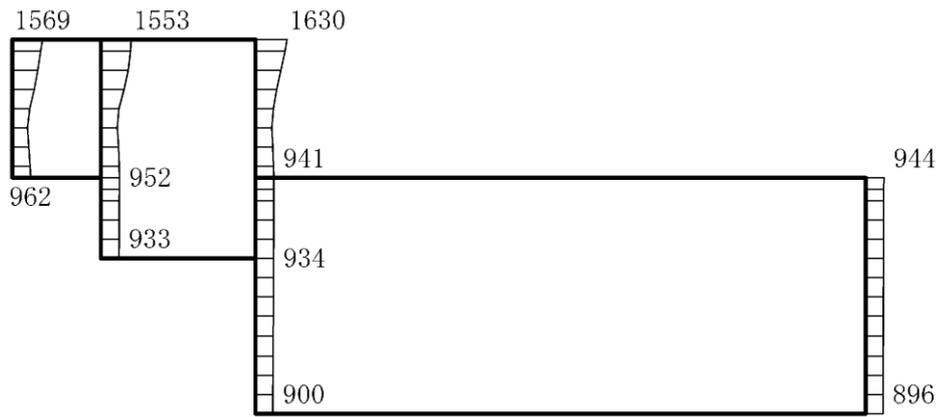
(a) S s - D (++) 水平



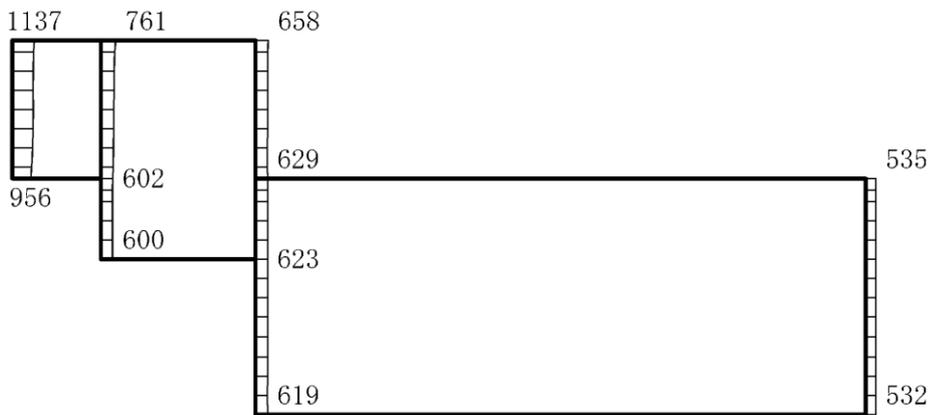
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-97 最大応答加速度分布図 (13/84) (解析ケース②)



(a) S s - D (-+) 水平



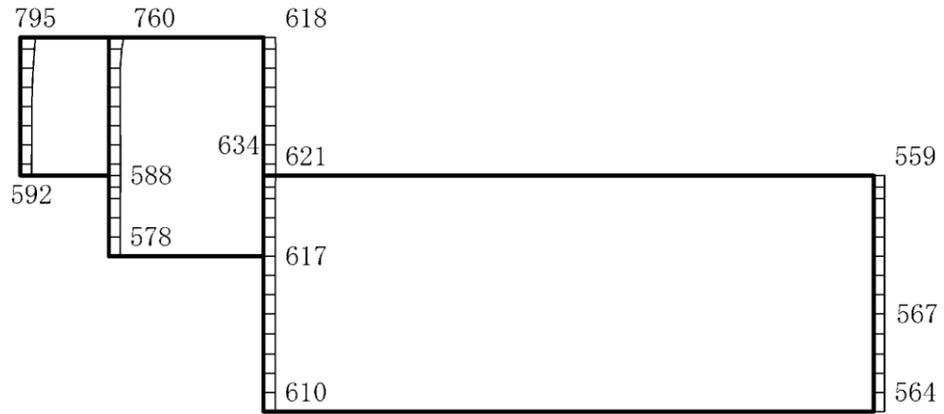
(b) S s - D (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-98 最大応答加速度分布図 (14/84) (解析ケース②)



(a) S s - D (+-) 水平



(b) S s - D (+-) 鉛直

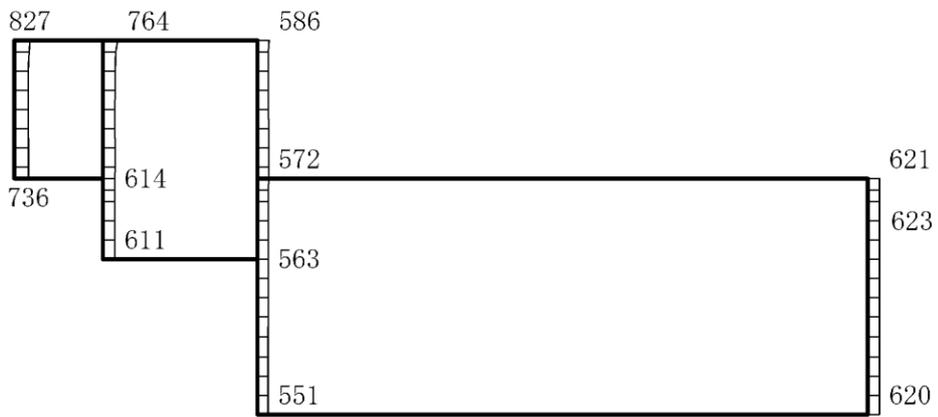
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-99 最大応答加速度分布図 (15/84) (解析ケース②)



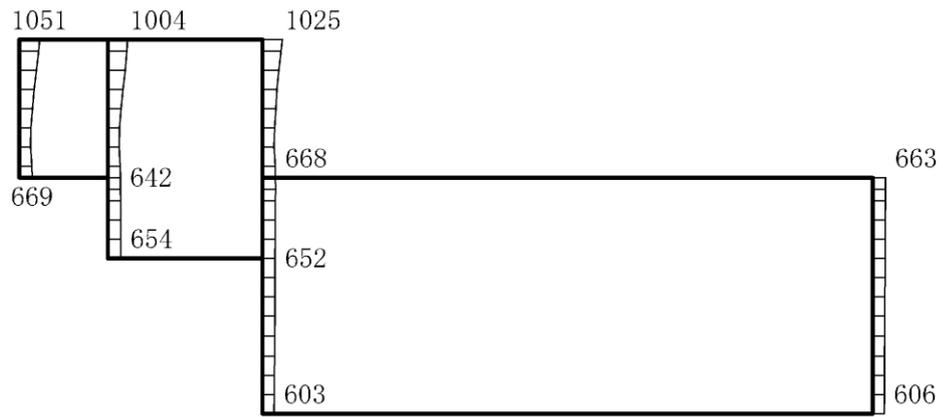
(a) S s - D (--) 水平



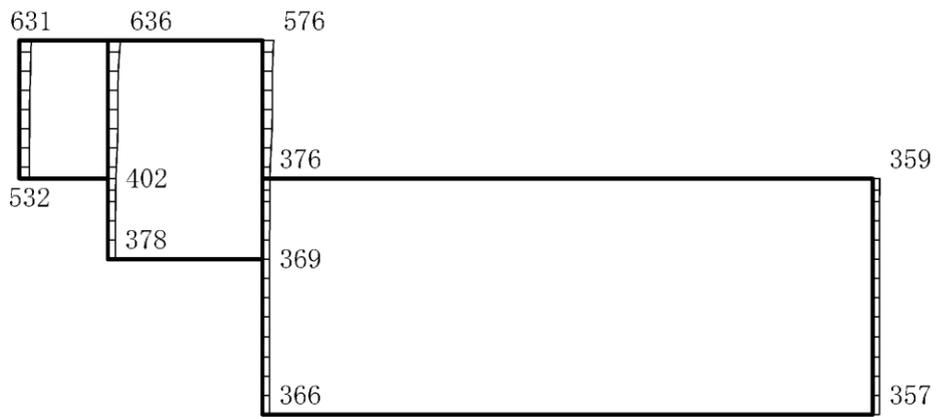
(b) S s - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-100 最大応答加速度分布図 (16/84) (解析ケース②)



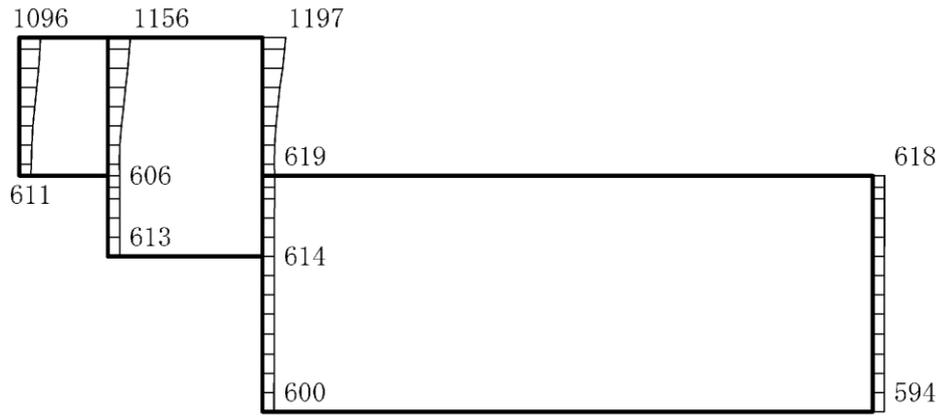
(a) $S_s - F1$ (NS) (++) 水平



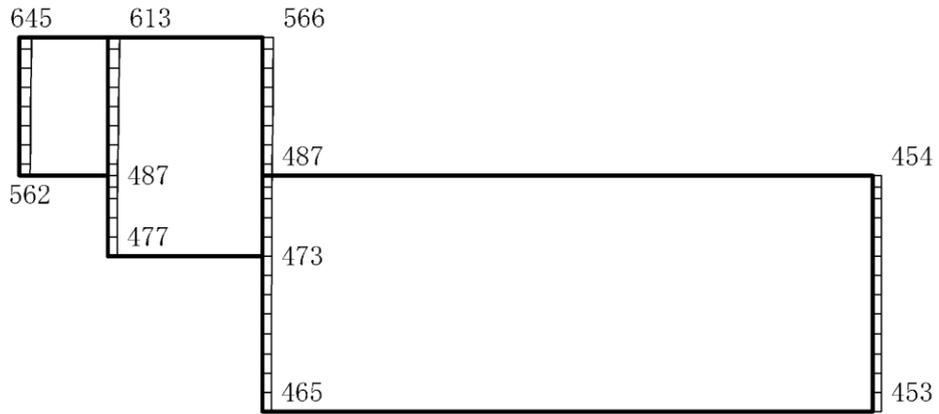
(b) $S_s - F1$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-101 最大応答加速度分布図 (17/84) (解析ケース②)



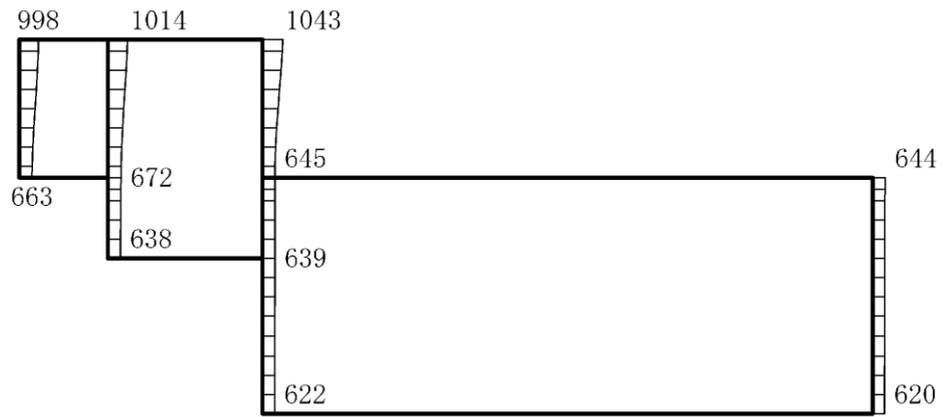
(a) $S_s - F_2$ (NS) (++) 水平



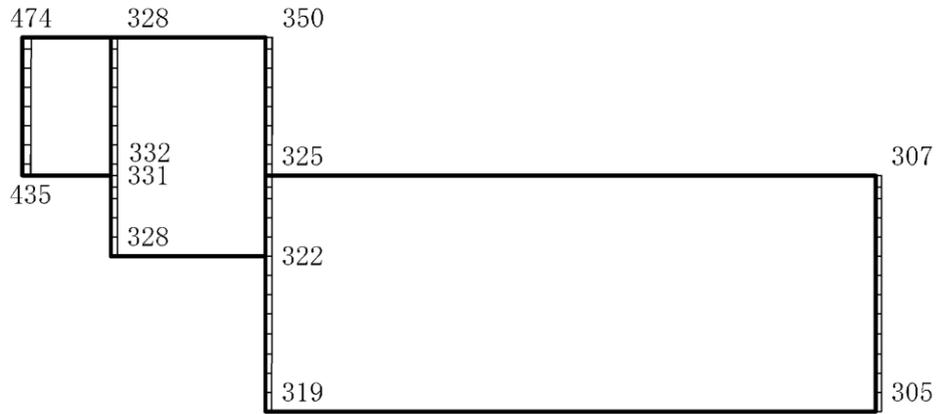
(b) $S_s - F_2$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-102 最大応答加速度分布図 (18/84) (解析ケース②)



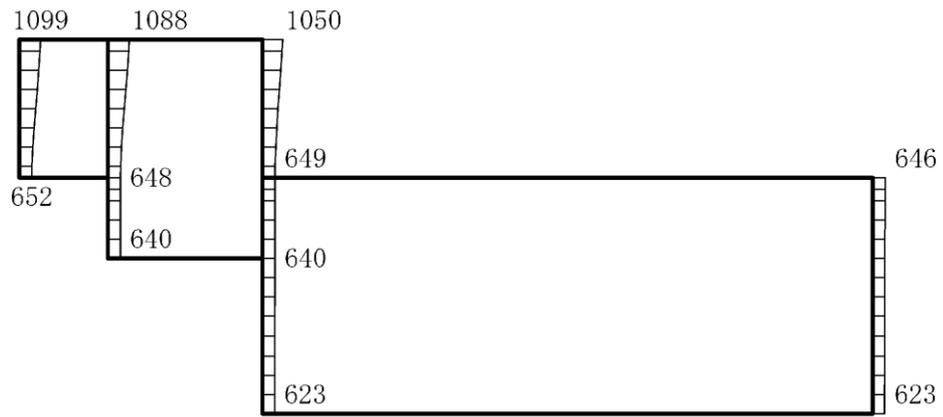
(a) S s - N 1 (++) 水平



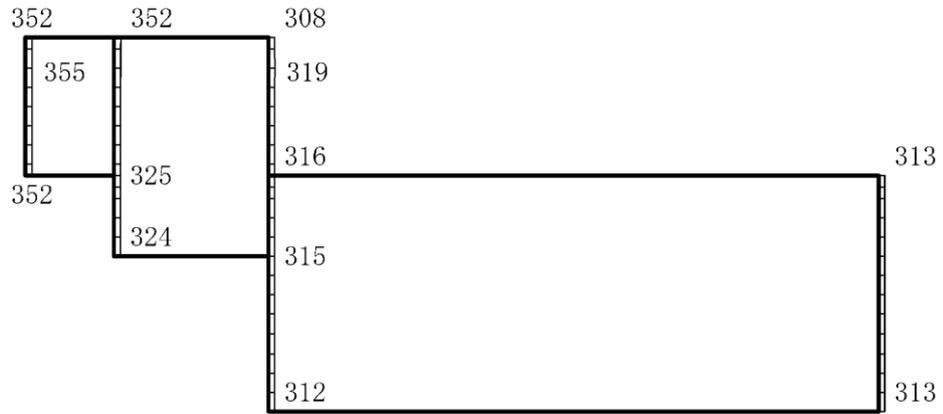
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-103 最大応答加速度分布図 (19/84) (解析ケース②)



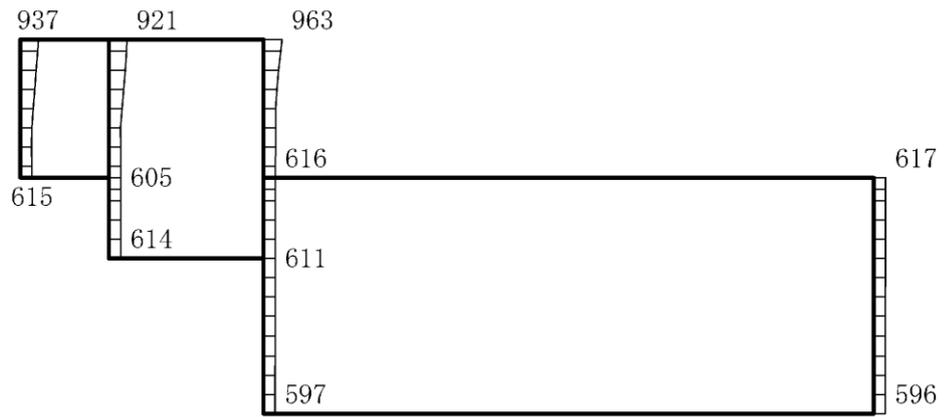
(a) $S_s - N1$ (−+) 水平



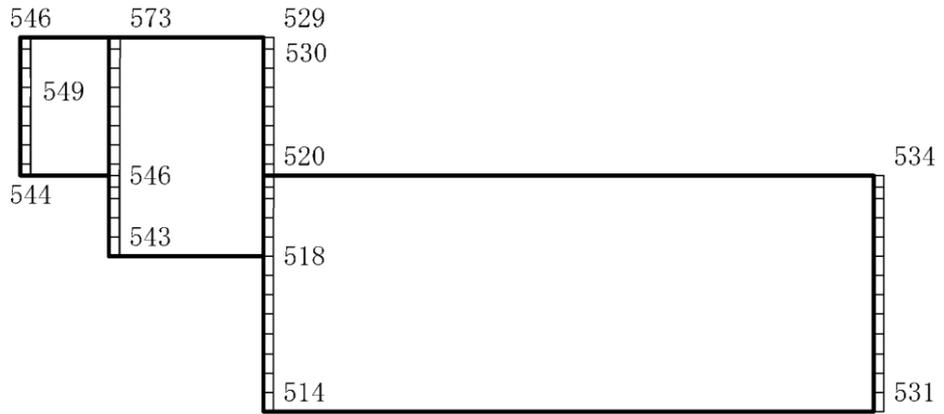
(b) $S_s - N1$ (−+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-104 最大応答加速度分布図 (20/84) (解析ケース②)



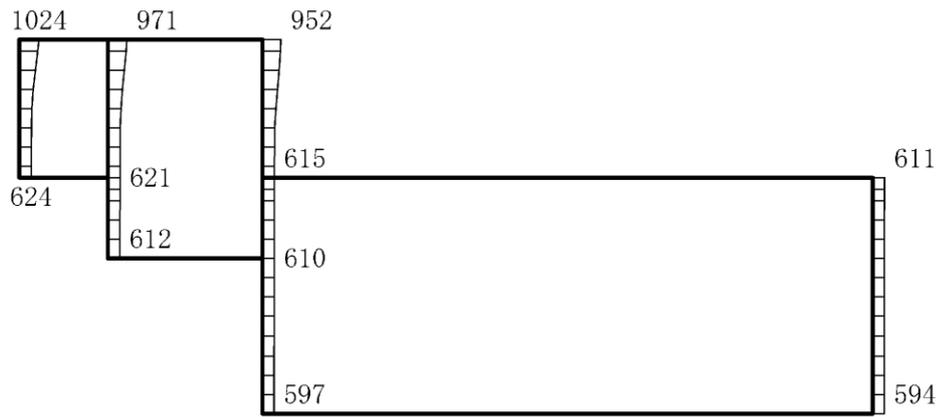
(a) $S_s - N2$ (NS) (++) 水平



(b) $S_s - N2$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-105 最大応答加速度分布図 (21/84) (解析ケース②)



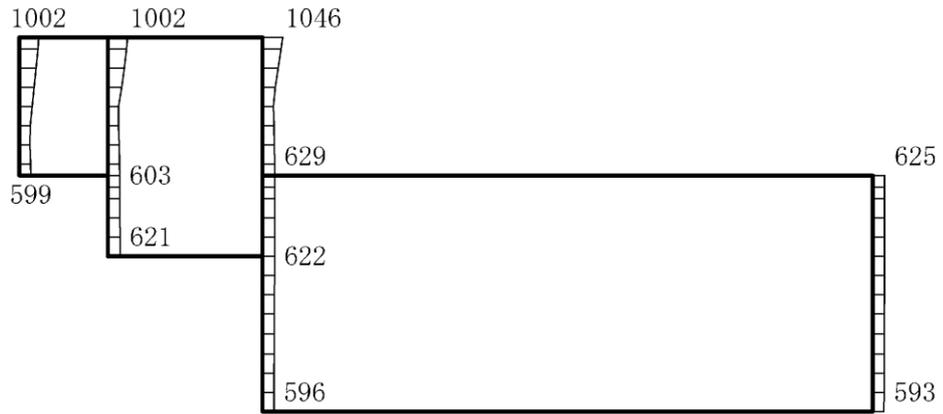
(a) $S_s - N2$ (NS) (-+) 水平



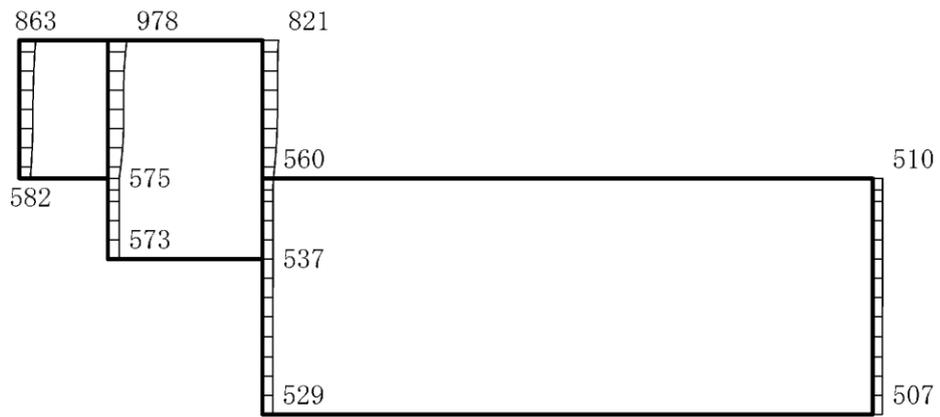
(b) $S_s - N2$ (NS) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-106 最大応答加速度分布図 (22/84) (解析ケース②)



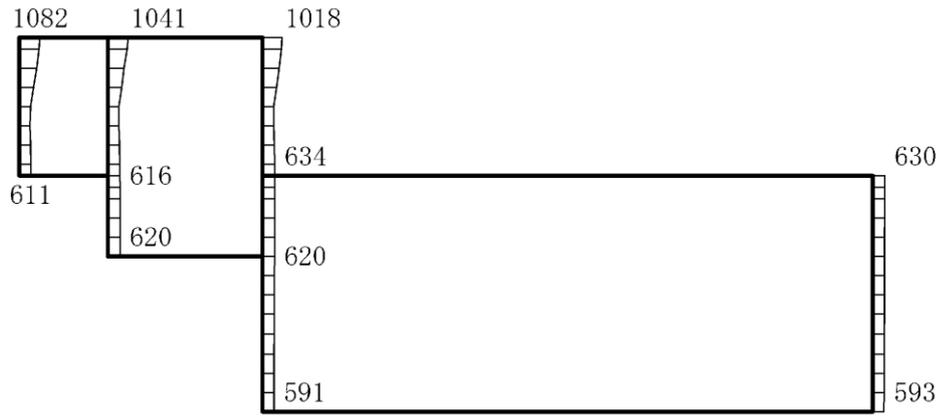
(a) $S_s - N2$ (EW) (++) 水平



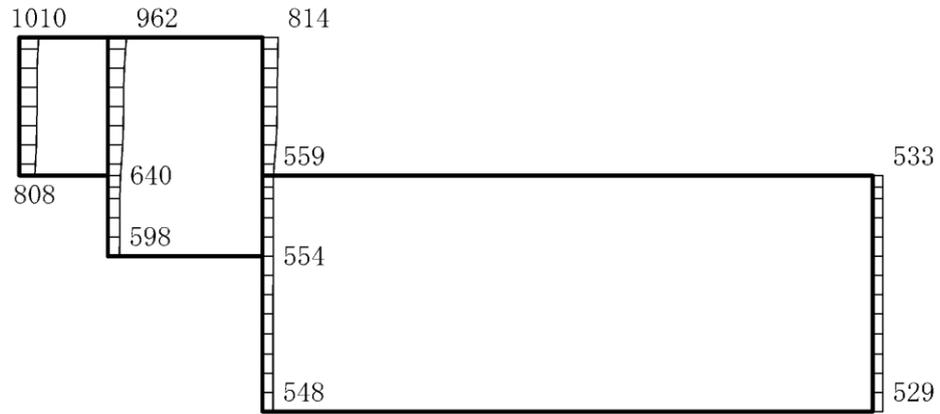
(b) $S_s - N2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-107 最大応答加速度分布図 (23/84) (解析ケース②)



(a) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 水平



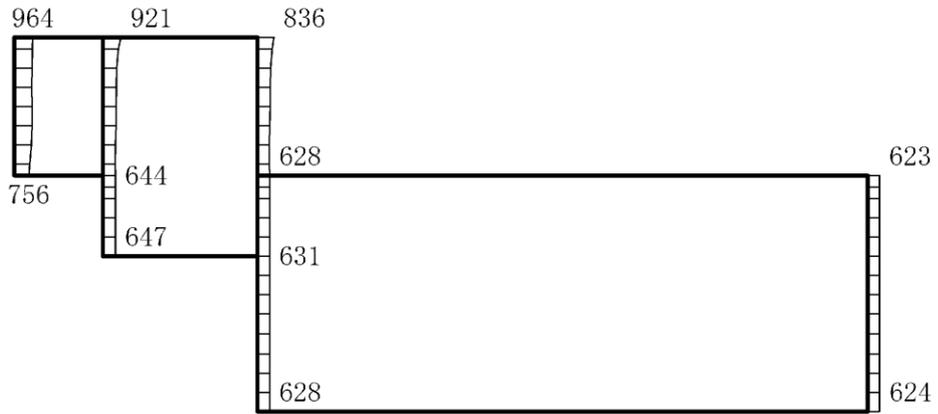
(b) $S_s - N_2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-108 最大応答加速度分布図 (24/84) (解析ケース 3)



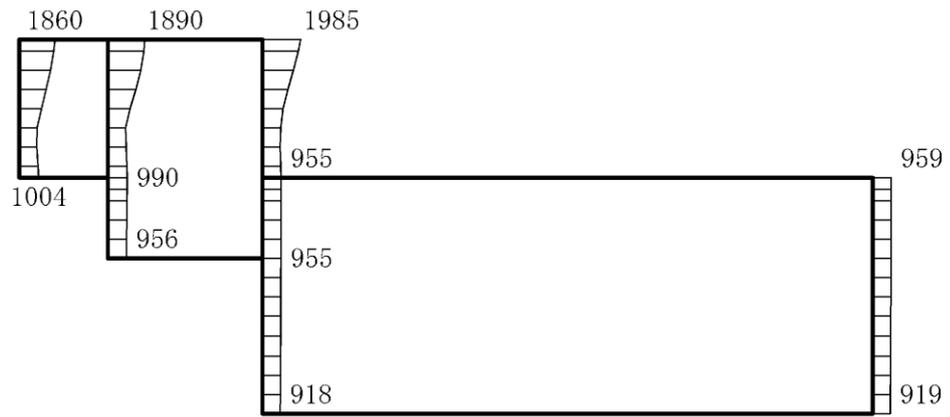
(a) S s - D (++) 水平



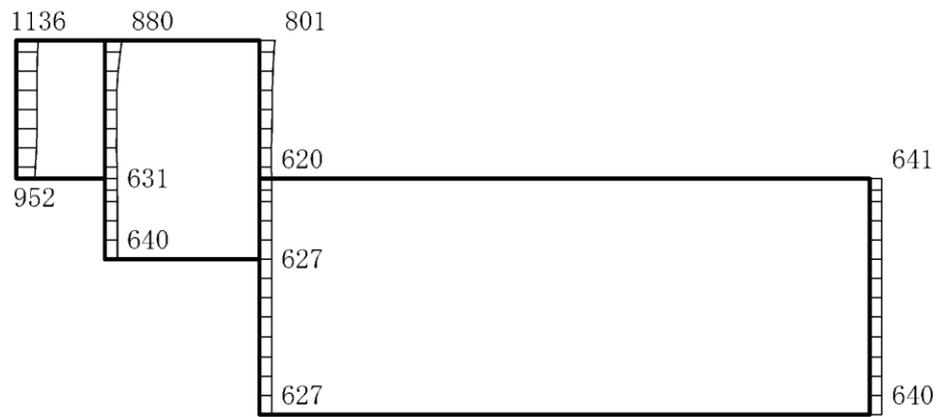
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-109 最大応答加速度分布図 (25/84) (解析ケース③)



(a) S s - D (-+) 水平

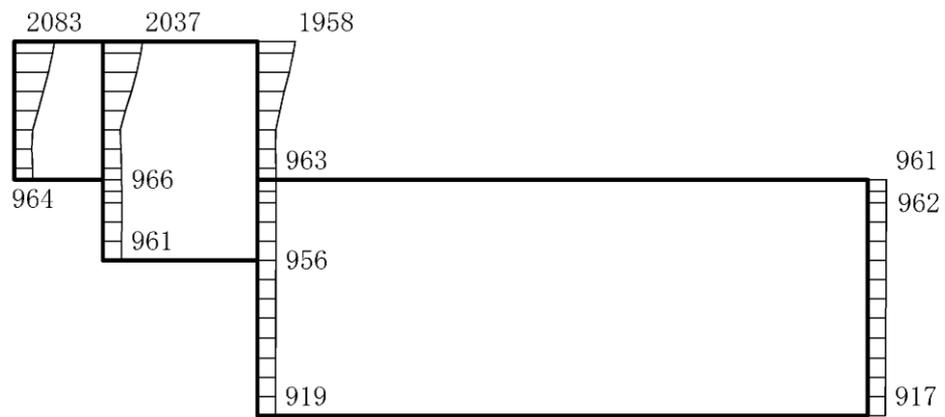


(b) S s - D (-+) 鉛直

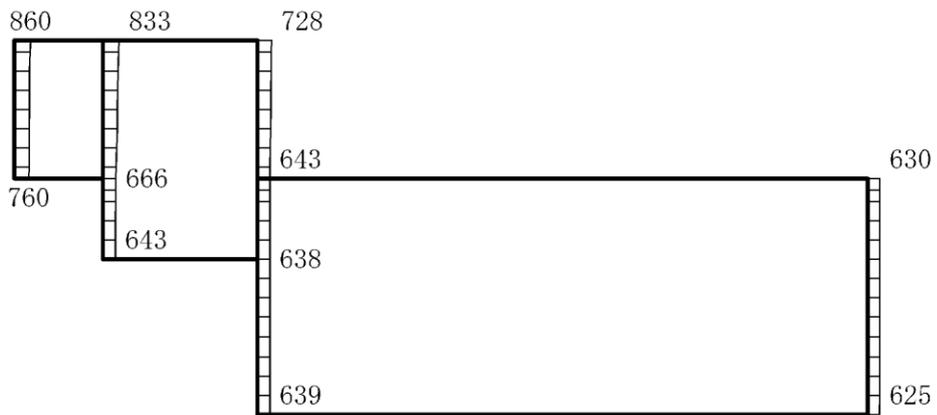
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-110 最大応答加速度分布図 (26/84) (解析ケース③)



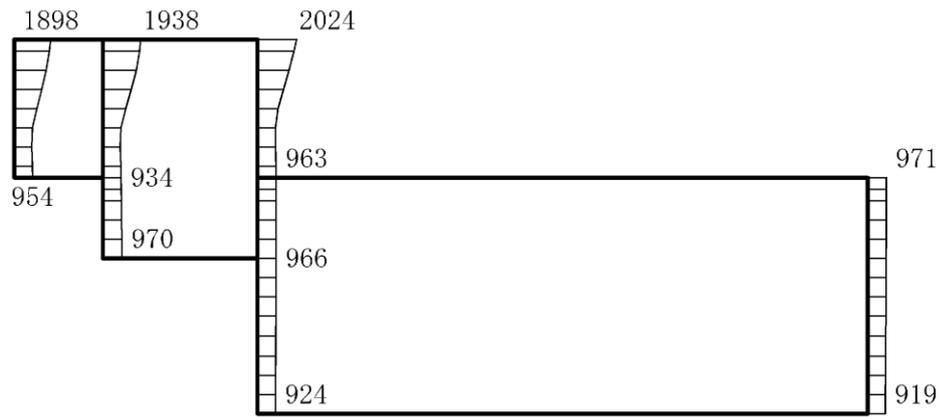
(a) S s - D (+ -) 水平



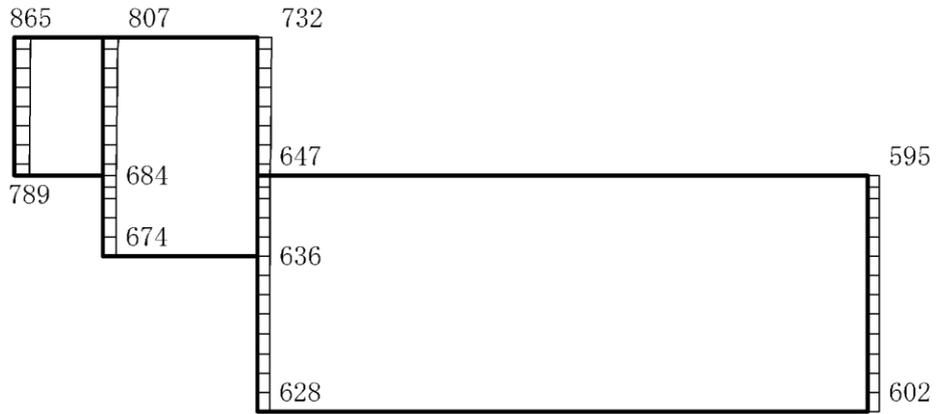
(b) S s - D (+ -) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-111 最大応答加速度分布図 (27/84) (解析ケース③)



(a) S s - D (--) 水平

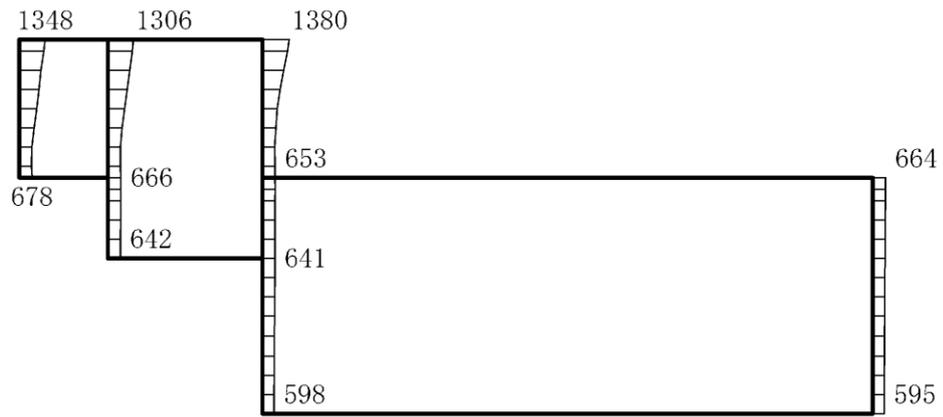


(b) S s - D (--) 鉛直

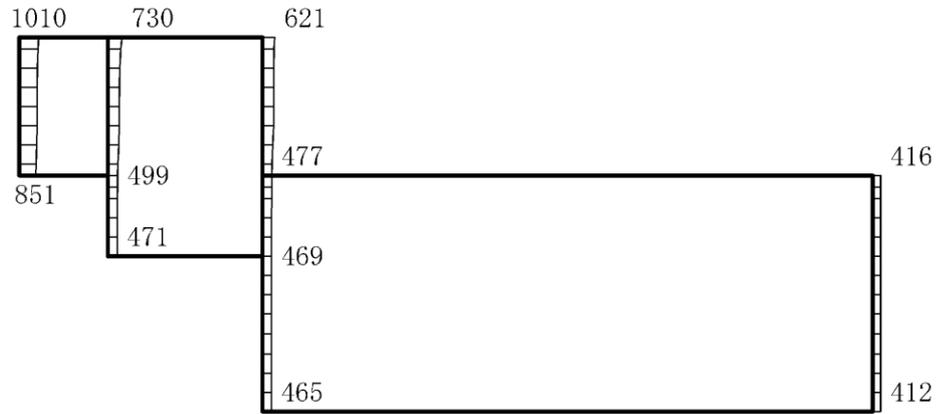
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-112 最大応答加速度分布図 (28/84) (解析ケース③)



(a) $S_s - F1$ (NS) (++) 水平



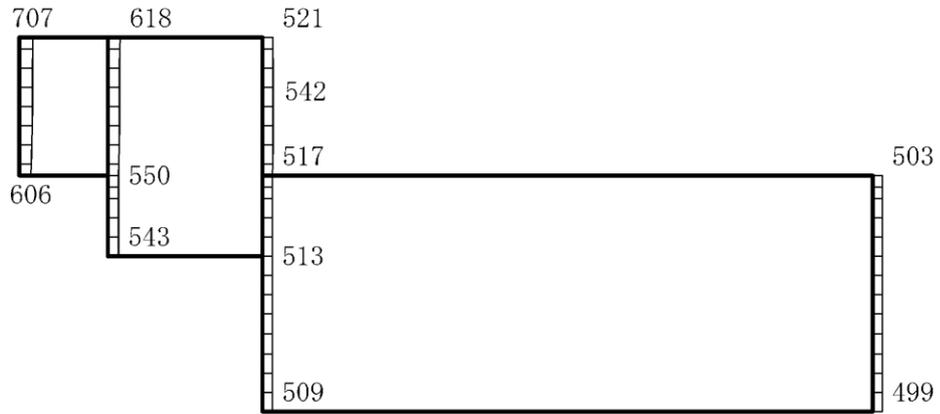
(b) $S_s - F1$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-113 最大応答加速度分布図 (29/84) (解析ケース③)



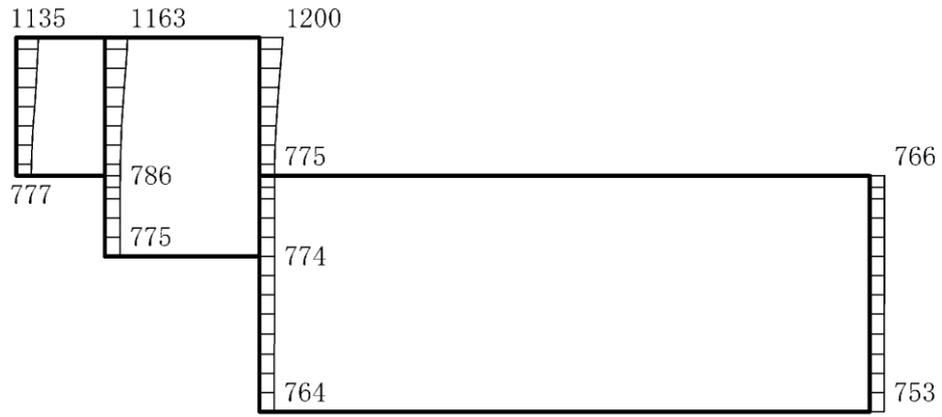
(a) $S_s - F_2$ (NS) (++) 水平



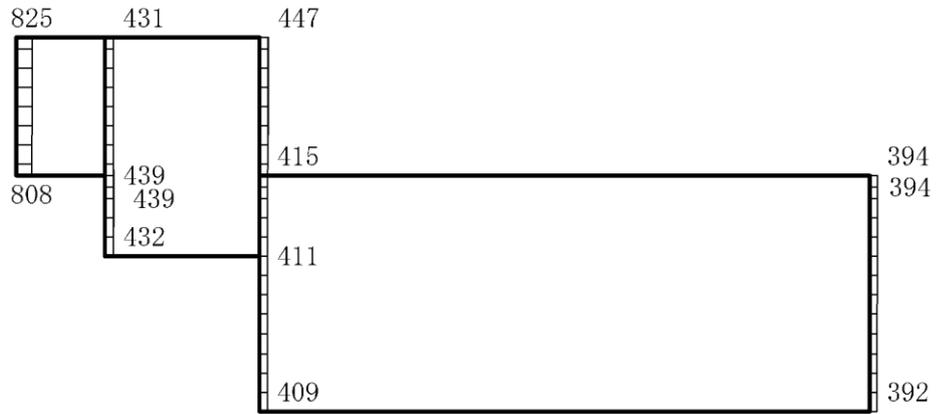
(b) $S_s - F_2$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-114 最大応答加速度分布図 (30/84) (解析ケース③)



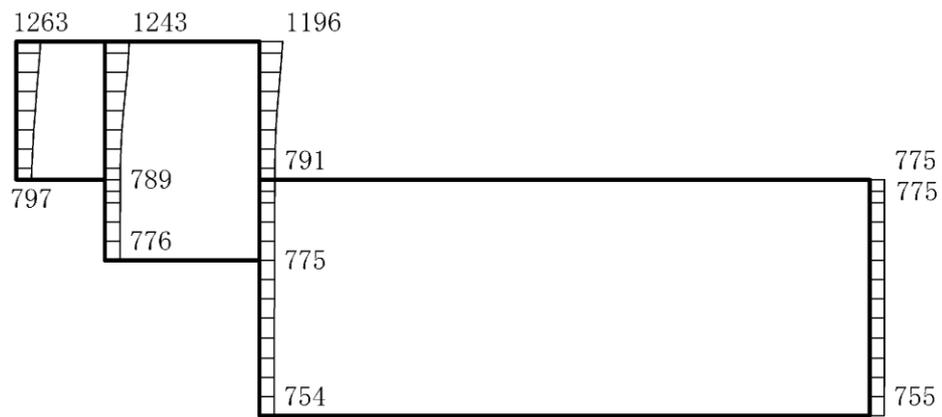
(a) S s - N 1 (++) 水平



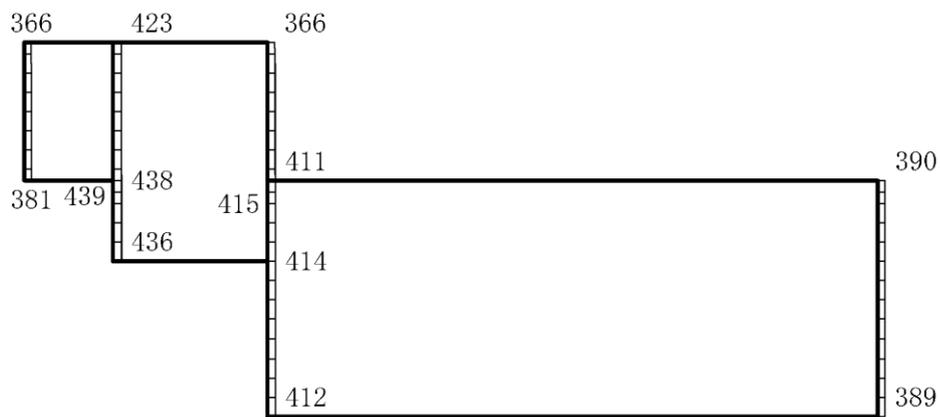
(b) S s - N 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-115 最大応答加速度分布図 (31/84) (解析ケース③)



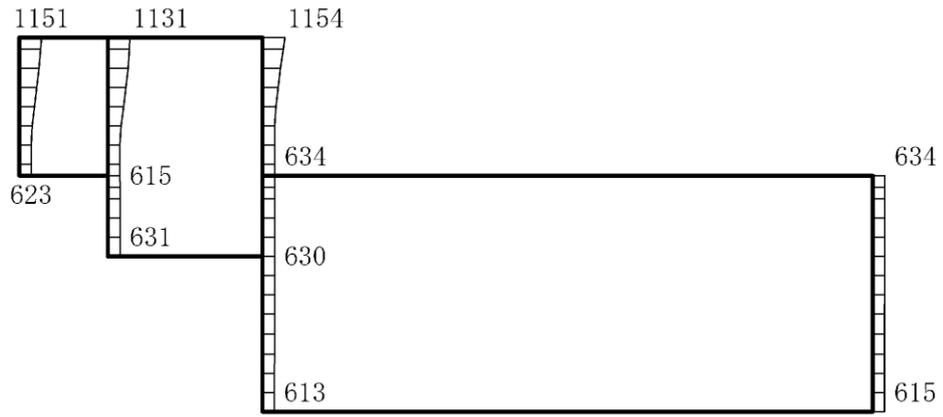
(a) $S_s - N1$ (-+) 水平



(b) $S_s - N1$ (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-116 最大応答加速度分布図 (32/84) (解析ケース③)



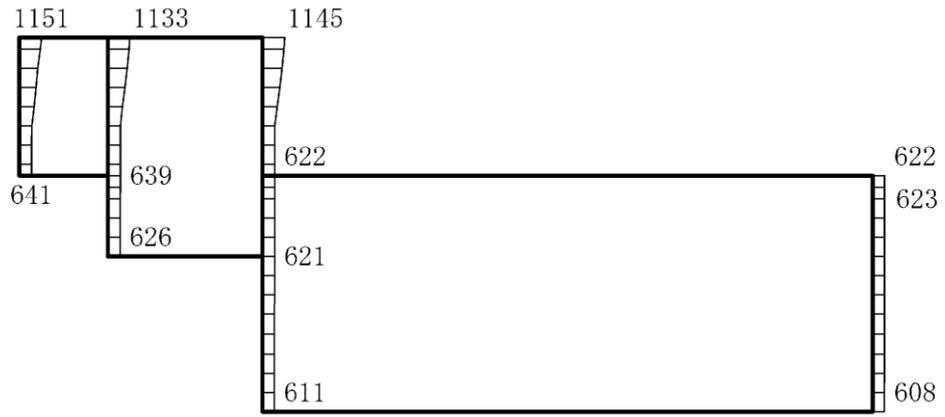
(a) $S_s - N 2$ (NS) (++) 水平



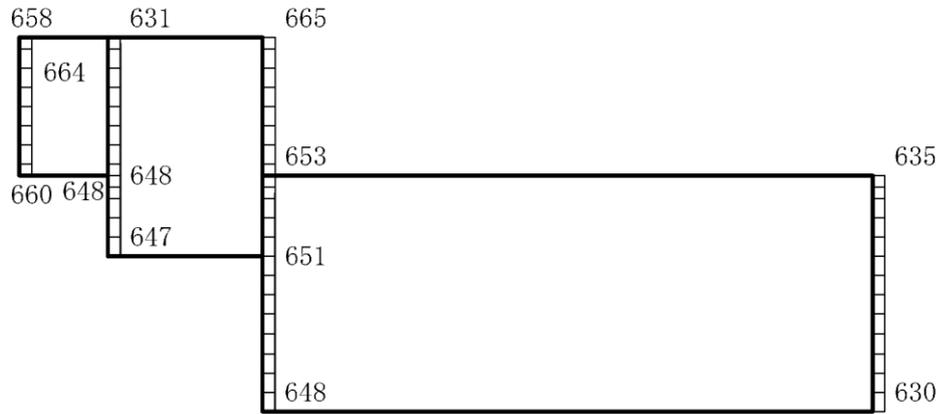
(b) $S_s - N 2$ (NS) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-117 最大応答加速度分布図 (33/84) (解析ケース③)



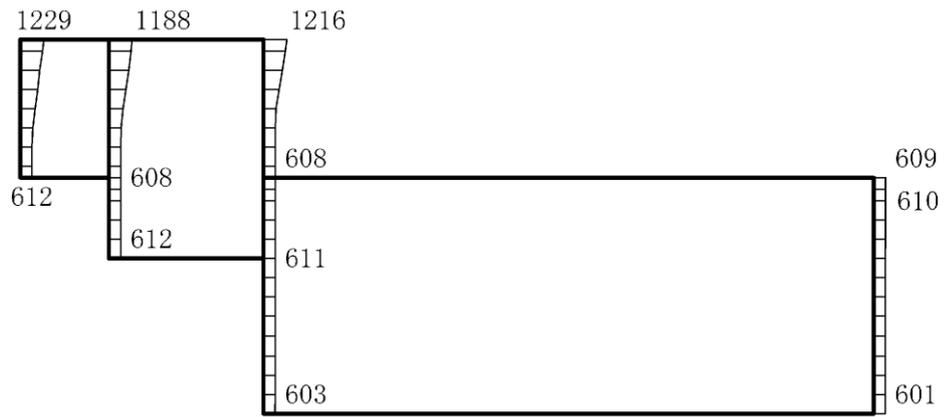
(a) $S_s - N 2$ (NS) (-+) 水平



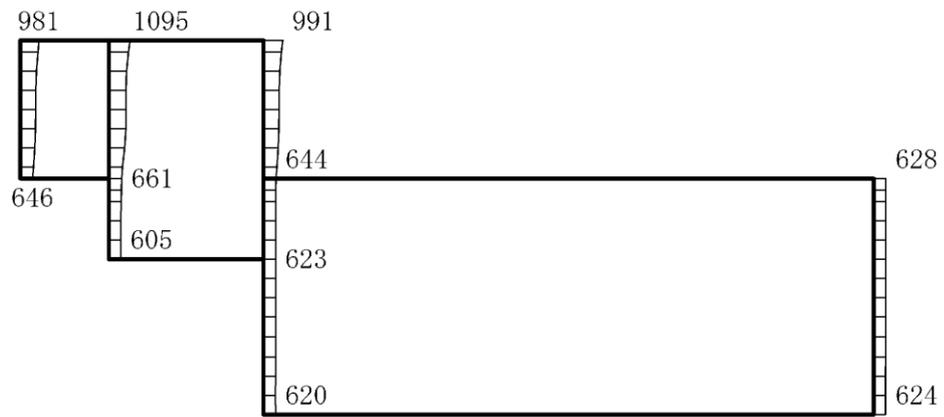
(b) $S_s - N 2$ (NS) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-118 最大応答加速度分布図 (34/84) (解析ケース③)



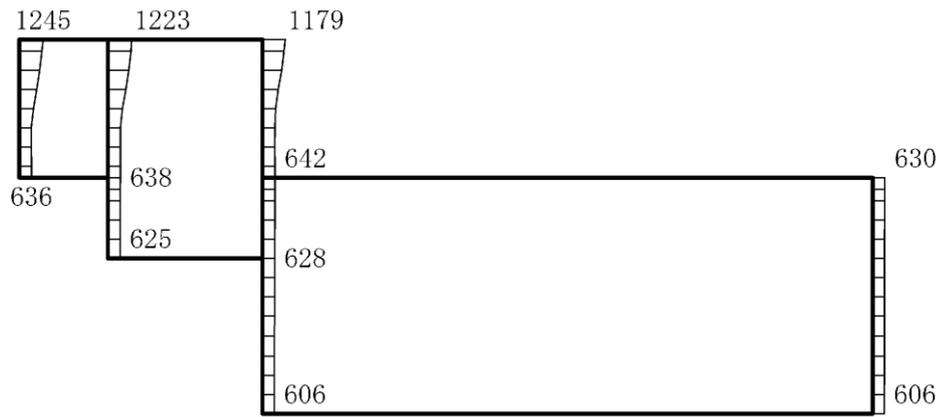
(a) $S_s - N2$ (EW) (++) 水平



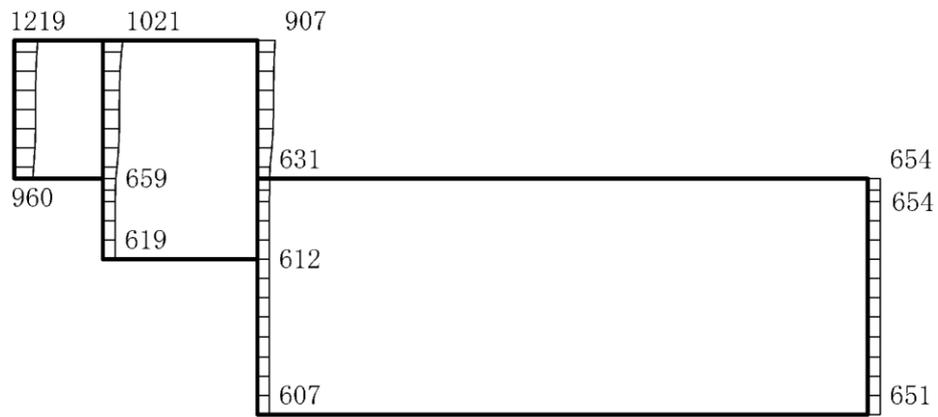
(b) $S_s - N2$ (EW) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-119 最大応答加速度分布図 (35/84) (解析ケース③)



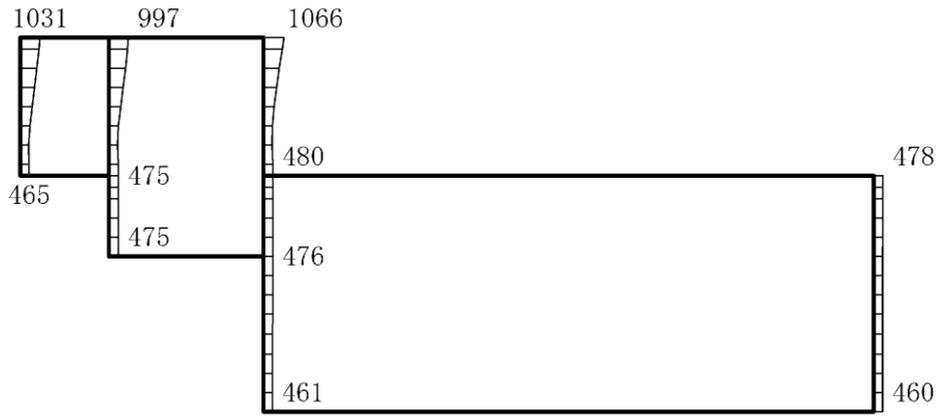
(a) $S_s - N2$ (EW) (-+) 水平



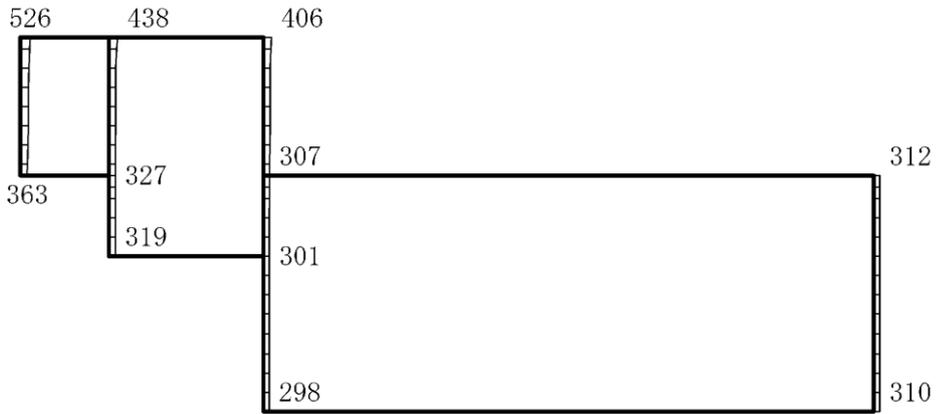
(b) $S_s - N2$ (EW) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-120 最大応答加速度分布図 (36/84) (解析ケース③)



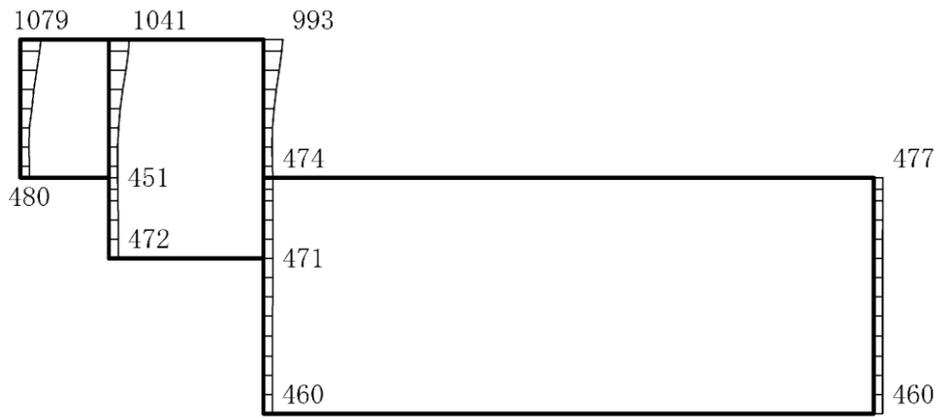
(a) S d - D (++) 水平



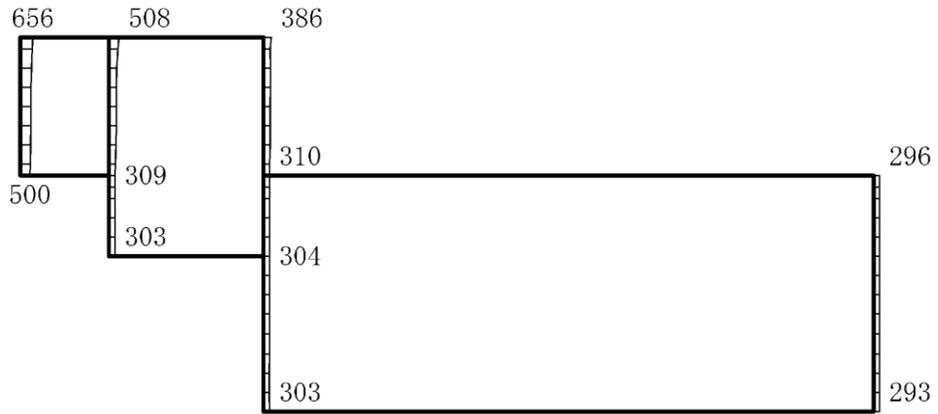
(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-121 最大応答加速度分布図 (37/84) (解析ケース①)



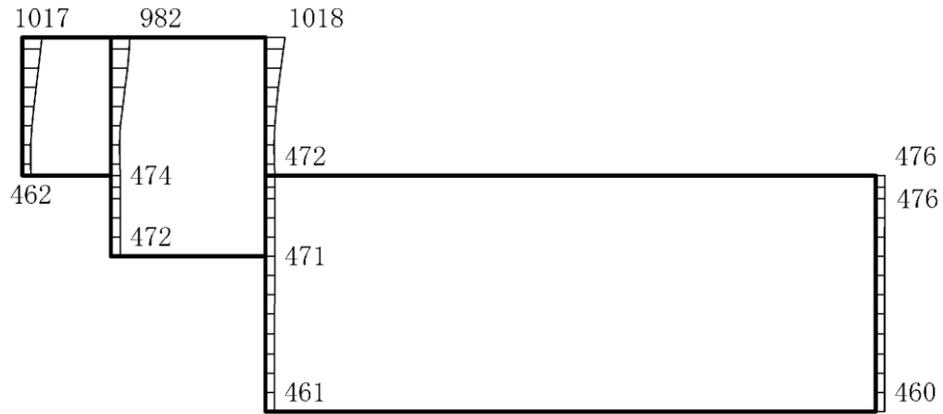
(a) S d - D (-+) 水平



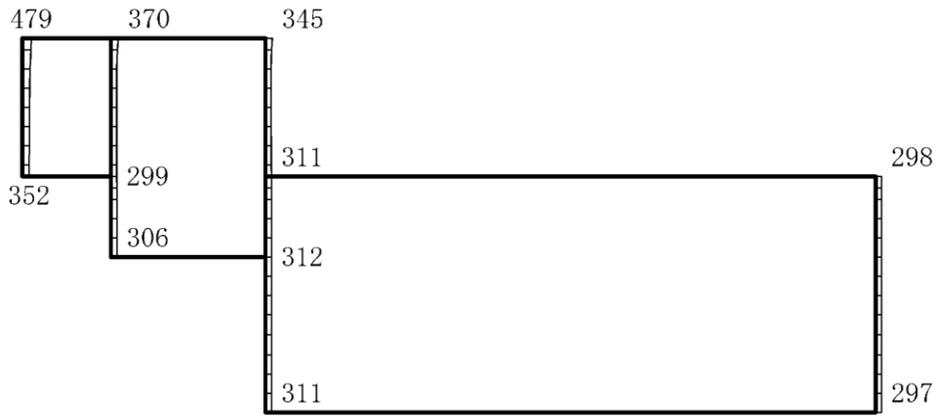
(b) S d - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-122 最大応答加速度分布図 (38/84) (解析ケース①)



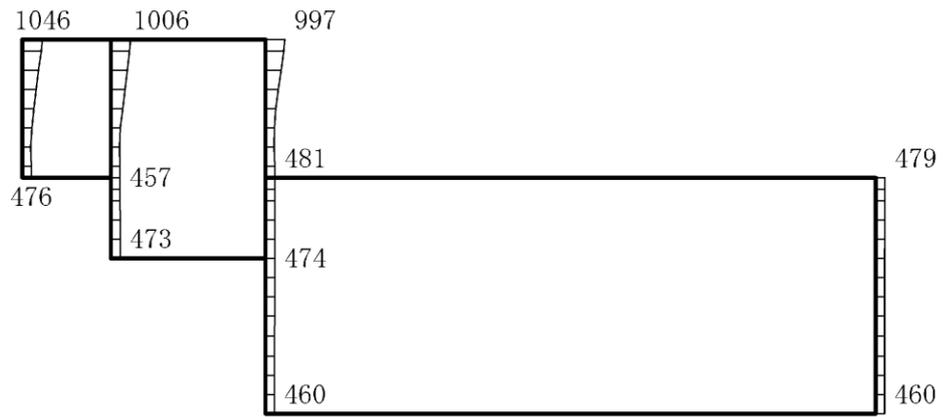
(a) S d - D (+ -) 水平



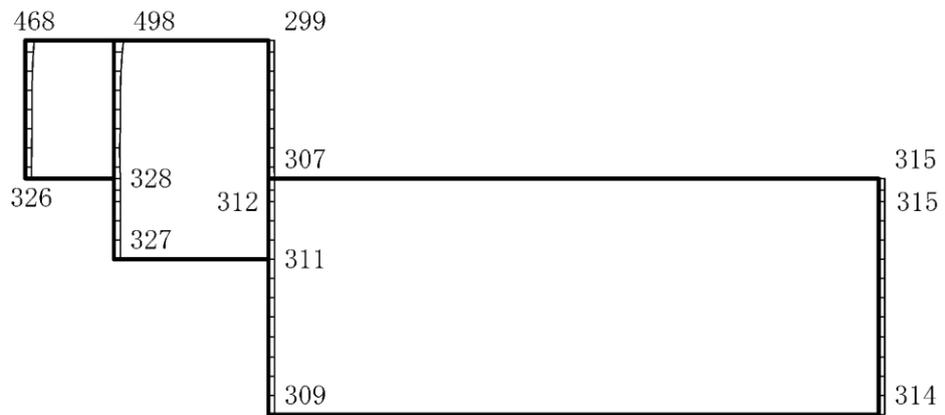
(b) S d - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-123 最大応答加速度分布図 (39/84) (解析ケース①)



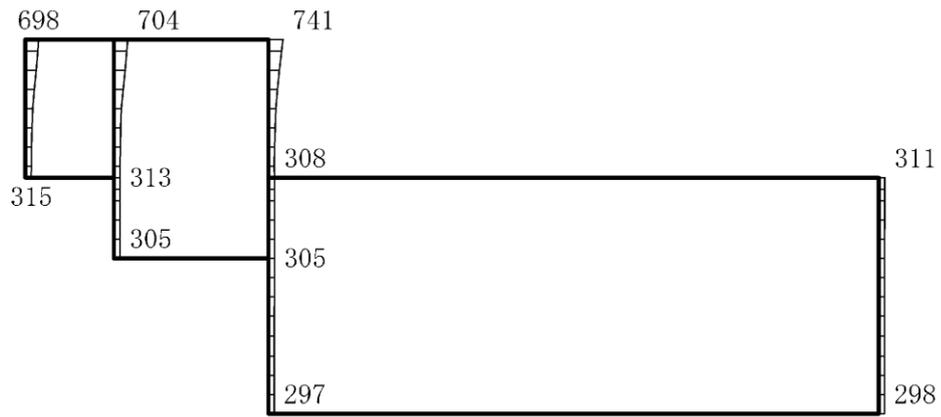
(a) S d - D (--) 水平



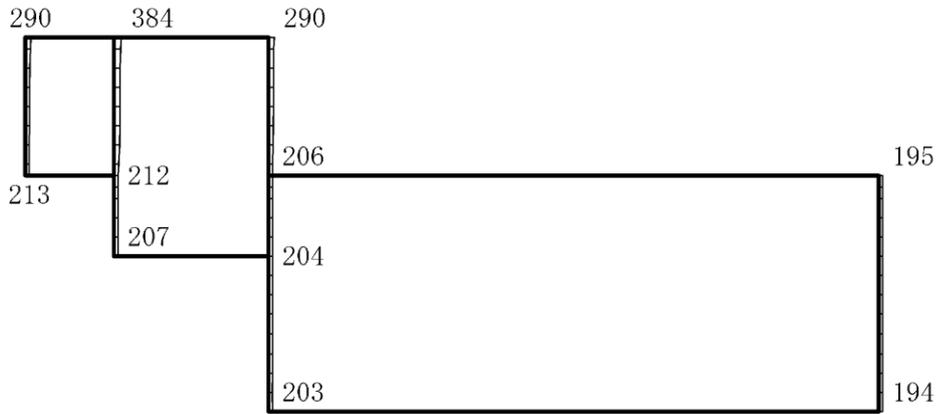
(b) S d - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-124 最大応答加速度分布図 (40/84) (解析ケース①)



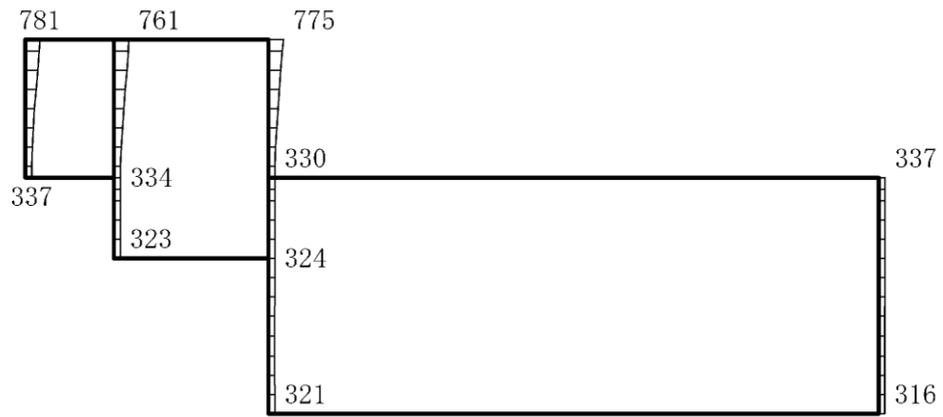
(a) S d - F 1 (N S) (+ +) 水平



(b) S d - F 1 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-125 最大応答加速度分布図 (41/84) (解析ケース①)



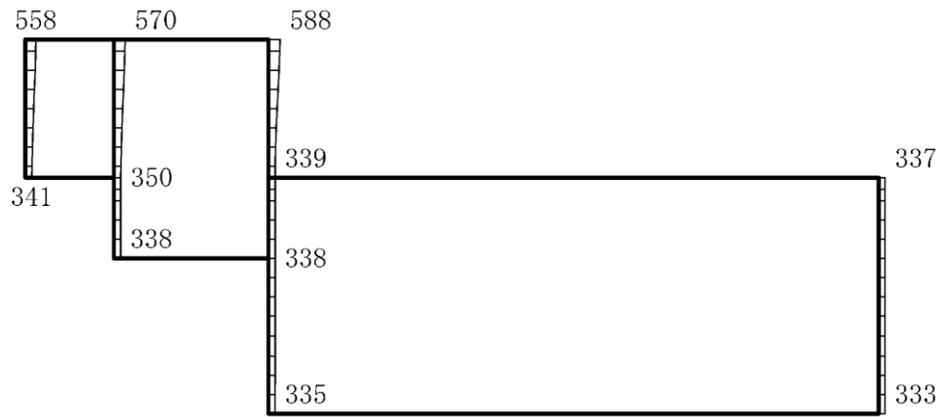
(a) S d - F 2 (N S) (+ +) 水平



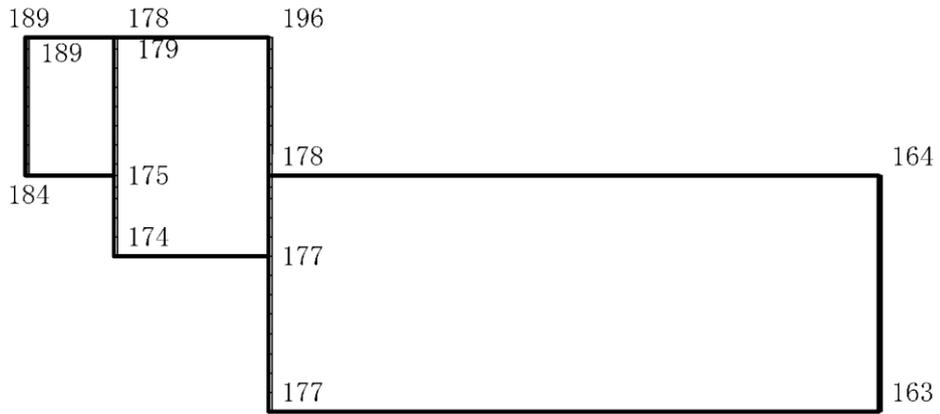
(b) S d - F 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-126 最大応答加速度分布図 (42/84) (解析ケース①)



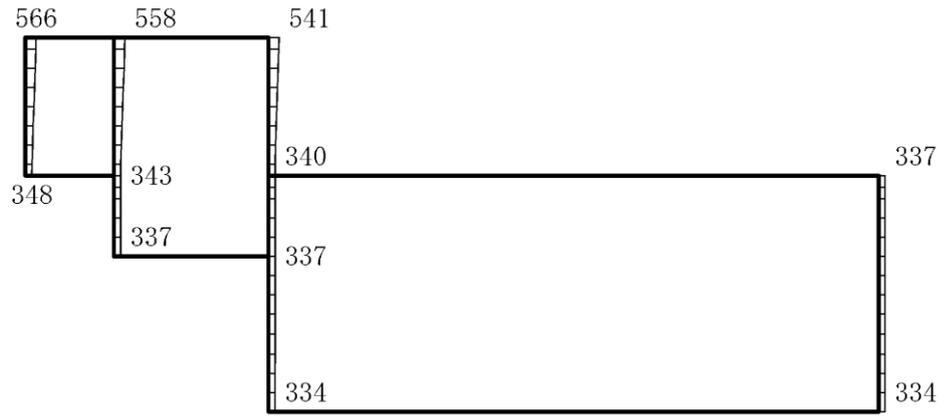
(a) S d - N 1 (++) 水平



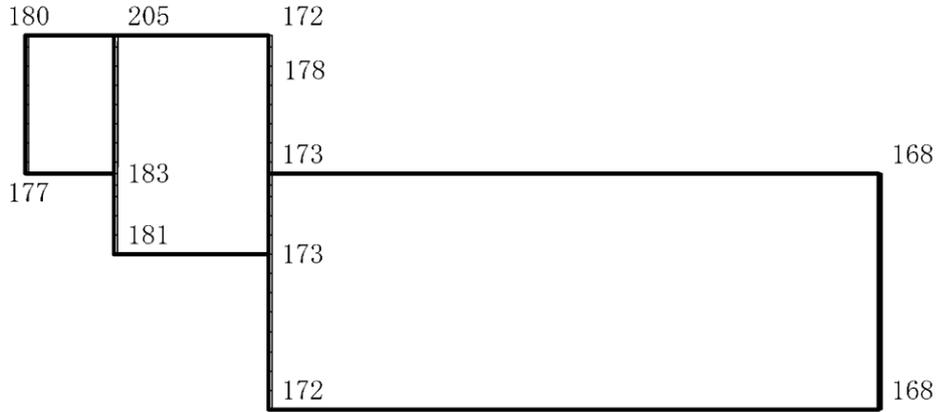
(b) S d - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-127 最大応答加速度分布図 (43/84) (解析ケース①)



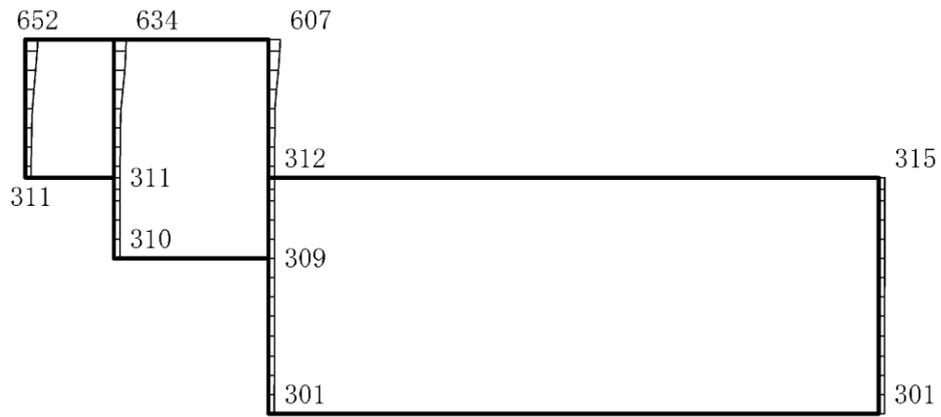
(a) S d - N 1 (- +) 水平



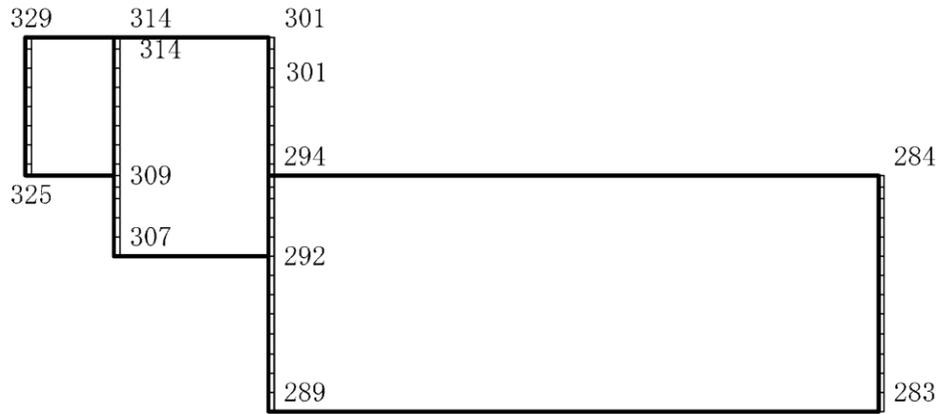
(b) S d - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-128 最大応答加速度分布図 (44/84) (解析ケース①)



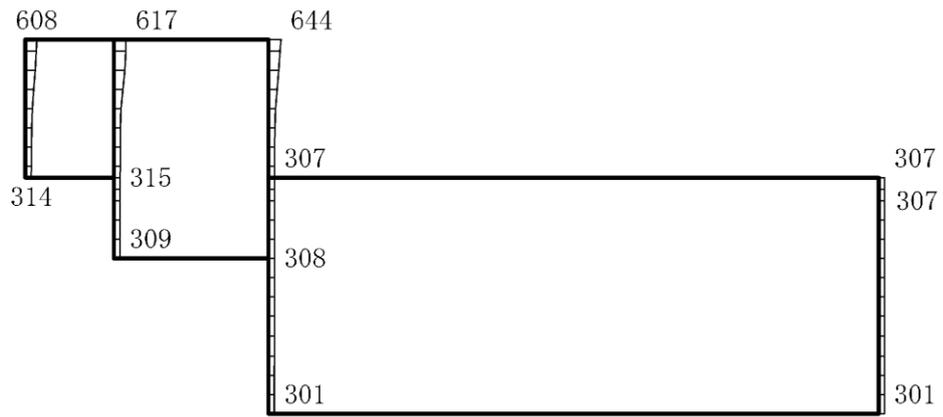
(a) S d - N 2 (N S) (+ +) 水平



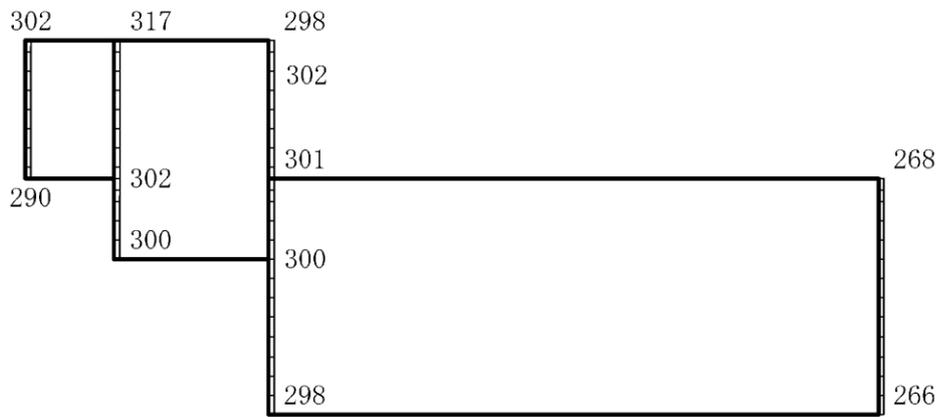
(b) S d - N 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-129 最大応答加速度分布図 (45/84) (解析ケース①)



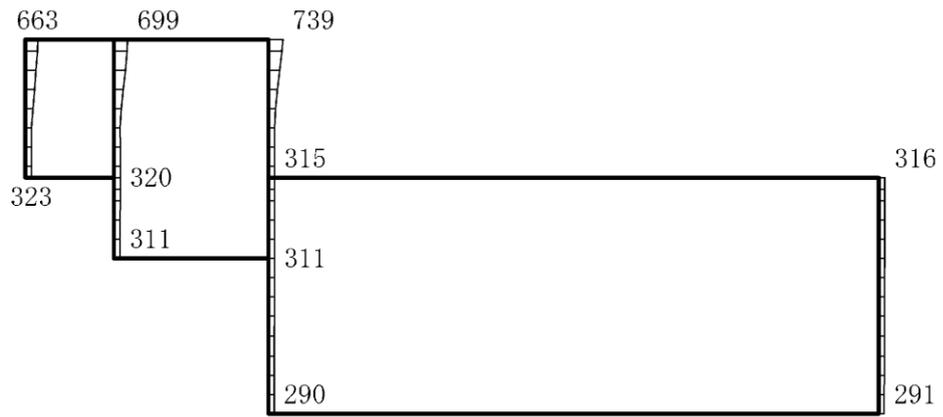
(a) S d - N 2 (N S) (-+) 水平



(b) S d - N 2 (N S) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-130 最大応答加速度分布図 (46/84) (解析ケース①)



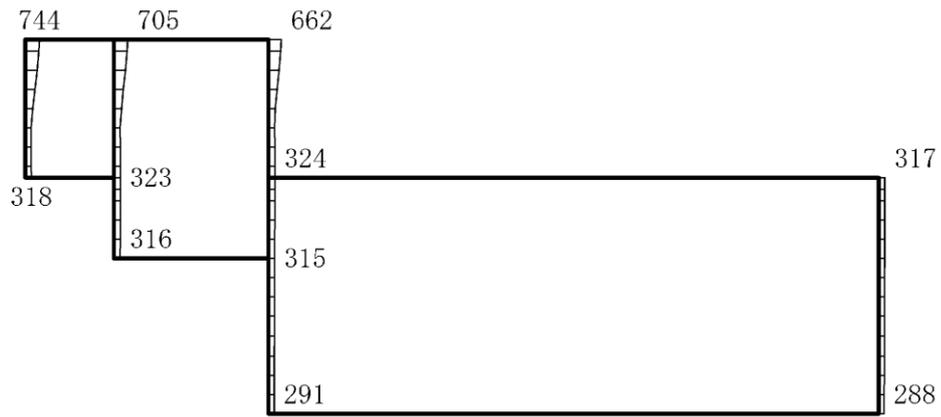
(a) S d - N 2 (E W) (++) 水平



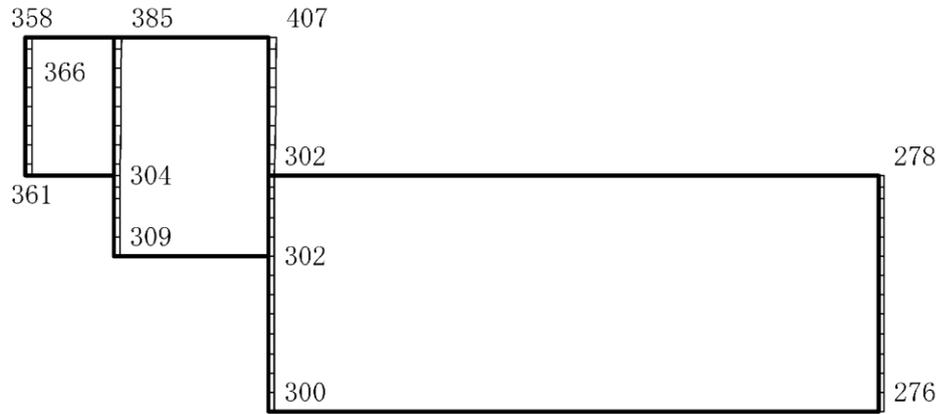
(b) S d - N 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-131 最大応答加速度分布図 (47/84) (解析ケース①)



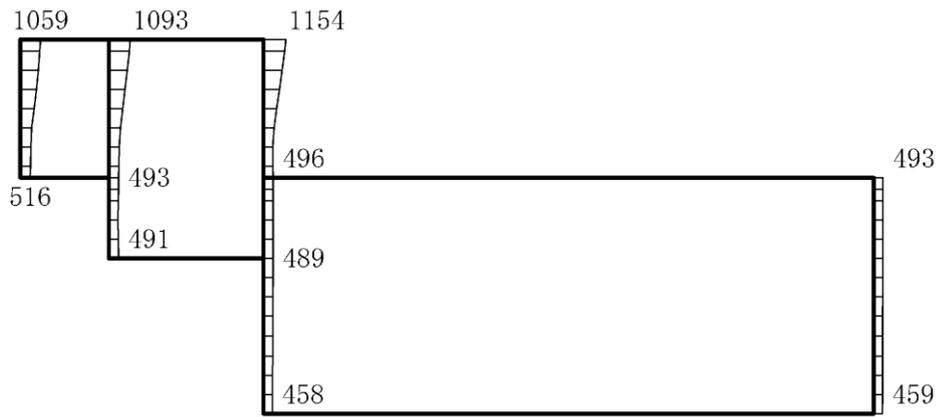
(a) S d - N 2 (E W) (-+) 水平



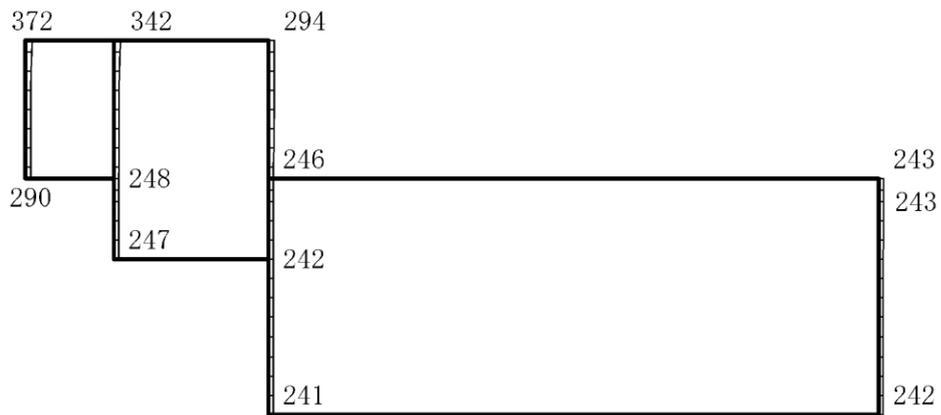
(b) S d - N 2 (E W) (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-132 最大応答加速度分布図 (48/84) (解析ケース①)



(a) S d - 1 (++) 水平

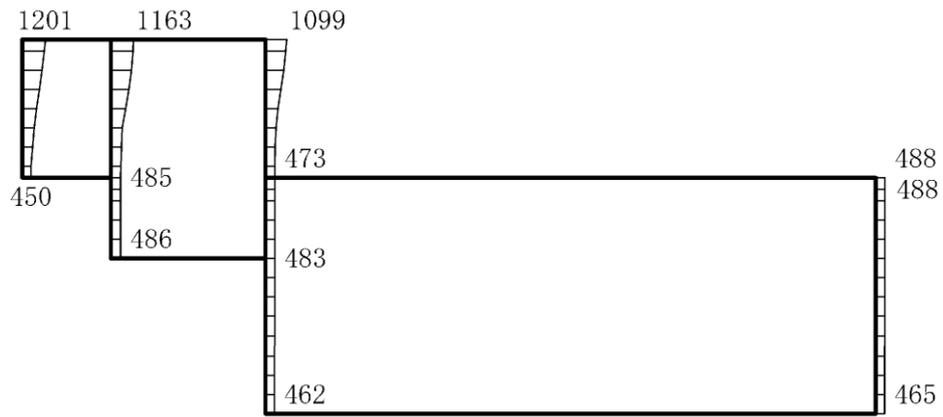


(b) S d - 1 (++) 鉛直

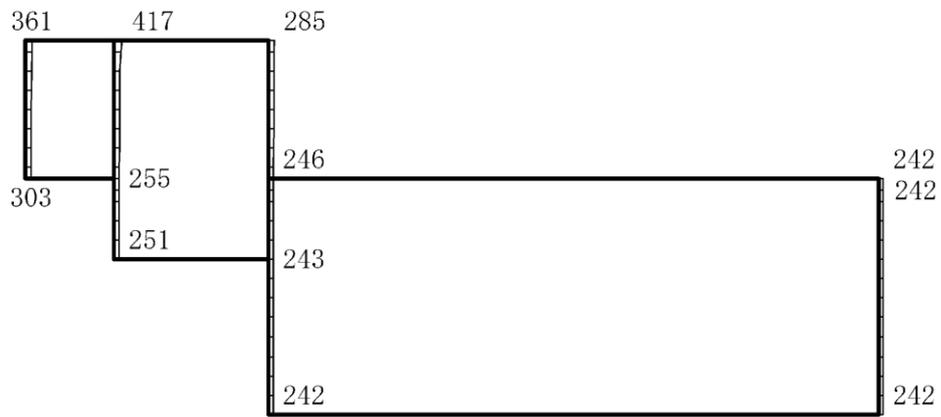
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-133 最大応答加速度分布図 (49/84) (解析ケース①)



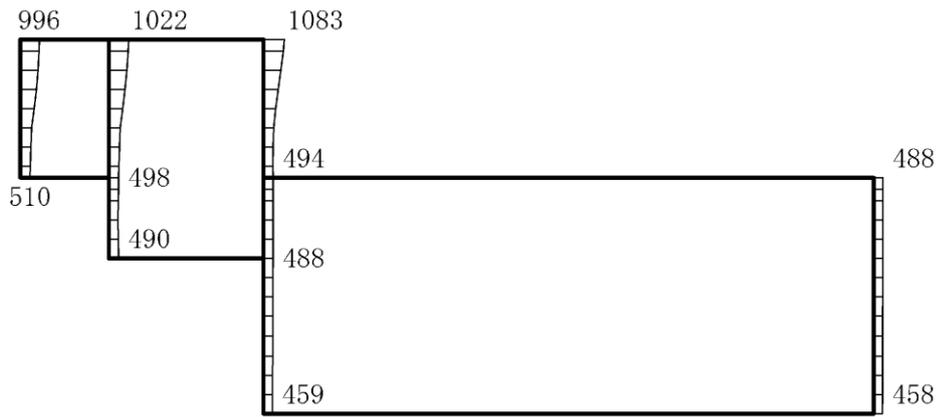
(a) S d - 1 (- +) 水平



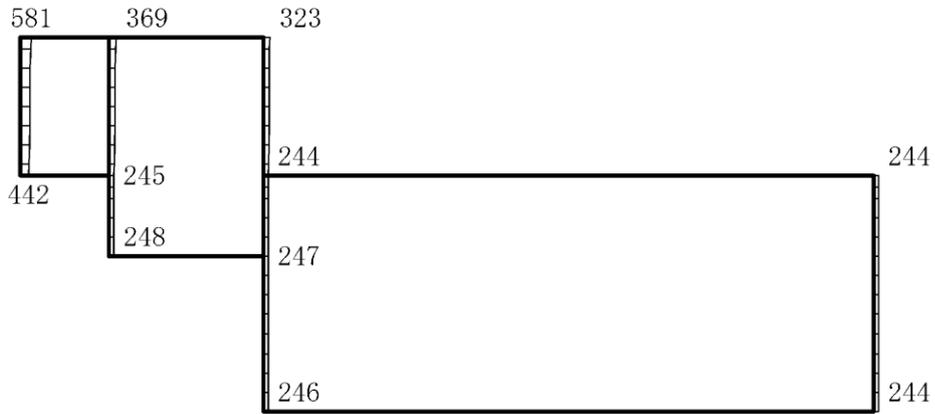
(b) S d - 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-134 最大応答加速度分布図 (50/84) (解析ケース①)



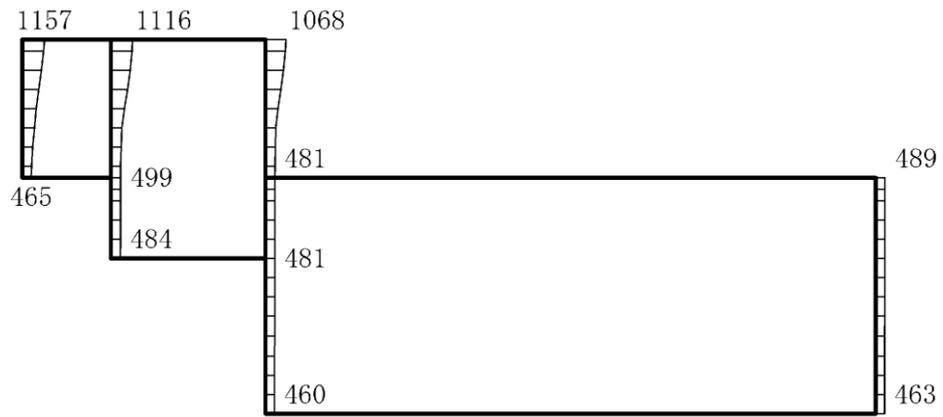
(a) S d - 1 (+-) 水平



(b) S d - 1 (+-) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-135 最大応答加速度分布図 (51/84) (解析ケース①)



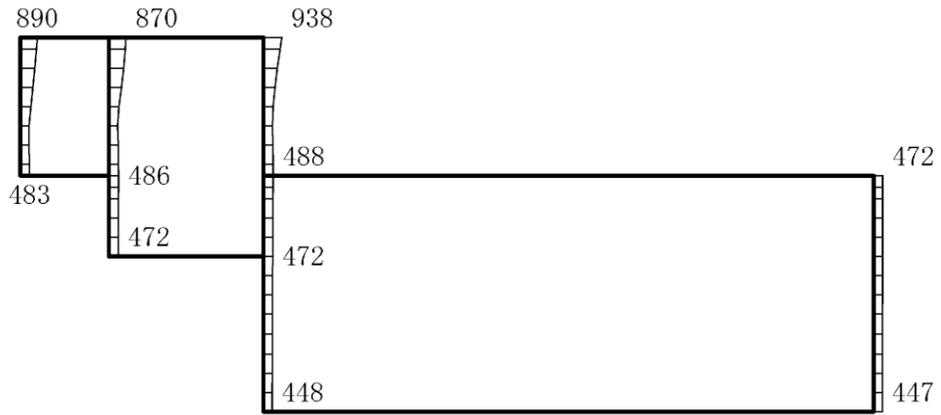
(a) S d - 1 (--) 水平



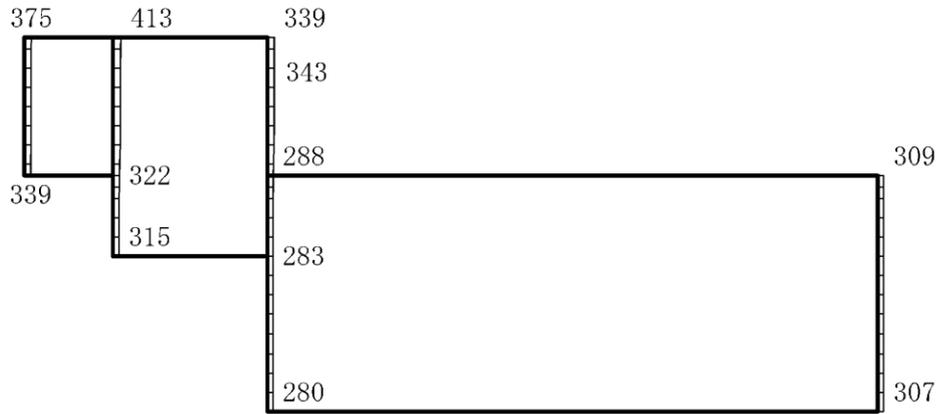
(b) S d - 1 (--) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-136 最大応答加速度分布図 (52/84) (解析ケース①)



(a) S d - D (++) 水平

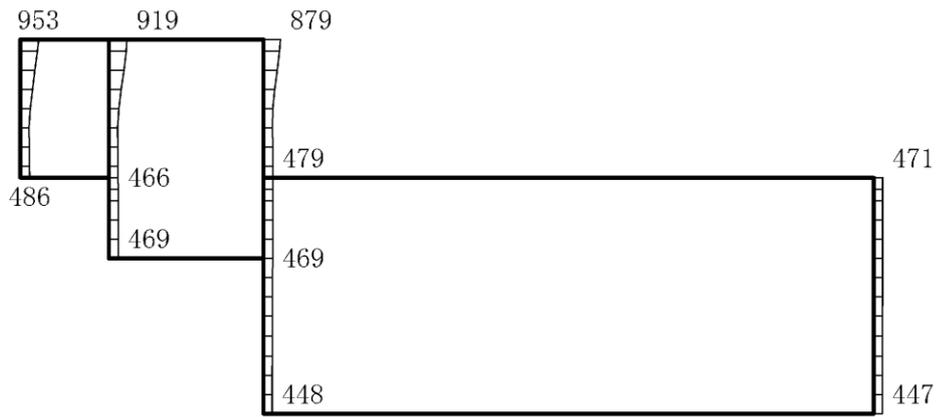


(b) S d - D (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-137 最大応答加速度分布図 (53/84) (解析ケース②)



(a) S d - D (-+) 水平

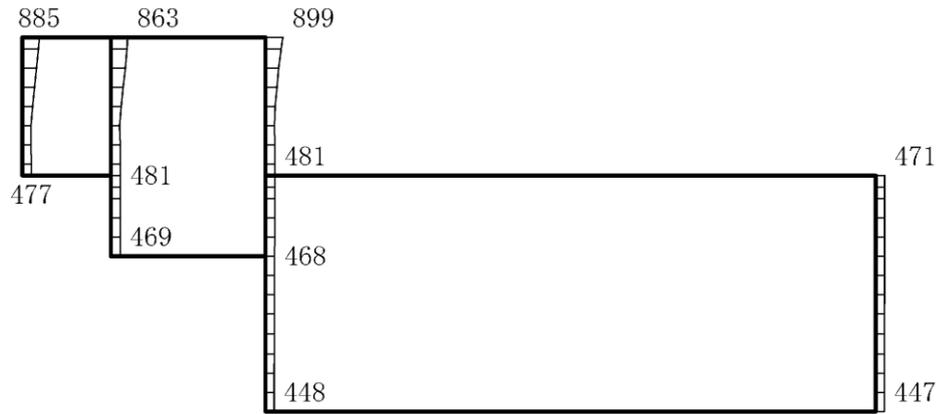


(b) S d - D (-+) 鉛直

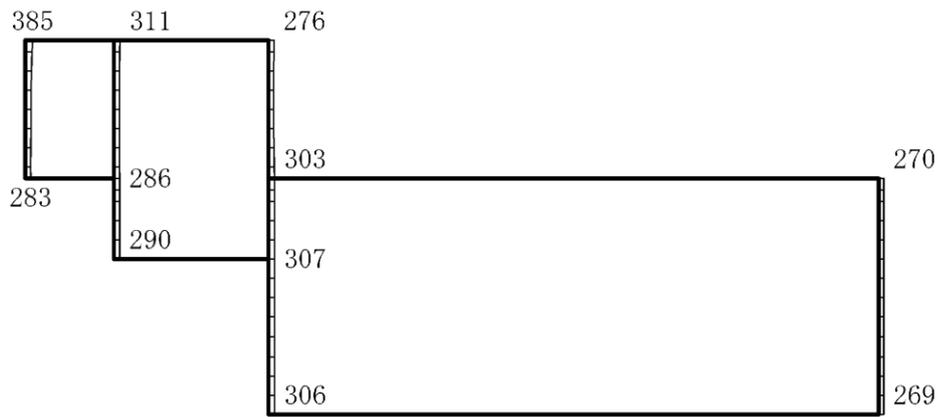
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-138 最大応答加速度分布図 (54/84) (解析ケース②)



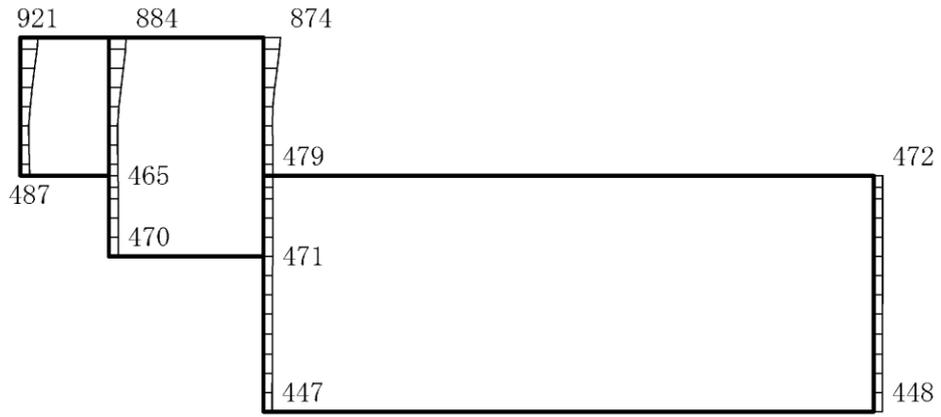
(a) S d - D (+ -) 水平



(b) S d - D (+ -) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-139 最大応答加速度分布図 (55/84) (解析ケース②)



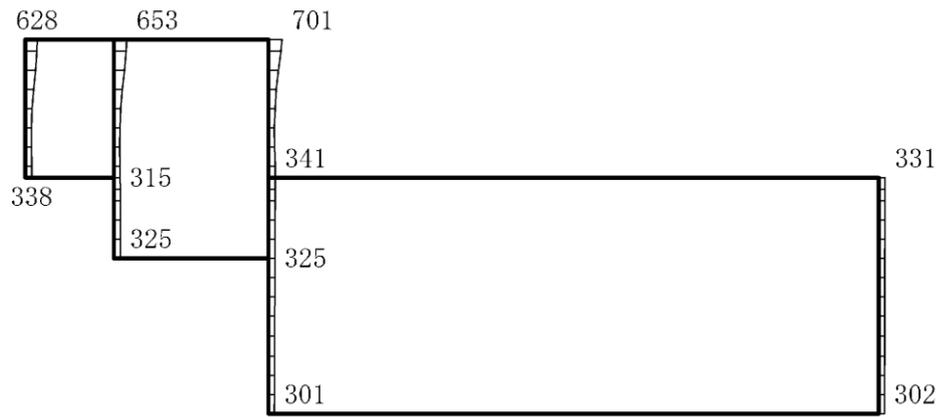
(a) S d - D (--) 水平



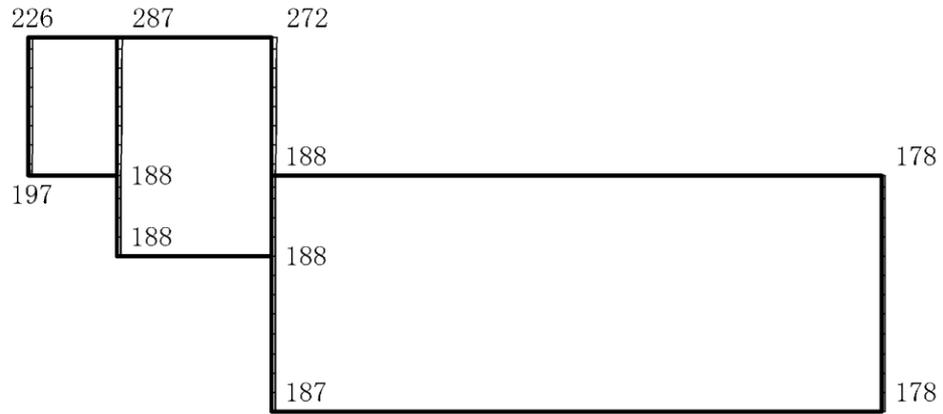
(b) S d - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-140 最大応答加速度分布図 (56/84) (解析ケース②)



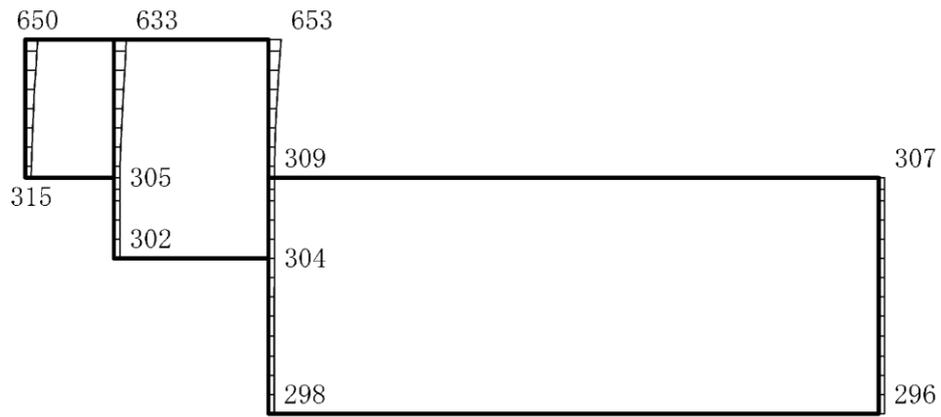
(a) S d - F 1 (N S) (+ +) 水平



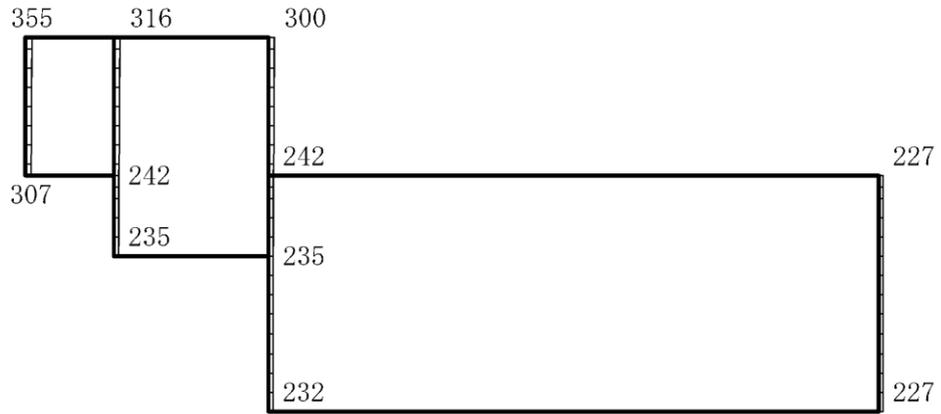
(b) S d - F 1 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (\text{cm/s}^2)$

図 4-141 最大応答加速度分布図 (57/84) (解析ケース②)



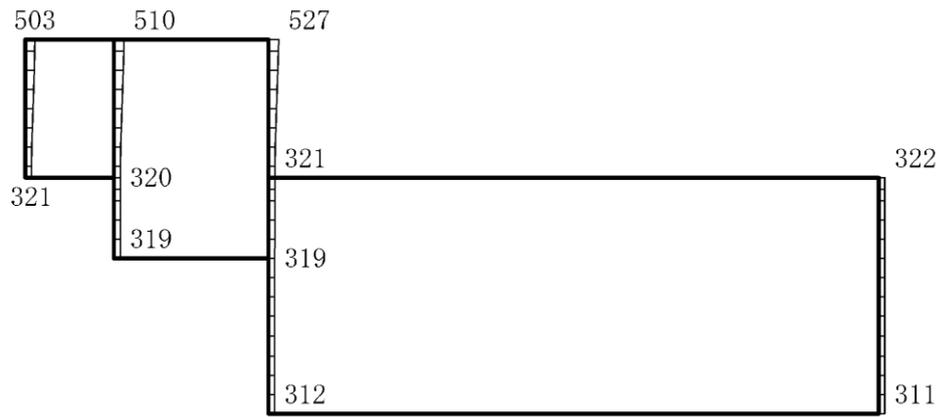
(a) S d - F 2 (N S) (+ +) 水平



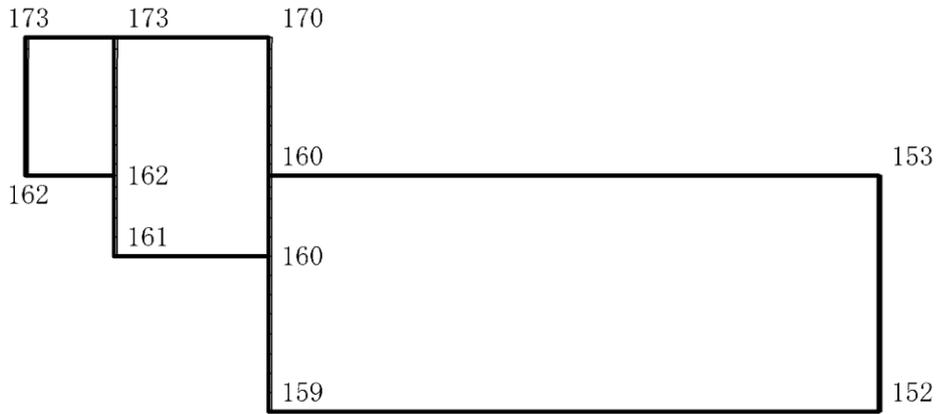
(b) S d - F 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-142 最大応答加速度分布図 (58/84) (解析ケース②)



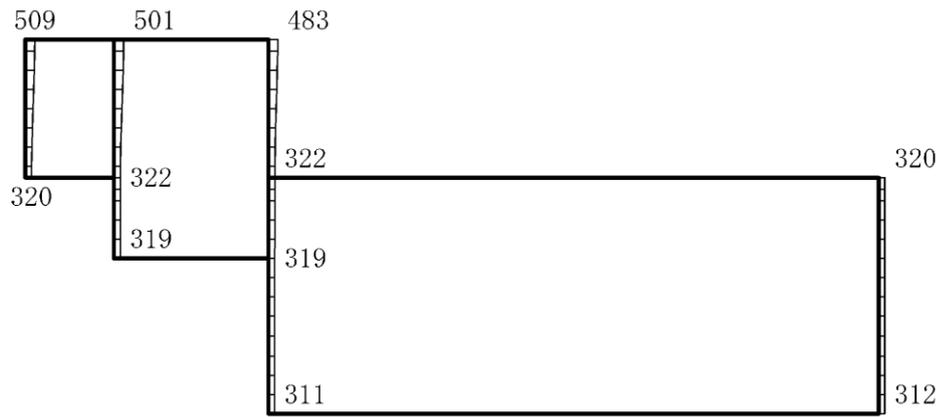
(a) S d - N 1 (++) 水平



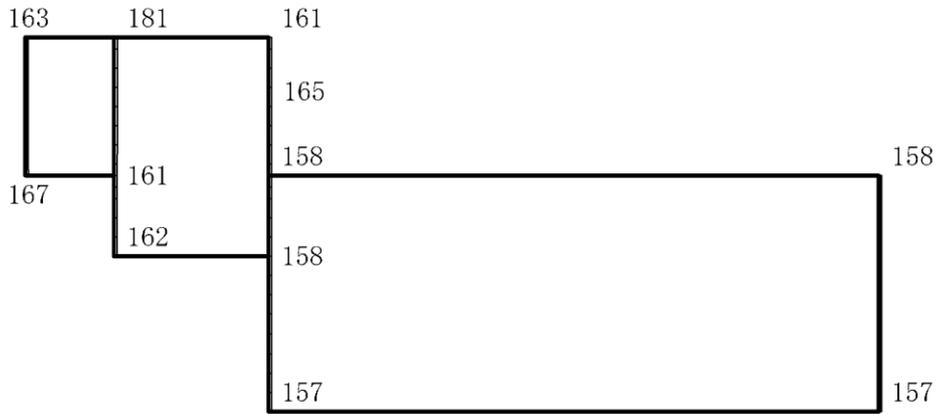
(b) S d - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-143 最大応答加速度分布図 (59/84) (解析ケース②)



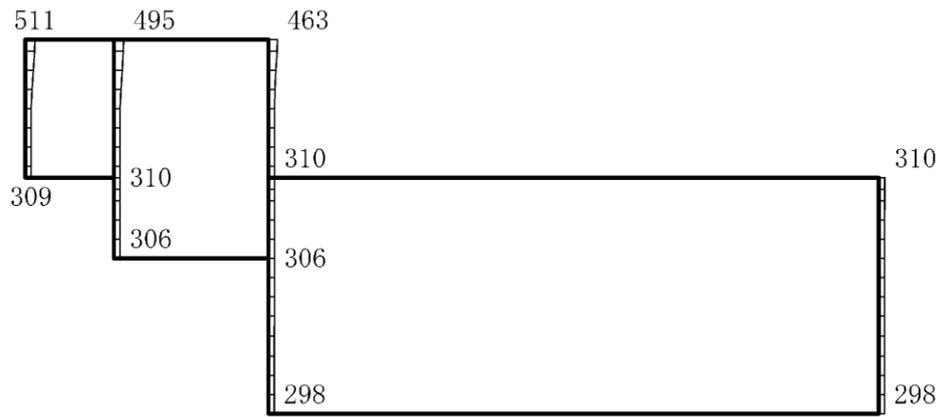
(a) S d - N 1 (- +) 水平



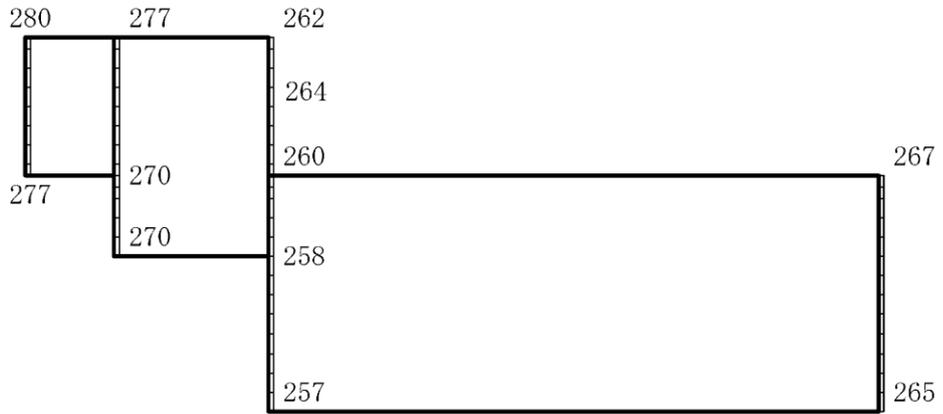
(b) S d - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-144 最大応答加速度分布図 (60/84) (解析ケース②)



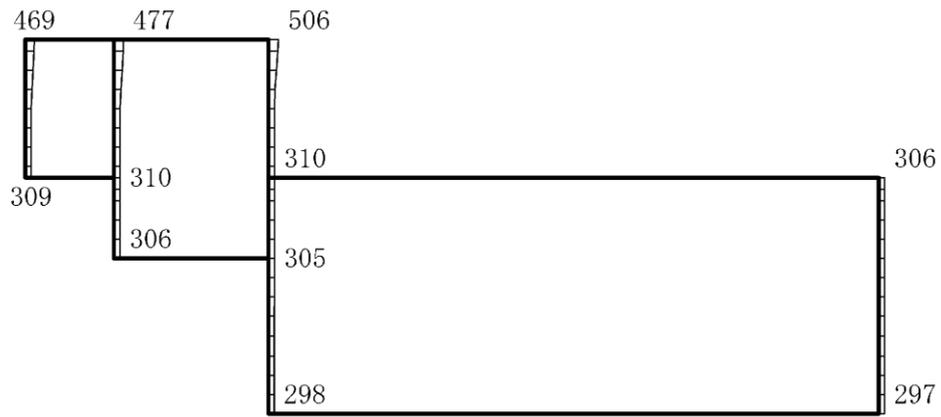
(a) S d - N 2 (N S) (+ +) 水平



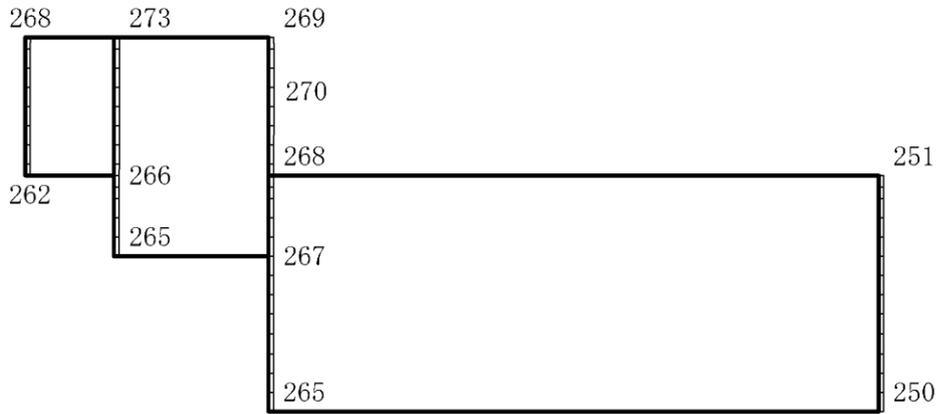
(b) S d - N 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-145 最大応答加速度分布図 (61/84) (解析ケース②)



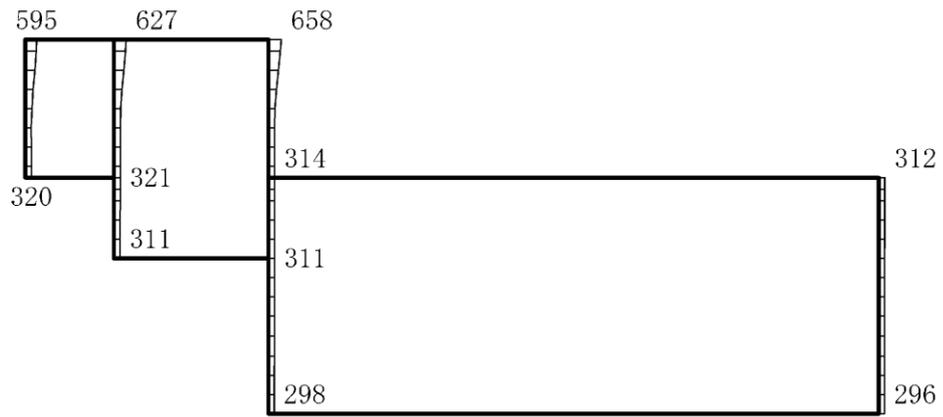
(a) S d - N 2 (N S) (- +) 水平



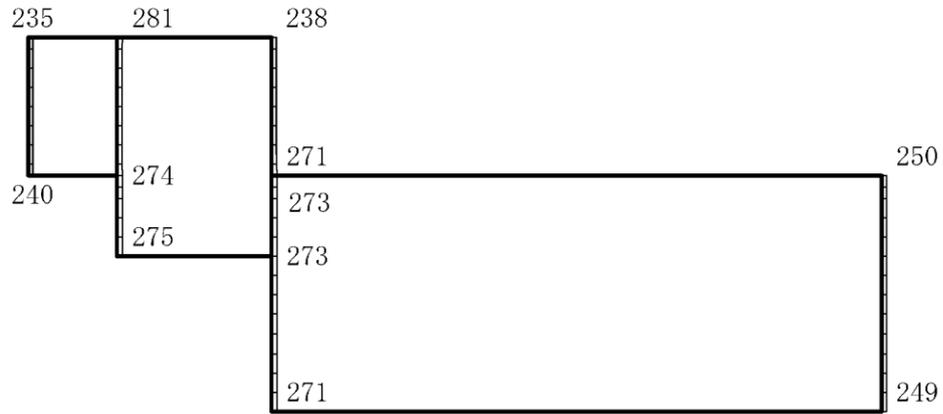
(b) S d - N 2 (N S) (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-146 最大応答加速度分布図 (62/84) (解析ケース②)



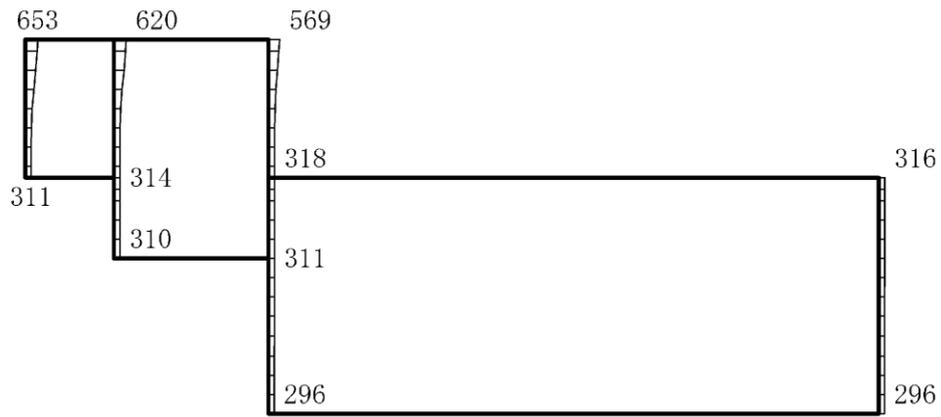
(a) S d - N 2 (E W) (++) 水平



(b) S d - N 2 (E W) (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-147 最大応答加速度分布図 (63/84) (解析ケース②)



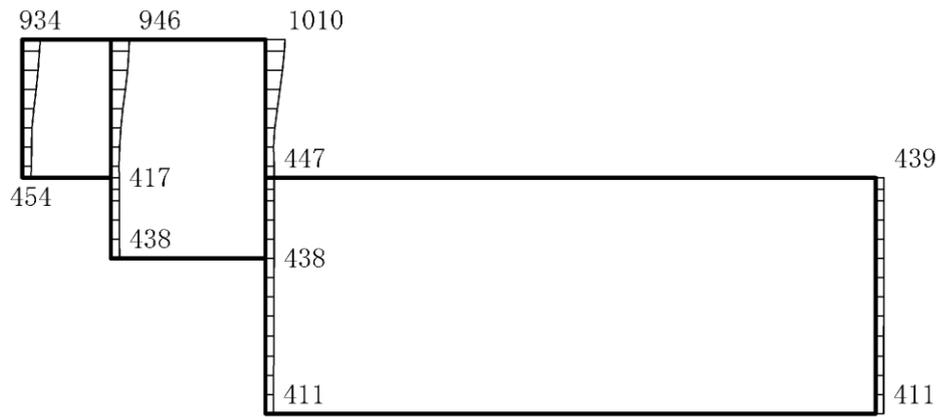
(a) S d - N 2 (E W) (-+) 水平



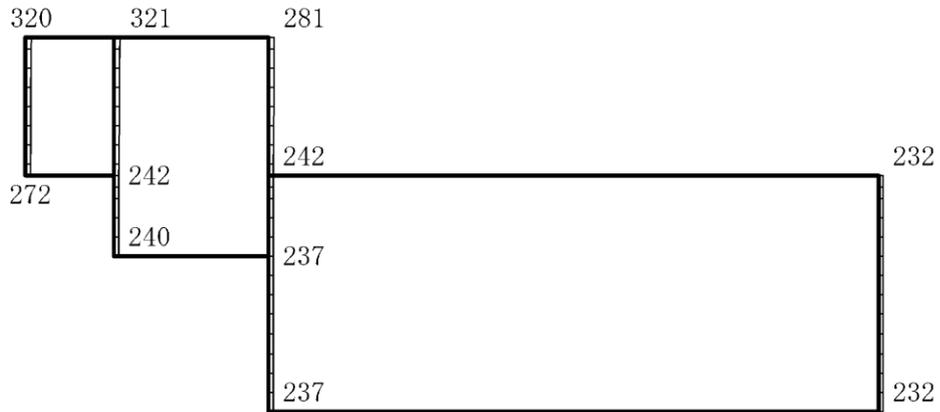
(b) S d - N 2 (E W) (-+) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-148 最大応答加速度分布図 (64/84) (解析ケース②)



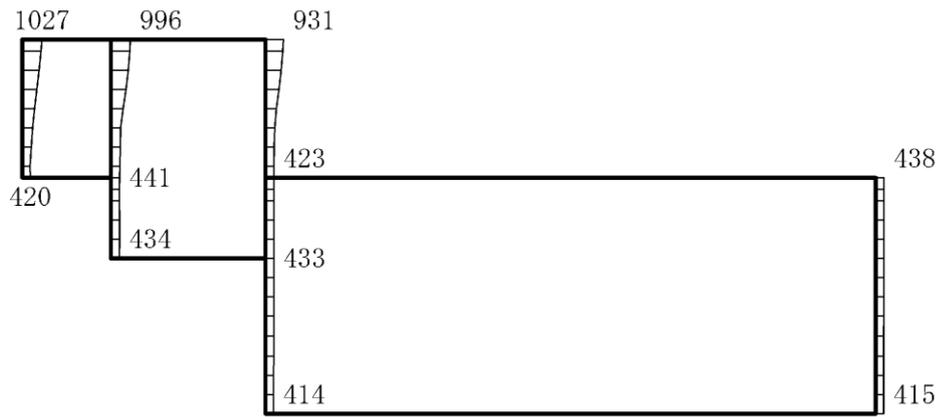
(a) S d - 1 (++) 水平



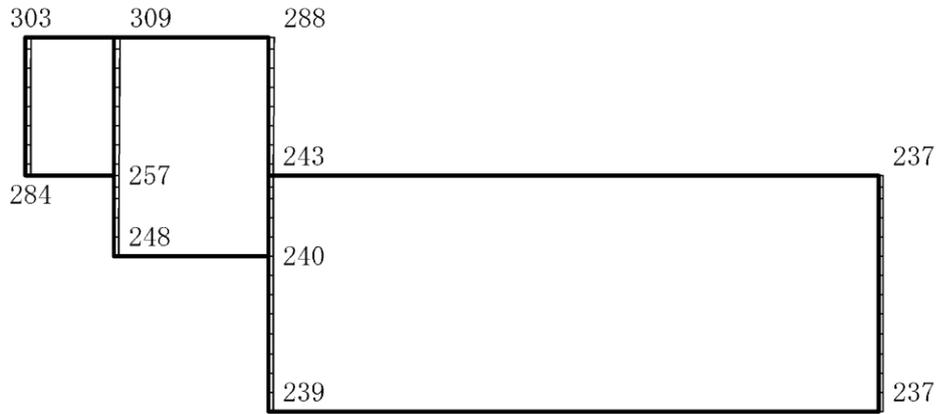
(b) S d - 1 (++) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-149 最大応答加速度分布図 (65/84) (解析ケース②)



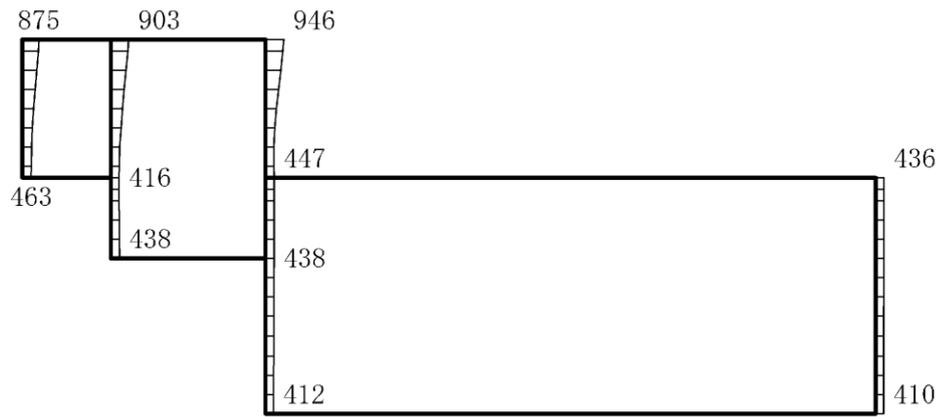
(a) S d - 1 (- +) 水平



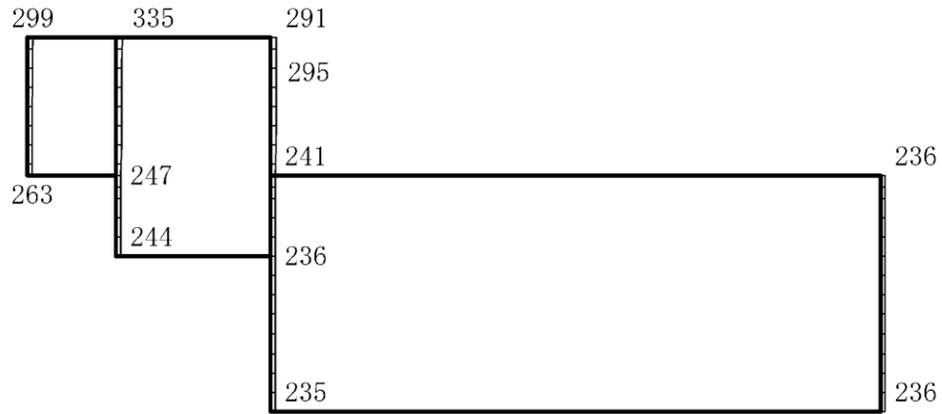
(b) S d - 1 (- +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-150 最大応答加速度分布図 (66/84) (解析ケース②)



(a) S d - 1 (+ -) 水平

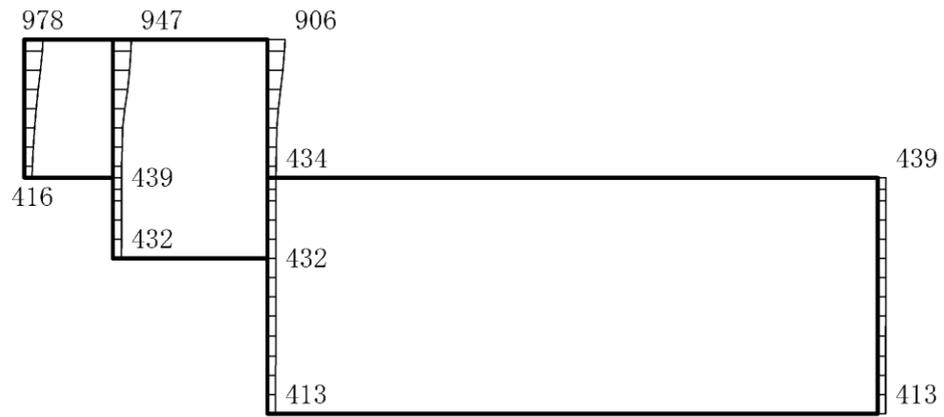


(b) S d - 1 (+ -) 鉛直

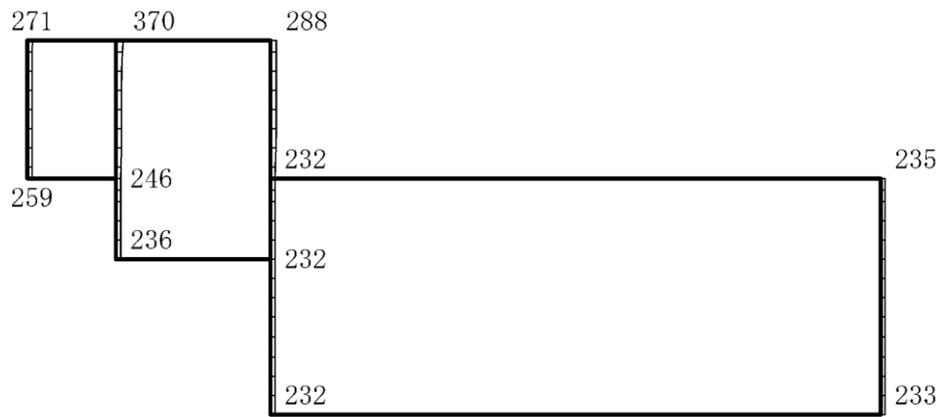
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-151 最大応答加速度分布図 (67/84) (解析ケース②)



(a) S d - 1 (--) 水平

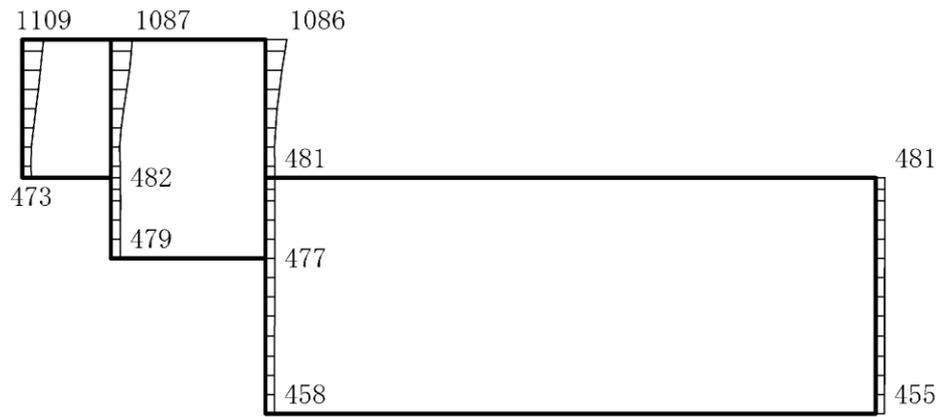


(b) S d - 1 (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-152 最大応答加速度分布図 (68/84) (解析ケース②)



(a) S d - D (++) 水平

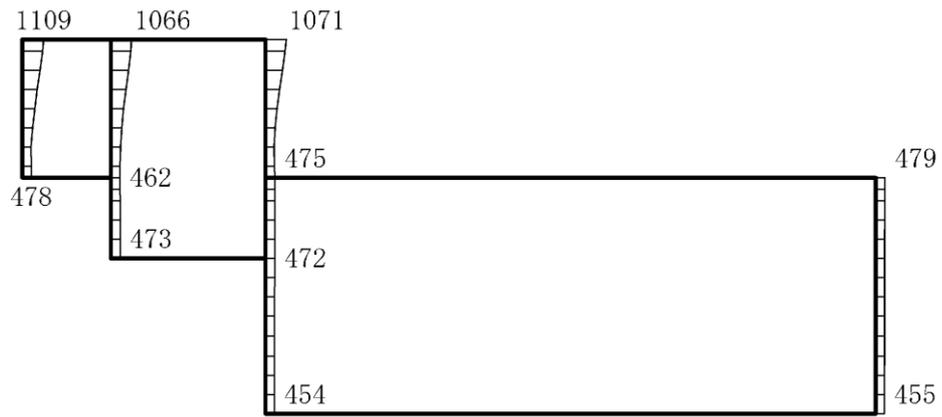


(b) S d - D (++) 鉛直

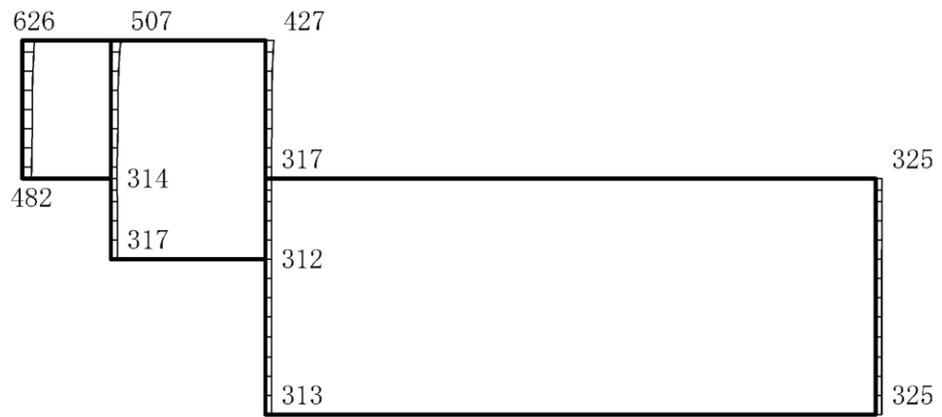
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-153 最大応答加速度分布図 (69/84) (解析ケース③)



(a) S d - D (-+) 水平

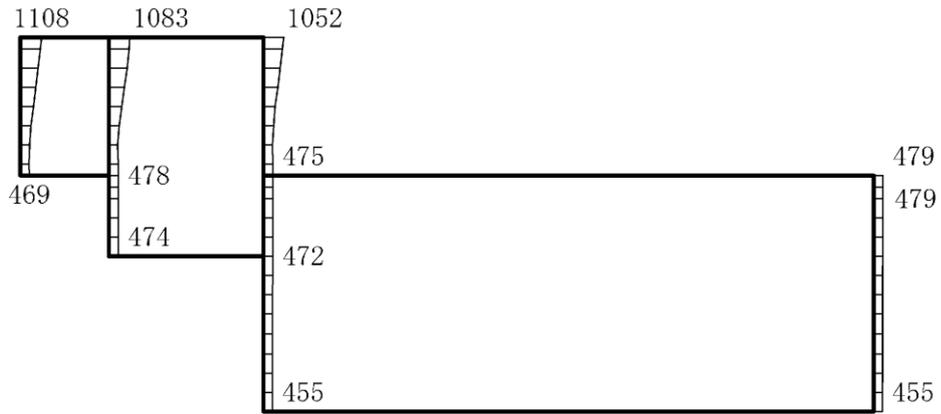


(b) S d - D (-+) 鉛直

構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-154 最大応答加速度分布図 (70/84) (解析ケース③)



(a) S d - D (+ -) 水平

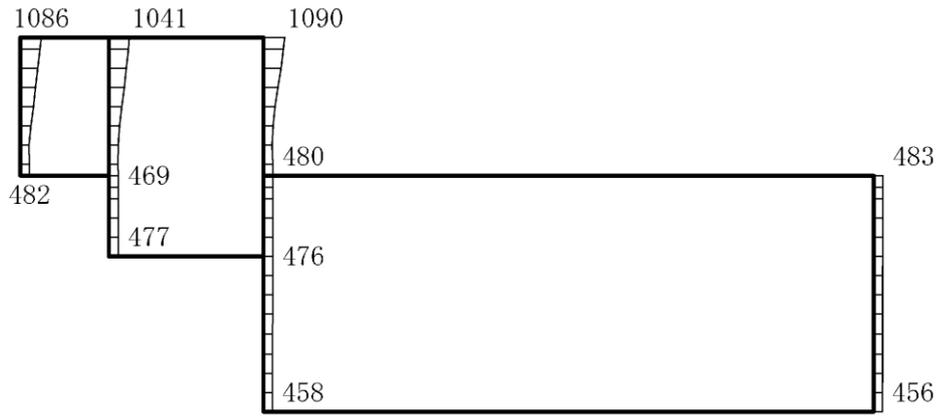


(b) S d - D (+ -) 鉛直

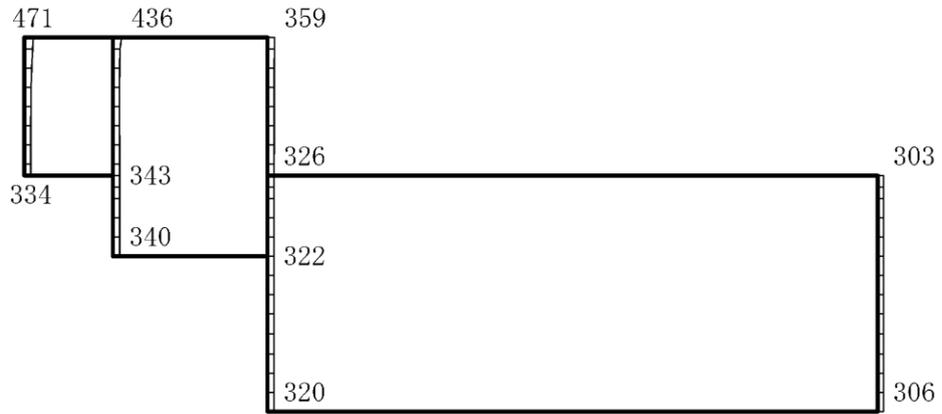
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-155 最大応答加速度分布図 (71/84) (解析ケース③)



(a) S d - D (--) 水平



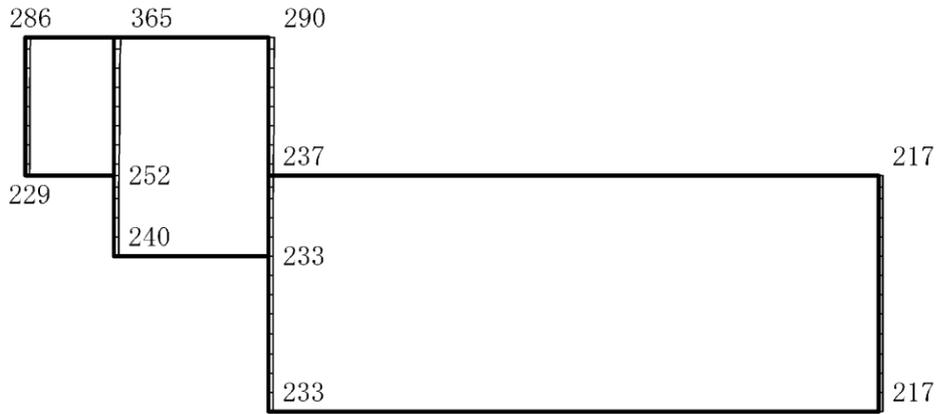
(b) S d - D (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-156 最大応答加速度分布図 (72/84) (解析ケース③)



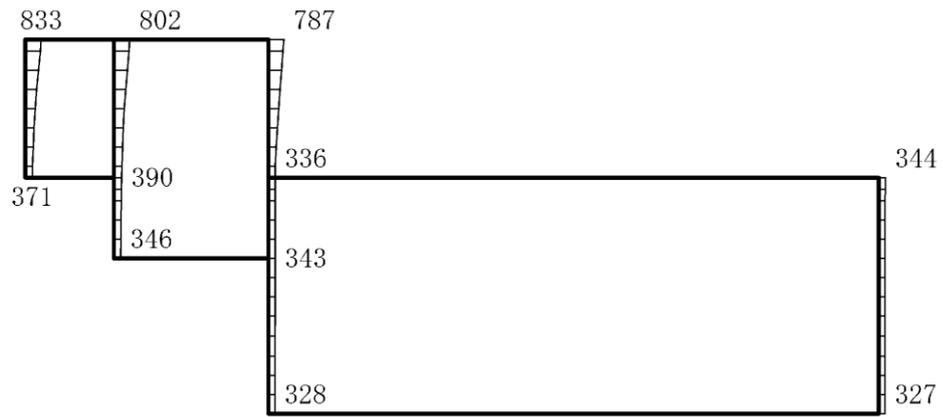
(a) S d - F 1 (N S) (+ +) 水平



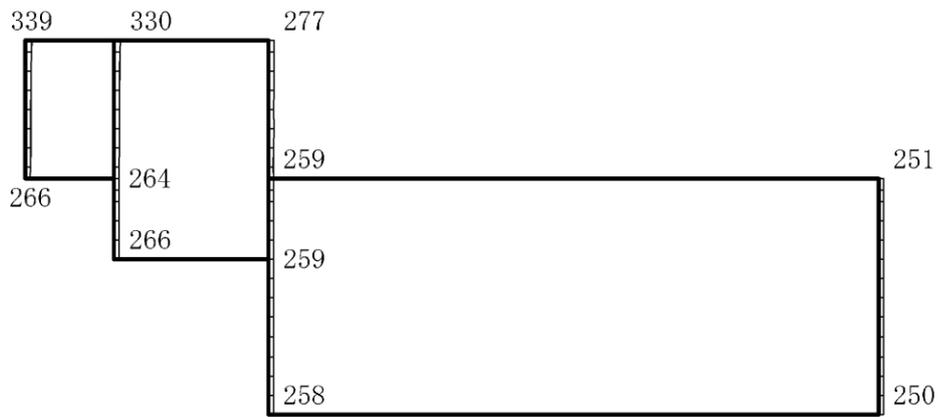
(b) S d - F 1 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-157 最大応答加速度分布図 (73/84) (解析ケース③)



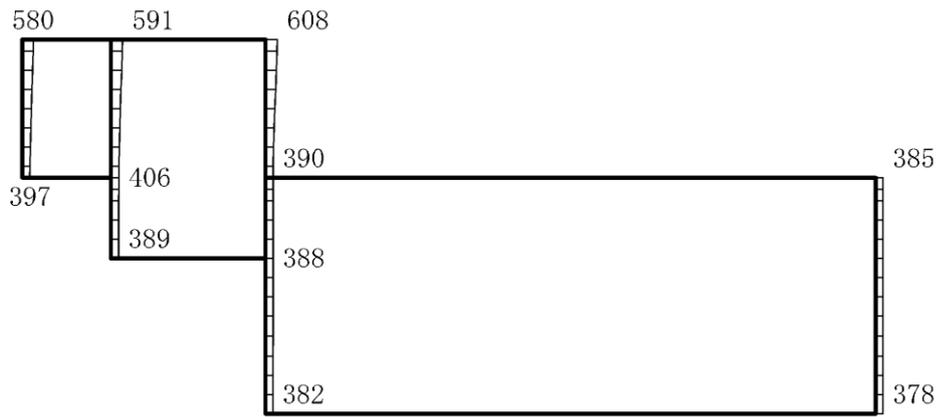
(a) S d - F 2 (N S) (+ +) 水平



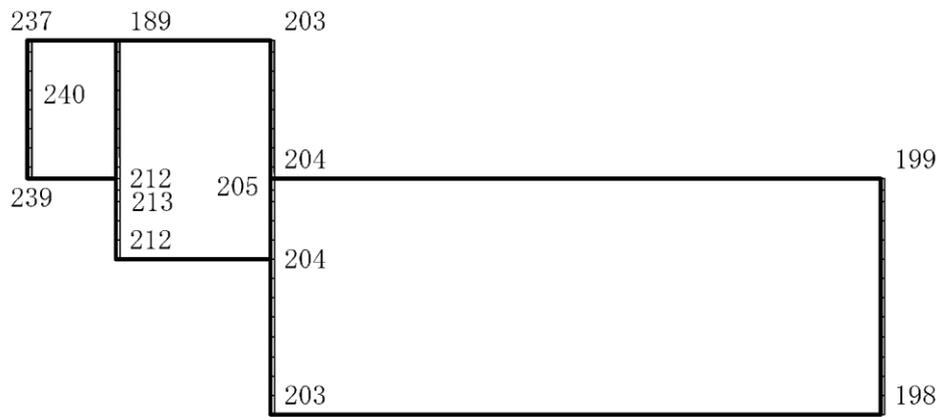
(b) S d - F 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-158 最大応答加速度分布図 (74/84) (解析ケース③)



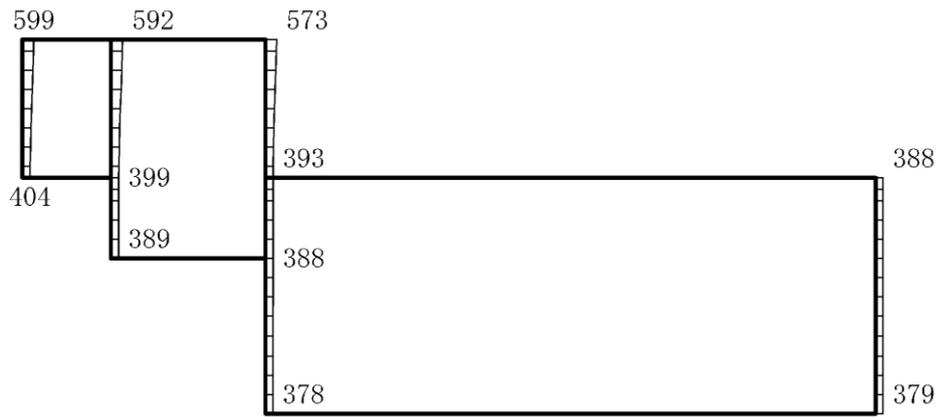
(a) S d - N 1 (++) 水平



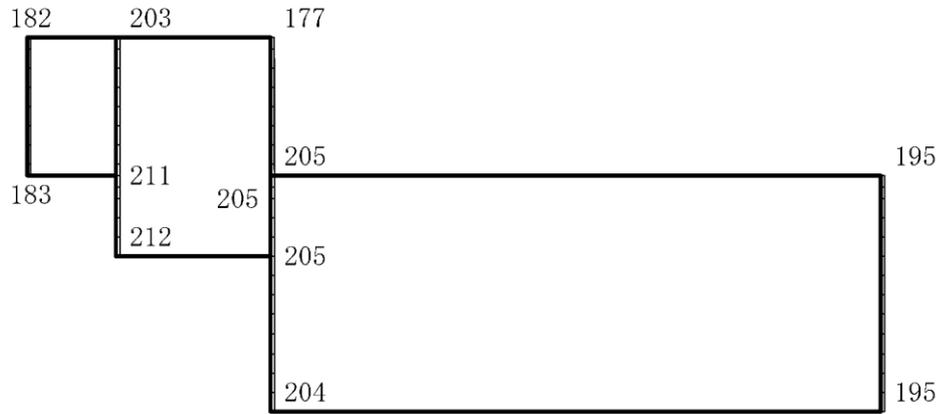
(b) S d - N 1 (++) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-159 最大応答加速度分布図 (75/84) (解析ケース③)



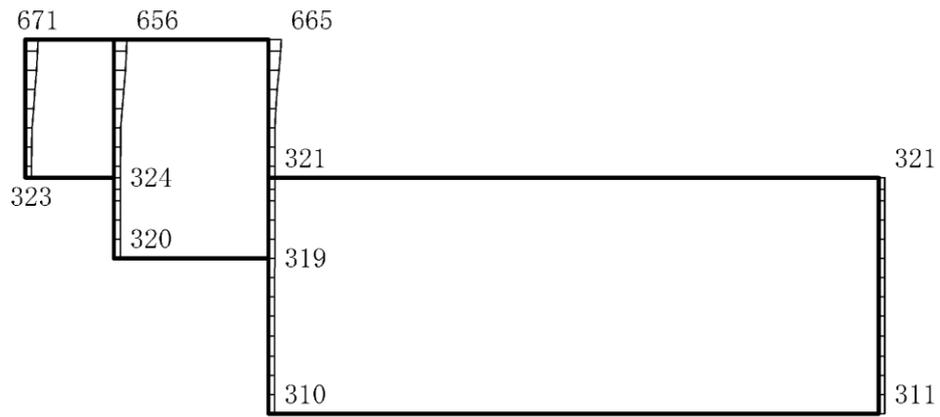
(a) S d - N 1 (- +) 水平



(b) S d - N 1 (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-160 最大応答加速度分布図 (76/84) (解析ケース③)



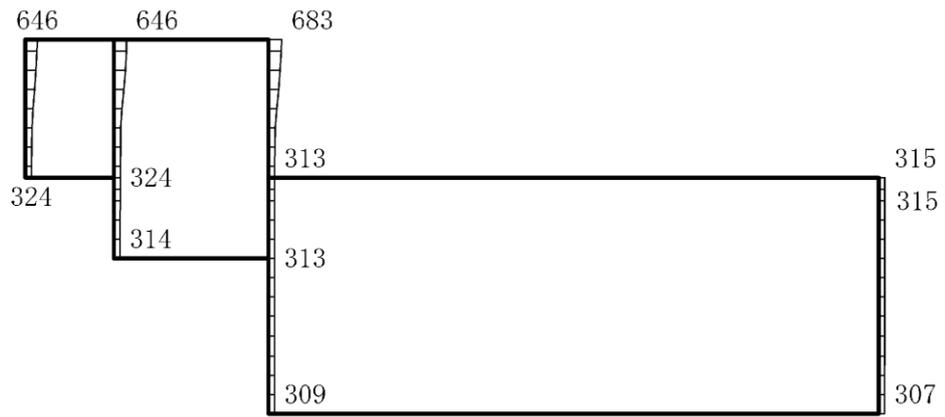
(a) S d - N 2 (N S) (+ +) 水平



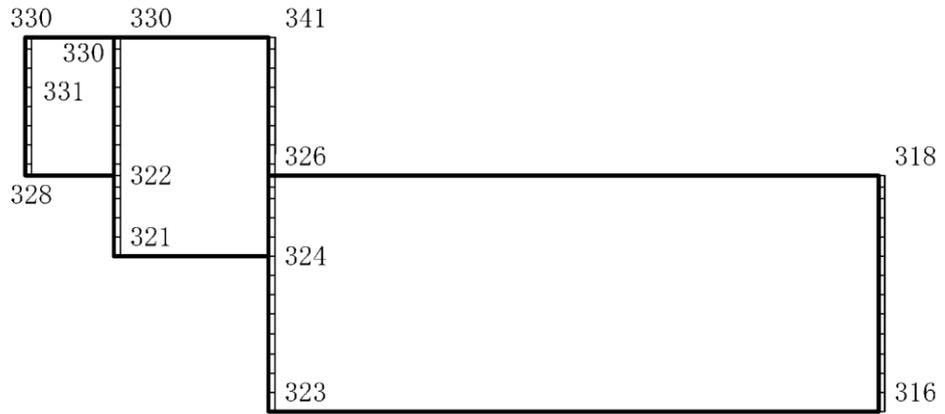
(b) S d - N 2 (N S) (+ +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(m)$ 応答値スケール $0 \quad 4000 (cm/s^2)$

図 4-161 最大応答加速度分布図 (77/84) (解析ケース③)



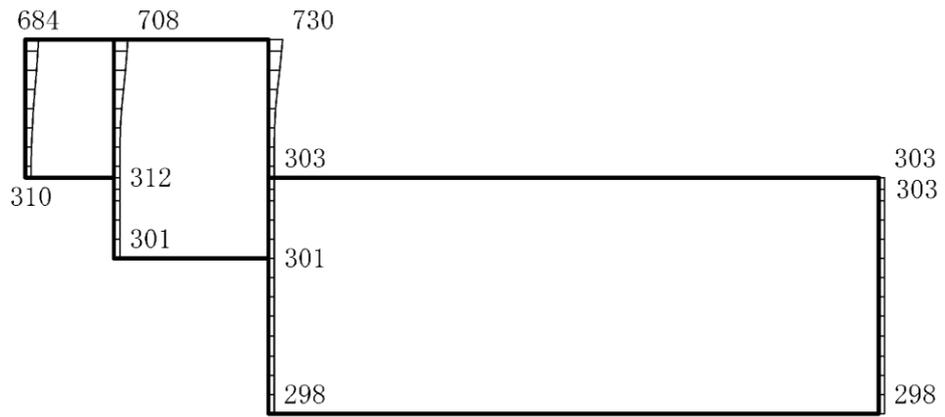
(a) S d - N 2 (N S) (- +) 水平



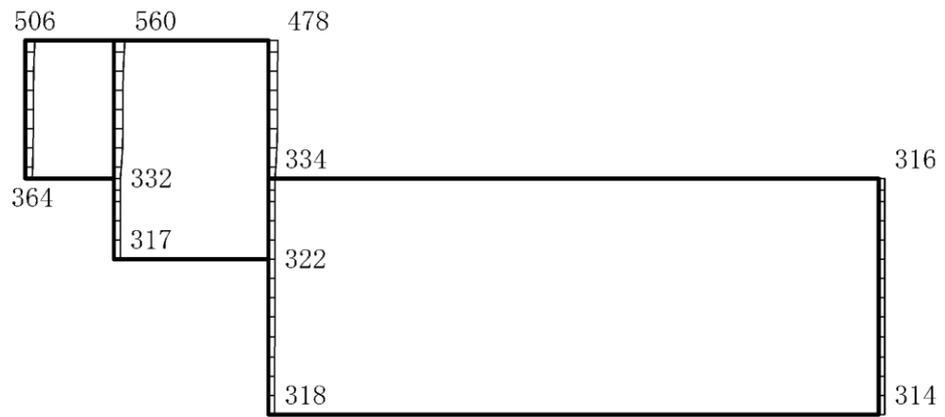
(b) S d - N 2 (N S) (- +) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-162 最大応答加速度分布図 (78/84) (解析ケース③)



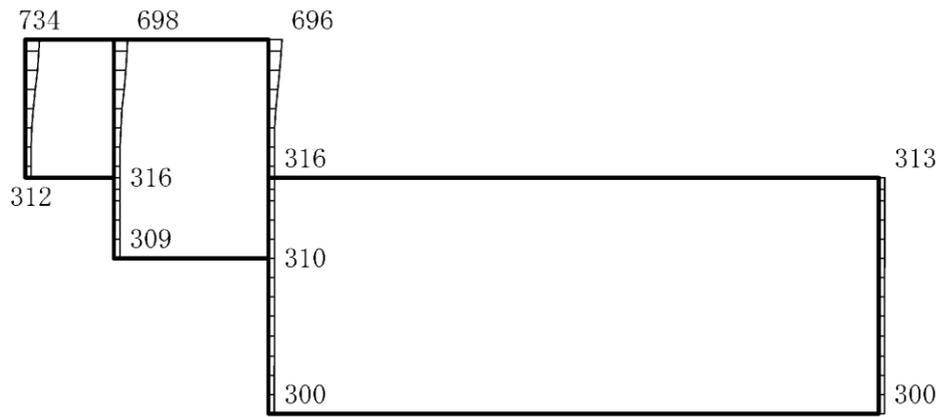
(a) S d - N 2 (E W) (+ +) 水平



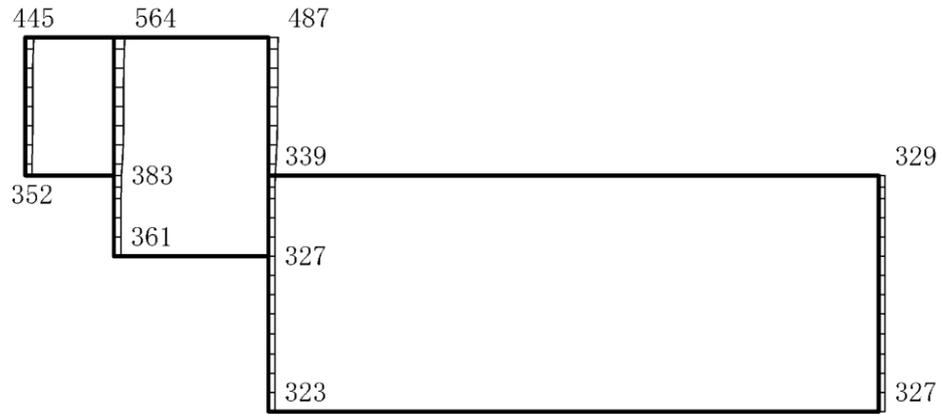
(b) S d - N 2 (E W) (+ +) 鉛直

構造スケール $0 \quad 2(\text{m})$ 応答値スケール $0 \quad 4000(\text{cm/s}^2)$

図 4-163 最大応答加速度分布図 (79/84) (解析ケース③)



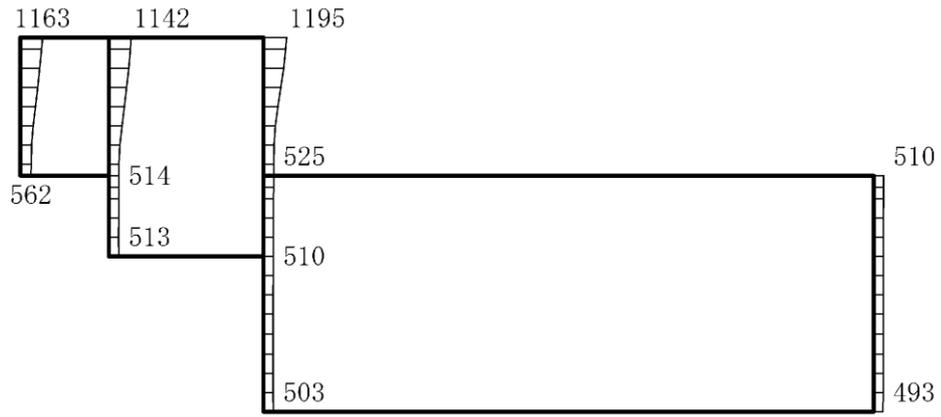
(a) S d - N 2 (E W) (-+) 水平



(b) S d - N 2 (E W) (-+) 鉛直

構造スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 2(m) 応答値スケール 0 $\frac{\quad}{\quad}$ 4000 (cm/s²)

図 4-164 最大応答加速度分布図 (80/84) (解析ケース③)



(a) S d - 1 (++) 水平

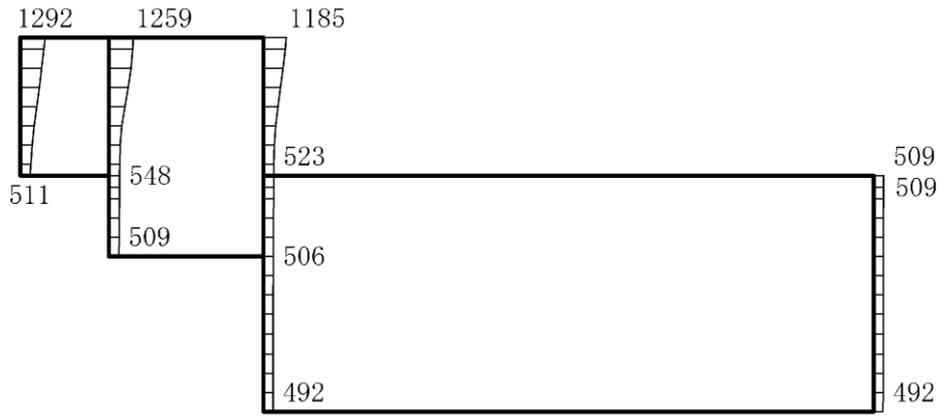


(b) S d - 1 (++) 鉛直

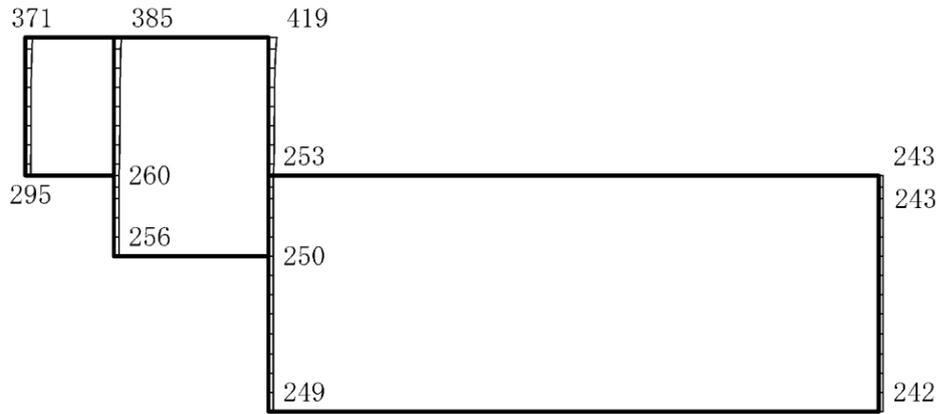
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-165 最大応答加速度分布図 (81/84) (解析ケース③)



(a) S d - 1 (-+) 水平

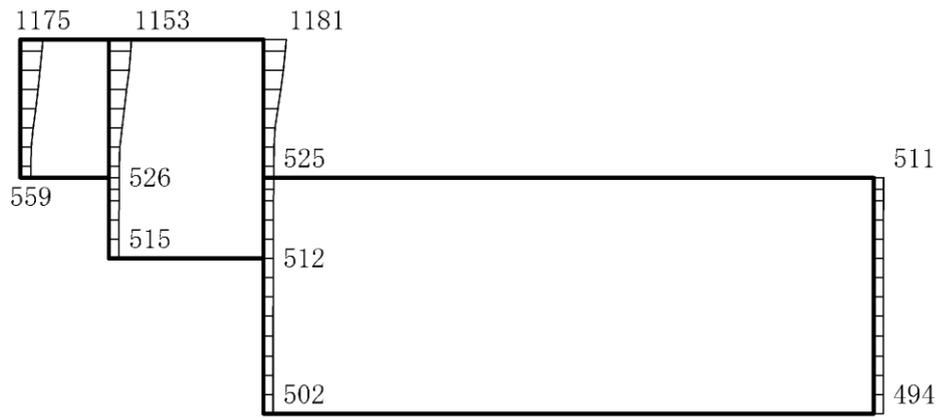


(b) S d - 1 (-+) 鉛直

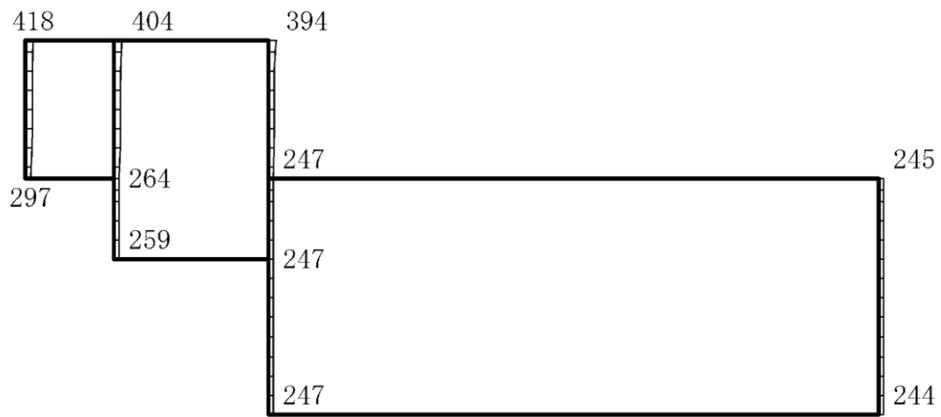
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-166 最大応答加速度分布図 (82/84) (解析ケース③)



(a) S d - 1 (+ -) 水平

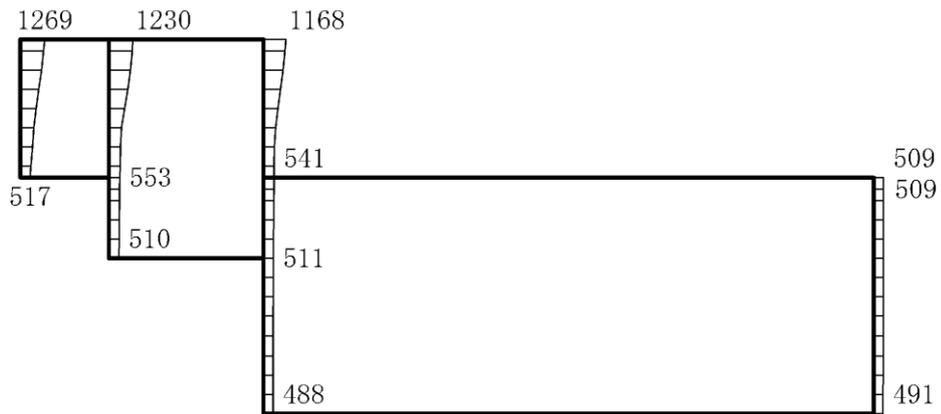


(b) S d - 1 (+ -) 鉛直

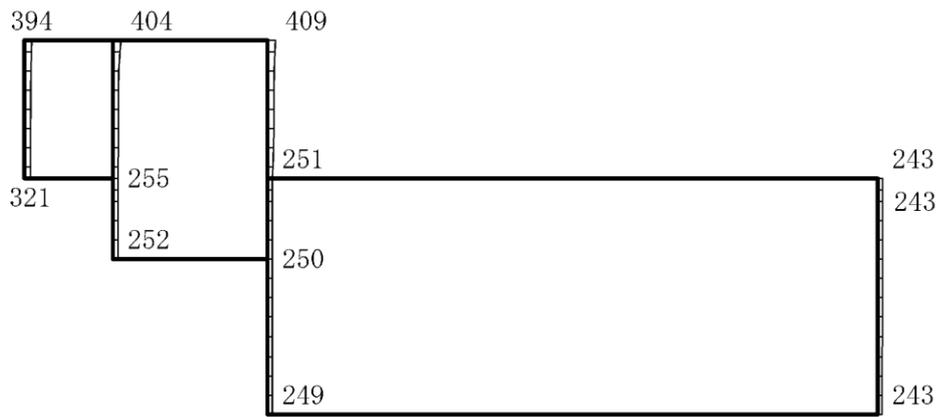
構造スケール 0 2(m)

応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-167 最大応答加速度分布図 (83/84) (解析ケース③)



(a) S d - 1 (--) 水平



(b) S d - 1 (--) 鉛直

構造スケール 0 2(m) 応答値スケール 0 4000 (cm/s²)

図 4-168 最大応答加速度分布図 (84/84) (解析ケース③)

VI-2-2-28 取水管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	6
2.4 適用規格・基準等	10
3. 管周方向の地震応答解析	11
3.1 評価対象断面	11
3.2 解析方法	12
3.2.1 構造部材	12
3.2.2 地盤	13
3.2.3 減衰定数	14
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	15
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	16
3.4 入力地震動	17
3.5 解析モデル及び諸元	30
3.5.1 解析モデル	30
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	32
3.5.3 地盤及び碎石の物性値	32
3.6 地震応答解析結果	33
4. 管軸方向の地震応答解析	48
4.1 評価対象箇所	48
4.2 解析方法	48
4.2.1 地盤	48
4.2.2 減衰定数	48
4.3 入力地震動	48
4.4 解析モデル及び諸元	49
4.4.1 解析モデル	49
4.4.2 地盤及び碎石の物性値	51
4.5 地震応答解析結果	52
5. 管軸方向の応力解析	56

5.1	評価対象箇所	56
5.2	解析方法	57
5.2.1	地震動の入射角	58
5.2.2	地盤変位	58
5.2.3	管軸方向応力の合成	58
5.3	解析モデル及び諸元	59
5.3.1	解析モデル	59
5.3.2	仕様材料及び材料定数	59
5.4	応力解析結果	60
6.	耐震評価	61
6.1	許容限界	61
6.1.1	構造部材の健全性に対する許容限界	61
6.1.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	61
6.2	評価方法	62
6.2.1	取水管の曲げ及びせん断評価	62
6.2.2	基礎地盤の支持性能評価	62
7.	耐震評価結果	63
7.1	構造部材の健全性に対する評価結果	63
7.1.1	管周方向の評価結果	63
7.1.2	合成応力による評価結果	64
7.2	基礎地盤の支持性能評価結果	65

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、取水管が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び通水機能を有していることを確認するものである。

取水管に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析及び応力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

取水管の位置図を図 2-1 に示す。

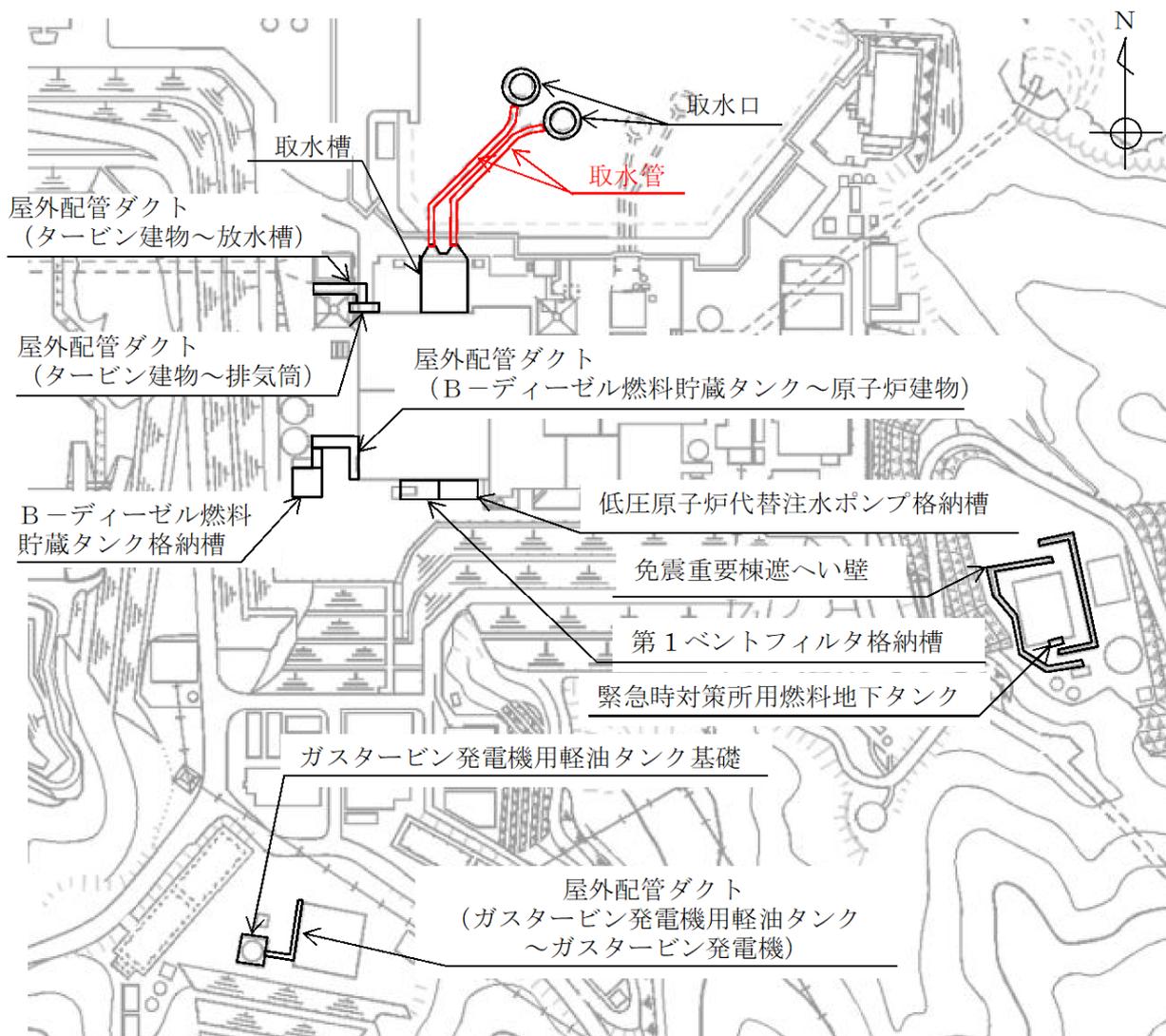


図 2-1 取水管 位置図

2.2 構造概要

取水管の平面図を図 2-2 に、縦断面図を図 2-3 及び図 2-4 に、断面図を図 2-5 及び図 2-6 に示す。

取水管は、延長約 140m、内径 $\phi 4.3\text{m}$ 、厚さ 17mm 及び 23mm の鋼製管 2 条で構成される。

取水管は、取水口から敷地護岸法先までの砕石埋戻し区間と敷地護岸法先から取水槽取付部までのコンクリート巻き立て区間に大別される。

砕石埋戻し区間は、基盤となる岩盤を掘削し設置され、周辺を砕石で埋め戻されている。また、砕石上には被覆コンクリート（厚さ 1.0m）を打設している。コンクリート巻き立て区間は、基盤となる岩盤を掘削し設置され、コンクリートで巻き立てている。また、取水管には、海水による腐食防止のため、電気防食が施されている。

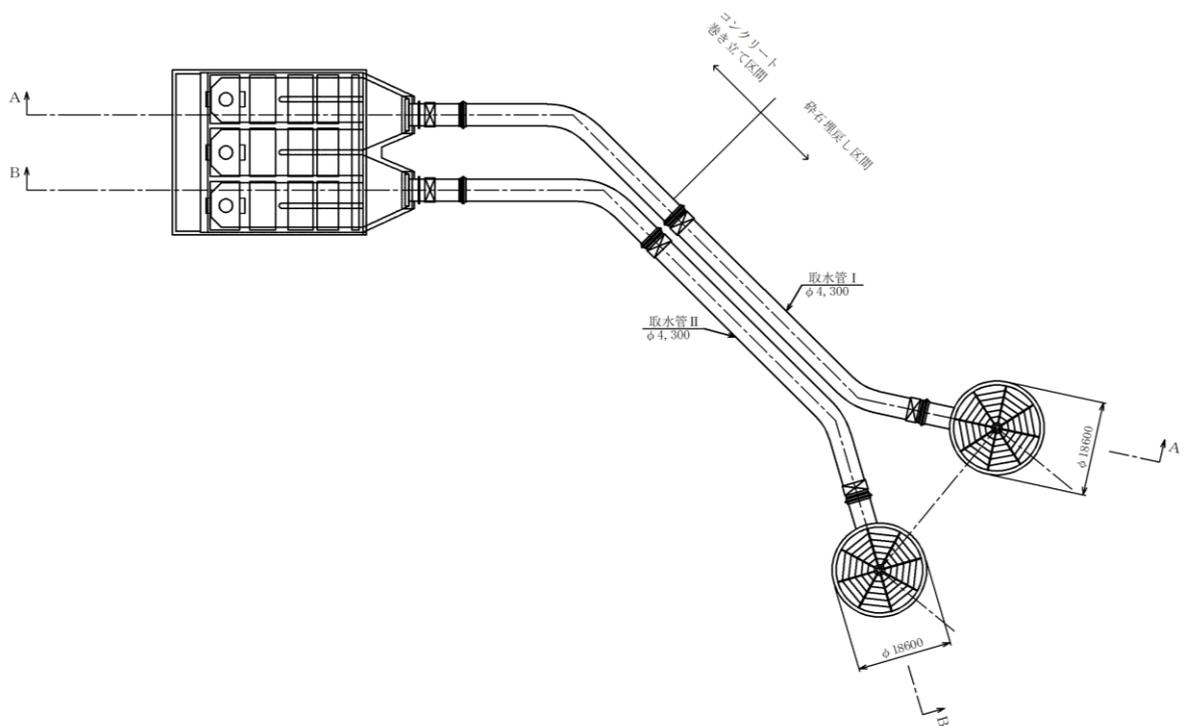


図 2-2 取水管 平面図

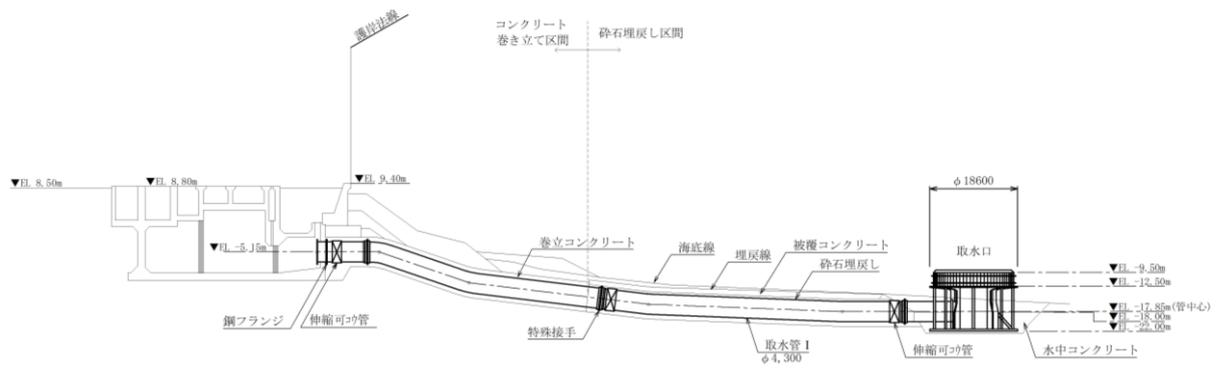


図 2-3 取水管 I 縦断面図 (A-A 断面)

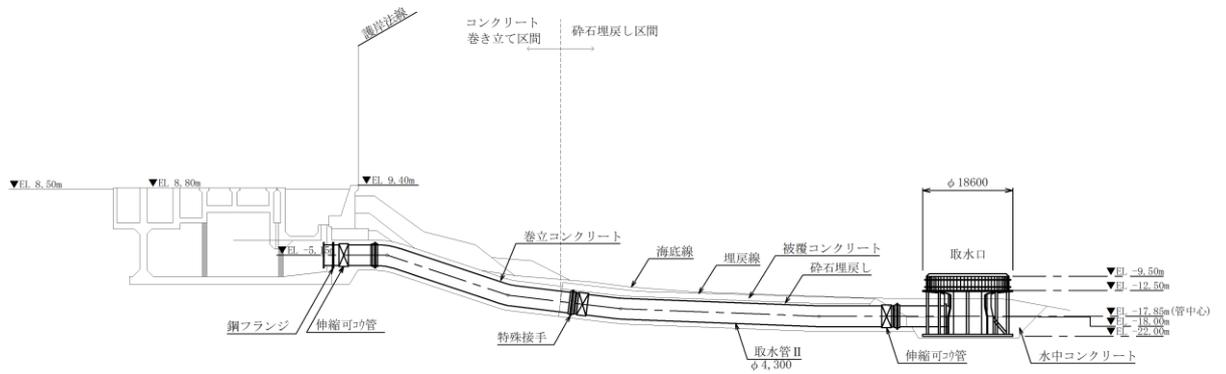


図 2-4 取水管 II 縦断面図 (B-B 断面)

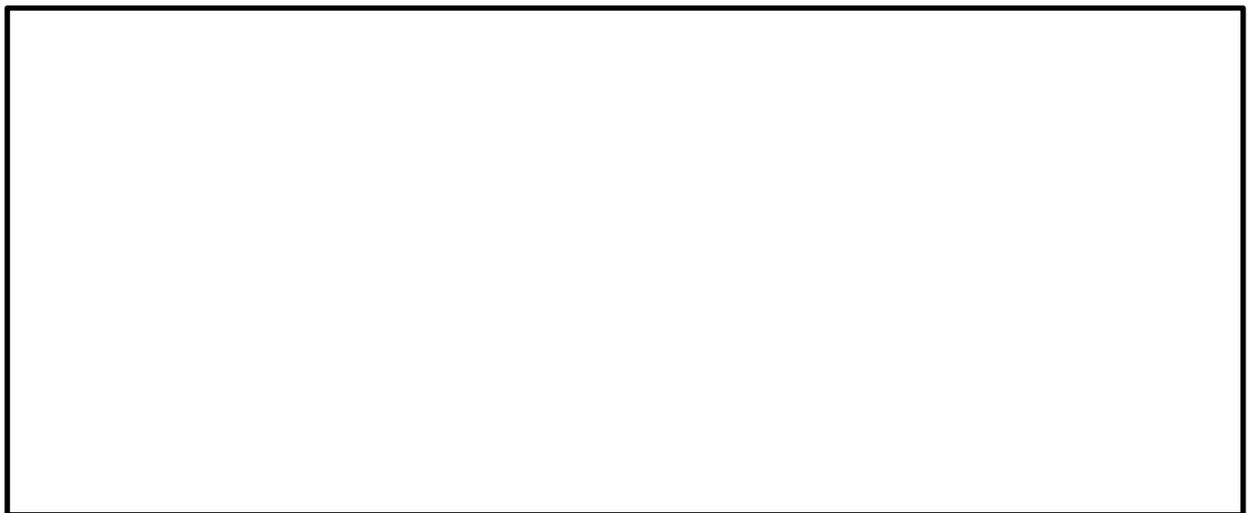


図 2-5 取水管 断面図 (砕石埋戻し区間)

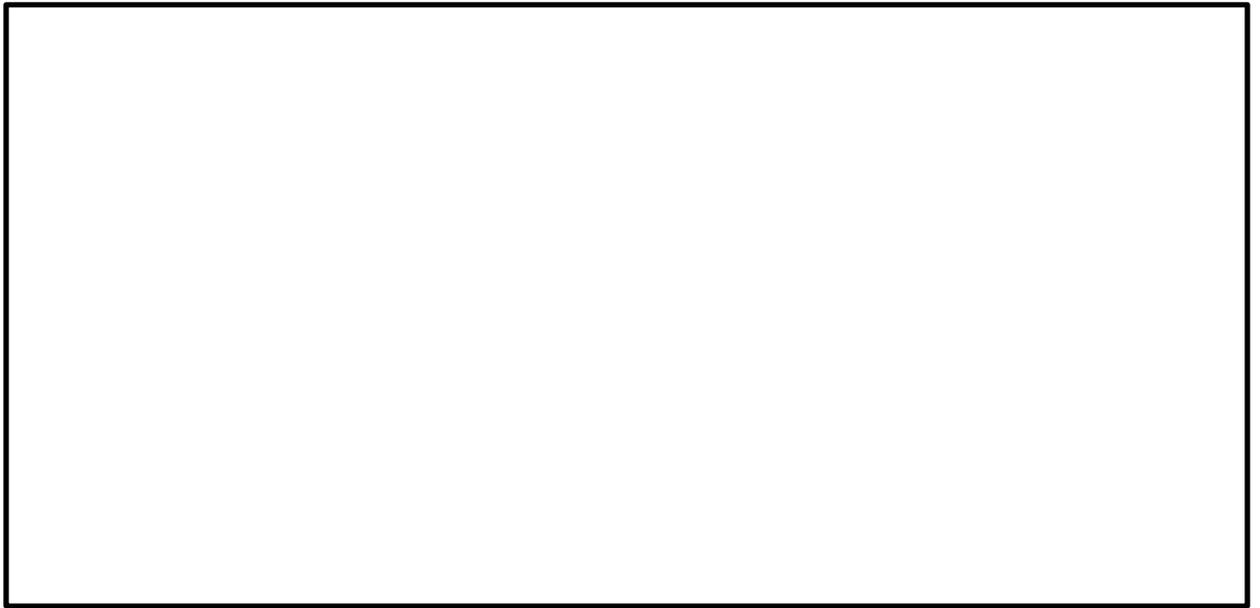


図 2-6 取水管 断面図 (コンクリート巻き立て区間)

2.3 評価方針

取水管は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備として屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備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。

取水管の耐震評価フローを図 2-7 に、地震応答解析及び応力解析の詳細フローを図 2-8 に示す。

取水管は、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設として、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、これにより屋外重要土木構造物、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の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、地震応答解析及び応力解析に基づく発生応力が、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ついては、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。

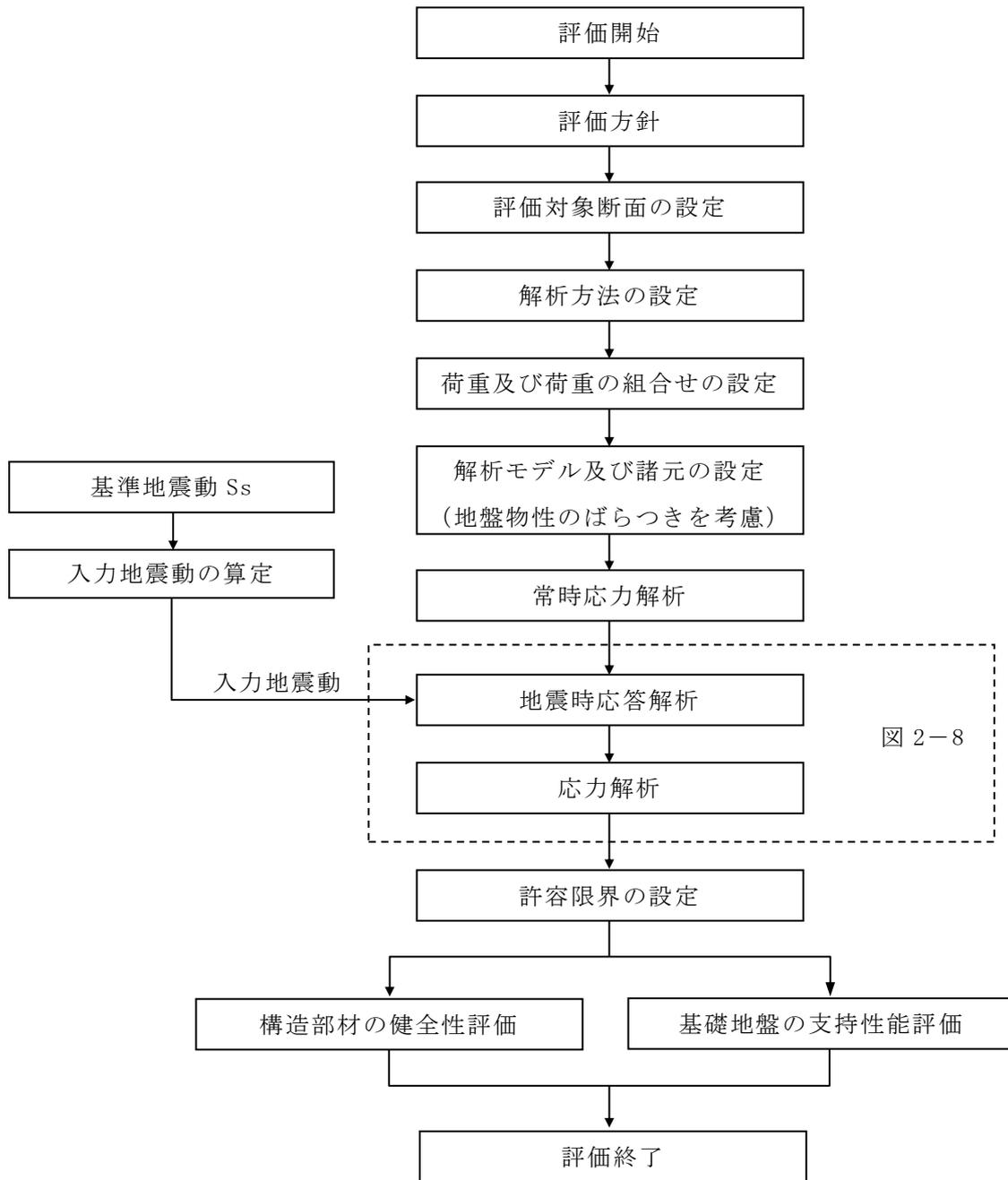


図 2-7 取水管 耐震評価フロー

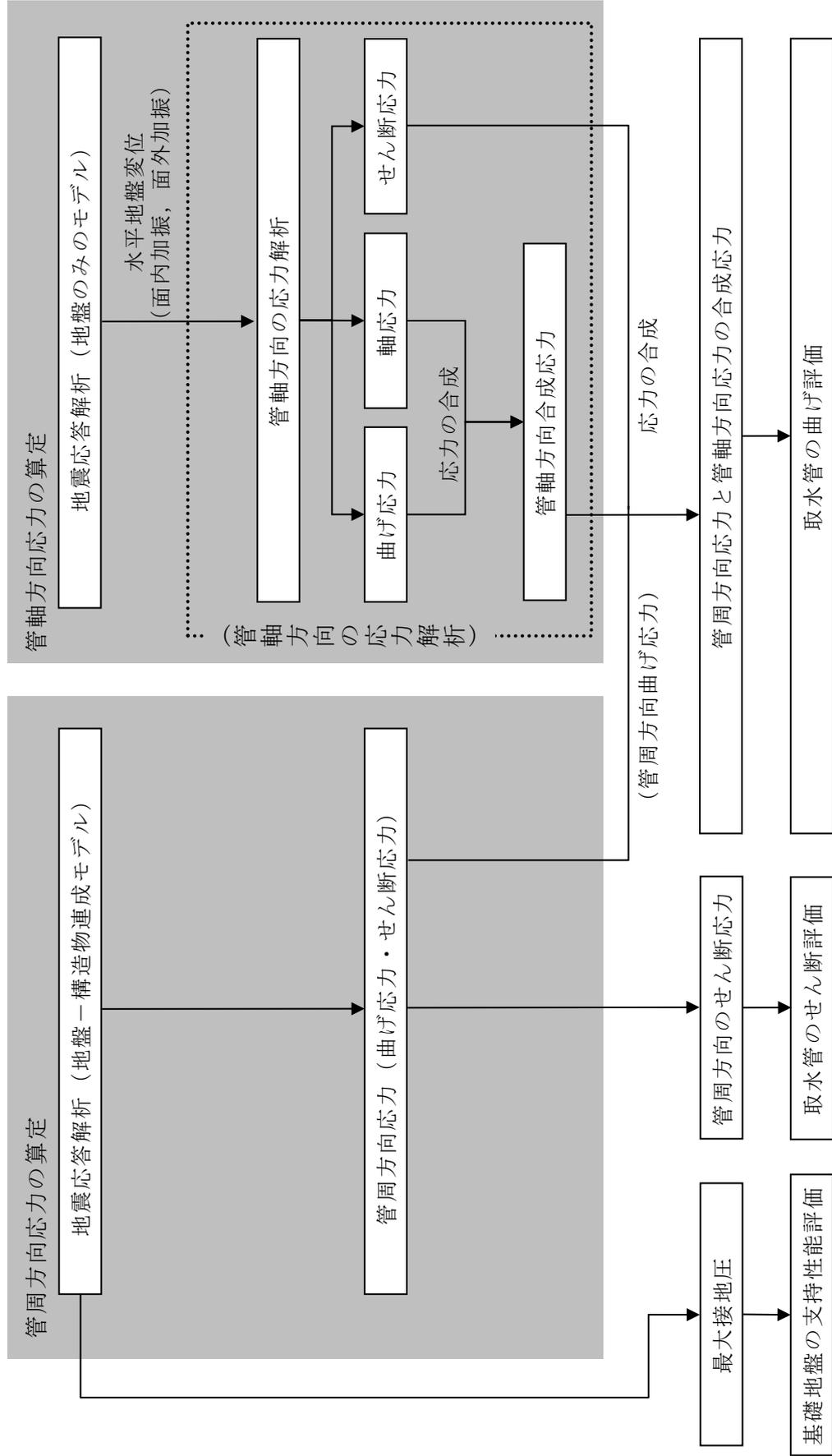


図 2-8 取水管の地震応答解析及び応力解析フロー

表 2-1 取水管の評価項目

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	構造部材の健全性	鋼製管	発生する応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	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以下であることを確認	極限支持力度*
通水機能を有すること	構造部材の健全性	鋼製管	発生する応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

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。

- 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会，1987）
- コンクリート標準示方書（土木学会，2002）
- 鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 改定）
- 水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP 029-2006（日本水道鋼管協会，2006. 2. 2）
- 水道用埋設鋼管路耐震設計基準 WSP 030-99（日本水道鋼管協会，1999 年）
- 道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編（日本道路協会，平成 29 年）

3. 管周方向の地震応答解析

3.1 評価対象断面

取水管管周方向の評価対象断面位置図を図 3-1 に示す。耐震設計における評価対象断面は、砕石埋戻し区間とし、評価対象断面図を図 3-2 に示す。

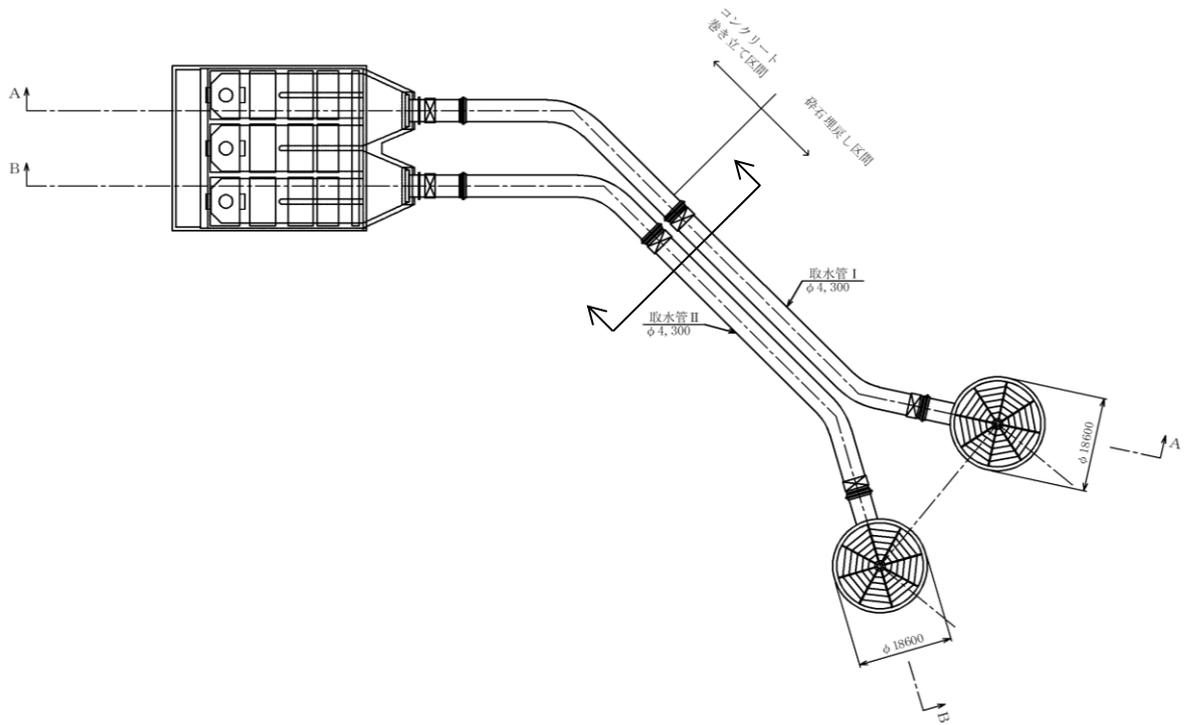


図 3-1 取水管 評価対象断面位置図

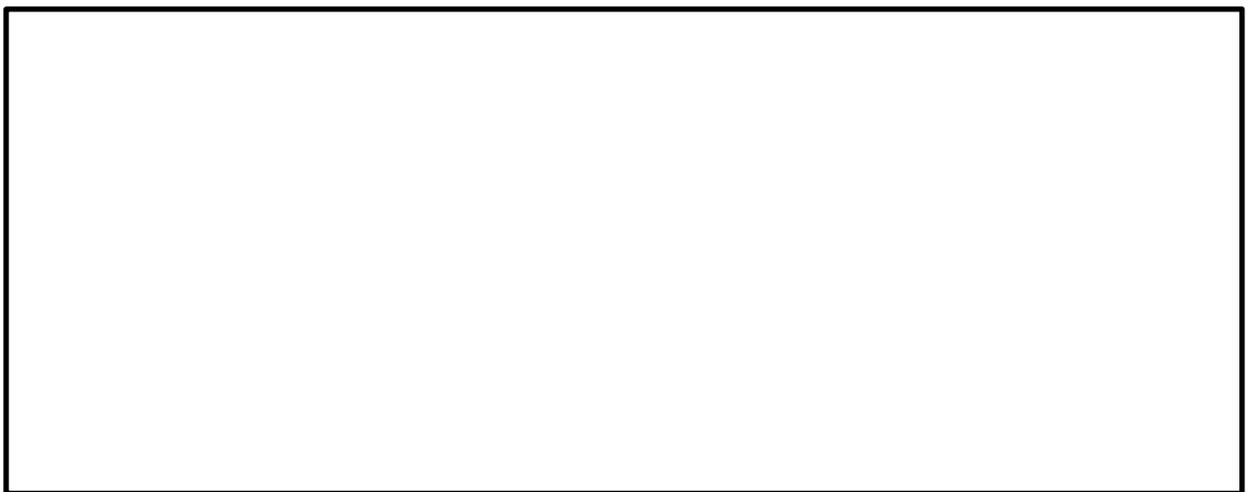


図 3-2 取水管 評価対象断面図

3.2 解析方法

取水管の地震応答解析は、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直接積分法による時刻歴応答解析により行う。取水管は、周辺を砕石で囲まれていることから、解析手法は全応力解析とする。

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

取水管は、はり要素でモデル化する。

3.2.2 地盤

地盤及び砕石は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。また、地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、動せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施する。地盤剛性のばらつきを考慮した解析ケースを表3-1に示す。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表3-1 解析ケース

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

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

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

α	β
1.598	1.536×10^{-4}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。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。解析ケース①において、取水管の管周方向における発生応力、また取水管の管軸方向における発生ひずみを算定するための地盤ひずみを算定する。その中で、取水管の管周方向の発生応力及び管軸方向における発生応力を算定するための地盤ひずみが最も大きくなる地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。

表 3-3 耐震計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 ($+1\sigma$) 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 $+1\sigma$	平均値 -1σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	
		-+*	○	
		+ - *	○	
		---*	○	
	$S_s - F1$	++*	○	
	$S_s - F2$	-+*	○	
	$S_s - N1$	++*	○	
		-+*	○	
	$S_s - N2$	++*	○	
	(NS)	-+*	○	
$S_s - N2$	++*	○		
(EW)	-+*	○		

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、解析ケース①において、取水管の管周方向における発生応力、また取水管の管軸方向における発生応力を算定するための地盤ひずみを算定する。その中で、取水管の管周方向の発生応力及び管軸方向における発生応力を算定するための地盤ひずみが最も大きくなる地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。

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

取水管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

海中に設置された構造物であることから積雪及び風荷重は考慮しない。

(4) 重大事故時の状態

重大事故時の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

取水管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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び取水管の内圧による荷重を考慮する。

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-4 に示す。

表 3-4 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 _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3-3に入力地震動算定の概念図を、図3-4～図3-14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。

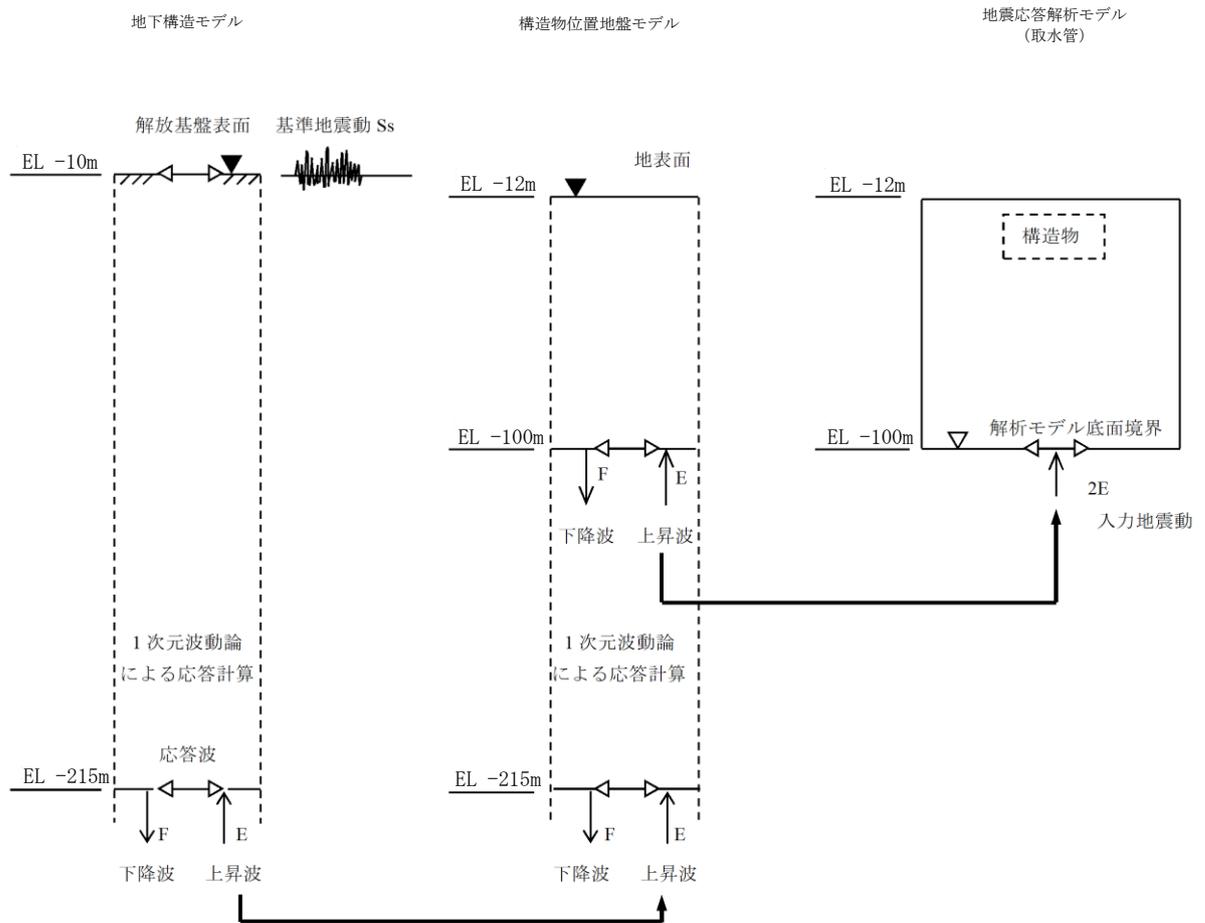
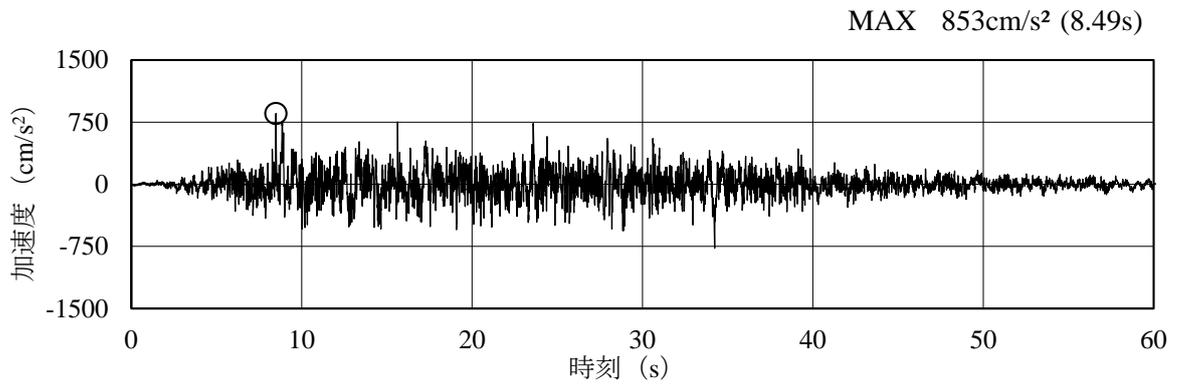
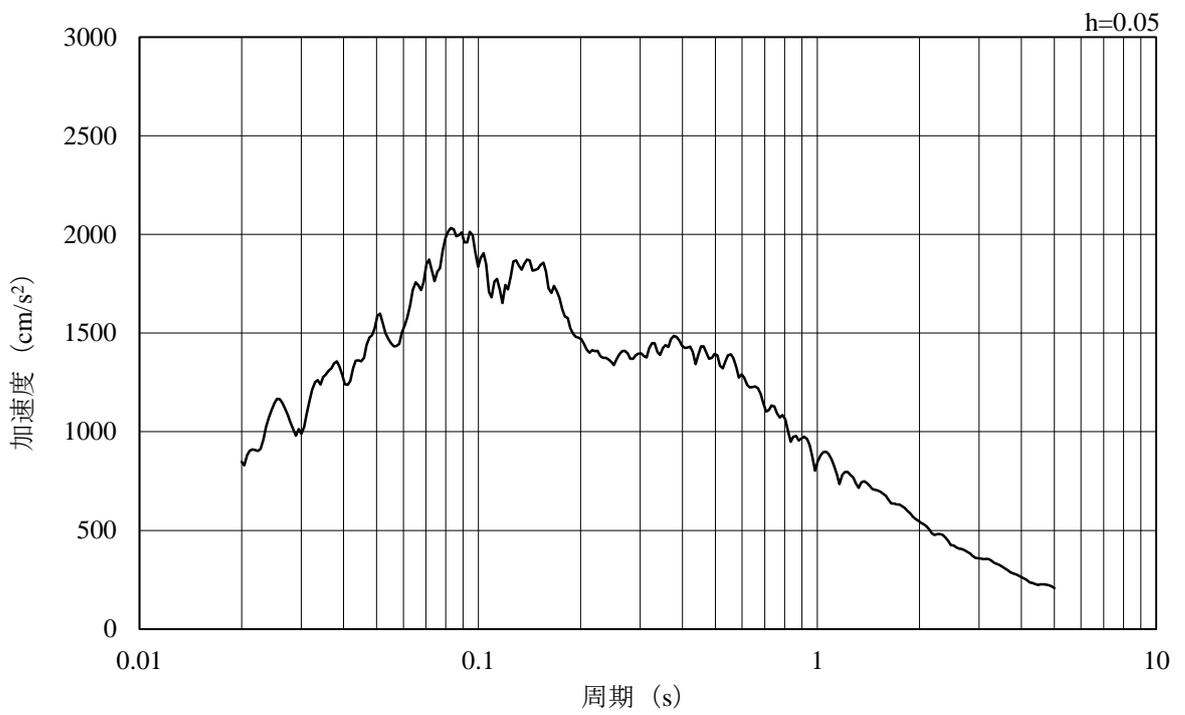


図 3-3 入力地震動算定の概念図

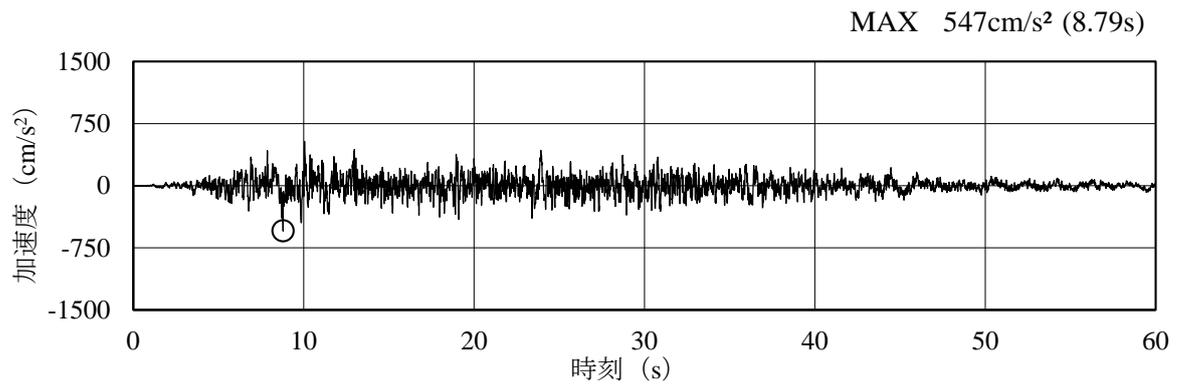


(a) 加速度時刻歴波形

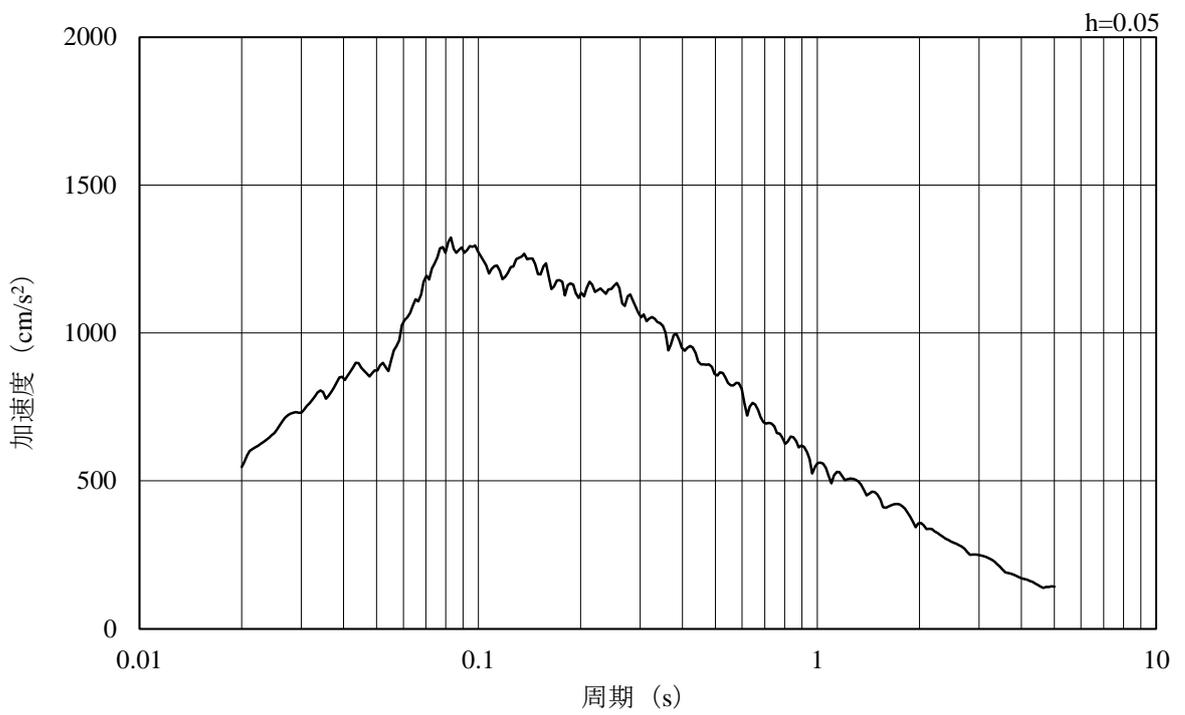


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-4 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
(S s -D, 水平方向)

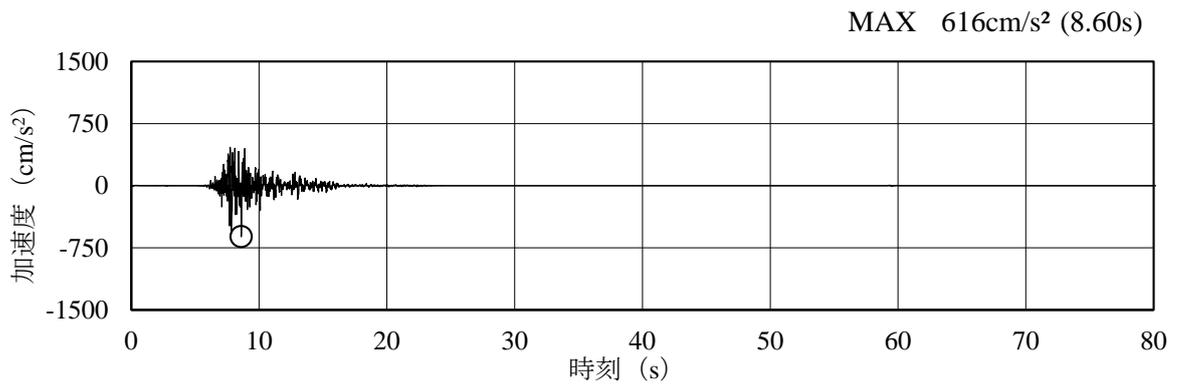


(a) 加速度時刻歴波形

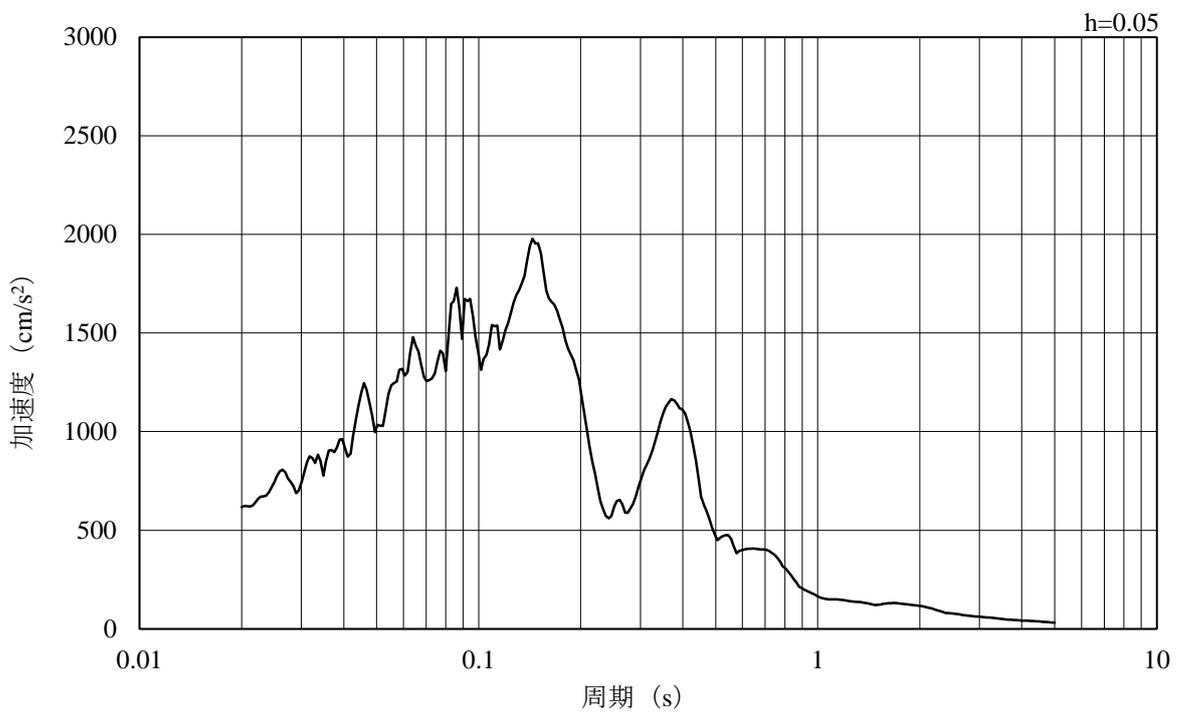


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 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
(S s - D, 鉛直方向)

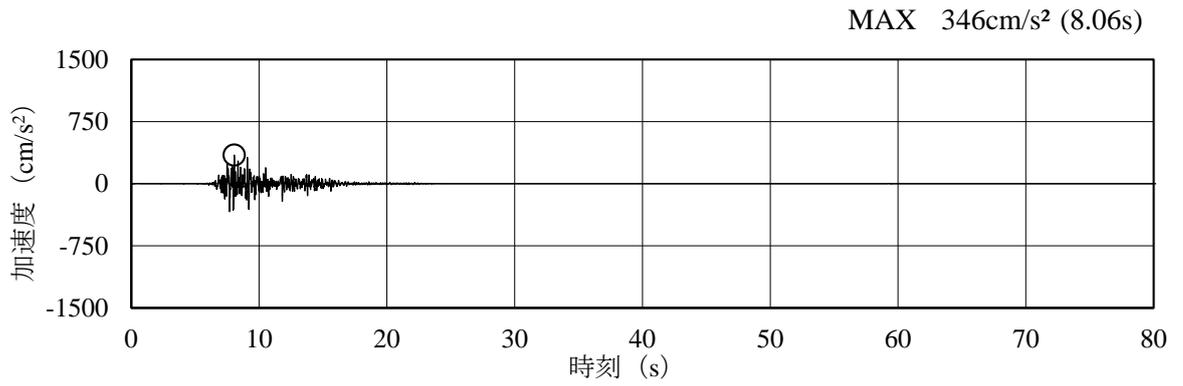


(a) 加速度時刻歴波形

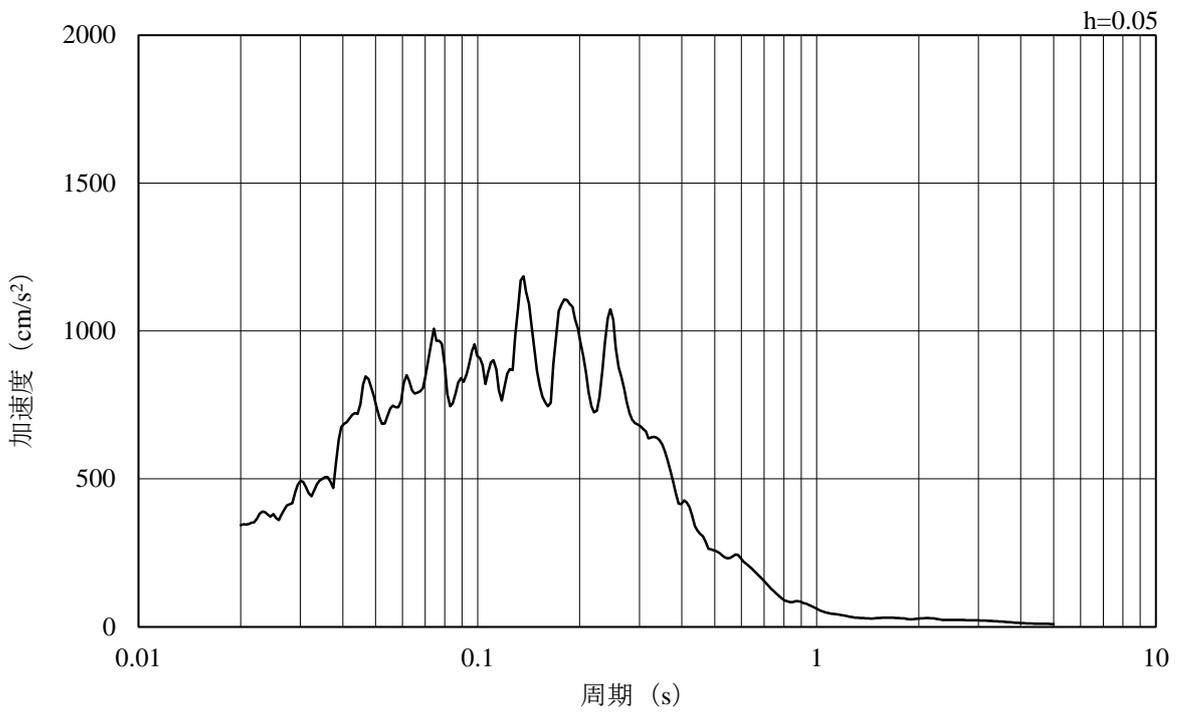


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 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
(S s - F 1, 水平方向)

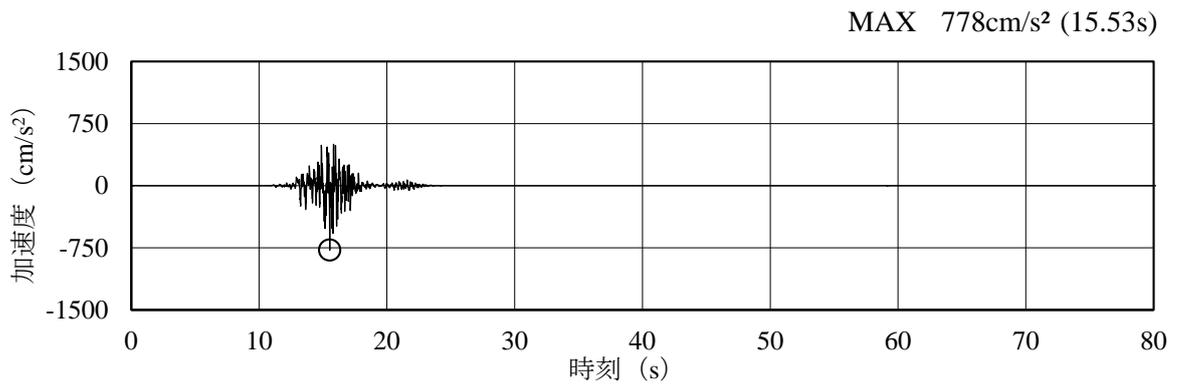


(a) 加速度時刻歴波形

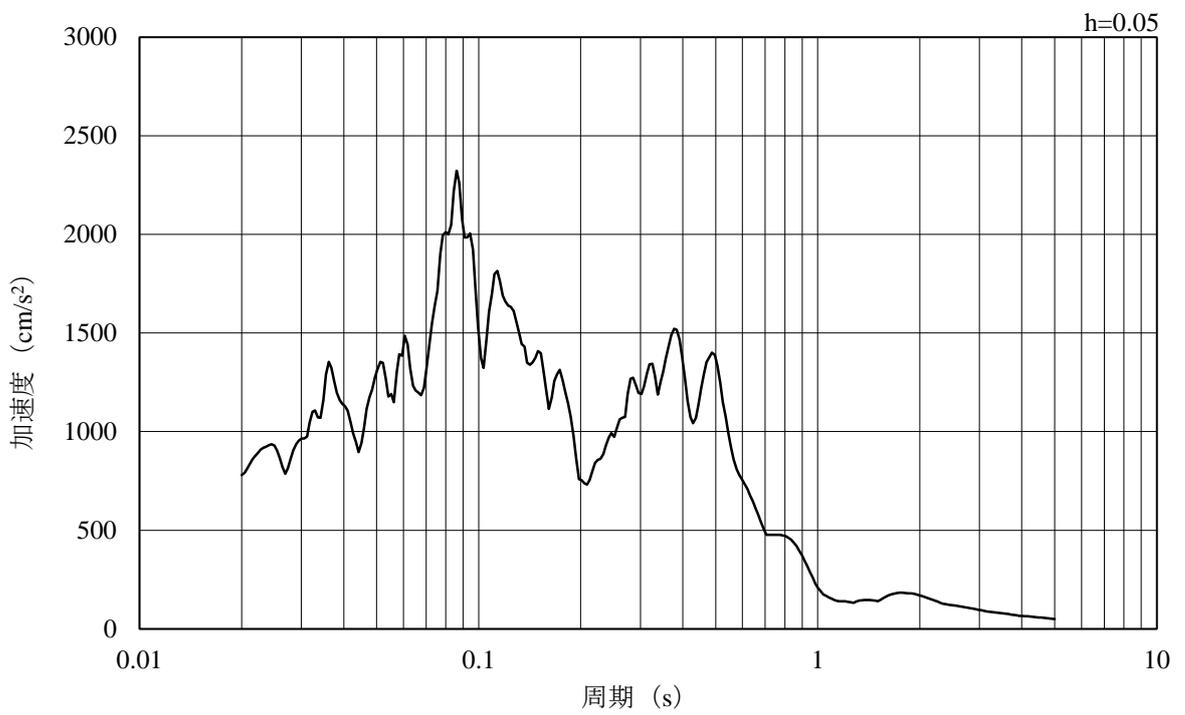


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - F 1, 鉛直方向)

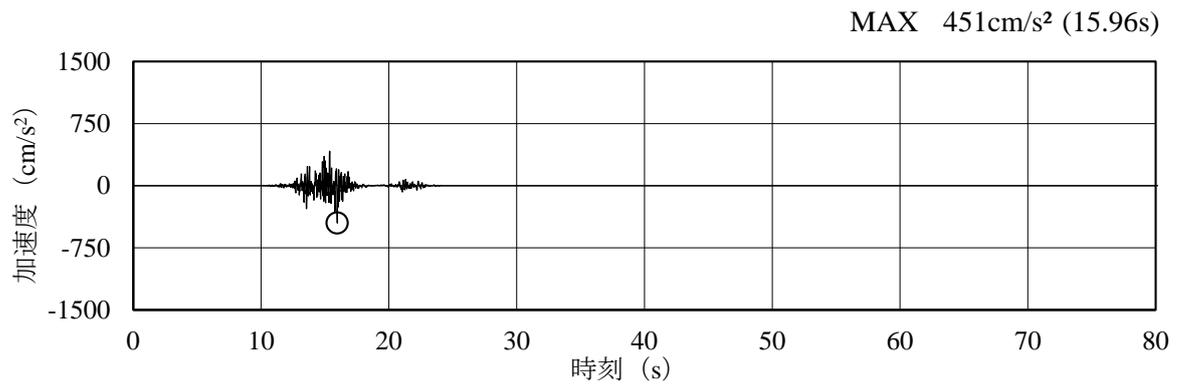


(a) 加速度時刻歴波形

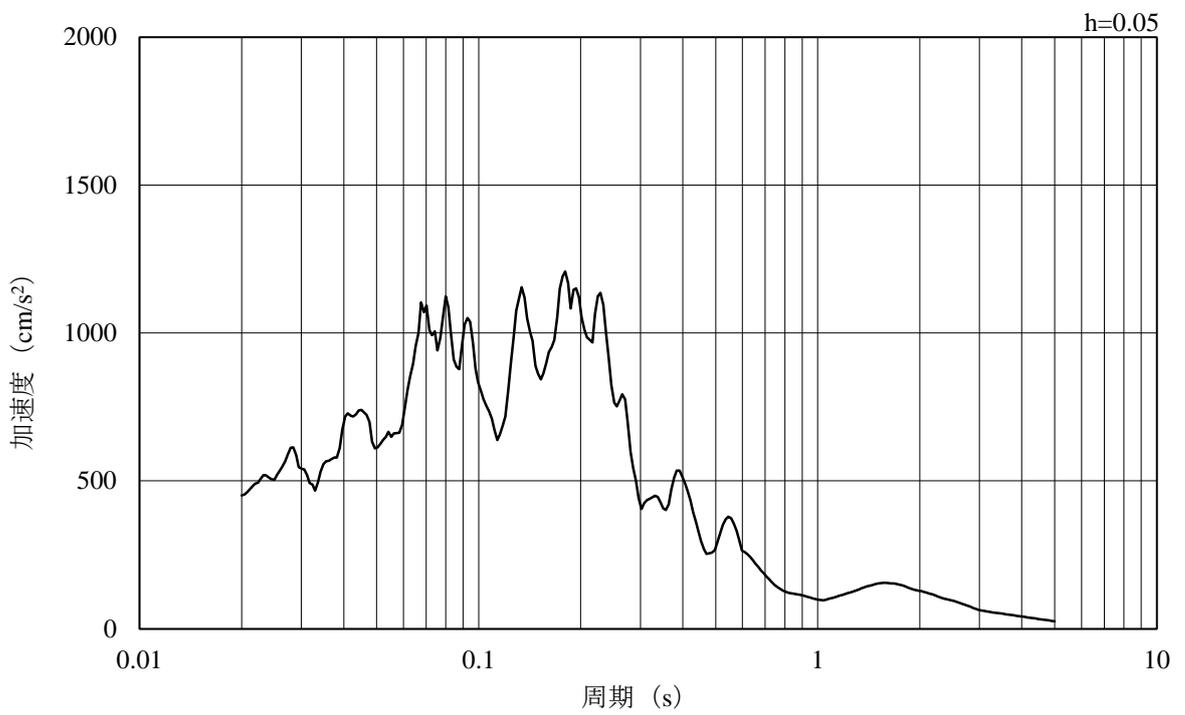


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - F 2, 水平方向)

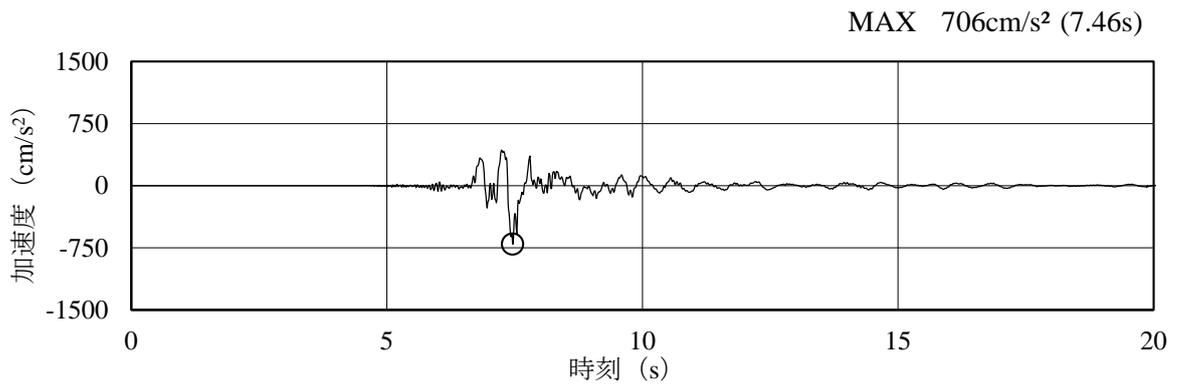


(a) 加速度時刻歴波形

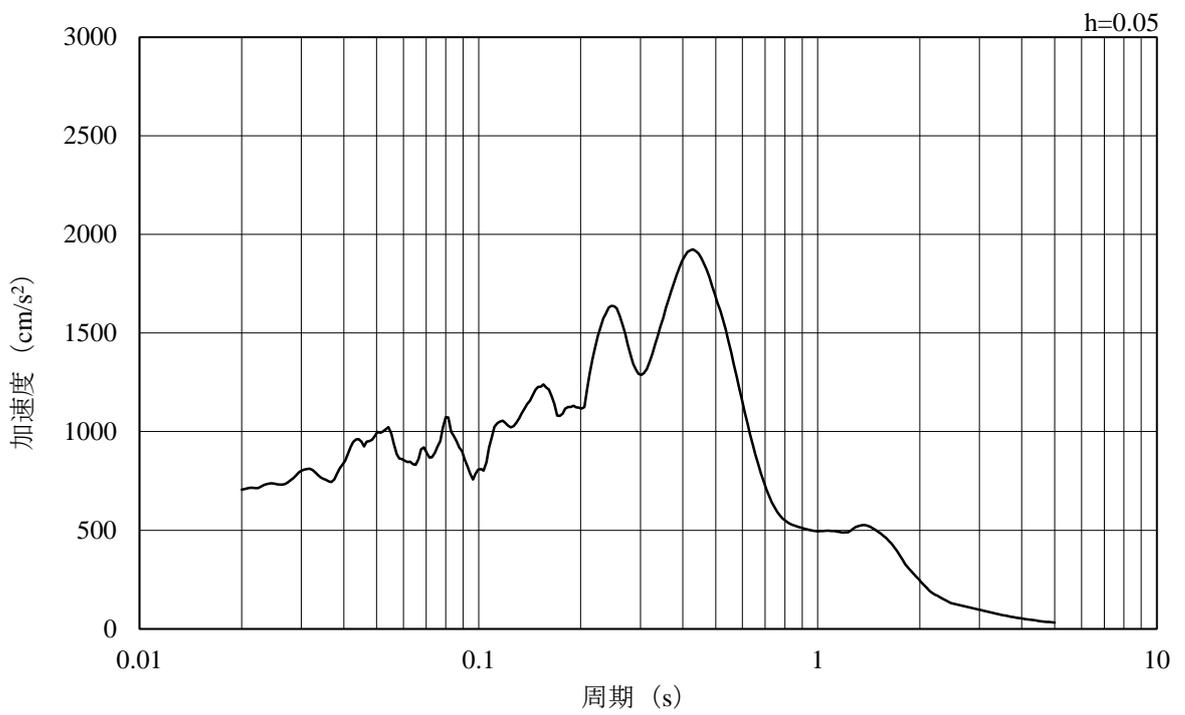


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - F 2, 鉛直方向)

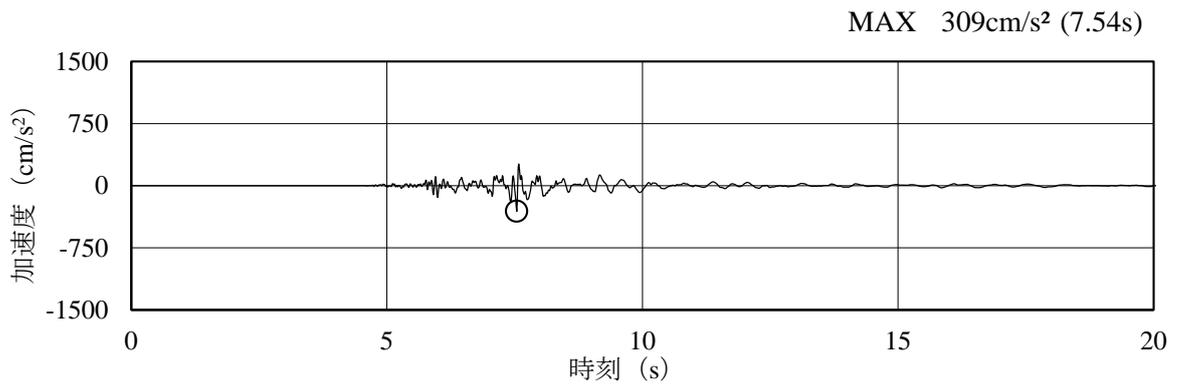


(a) 加速度時刻歴波形

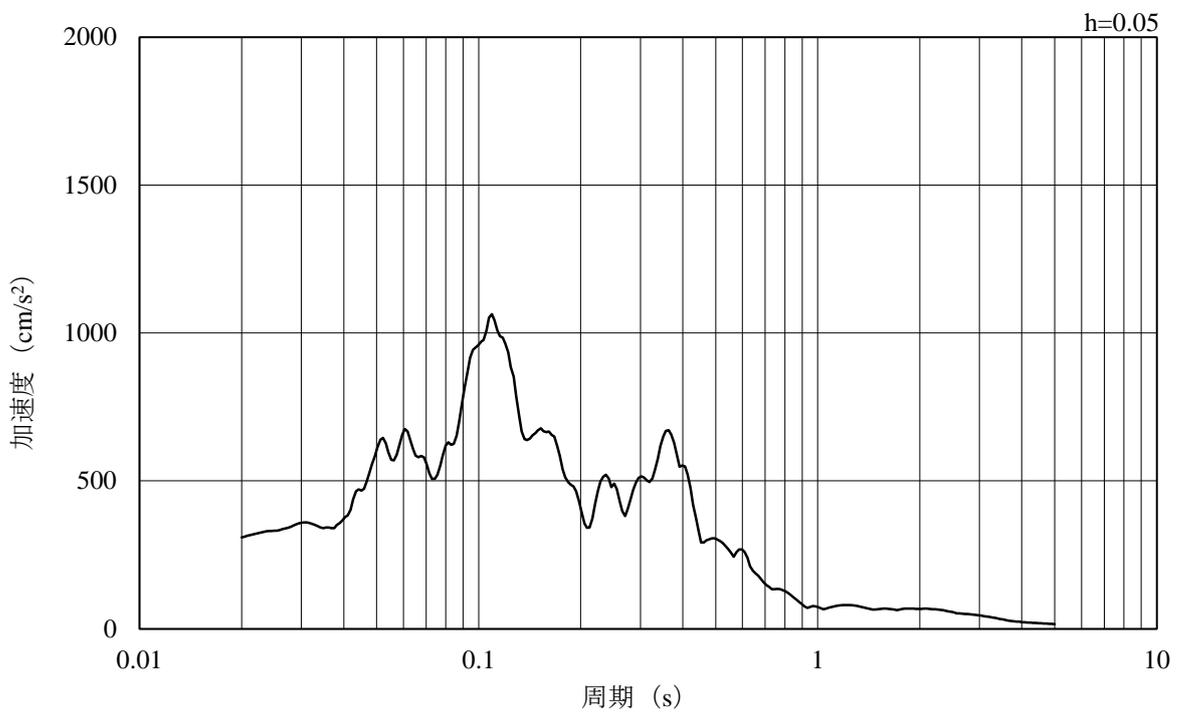


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - N 1, 水平方向)

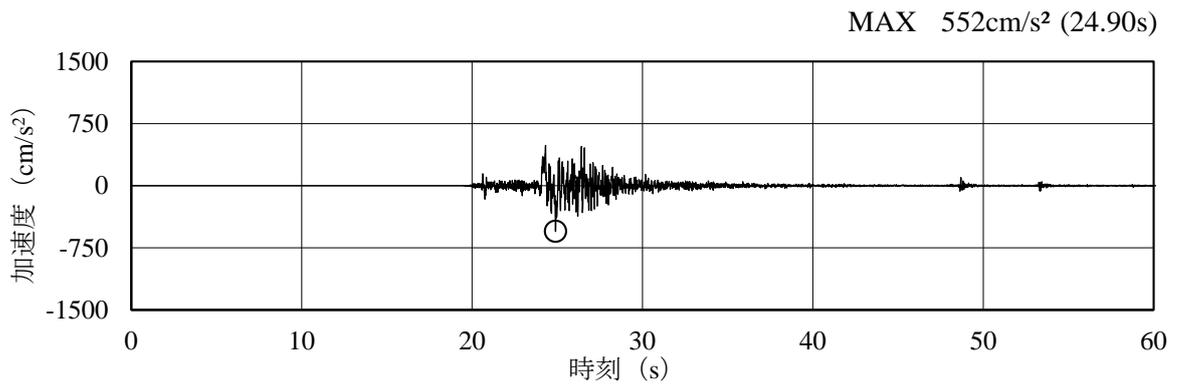


(a) 加速度時刻歴波形

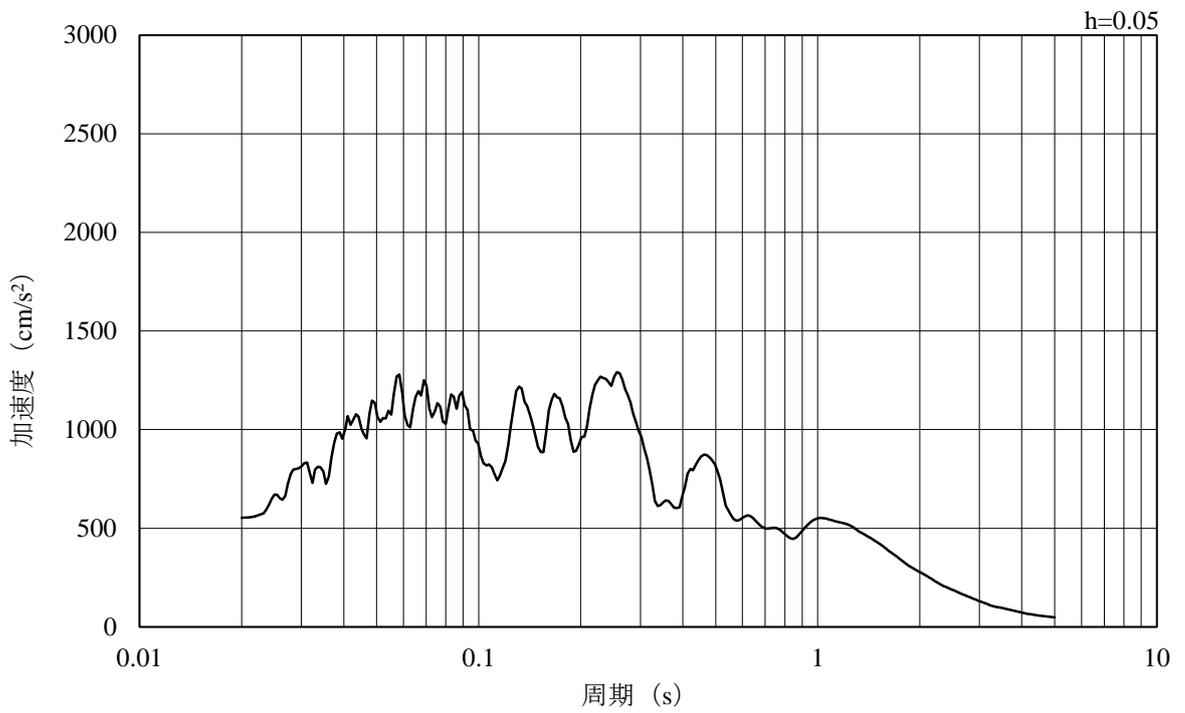


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - N 1, 鉛直方向)

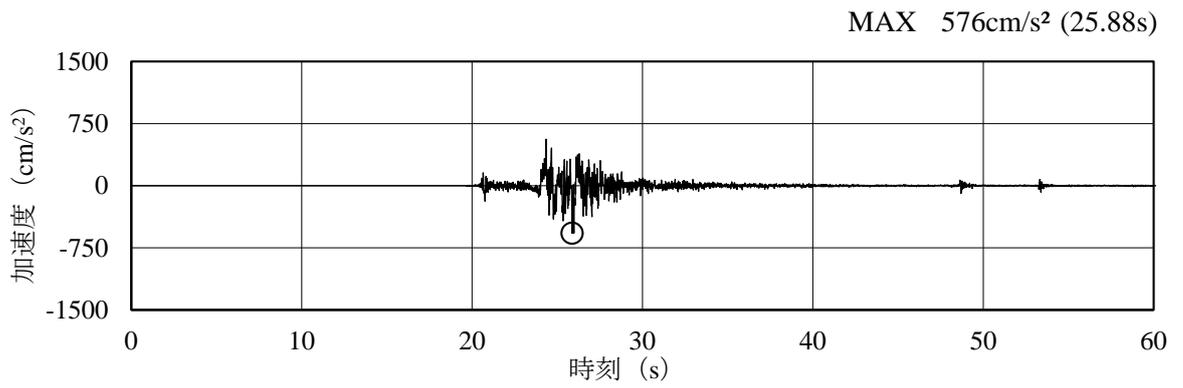


(a) 加速度時刻歴波形

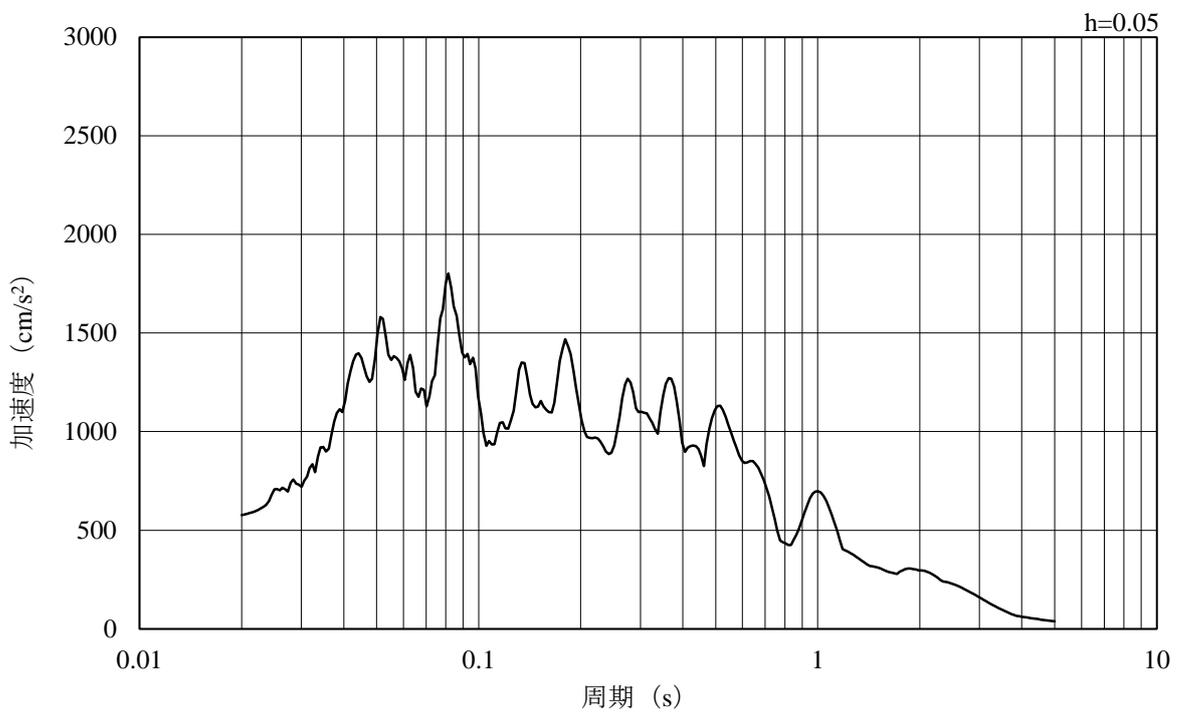


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - N 2 (N S), 水平方向)

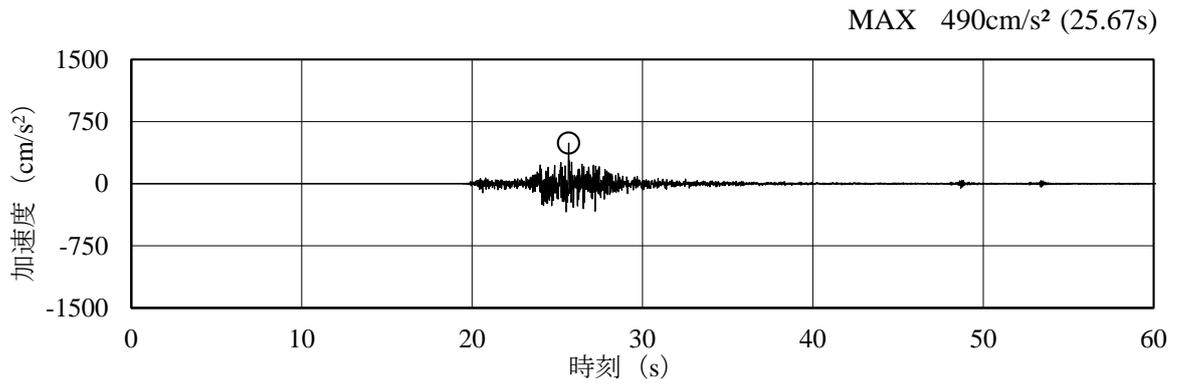


(a) 加速度時刻歴波形

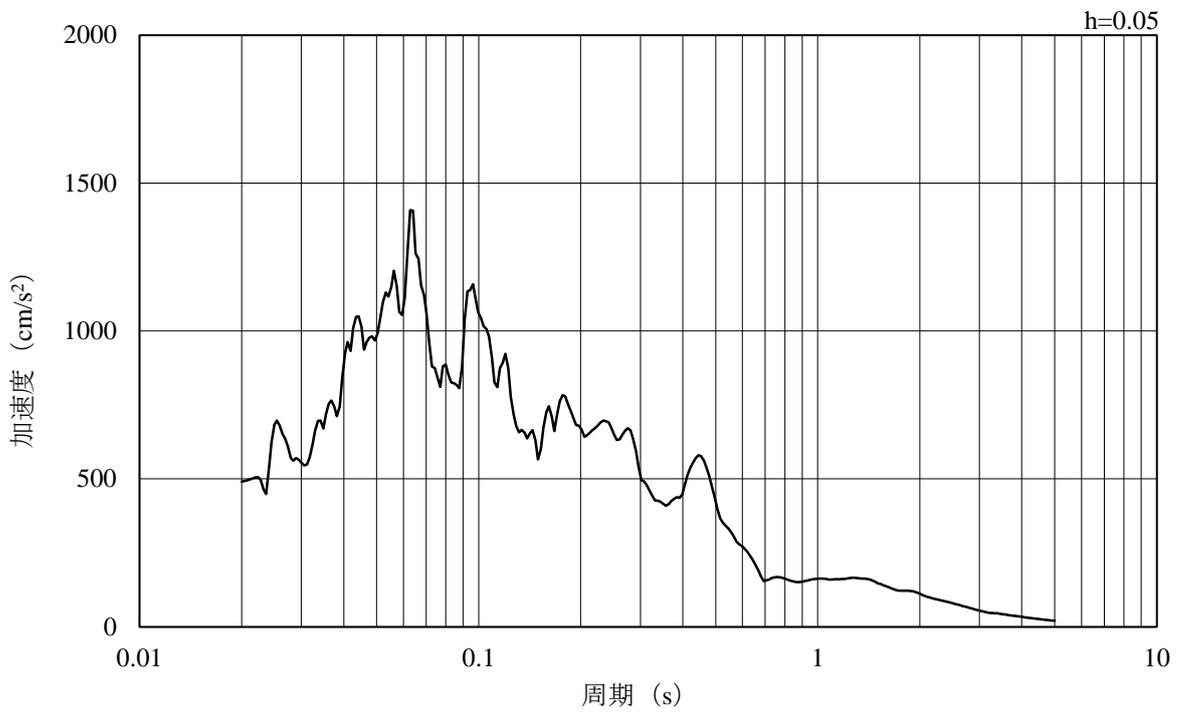


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - N 2 (E W), 水平方向)



(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
(S s - N 2 (E W), 鉛直方向)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水管の地震応答解析モデルを図3-15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

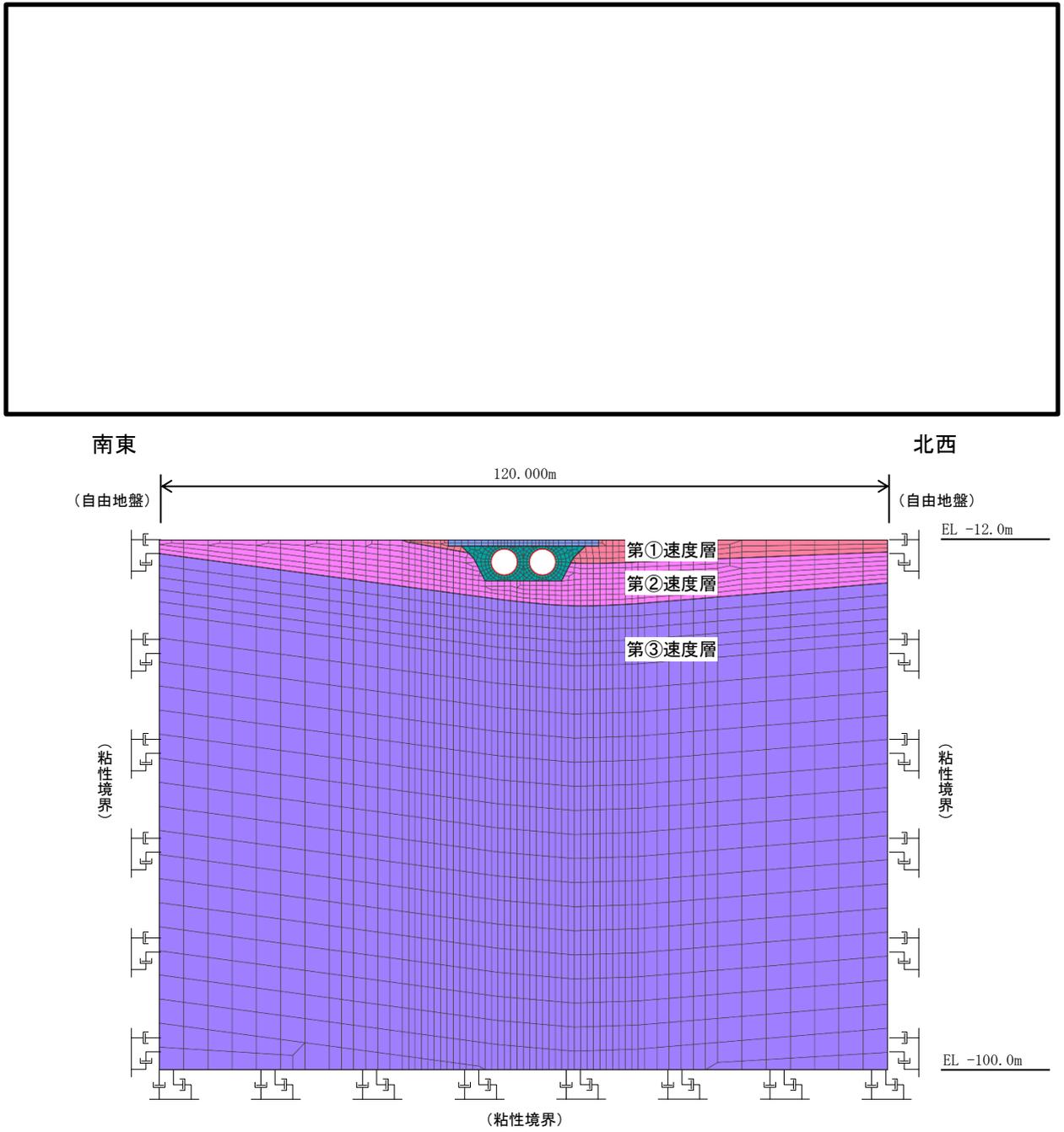
取水管は、はり要素でモデル化する。

(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。また、砕石は、地盤の非線形性を考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」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。



(取水管まわり拡大)

図 3-15 取水管 地震応答解析モデル図

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 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 に示す。

表 3-4 使用材料

材料	仕様
鋼製管	SS400

表 3-5 材料の物性値

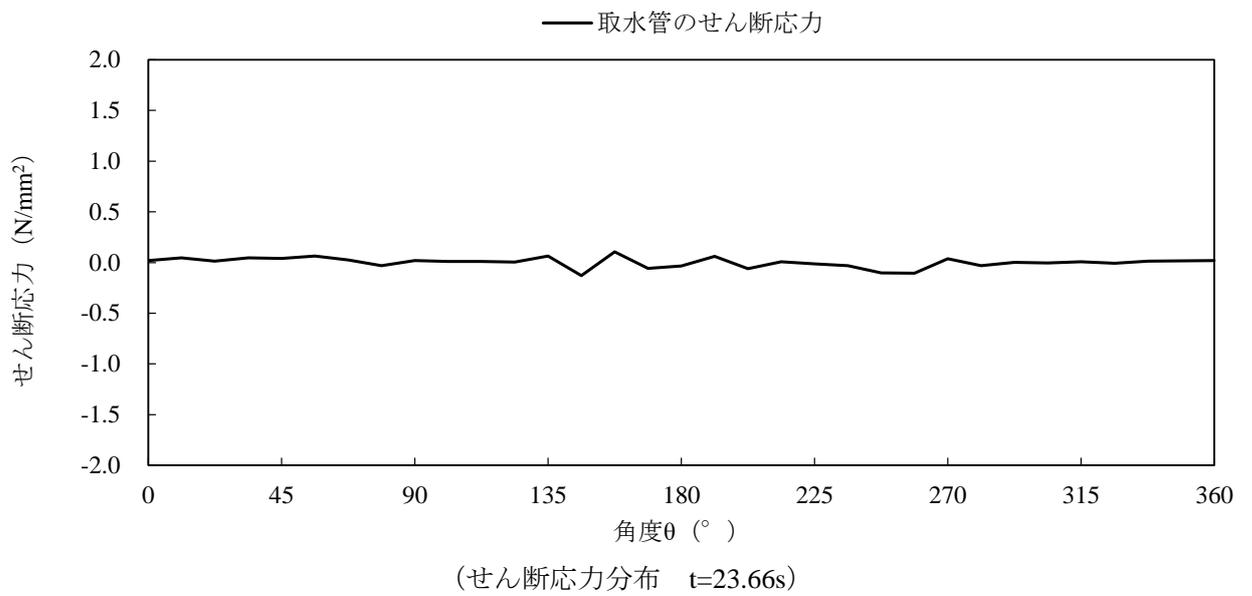
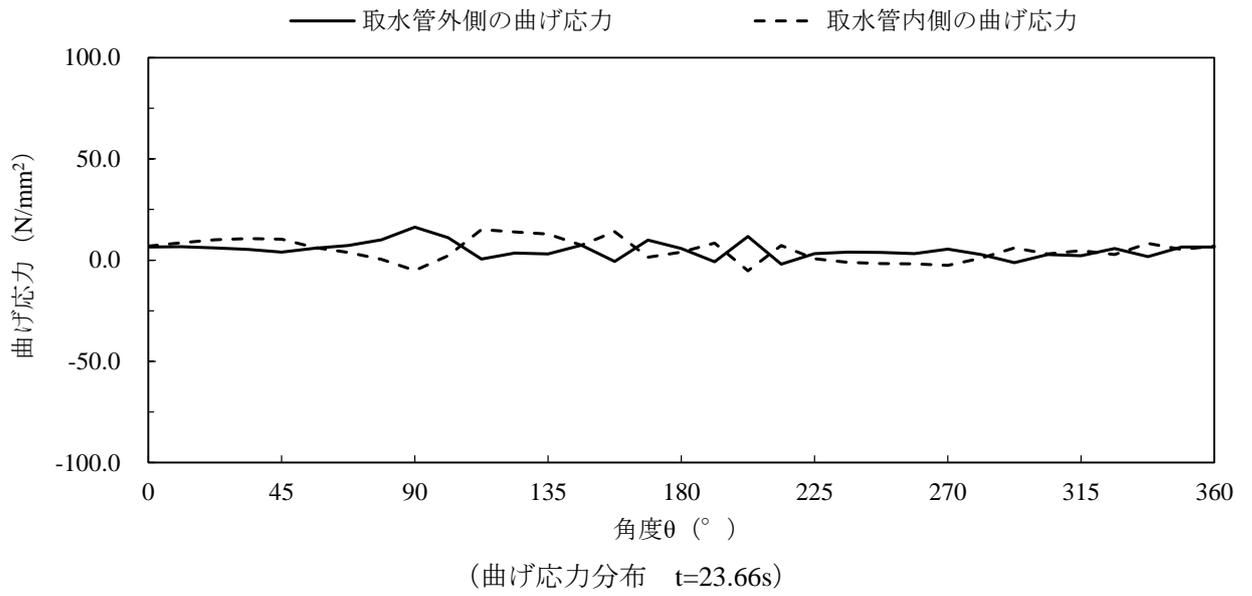
材料	項目	材料諸元
鋼製管	単位体積重量 (kN/m ³)	77.0
	ヤング係数 (N/mm ²)	2.00×10 ⁵
	ポアソン比	0.3

3.5.3 地盤及び砕石の物性値

地盤及び砕石については、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。

3.6 地震応答解析結果

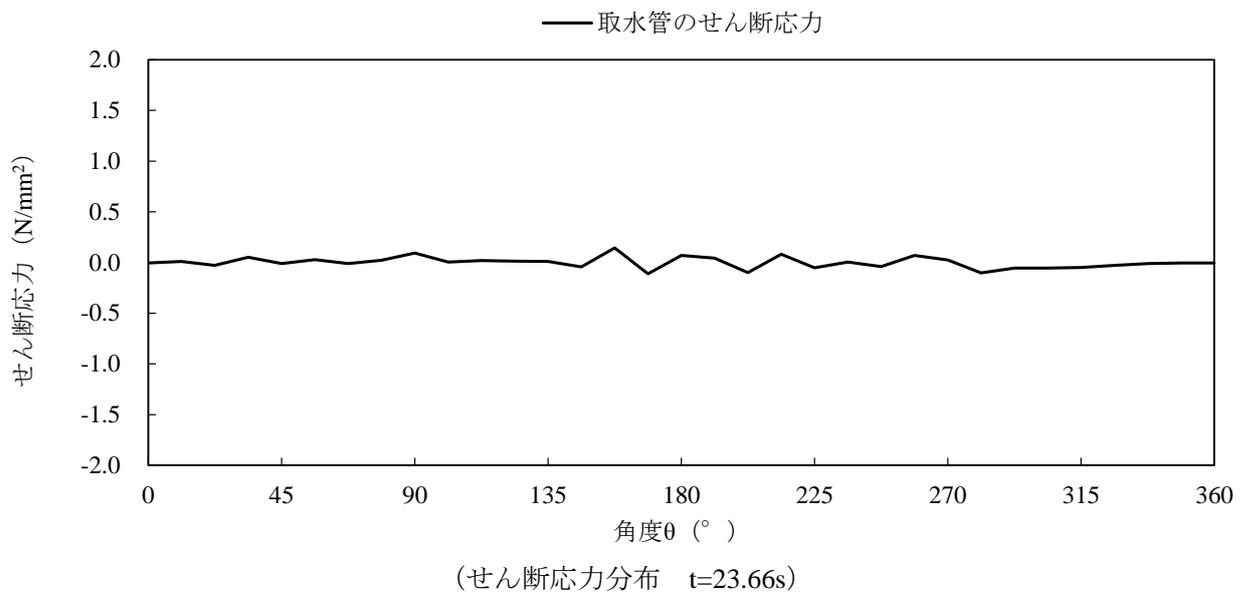
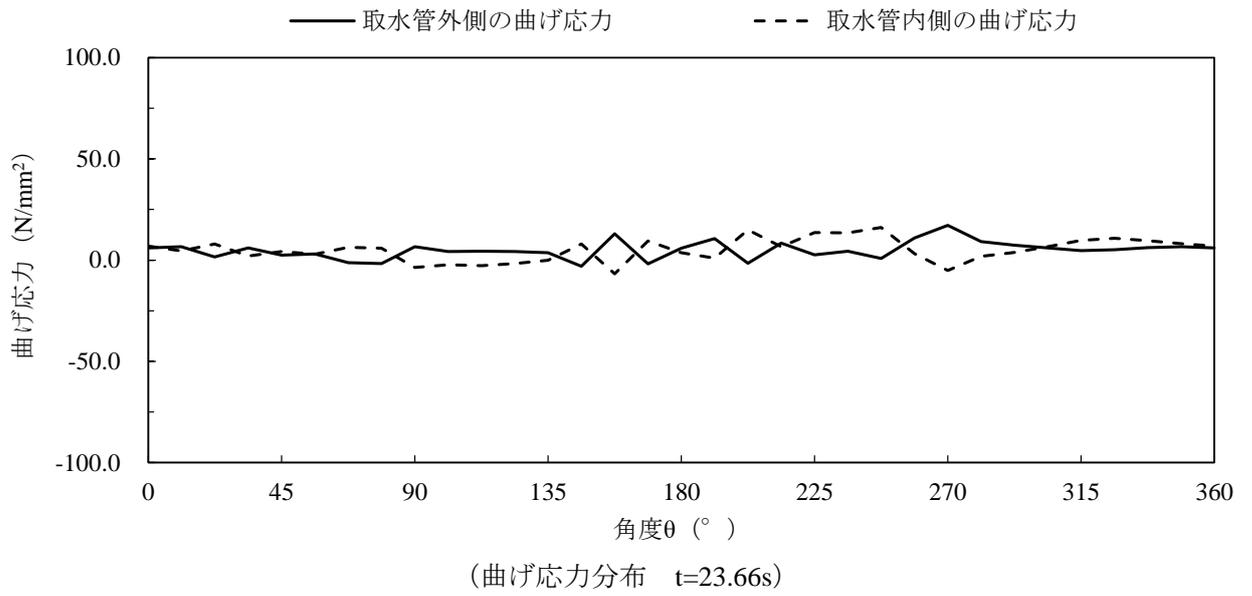
耐震評価のために用いる応力分布として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する応力分布図を図 3-16～図 3-27 に示す。また、解析ケース①において、応答ひずみが最大となる地震動に対しての解析ケース②及び③の応力分布図を図 3-28 及び図 3-29 に示す。なお、本図は、取水管に発生する曲げ応力及びせん断応力が最大となる時刻における応力分布を示している。



注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-16 取水管管周方向の応力分布図 (1/14)

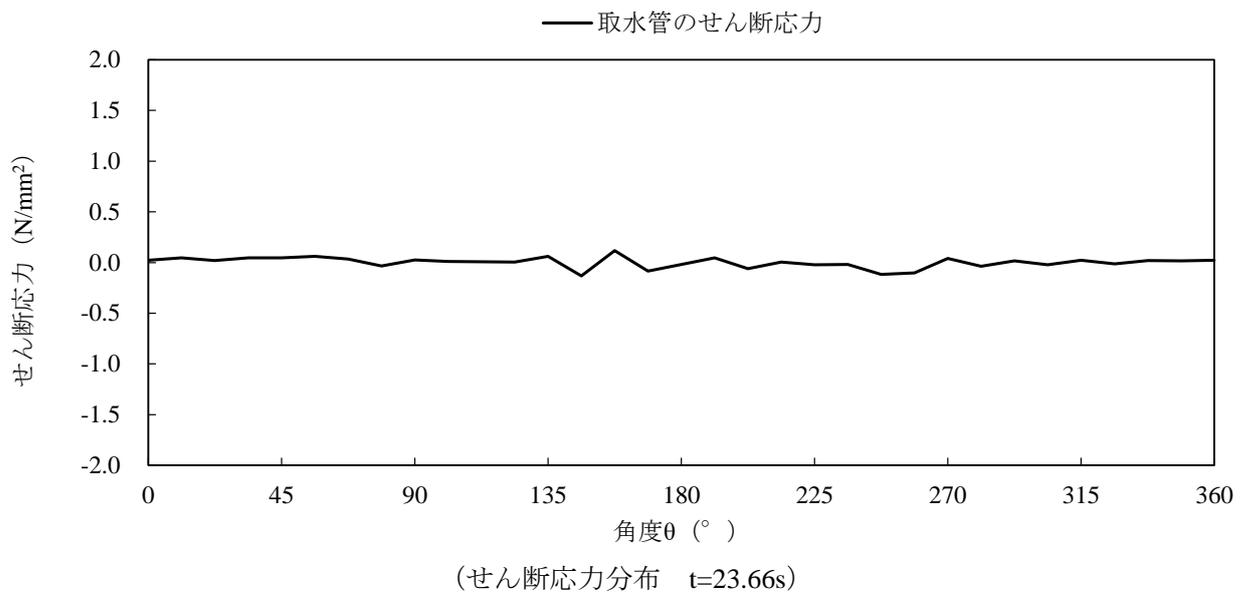
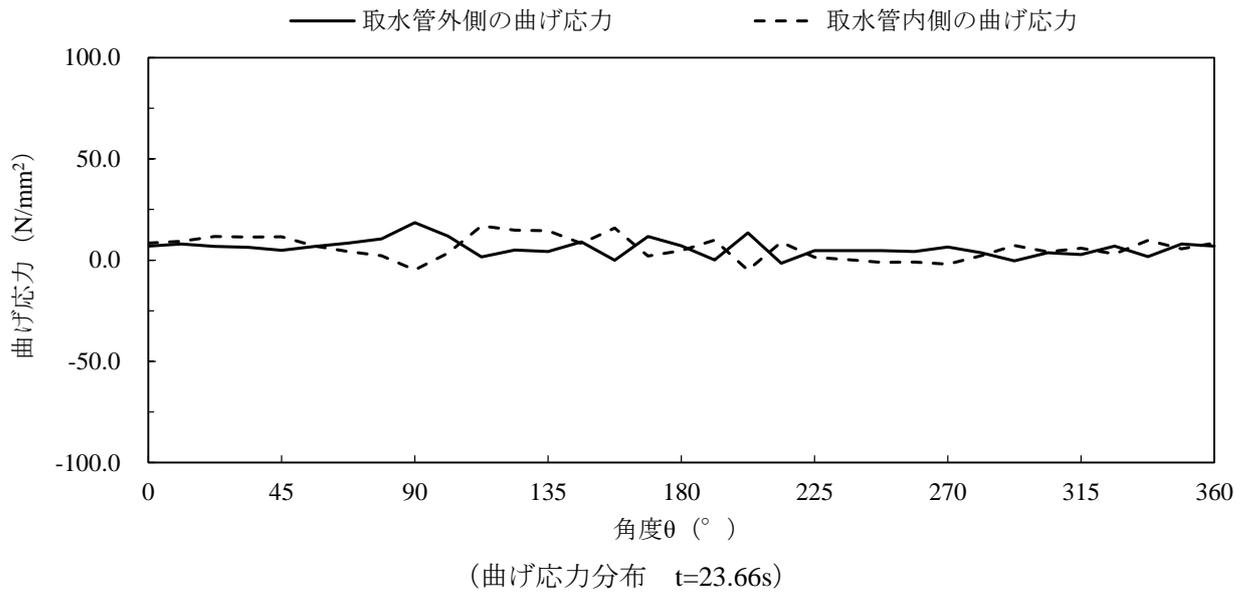
(解析ケース①, S s-D (++))



注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-17 取水管管周方向の応力分布図 (2/14)

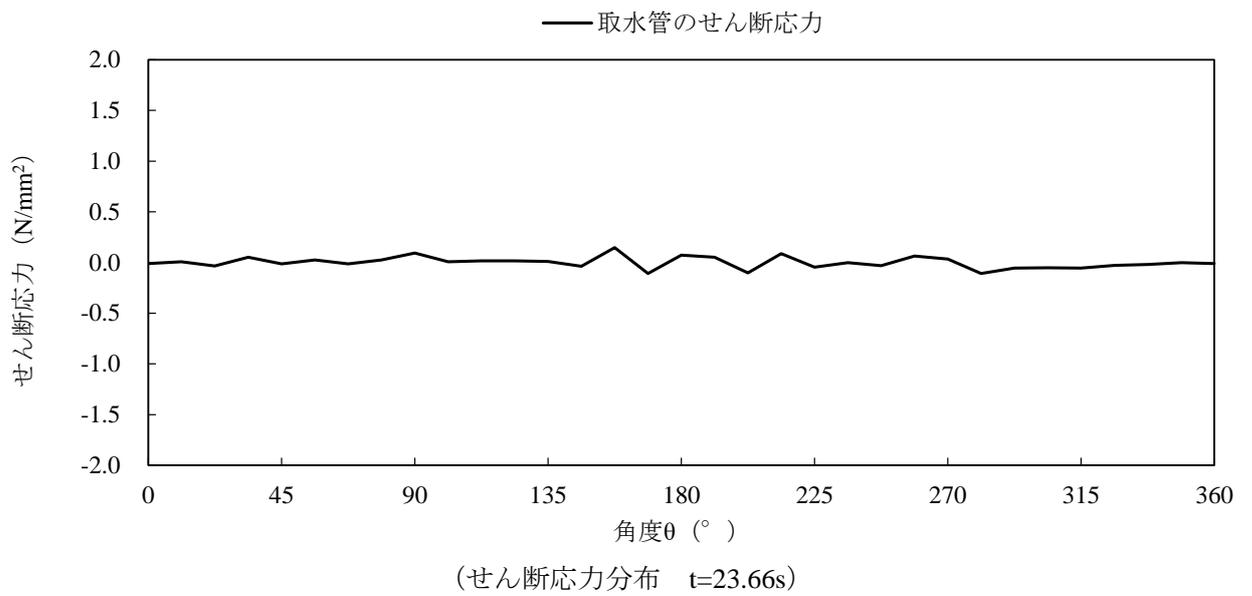
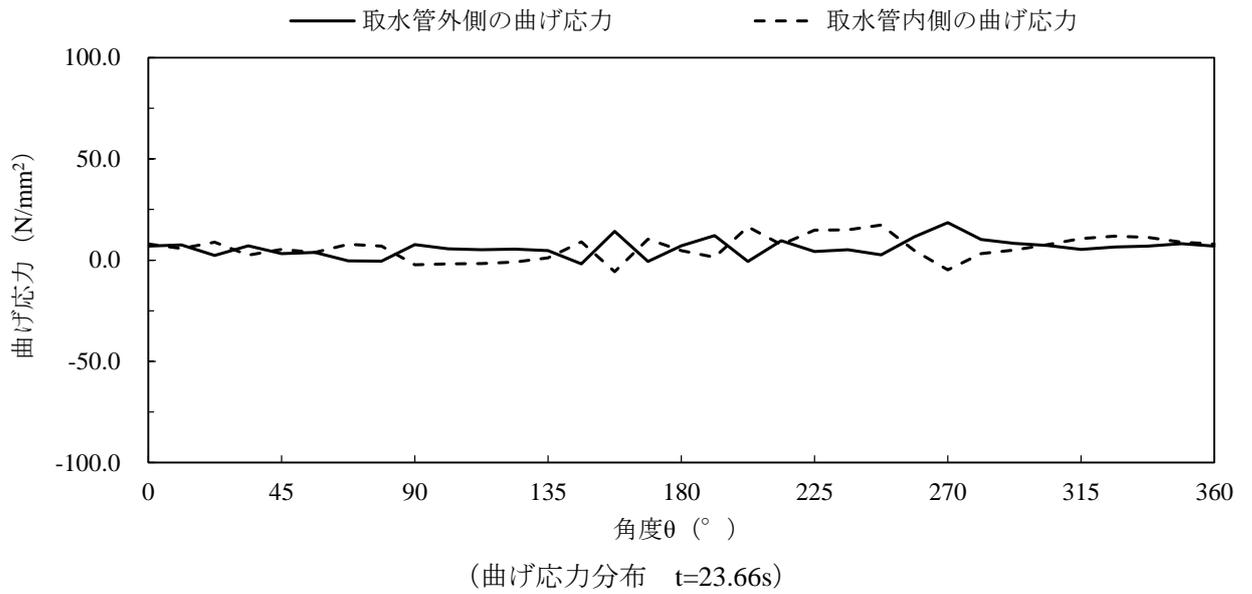
(解析ケース①, S s-D (-+))



注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

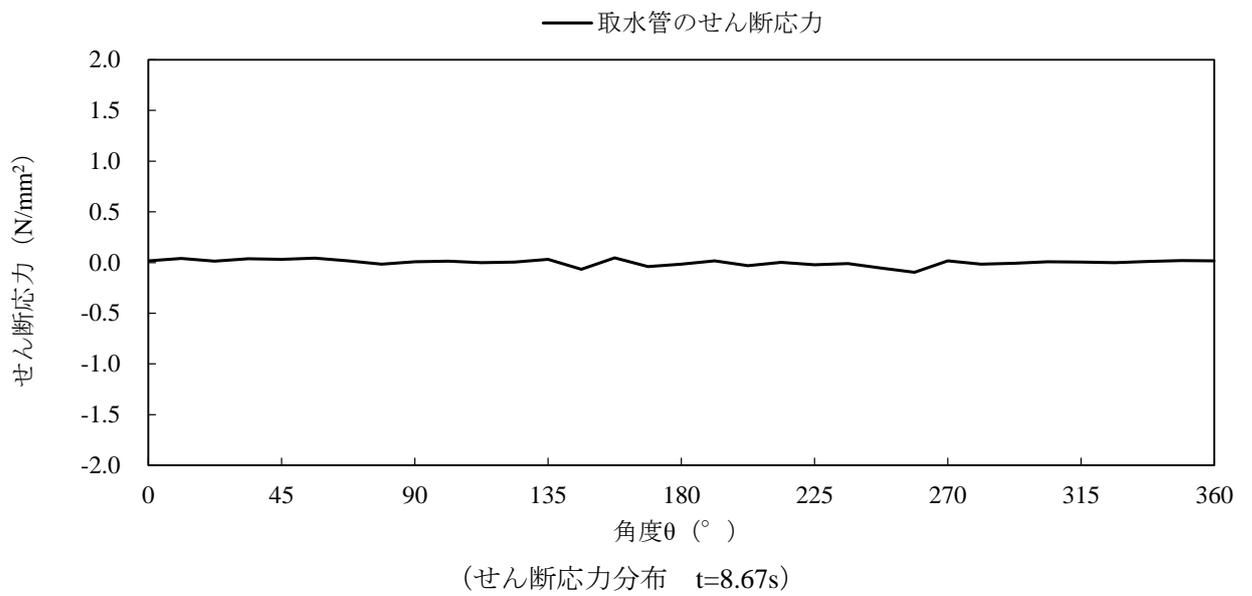
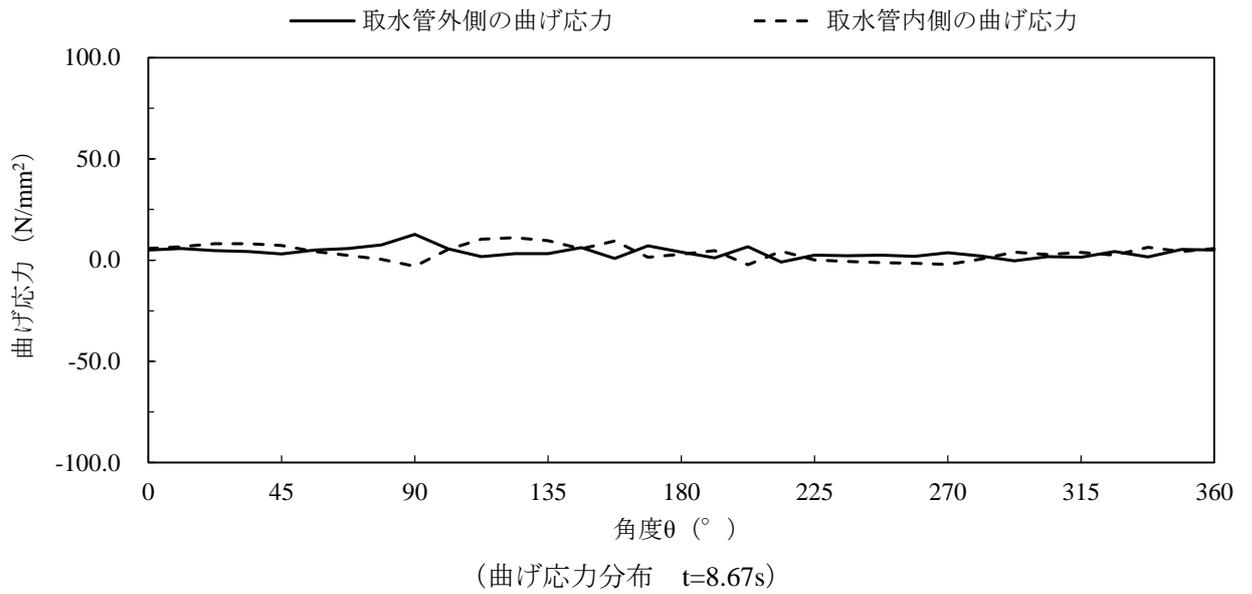
図 3-18 取水管管周方向の応力分布図 (3/14)

(解析ケース①, S s - D (+ -))



注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

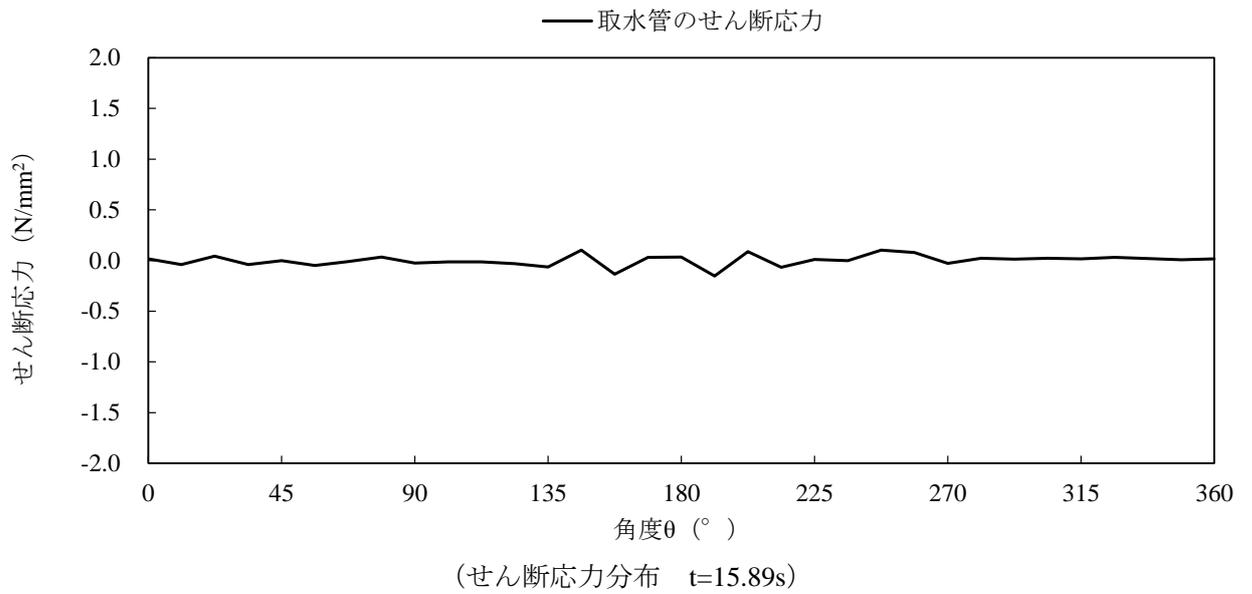
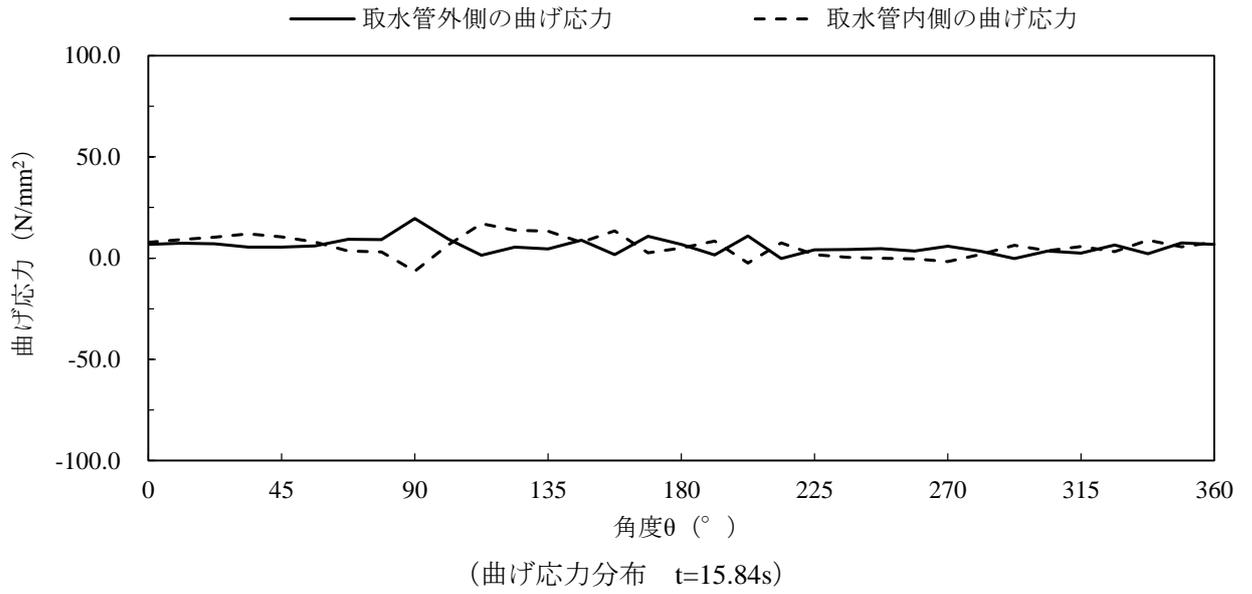
図 3-19 取水管管周方向の応力分布図 (4/14)
(解析ケース①, S s-D (—))



注：横軸の角度θは、管頂から反時計回りの位置を示す。

図3-20 取水管管周方向の応力分布図 (5/14)

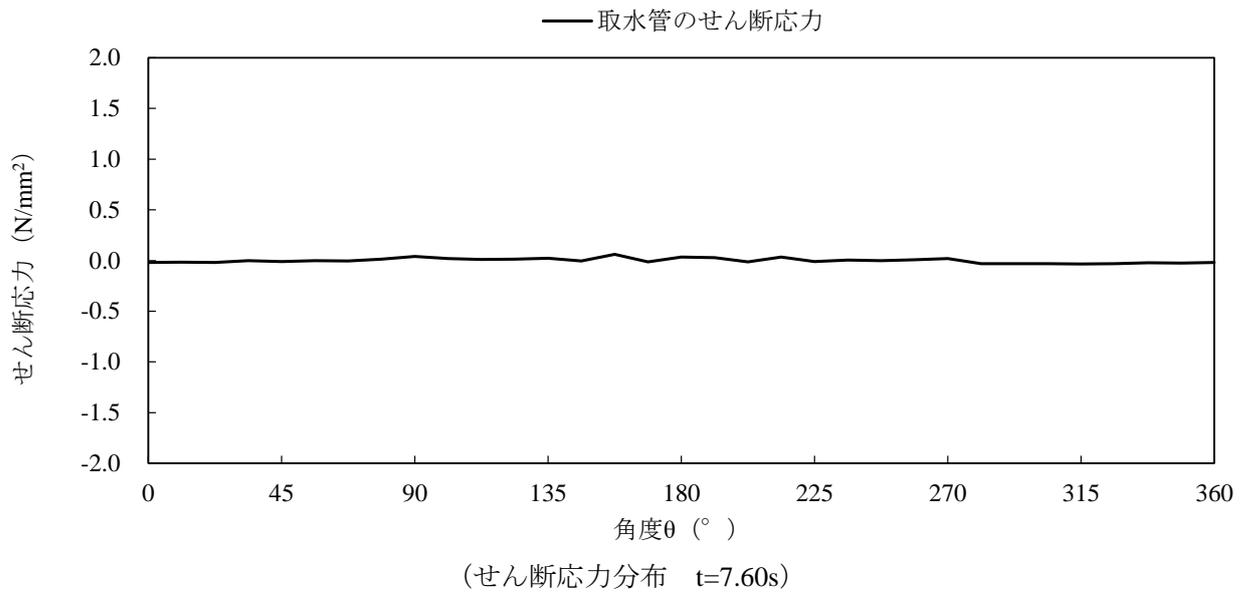
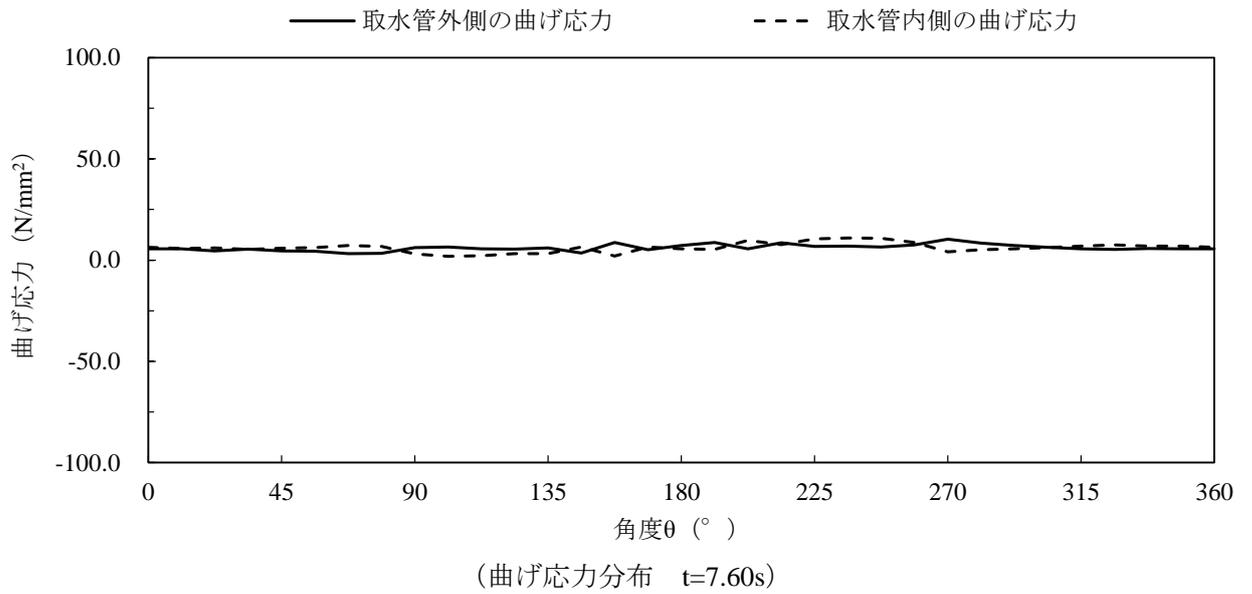
(解析ケース①, S_s-F1 (-+))



注：横軸の角度θは、管頂から反時計回りの位置を示す。

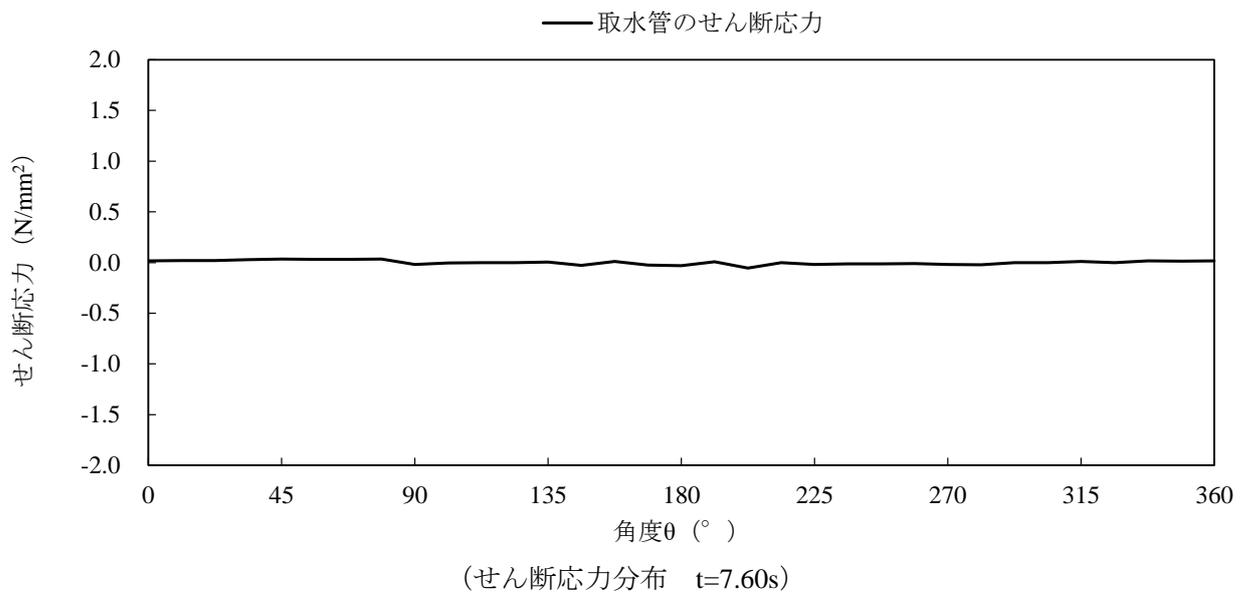
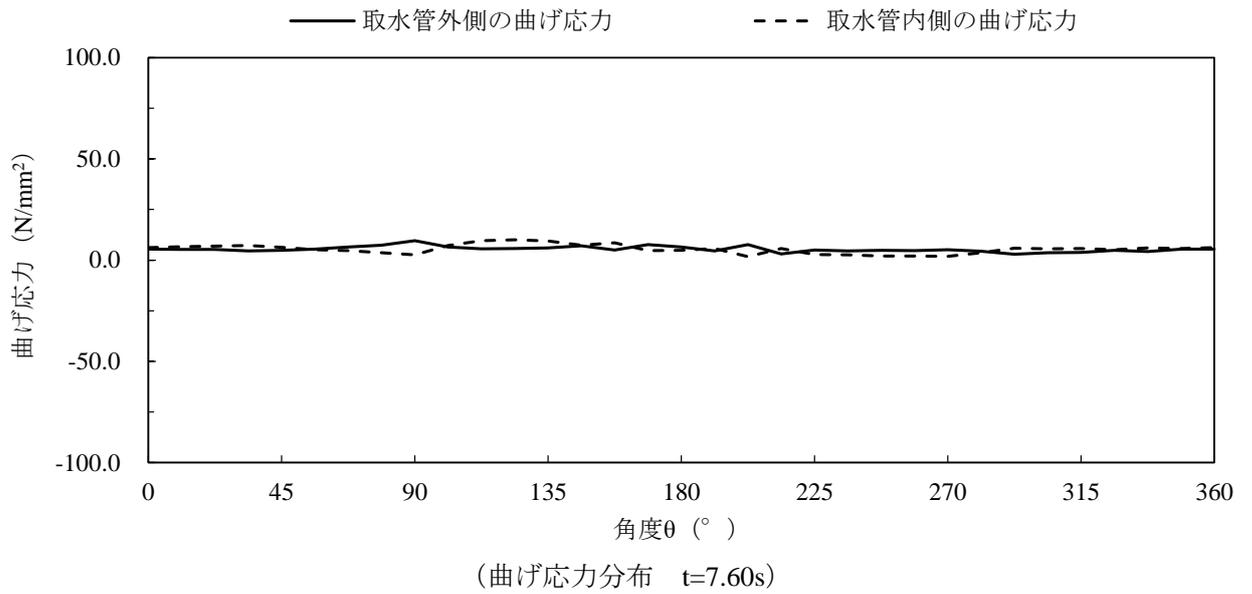
図3-21 取水管管周方向の応力分布図 (6/14)

(解析ケース①, S_s-F₂ (-+))



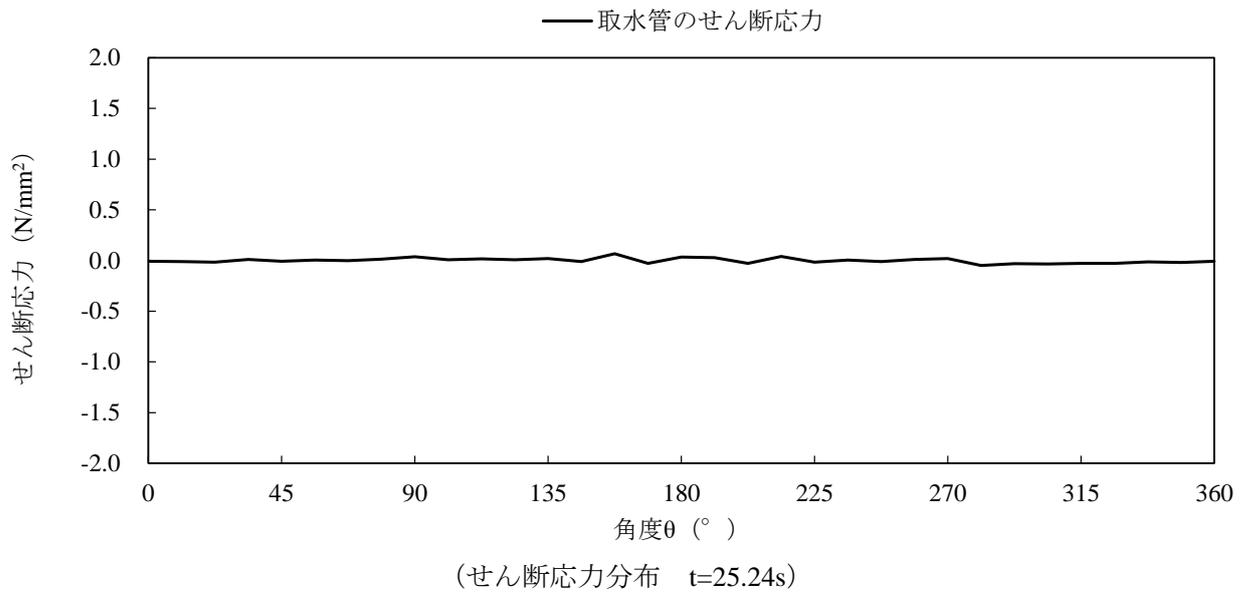
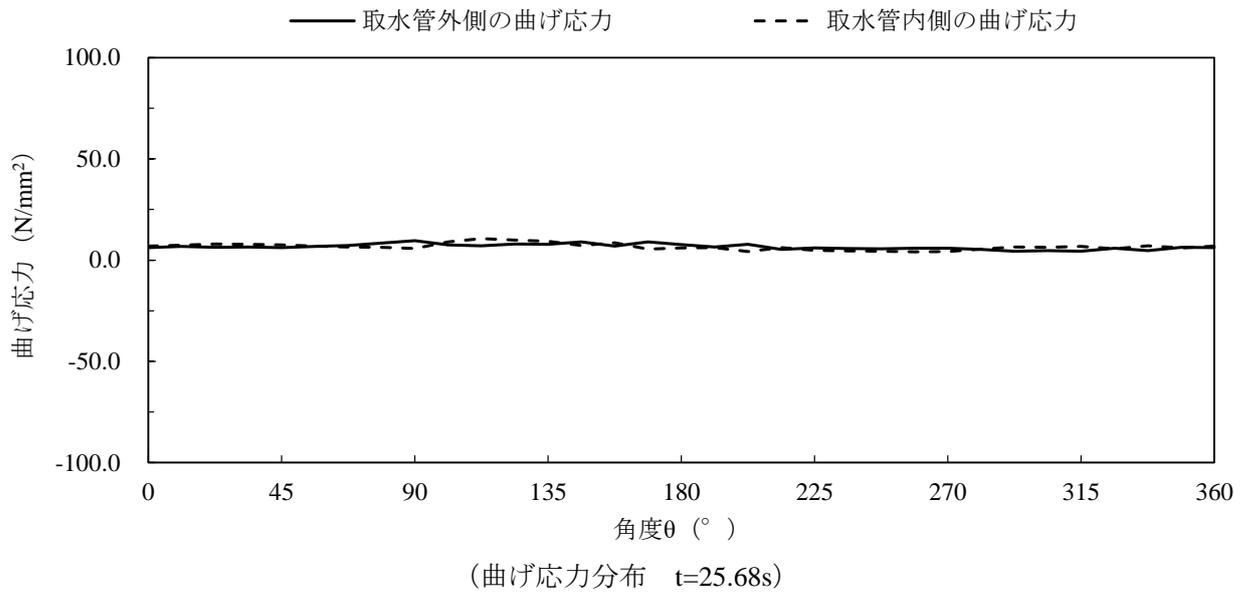
注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-22 取水管管周方向の応力分布図 (7/14)
(解析ケース①, S s - N 1 (++))



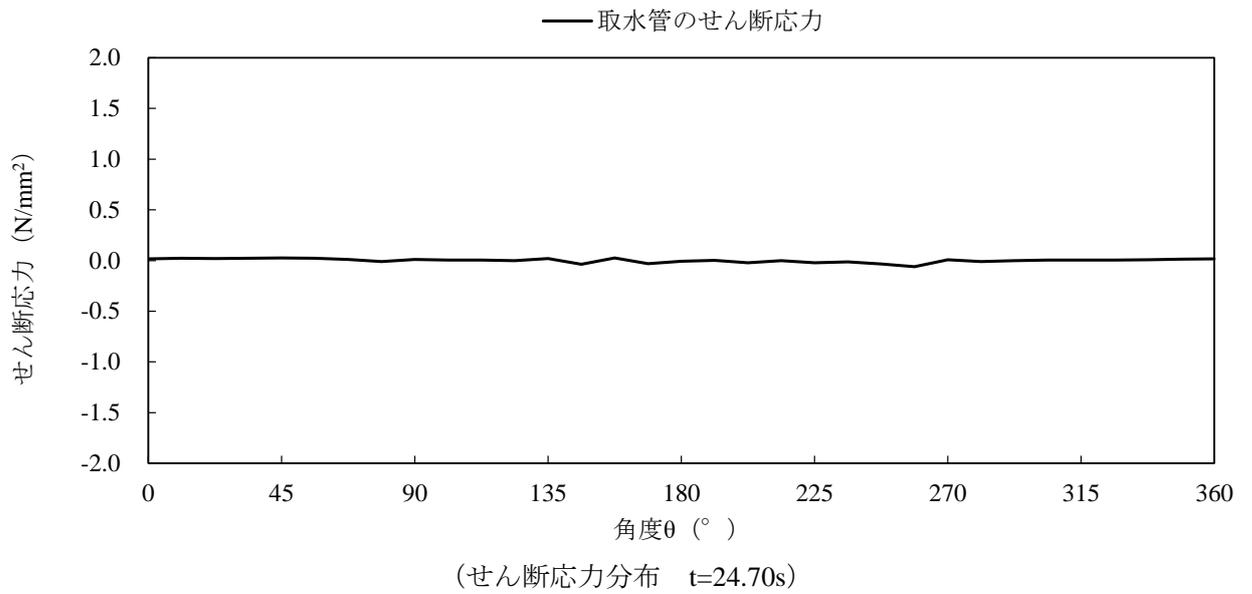
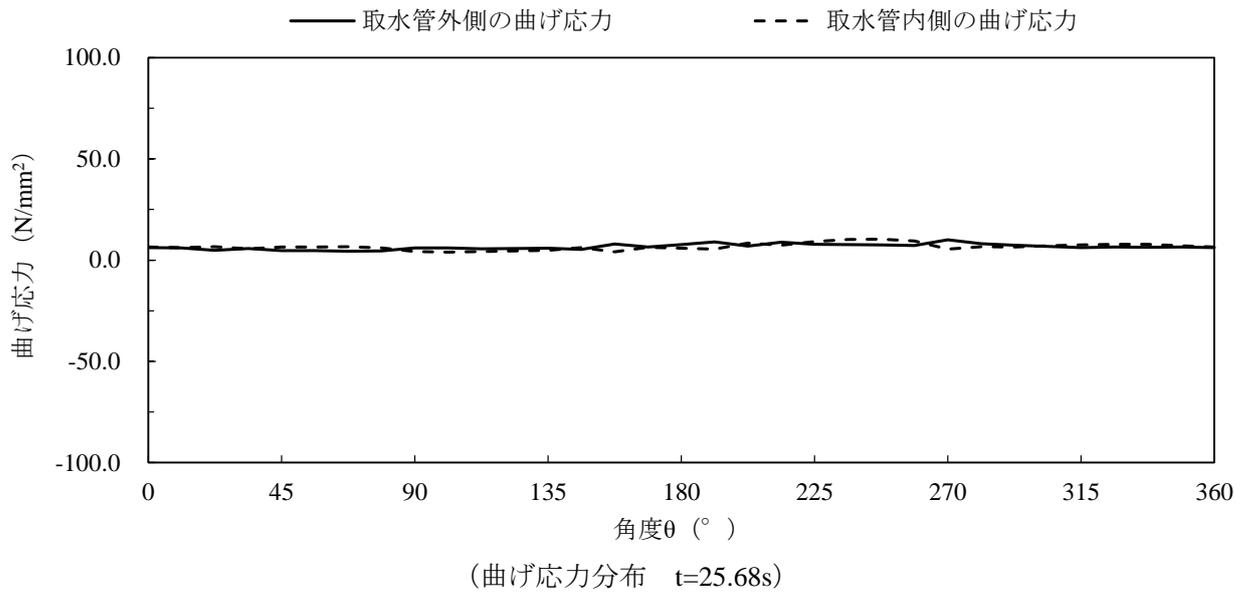
注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-23 取水管管周方向の応力分布図 (8/14)
(解析ケース①, S s - N 1 (-+))



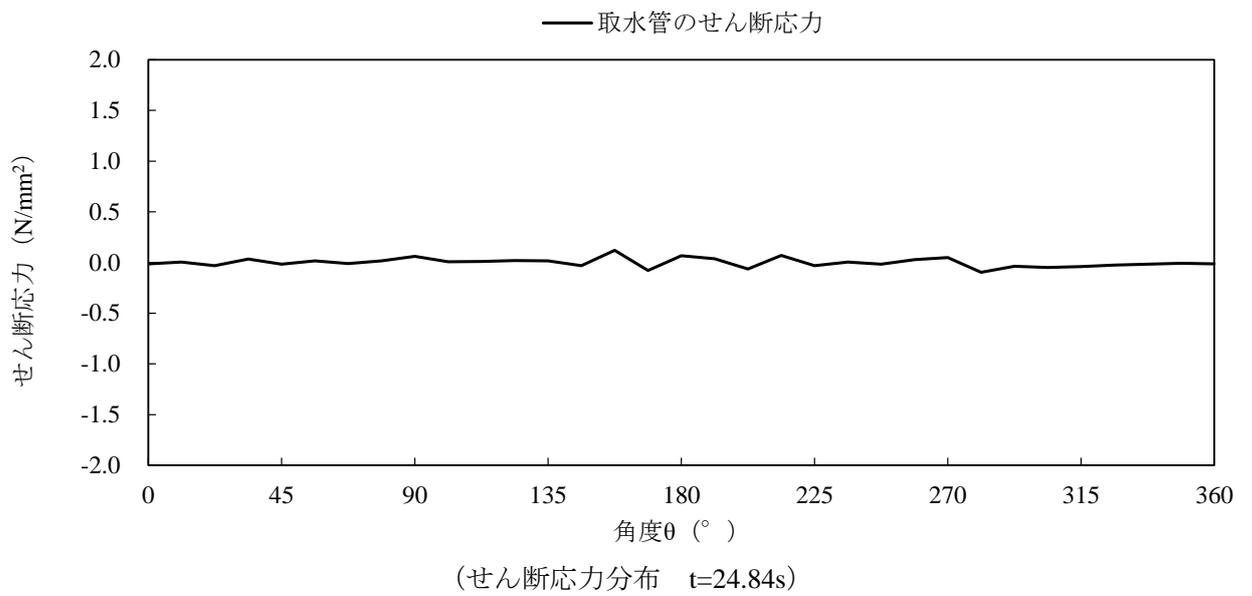
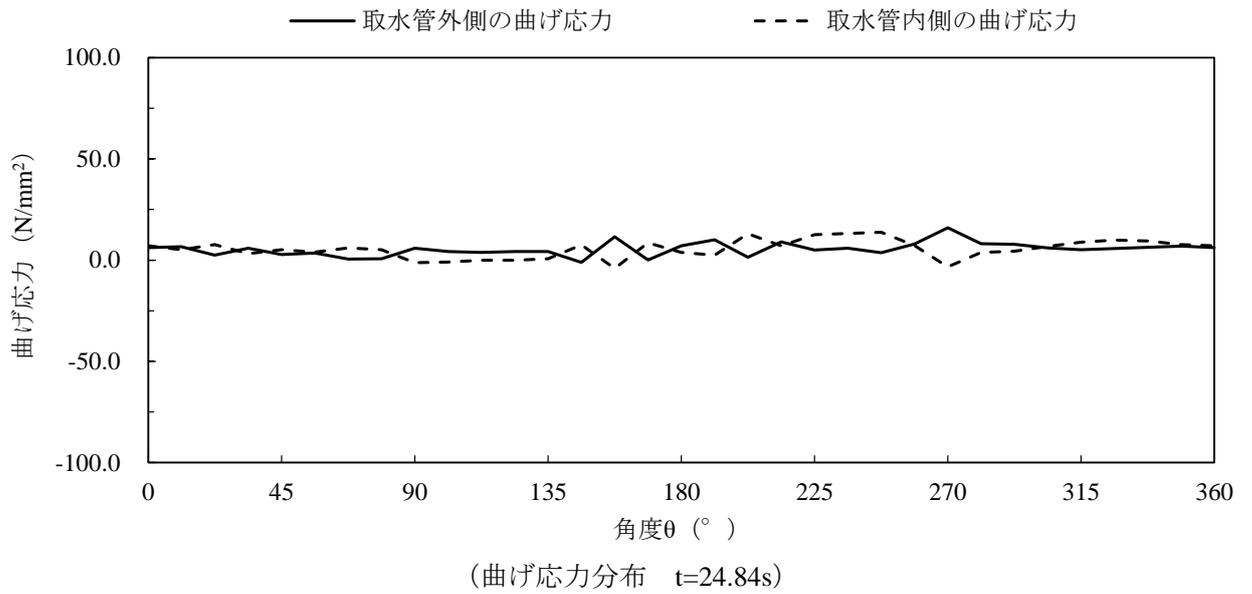
注：横軸の角度θは、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-24 取水管管周方向の応力分布図 (9/14)
(解析ケース①, S s—N 2 (N S) (++))



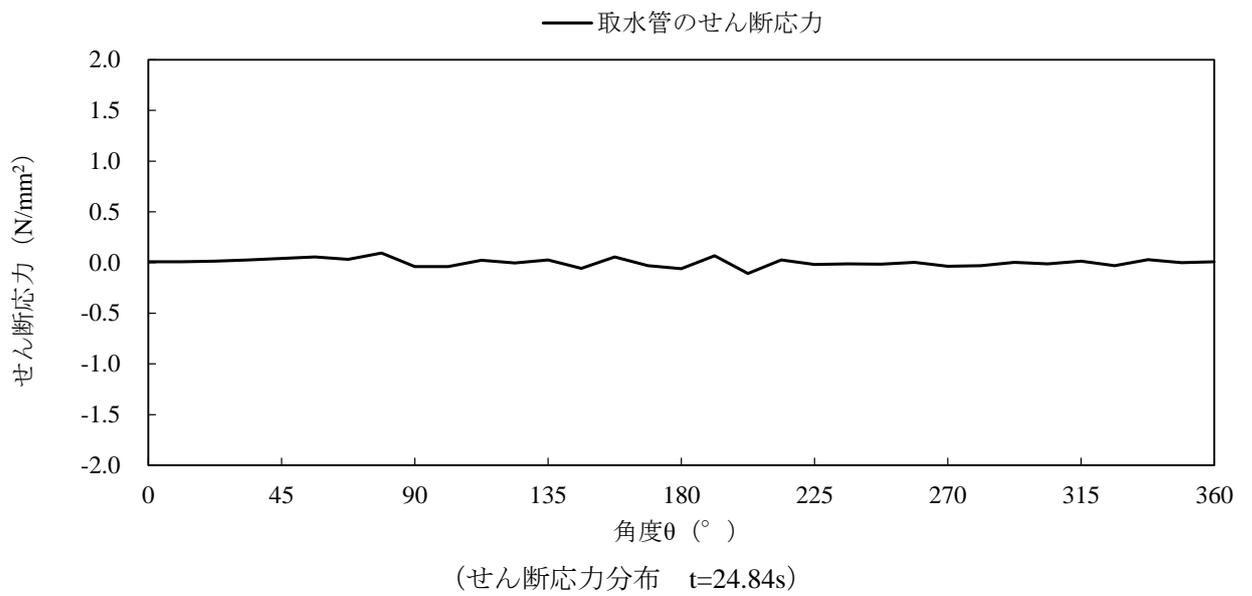
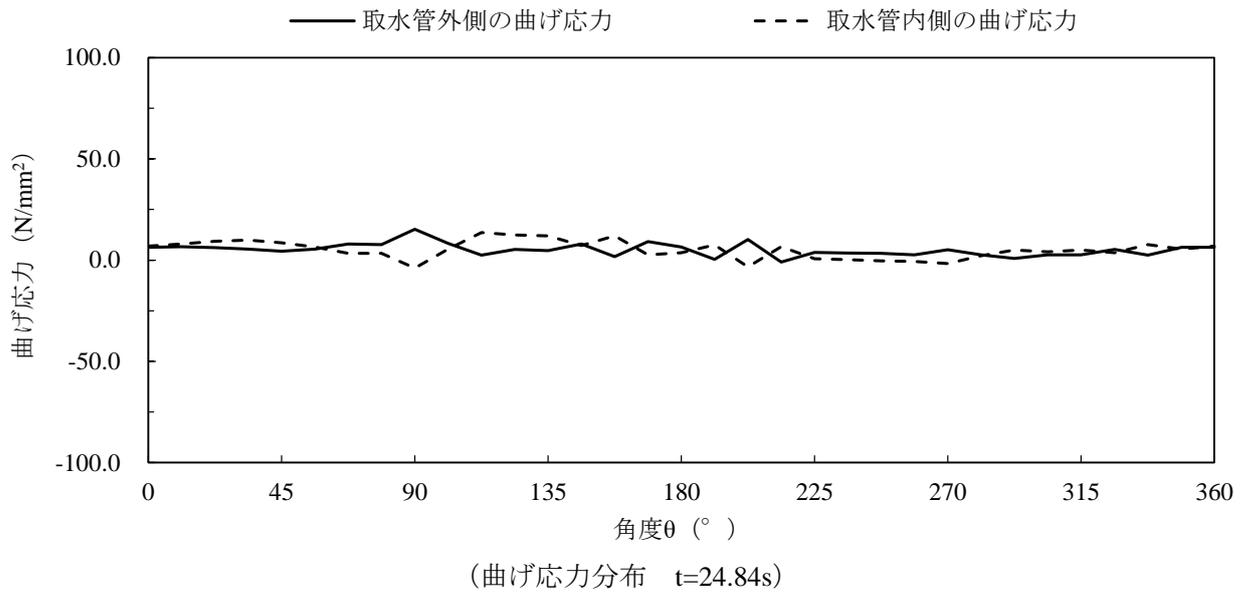
注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-25 取水管管周方向の応力分布図 (10/14)
 (解析ケース①, S s—N 2 (N S) (-+))



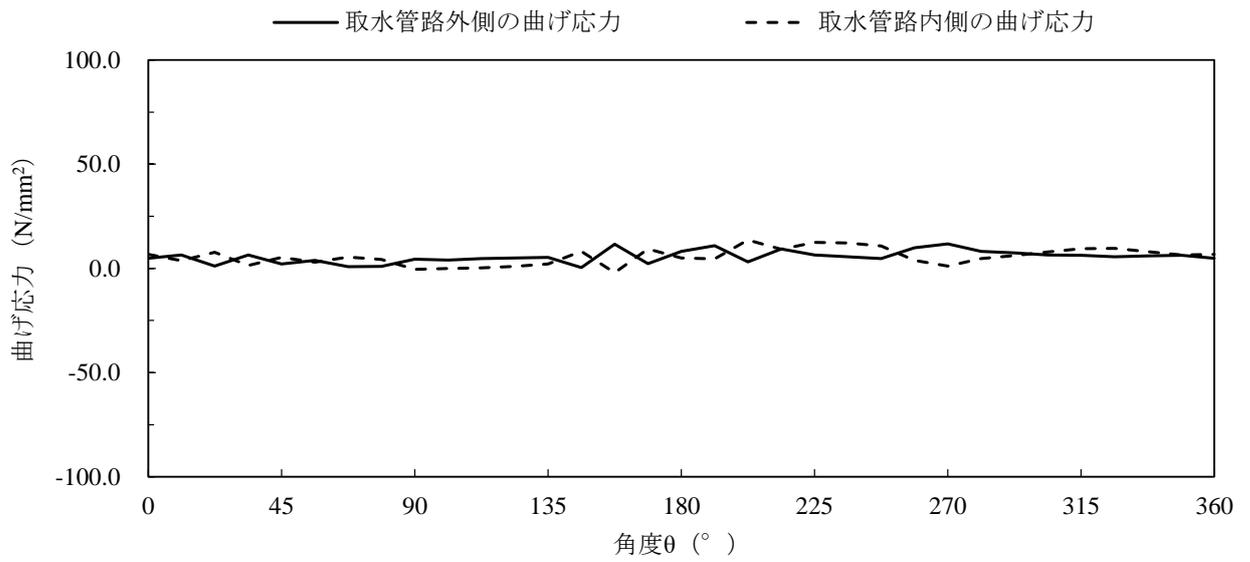
注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-26 取水管管周方向の応力分布図 (11/14)
 (解析ケース①, S s-N 2 (EW) (++))

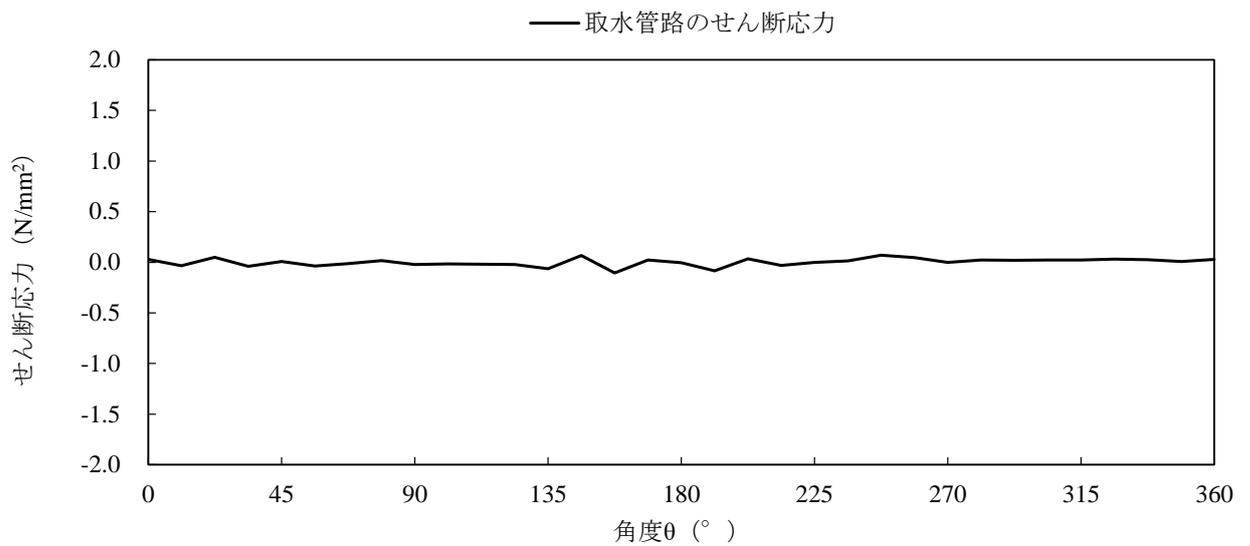


注：横軸の角度 θ は、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-27 取水管管周方向の応力分布図 (12/14)
 (解析ケース①, S s-N 2 (EW) (-+))



(曲げ応力分布 t=15.87s)

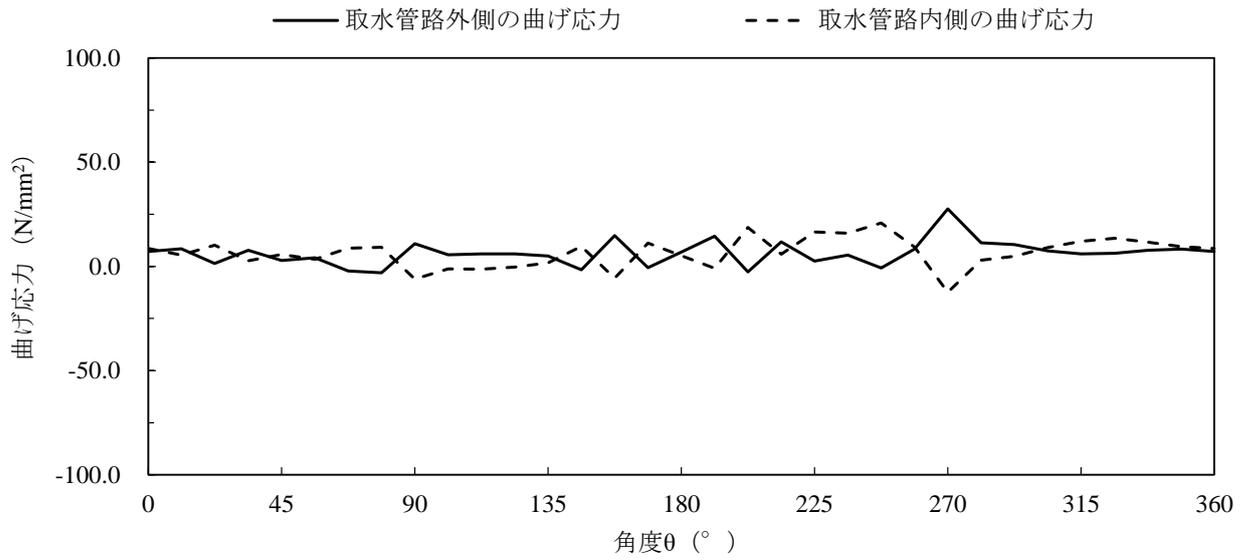


(せん断応力分布 t=15.87s)

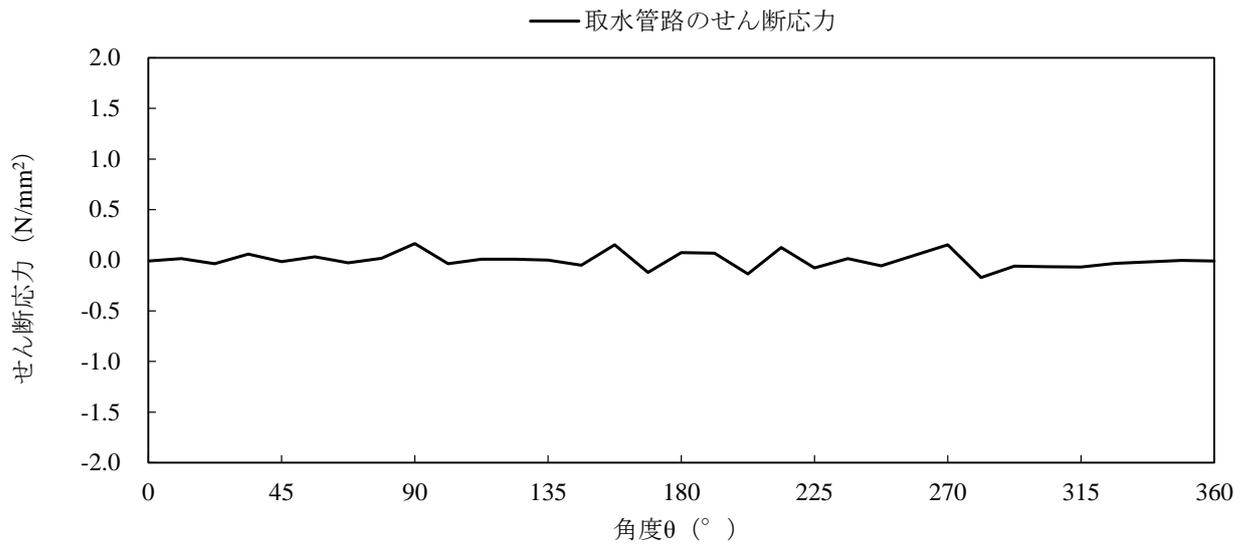
注：横軸の角度θは、管頂から反時計回りの位置を示す。

図 3-28 取水管管周方向の応力分布図 (13/14)

(解析ケース②, S s - F 2 (-+))



(曲げ応力分布 t=15.91s)



(せん断応力分布 t=15.90s)

注：横軸の角度θは、管頂から反時計回りの位置を示す。

図3-29 取水管管周方向の応力分布図 (14/14)

(解析ケース③, S s - F 2 (-+))

4. 管軸方向の地震応答解析

4.1 評価対象箇所

評価対象箇所は、砕石埋戻し区間とする。本地震応答解析にて求まる砕石のひずみを考慮した応力解析を、「5. 管軸方向の応力解析」にて実施する。

4.2 解析方法

取水管の地震応答解析は、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、取水管砕石埋戻し区間が設置される箇所周辺の岩盤形状を考慮し、2次元動的有限要素法を用いた周波数応答解析に基づき行う。

地震応答解析については、解析コード「SuperFLUSH/2D」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。

4.2.1 地盤

取水管周辺の砕石については、動せん断弾性係数及び減衰定数の非線形特性を考慮する。岩盤は線形材料とする。

4.2.2 減衰定数

地盤の減衰定数は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している値を用いる。

4.3 入力地震動

入力地震動は、「3.4 入力地震動」で示した水平方向の地震動を用いる。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 解析モデル

取水管管軸方向の地震応答解析モデルを図4-1に示す。取水管管軸方向については、軸直方向及び管軸方向の地盤ひずみを評価するため、解析モデルの面内方向（軸直方向）及び面外方向（管軸方向）について地震応答解析を行う。

(1) 解析領域

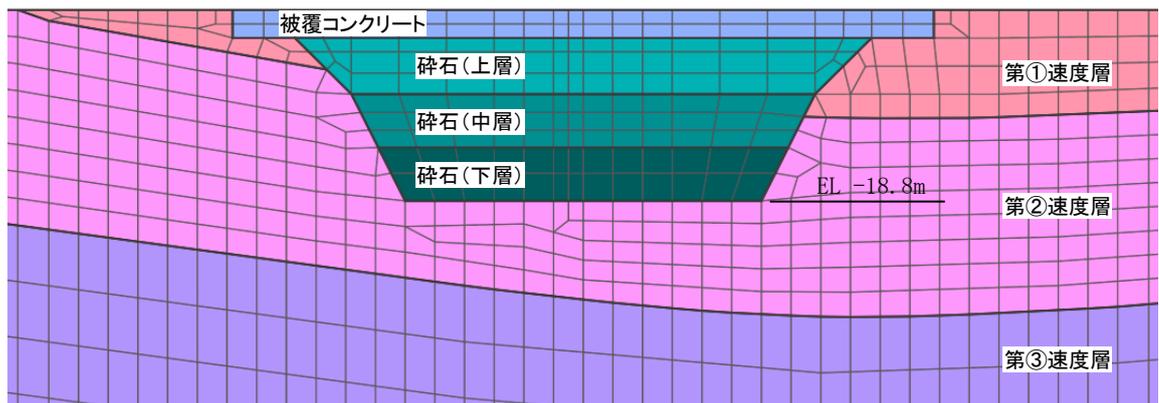
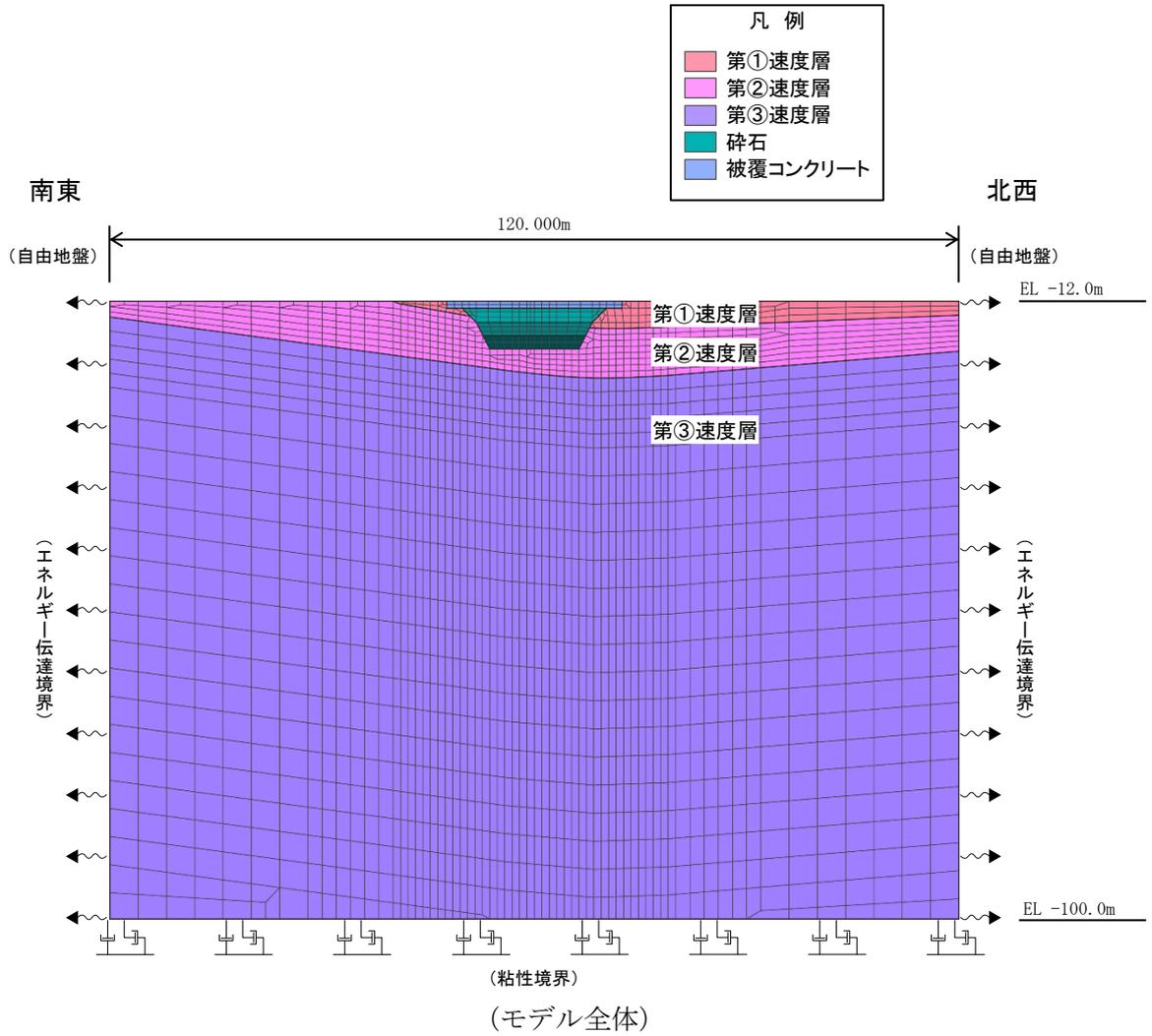
解析領域は、側面境界及び底面境界が、砕石の応答に影響しないよう、砕石と側面境界及び底面境界との距離を十分に広く設定する。

(2) 境界条件

エネルギーの逸散効果を評価するため、解析領域の側面にはエネルギー伝達境界を、底面には粘性境界を設ける。

(3) 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、砕石は、地盤の非線形性を考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。



(碎石部拡大)

図 4-1 取水管管軸方向の地震応答解析モデル

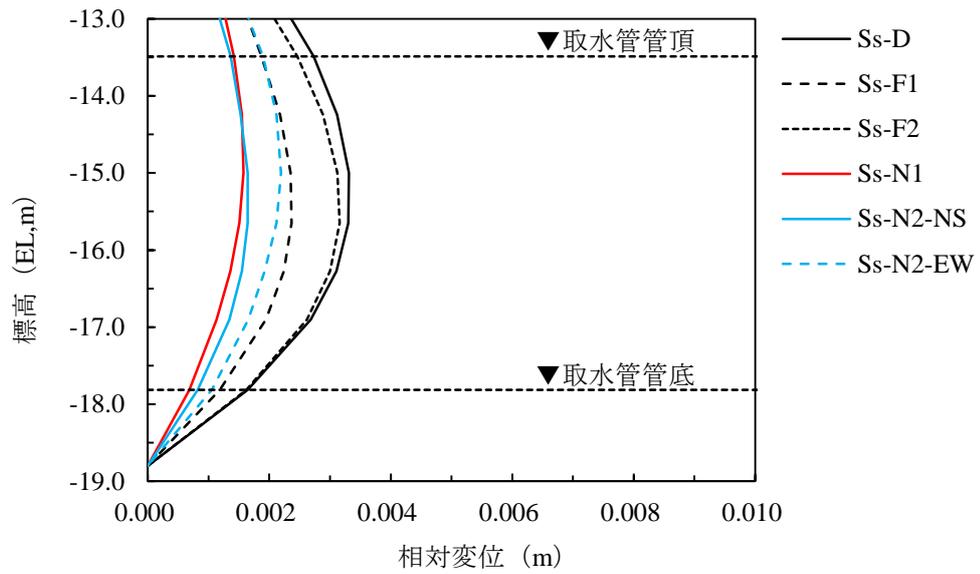
4.4.2 地盤及び碎石の物性値

地盤及び碎石については、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。

4.5 地震応答解析結果

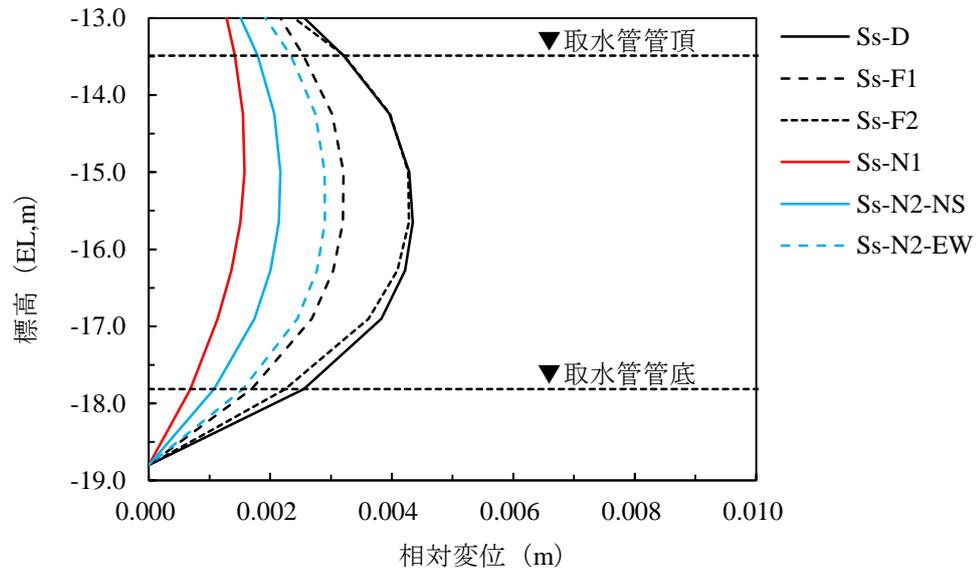
耐震評価のために用いる砕石の水平方向の最大応答変位分布図として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動 S_s に対する最大応答変位分布図を図 4-2 及び図 4-3 に示す。また、解析ケース①において、応答ひずみが最大となる地震動に対しての解析ケース②及び③の最大応答変位分布図を図 4-4 及び図 4-5 に示す。

また、水平地盤変位及び地震動の波長から求まる地盤ひずみについて、解析ケース①を表 4-1 に、解析ケース②，③を表 4-2 に示す。



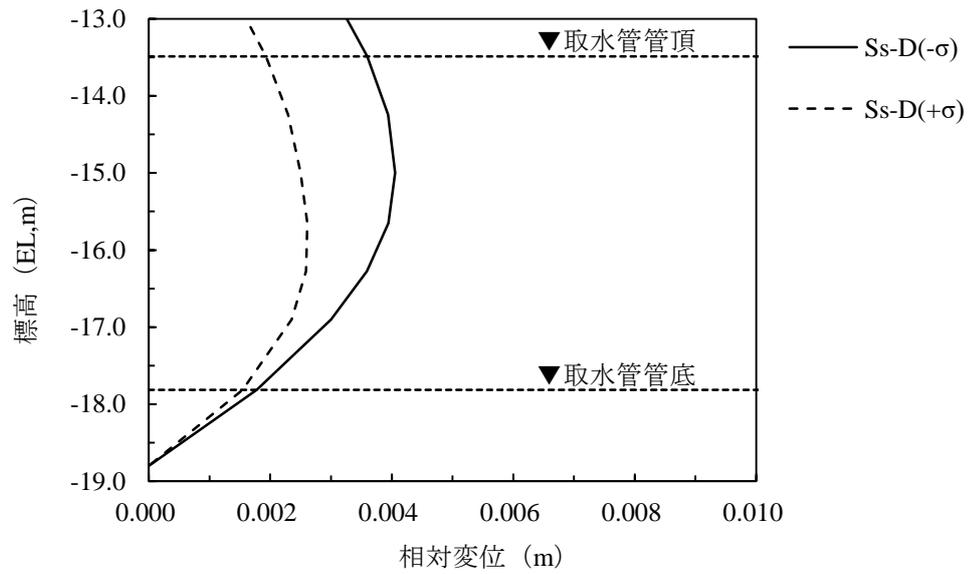
注：横軸は，砕石下端を基準とした相対変位を示す。

図 4-2 砕石の最大応答変位分布図（面内加振）（1/4）（解析ケース①）



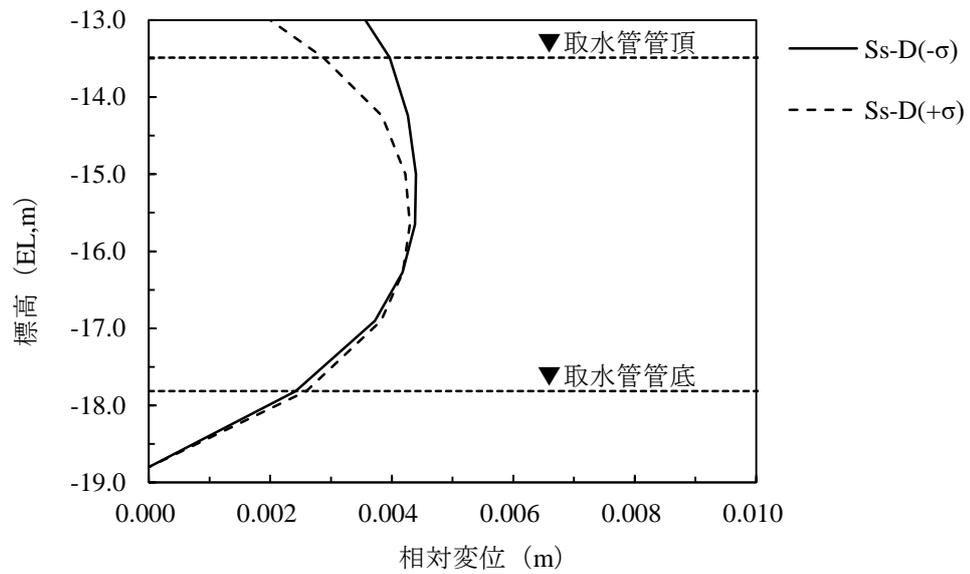
注：横軸は，砕石下端を基準とした相対変位を示す。

図 4-3 砕石の最大応答変位分布図（面外加振）（2/4）（解析ケース①）



注：横軸は，砕石下端を基準とした相対変位を示す。

図 4-4 砕石の最大応答変位分布図（面内加振）（3/4）（解析ケース②，③）



注：横軸は，砕石下端を基準とした相対変位を示す。

図 4-5 砕石の最大応答変位分布図（面外加振）（4/4）（解析ケース②，③）

表 4-1 地盤の最大ひずみ (1/2) (解析ケース①)

解析 ケース	地震動	面内加振			面外加振		
		最大変位 U_0^* (mm)	波長 L (m)	最大地盤 ひずみ (%)	最大変位 U_0^* (mm)	波長 L (m)	最大地盤 ひずみ (%)
ケース①	S s - D	3.30	8.0	0.259	4.35	9.4	0.291
	S s - F 1	2.37	7.8	0.191	3.20	9.0	0.223
	S s - F 2	3.16	8.0	0.248	4.28	9.4	0.286
	S s - N 1	1.51	7.6	0.125	1.93	8.6	0.141
	S s - N 2 (NS)	1.65	7.6	0.136	2.14	8.7	0.155
	S s - N 2 (EW)	2.12	7.7	0.173	2.90	9.0	0.202

注記* : 最大水平変位 U_0 は, 取水管中心座標高位置における変位

表 4-2 地盤の最大ひずみ (2/2) (解析ケース②, ③)

解析 ケース	地震動	面内加振			面外加振		
		最大変位 U_0^* (mm)	波長 L (m)	最大地盤 ひずみ (%)	最大変位 U_0^* (mm)	波長 L (m)	最大地盤 ひずみ (%)
ケース②	S s - D	3.94	9.1	0.272	4.38	10.4	0.265
ケース③	S s - D	2.61	4.9	0.335	4.30	9.0	0.300

注記* : 最大水平変位 U_0 は, 取水管中心座標高位置における変位

5. 管軸方向の応力解析

取水管管軸方向の応力解析は、「4. 管軸方向の地震応答解析」より、取水管の耐震性に最も影響を及ぼす地震動を対象に実施するものとし、地震応答解析結果を基に算出した地盤ひずみが最大となる解析ケース③（S_s-D）を対象とする。

5.1 評価対象箇所

評価対象箇所は、延長が長く、管軸方向の応力が大きくなる取水管Ⅱとする。

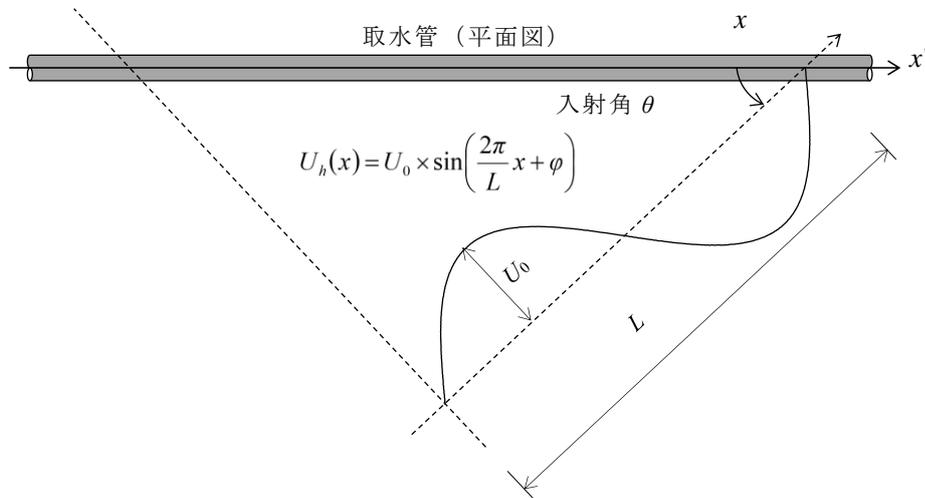
5.2 解析方法

管軸方向の応力については、砕石に生じる地盤ひずみを考慮し、管軸方向の曲げ応力及び軸力を組み合わせる。

管軸方向の応力解析の概念図を図 5-1 に示す。

管軸方向の応力解析は、解析ケース③（S s - D）による砕石の最大水平変位振幅、地震波の波長及び地震波の入射角を考慮する。

応力解析には、解析コード「NX NASTRAN」を使用する。解析コードの検証及び妥当性の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。



U_h : 水平変位 (m)

U_0 : 管軸位置の地盤の水平方向最大応答変位 (m) (応答解析の結果より)

L : 地震動の波長 (m)

x : 地震動に沿った距離 (m)

φ : 地震動の位相 (°)

θ : 入射角 (°)

図 5-1 管軸方向の応力解析の概念図

5.2.1 地震動の入射角

地震動の入射角は、管軸方向の曲げ応力が最大となる 0° 及び軸応力が最大となる 45° を考慮する。

5.2.2 地盤変位

取水管位置における地盤の応答変位は、「4. 管軸方向の地震応答解析」にて求めた最大水平変位を基に以下の式で求める。

$$U_h(x) = U_0 \times \sin\left(\frac{2\pi}{L}x + \varphi\right)$$

ここで、

- U_h : 最大水平変位 (m)
- U_0 : 地震応答解析における最大水平変位 (m)
- L : 地震動の波長 (m)
- x : 地震動に沿った距離 (m)
- φ : 地震動の位相 ($^\circ$) で 15° ピッチで与える

入射角 0° の場合の最大水平変位 U_0 は、2次元有限要素法解析における面内加振のものを用い、入射角 45° の場合の最大水平変位 U_0 は、面内加振と面外加振の最大水平変位を合成したものを用いる。

5.2.3 管軸方向応力の合成

管軸方向合成応力は、管軸方向の曲げ応力及び軸応力から、以下の式で求める。

$$\sigma_L = \sqrt{3.12 \times (\sigma_{A,45})^2 + (\sigma_{B,0})^2}$$

ここで、

- σ_L : 管軸方向合成応力
- $\sigma_{A,45}$: 入射角 45° の場合の管軸方向応力 (軸応力)
- $\sigma_{B,0}$: 入射角 0° の場合の管軸方向応力 (曲げ応力)

5.3 解析モデル及び諸元

5.3.1 解析モデル

図 5-2 に、管軸方向の応力解析モデルを示す。

取水管は、線形のはり要素でモデル化し、軸方向と軸直方向に地盤ばねを設ける。

モデル端部については、取水管が取水口及び巻き立てコンクリートにて拘束されることから、固定端とし、伸縮継手が設置される箇所は、自由端とする。

地盤ばねは、岩盤の掘削形状を考慮した 2 次元有限要素法解析モデル及び 3 次元有限要素法モデルにおいて、強制変位を与えた場合の地盤反力から求める。

表 5-1 に、設定した地盤ばね定数を示す。

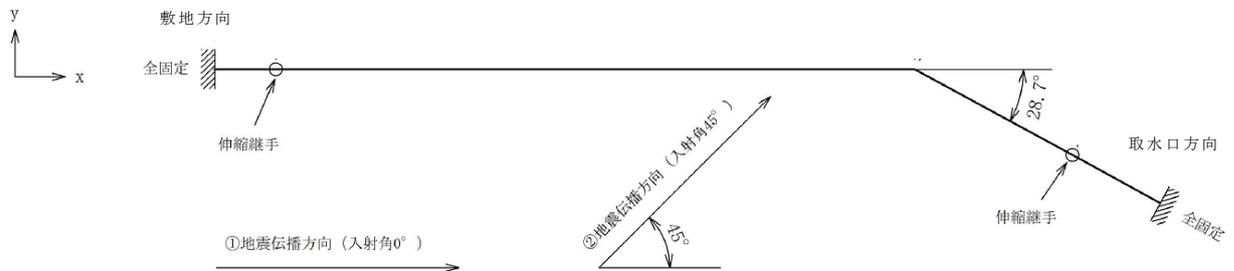


図 5-2 管軸方向の応力解析モデル

表 5-1 地盤ばね定数

地震動	地盤ばね定数(kN/m ²)	
	管軸直方向	管軸方向
S _s -D	766.3	237.0

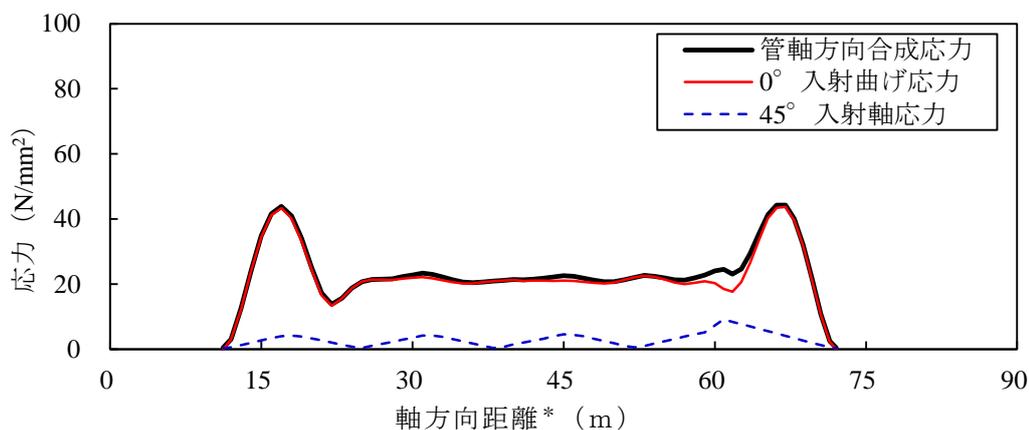
5.3.2 仕様材料及び材料定数

使用材料は、「3.5.2 使用材料及び材料定数」に示したものと同様とする。

5.4 応力解析結果

管軸方向の応力解析結果を図 5-3 に示す。

本図は、地震動の位相を 15° ピッチで与えた結果のうち、各要素に生じた最大応力を示している。



(0° 入射と 45° 入射の軸方向応力の合成)

注記* : 横軸は、取水口との接続部からの軸方向距離を示す。

図 5-3 管軸方向の応力解析結果 (解析ケース③, S s - D)

6. 耐震評価

6.1 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。

6.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界

構造部材となる鋼製管の曲げ及びせん断破壊に対する許容限界は、「鋼構造設計基準-許容応力度法-（日本建築学会，2005）」に基づき，許容限界とする。

鋼製管の許容限界を表 6-1 に示す。

表 6-1 鋼製管の許容限界

鋼材の種類	項目	短期許容応力度 (N/mm ²)
SS400	曲げ	235
	せん断	135

6.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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，岩盤及び碎石の極限支持力とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 6-2 に示す。

表 6-2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤	極限支持力度 (N/mm ²)
C _M 級岩盤	9.8
碎石	0.57

6.2 評価方法

6.2.1 取水管の曲げ及びせん断評価

取水管は、「3. 管周方向の地震応答解析」に基づく管周方向曲げ応力と「5. 管軸方向の応力解析」に基づく管軸方向合成応力及びせん断応力を組み合わせた合成応力が、「6.1 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。また、「3. 管周方向の地震応答解析」に基づくせん断応力が、「6.1 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。

合成応力は、管周方向の曲げ応力及び管軸方向の応力から、以下の式で求める。

$$\sigma = \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_C^2 + \sigma_L \times \sigma_C + 3 \times \tau_S^2}$$

ここで、

σ : 合成応力 (N/mm²)

σ_L : 管軸方向合成応力 (N/mm²)

σ_C : 管軸方向合成応力 (N/mm²)

τ_S : 管軸方向せん断応力 (N/mm²)

6.2.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価は、「3. 管周方向の地震応答解析」に基づく基礎岩盤及び碎石に生じる最大接地圧が、「6.1 許容限界」で設定した許容限界を以下であることを確認する。

7. 耐震評価結果

7.1 構造部材の健全性に対する評価結果

7.1.1 管周方向の評価結果

管周方向の曲げ及びせん断評価の最大照査値を表 7-1 及び表 7-2 に示す。

取水管の曲げ応力度及びせん断応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 7-1 管周方向の曲げ評価結果

解析 ケース	地震動	曲げ応力度 σ (N/mm ²)	許容曲げ応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値 σ / σ_a
ケース③	S s - F 2 (-+)	27.6	235	0.12

表 7-2 管周方向のせん断評価結果

解析 ケース	地震動	せん断応力度 τ (N/mm ²)	許容せん断応力度 τ_a (N/mm ²)	照査値 τ / τ_a
ケース③	S s - F 2 (-+)	0.2	135	0.01

7.1.2 合成応力による評価結果

合成応力による評価結果の最大照査値を表 7-3 に示す。

取水管に発生する合成応力は、許容限界以下であることを確認した。

表 7-3 取水管の合成応力による評価結果

管周方向	解析 ケース	地震動 S s - F 2 (-+)	曲げ応力 σ_c (N/mm ²)		合成応力 σ (N/mm ²)	許容応力度 σ_a (N/mm ²)	照査値* σ / σ_a
	ケース ③		27.6				
管軸方向	解析 ケース	地震動 S s - D	合成応力 σ_L (N/mm ²)	せん断応力 τ_s (N/mm ²)	87.8	235	0.38
	ケース ③		44.3	35.4			

注記*：照査値として採用するのは管周方向と管軸方向の最も厳しい地震動同士の合成応力とする。

7.2 基礎地盤の支持性能評価結果

基礎地盤の支持性能評価の照査結果を表 7-4 及び表 7-5 に示す。

取水管の基礎地盤に作用する最大接地圧は、極限支持力以下であることを確認した。

表 7-4 基礎地盤の支持性能評価結果（岩盤）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
ケース①	S s - D (--)	0.2	9.8	0.03

表 7-5 基礎地盤の支持性能評価結果（砕石）

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
ケース③	S s - F 2 (-+)	0.2	0.56	0.30

VI-2-2-29 取水口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	6
2.4	適用規格・基準等	9
3.	地震応答解析	10
3.1	評価対象断面	10
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	地盤	11
3.2.3	減衰定数	12
3.2.4	地震応答解析の解析ケースの選定	13
3.3	荷重及び荷重の組合せ	14
3.3.1	耐震評価上考慮する状態	14
3.3.2	荷重	14
3.3.3	荷重の組合せ	15
3.4	入力地震動	16
3.5	解析モデル及び諸元	28
3.5.1	解析モデル	28
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	30
3.5.3	地盤の物性値	31
3.6	地震応答解析結果	32
3.6.1	南北断面の解析結果	32
4.	応力解析	47
4.1	評価対象部位	47
4.2	解析方法	47
4.3	荷重及び荷重の組合せ	47
4.3.1	耐震計価上考慮する状態	47
4.3.2	荷重	48
4.3.3	荷重の組合せ	48
4.4	解析モデル及び諸元	48
5.	耐震評価	50

5.1	許容限界	50
5.1.1	構造部材の健全性に対する許容限界	50
5.1.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	52
5.2	評価方法	52
6.	耐震評価結果	53
6.1	構造部材の健全性に対する評価結果	53
6.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	57

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, 取水口が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び通水機能を有していることを確認するものである。

取水口に要求される機能の維持を確認するにあたっては, 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

取水口の位置図を図 2-1 に示す。

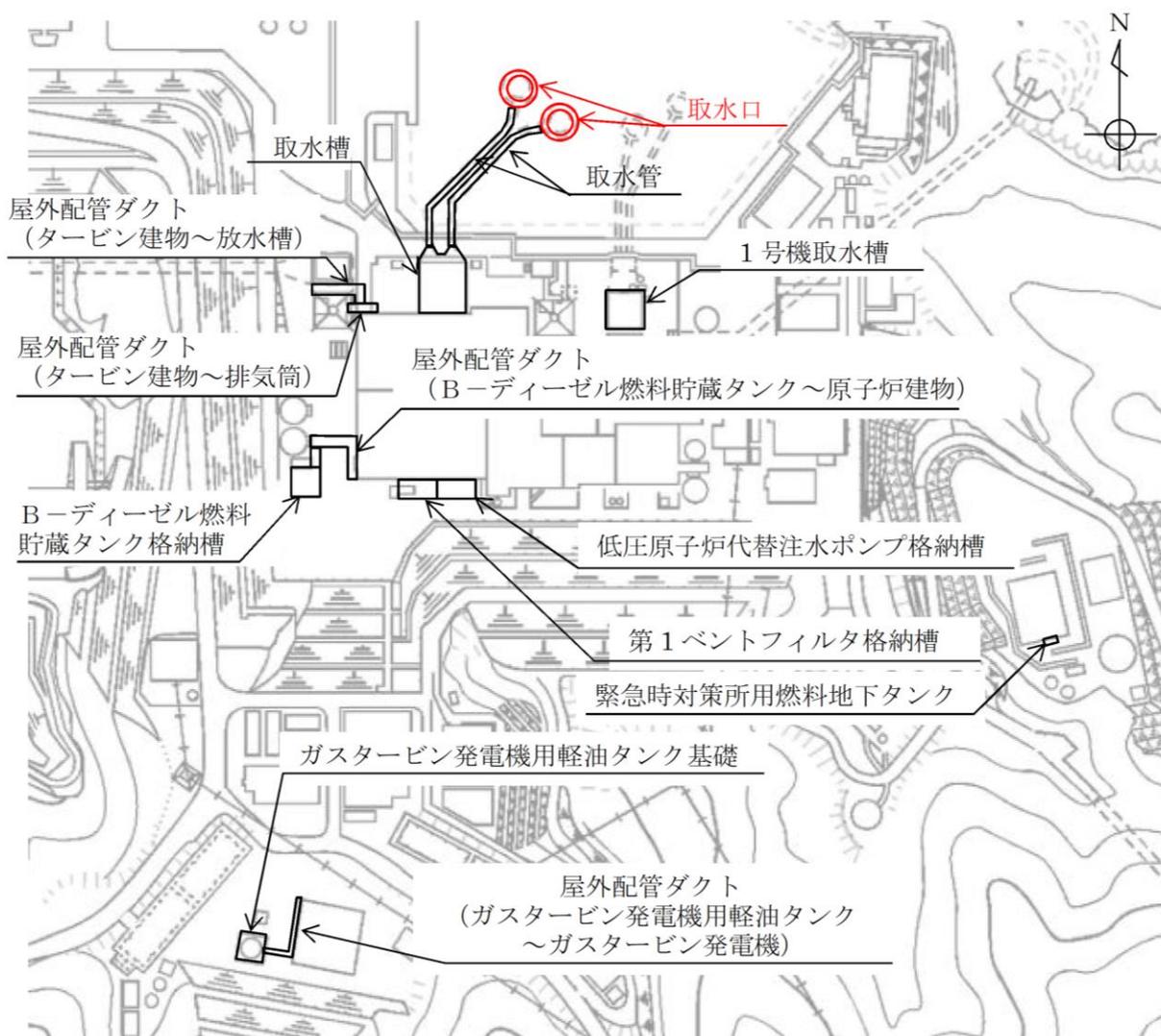


図 2-1 取水口 位置図

2.2 構造概要

取水口の平面図を図 2-2 及び図 2-3 に, 断面図を図 2-4 に, 鳥瞰図を図 2-5 に示す。

取水口は, 直径 18.6m, 高さ 13.0m の円筒状の鋼製構造物である。

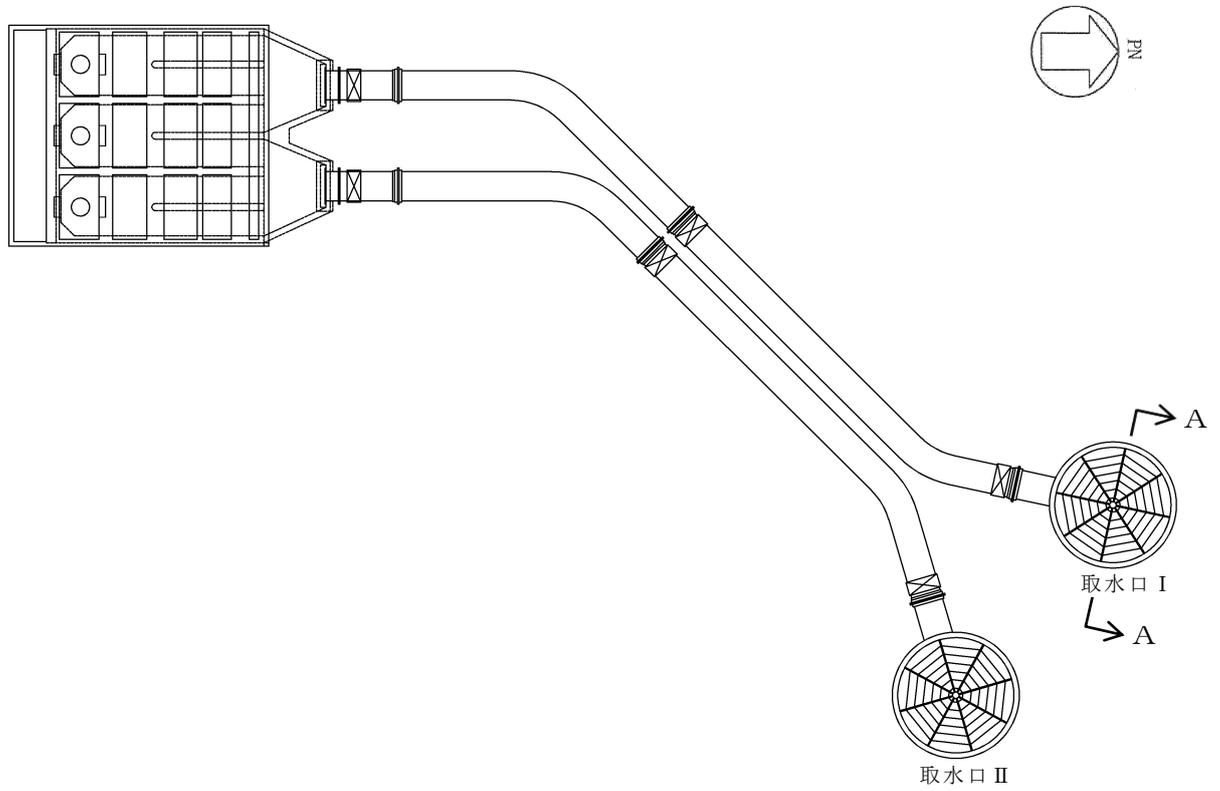


図 2-2 取水口 平面図 (全体平面図)

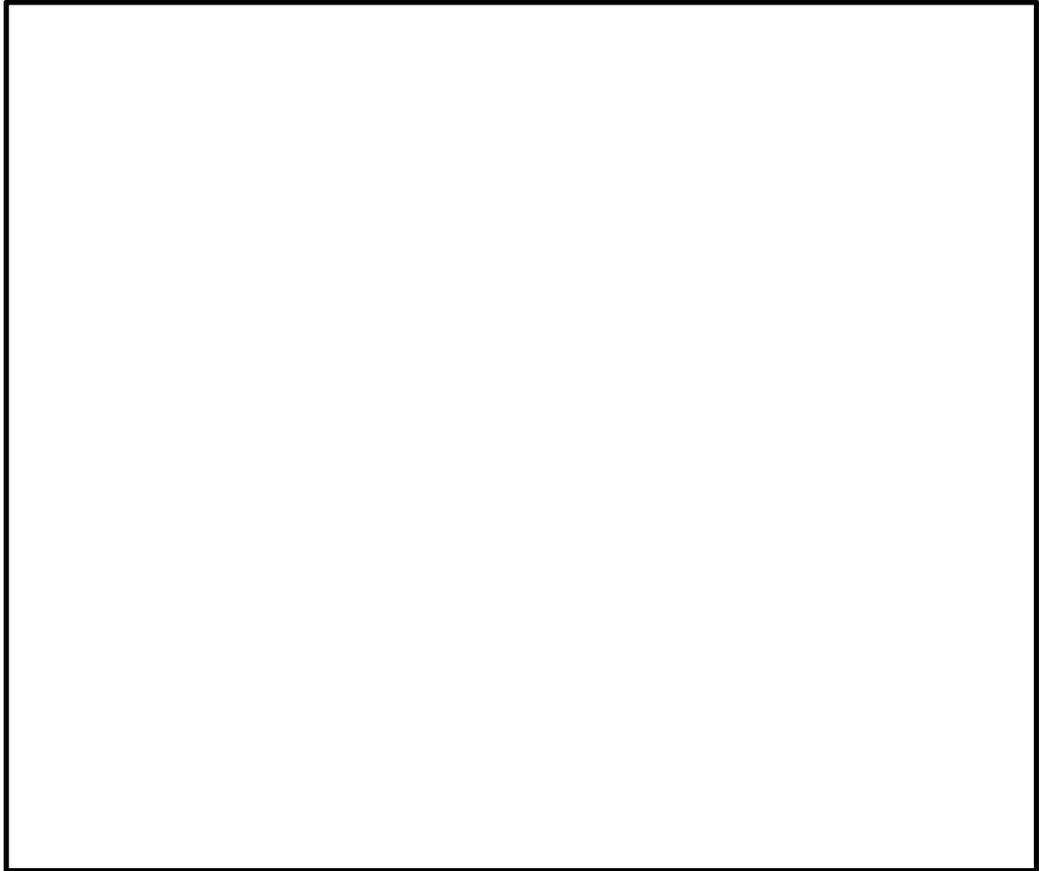


図 2-3 取水口 平面図 (詳細図)

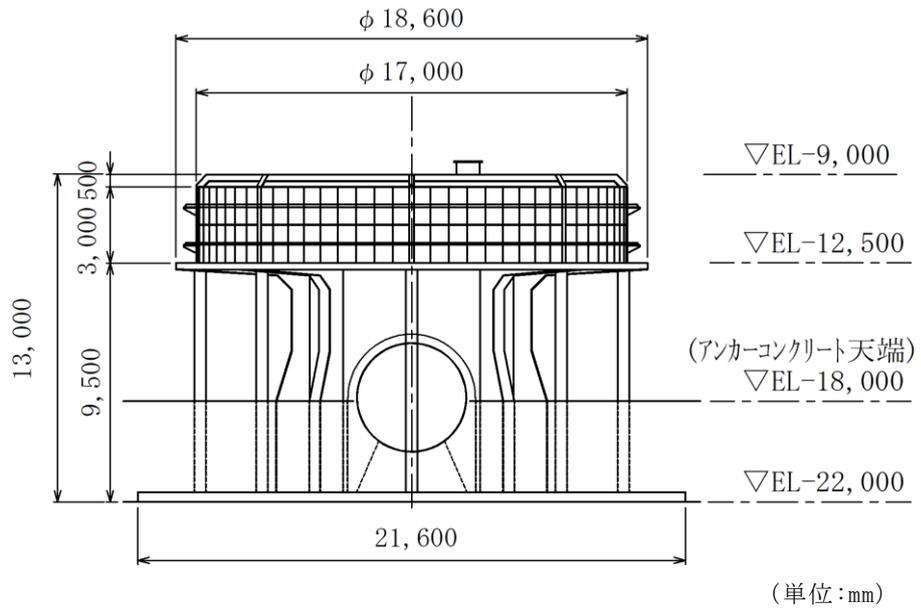
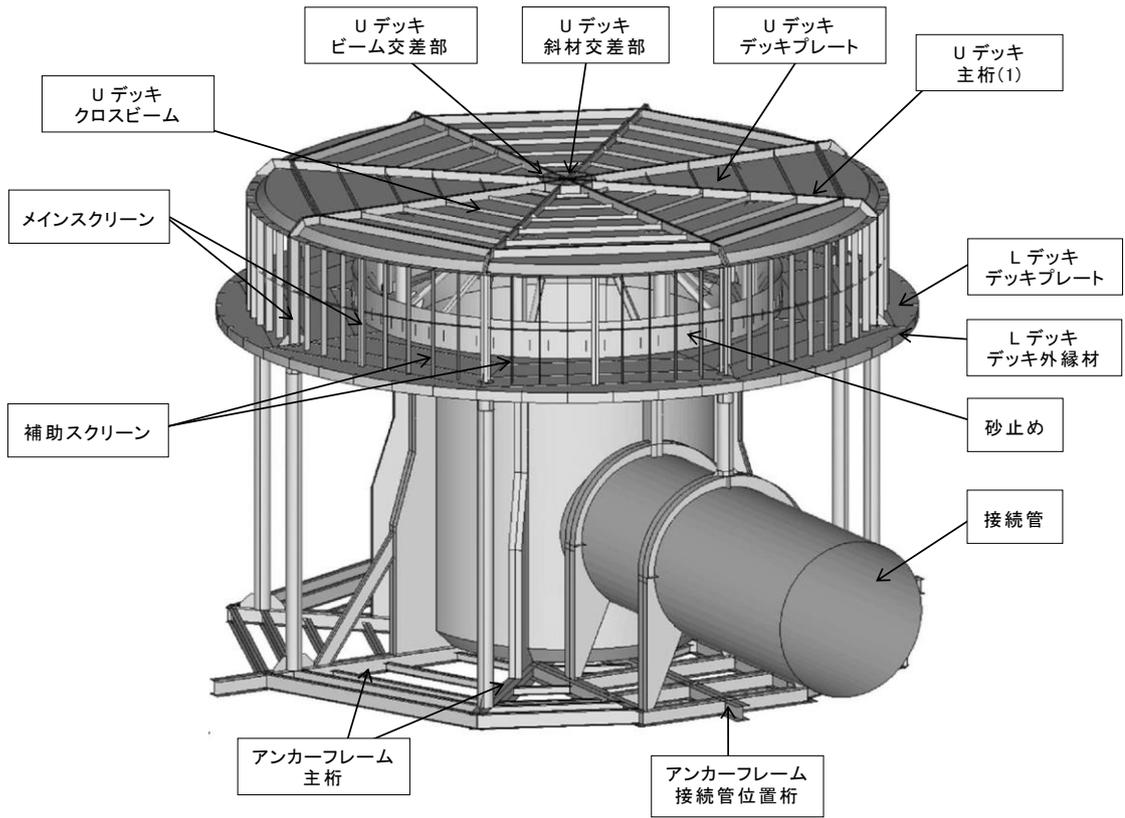
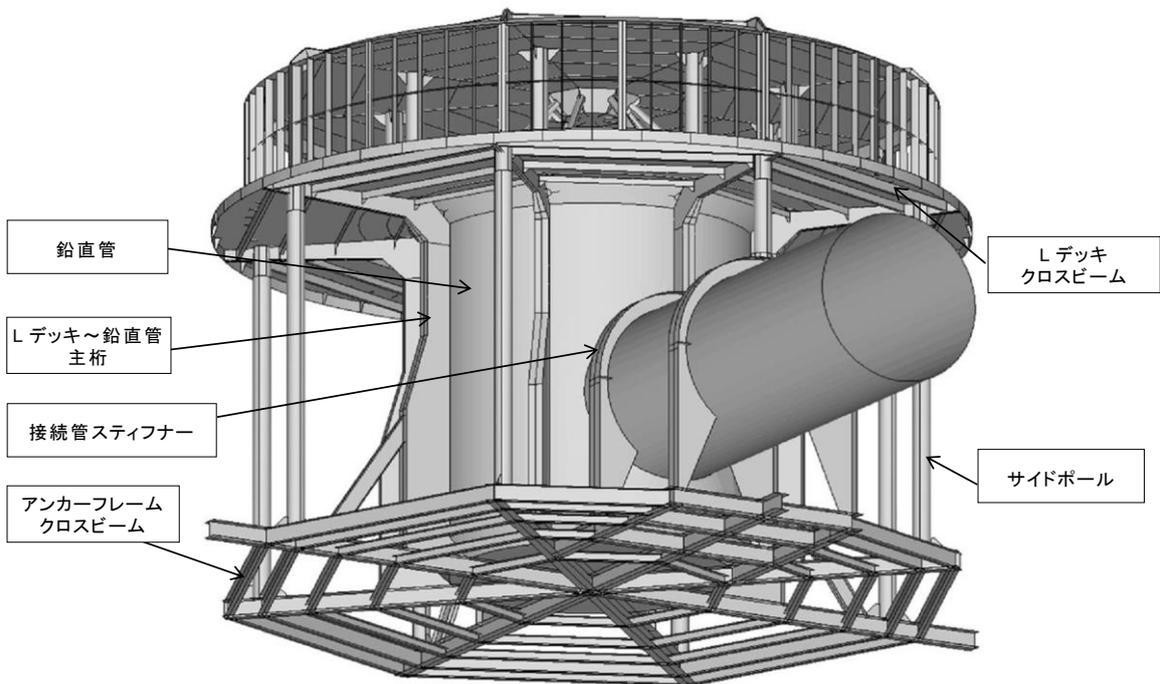


図 2-4 取水口 断面図 (A-A断面)



(取水口上方から望む)



(取水口下方から望む)

注：Uデッキは、アッパーデッキを示す。Lデッキは、ローアデッキを示す。

図 2-5 取水口 鳥瞰図

2.3 評価方針

取水口は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備として屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設耐震重要重大事故防止設備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。

取水口の耐震評価フローを図 2-6 に示す。

取水口は、設計規準対象施設及び重大事故対処施設として、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、これにより屋外重要土木構造物、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の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、地震応答解析から得られた荷重を用いた応力解析に基づく発生応力が、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ついては、地震応答解析により得られた結果に基づき、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。

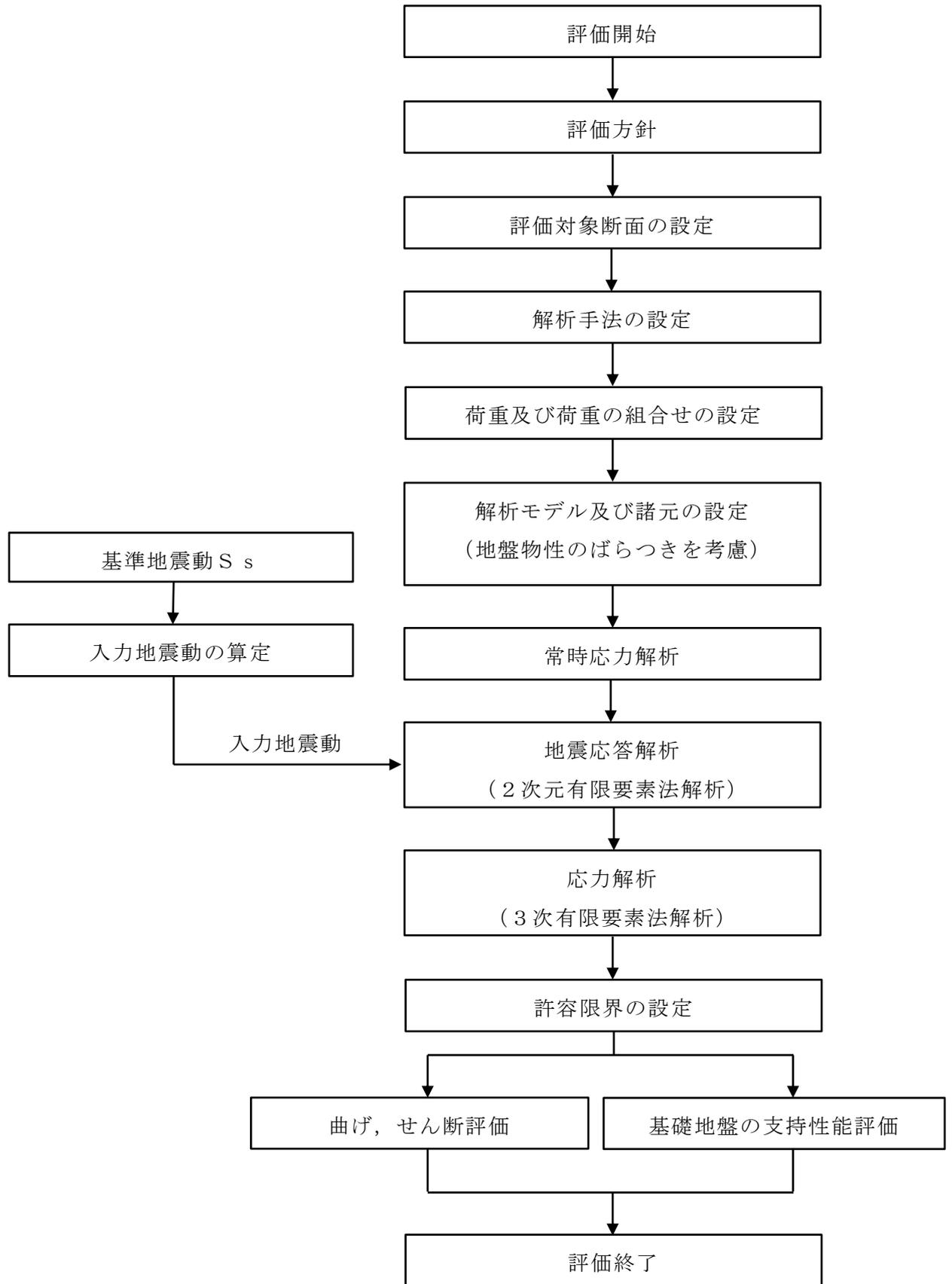


図 2-6 取水口 耐震評価フロー

表 2-1 取水口 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	構造部材	発生する応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	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以下であることを確認	極限支持力度*
通水機能を有すること	構造部材の健全性	構造部材	発生する応力が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度

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。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会，1987）
- ・コンクリート標準示方書（土木学会，2002）
- ・鋼構造設計基準－許容応力度法－（日本建築学会，2005年改定）

3. 地震応答解析

3.1 評価対象断面

取水口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 3-2 の南北断面（A-A 断面）とする。

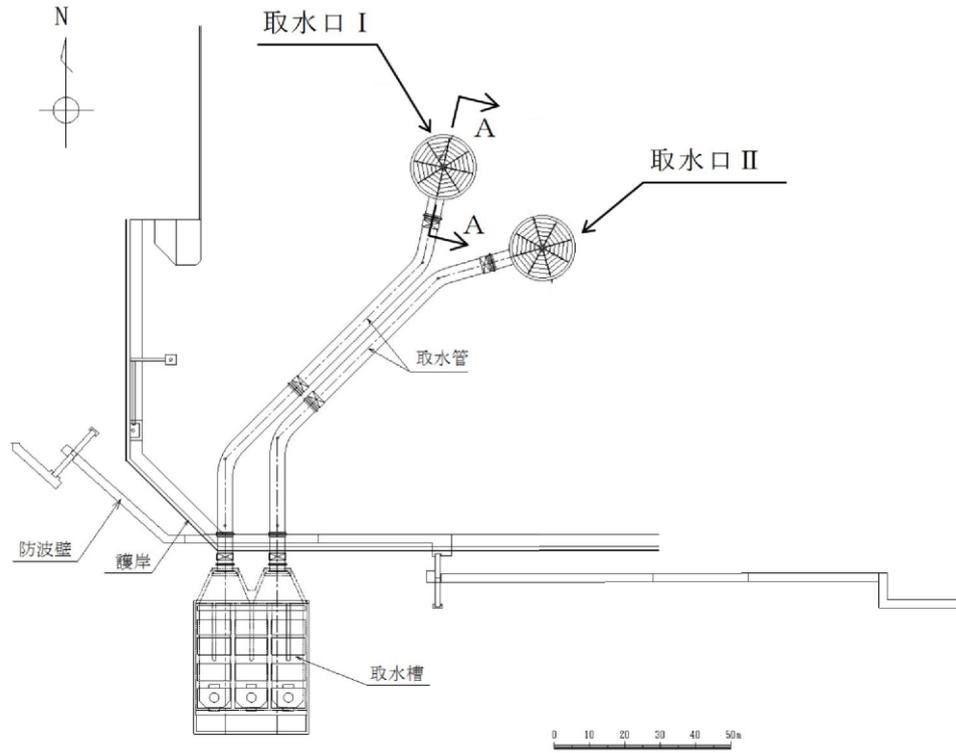


図 3-1 取水口 評価対象断面位置図

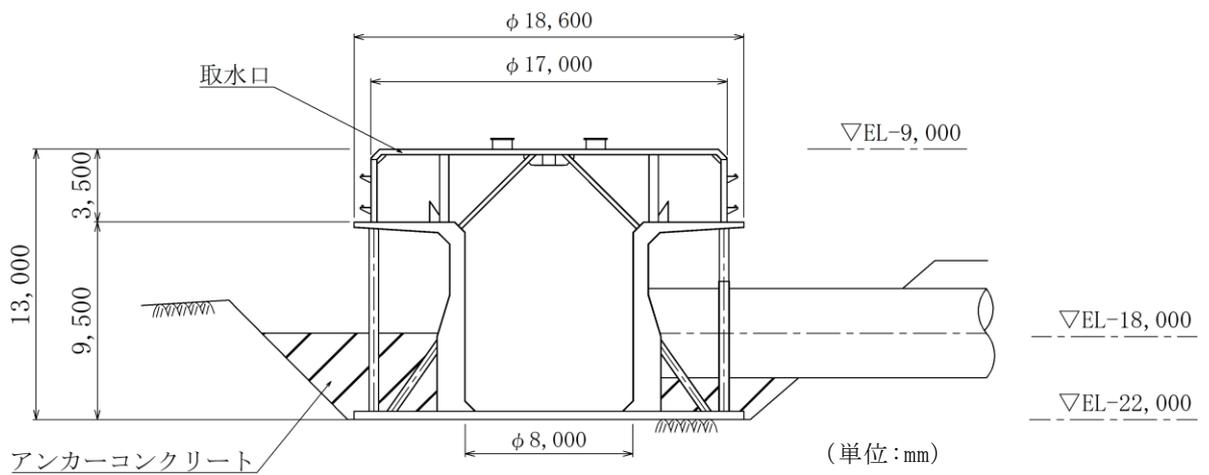


図 3-2 取水口 評価対象断面図（A-A 断面）

3.2 解析方法

取水口の地震応答解析は、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。取水口は、岩盤上に設置されていることから、解析手法は全応力解析とする。

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

構造部材は、曲げ及びせん断剛性を考慮した質点系モデルとする。

3.2.2 地盤

地盤は、線形平面ひずみ要素でモデル化する。

また、地盤物性のばらつきの影響を考慮するため、動せん断弾性係数の標準偏差 σ を用いて設定した解析ケース②及び③を実施する。地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースを表3-1に示す。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定」に示す。

表3-1 解析ケース

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

3.2.3 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

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
南北断面	1.017	7.370×10^{-4}

3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。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。解析ケース①において、取水口の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、取水口における応答加速度が最も大きくなる地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。

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 ($+1\sigma$) 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 $+1\sigma$		平均値 -1σ	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○				
		-+*	○				
		+ -*	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○	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、取水口の水平相対変位最大時刻における応答加速度分布を算定する。その中で、取水口における応答加速度が最も大きくなる地震動において、ケース②及び③を実施する。			
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (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

取水口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

海中に設置された構造物であることから積雪及び風荷重は考慮しない。

(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

取水口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，躯体自重を考慮する。

(2) 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 3-4 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + S_s$

G : 固定荷重

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 3-8 に入力地震動算定の概念図を、図 3-9～図 3-19 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。

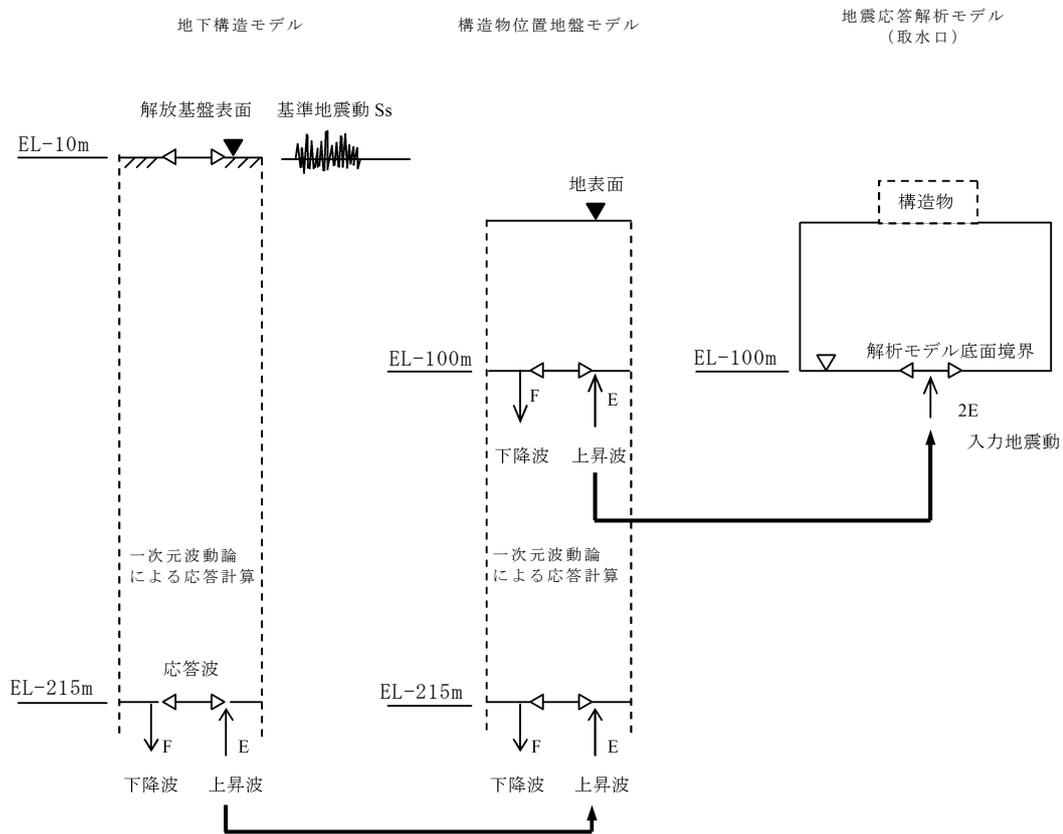
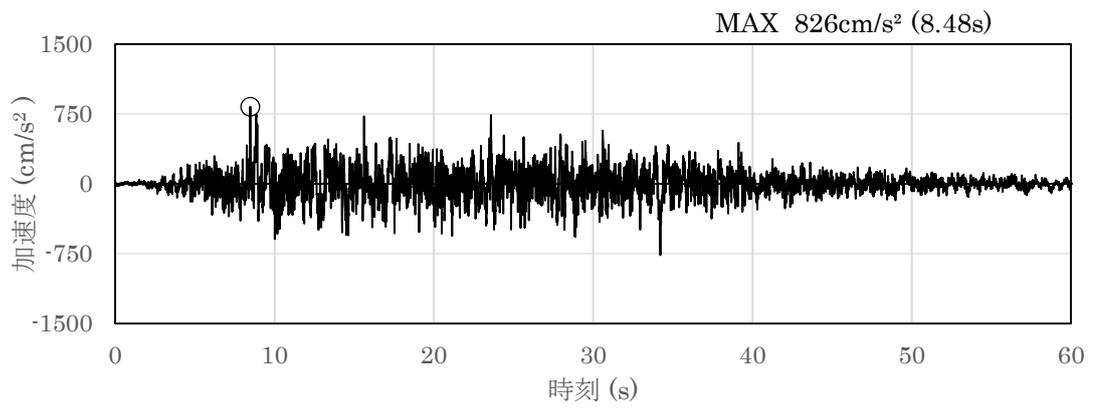
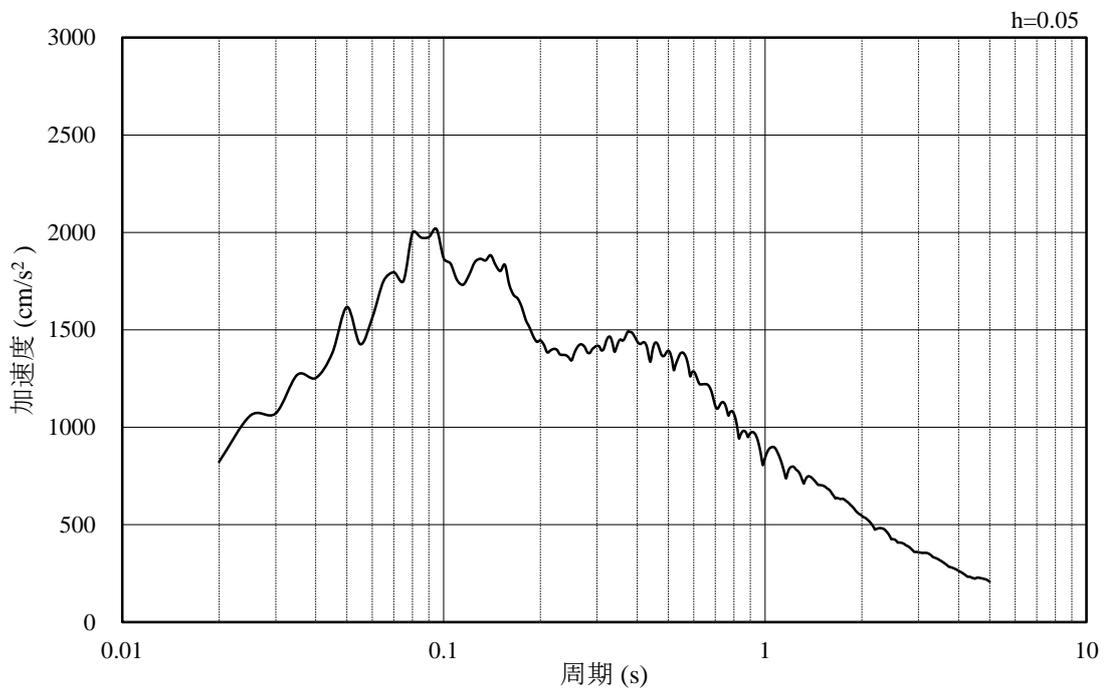


図 3-8 入力地震動算定の概念図

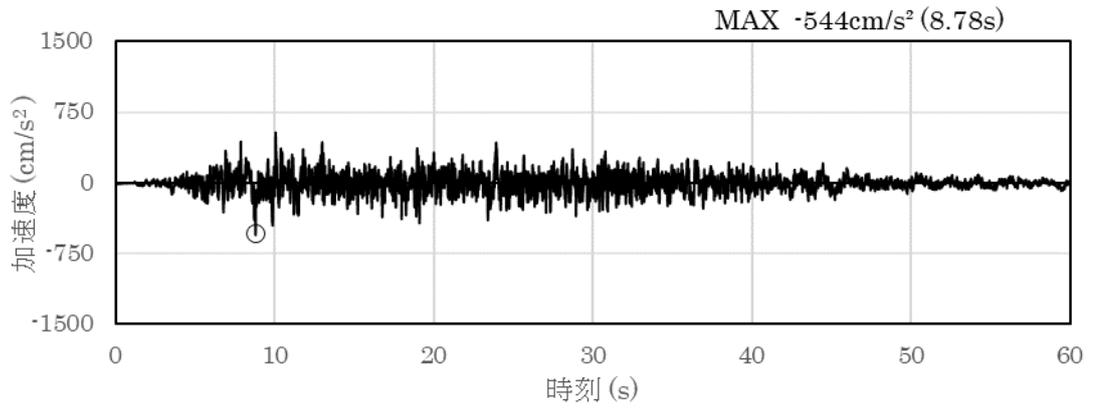


(a) 加速度時刻歴波形

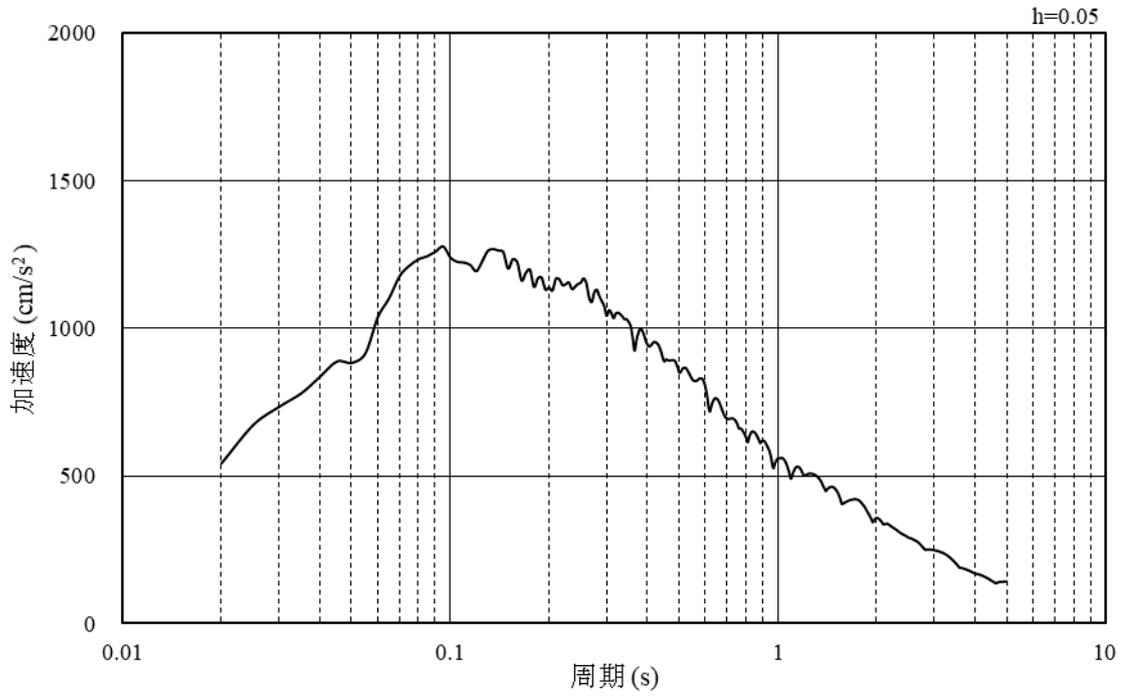


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 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
(S s - D, 水平方向)

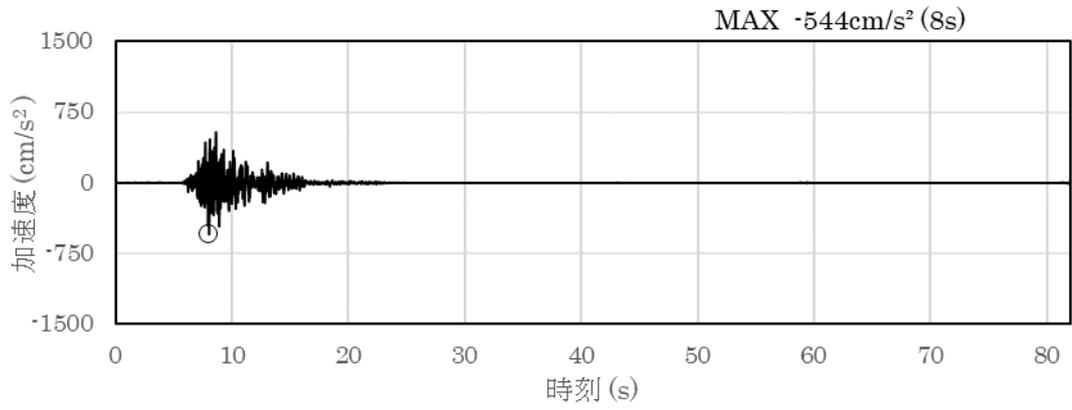


(a) 加速度時刻歴波形

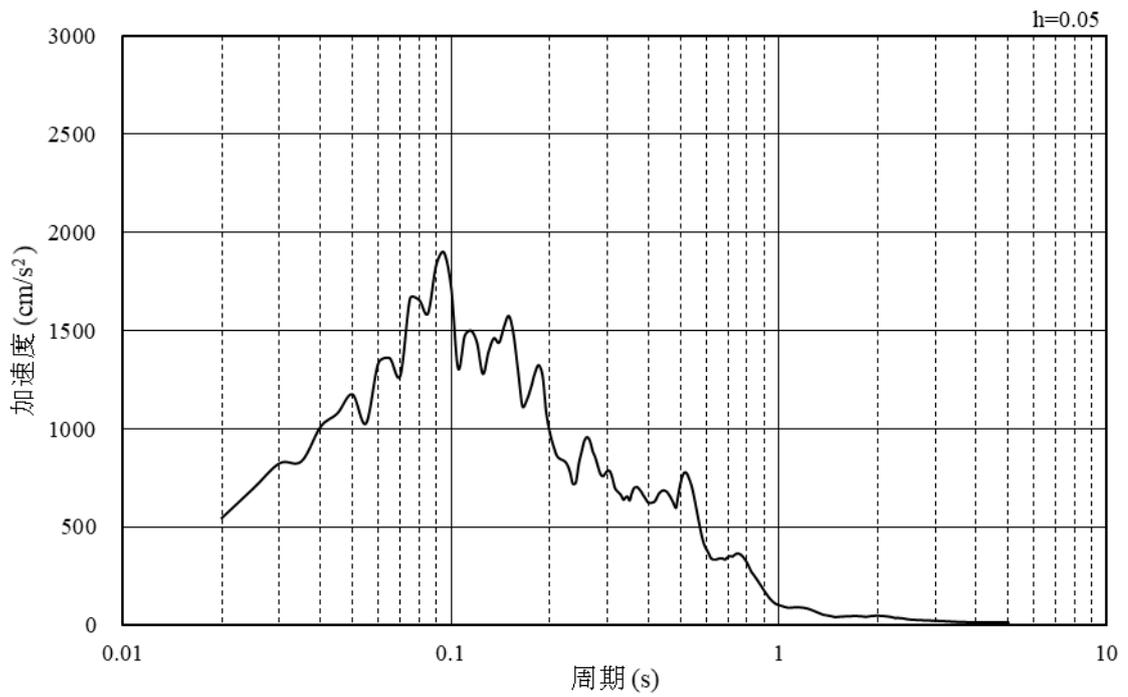


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - D, 鉛直方向)

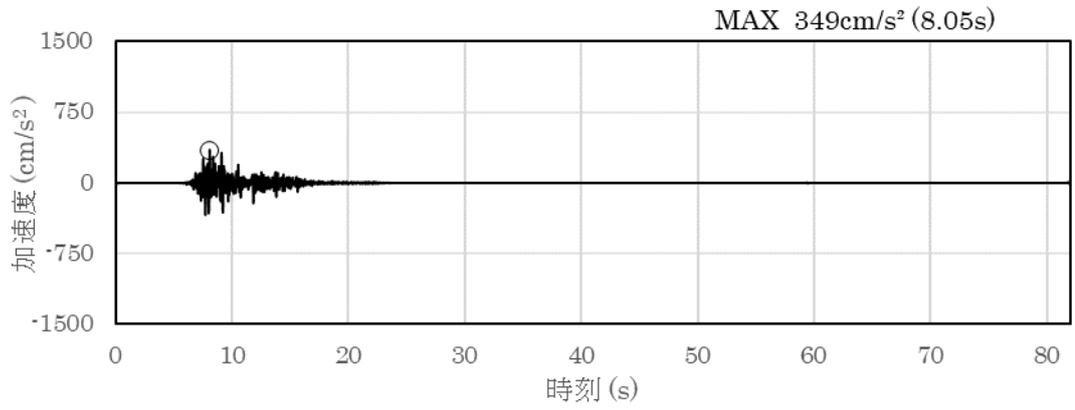


(a) 加速度時刻歴波形

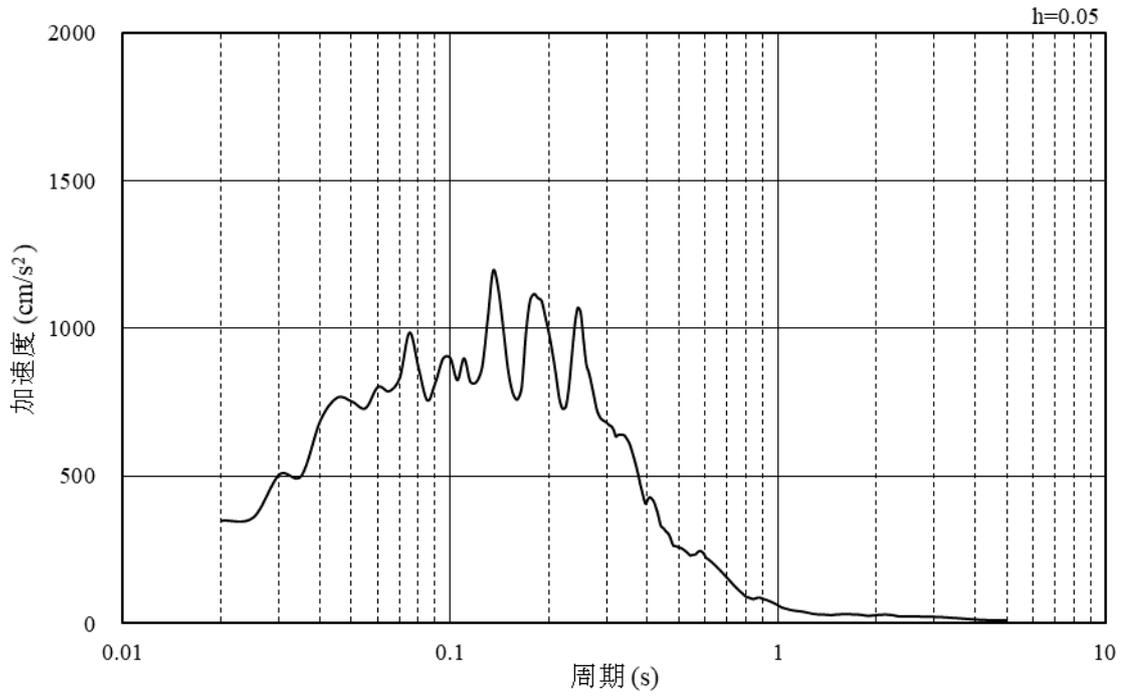


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - F 1, 水平方向)

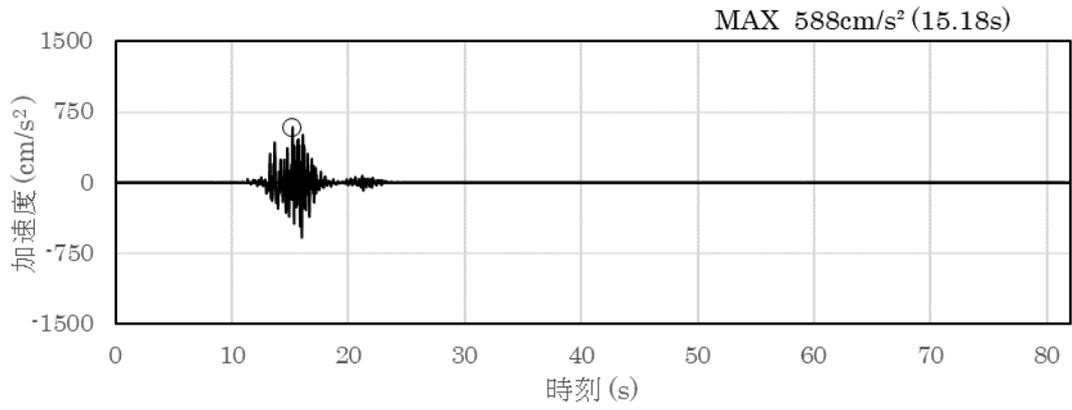


(a) 加速度時刻歴波形

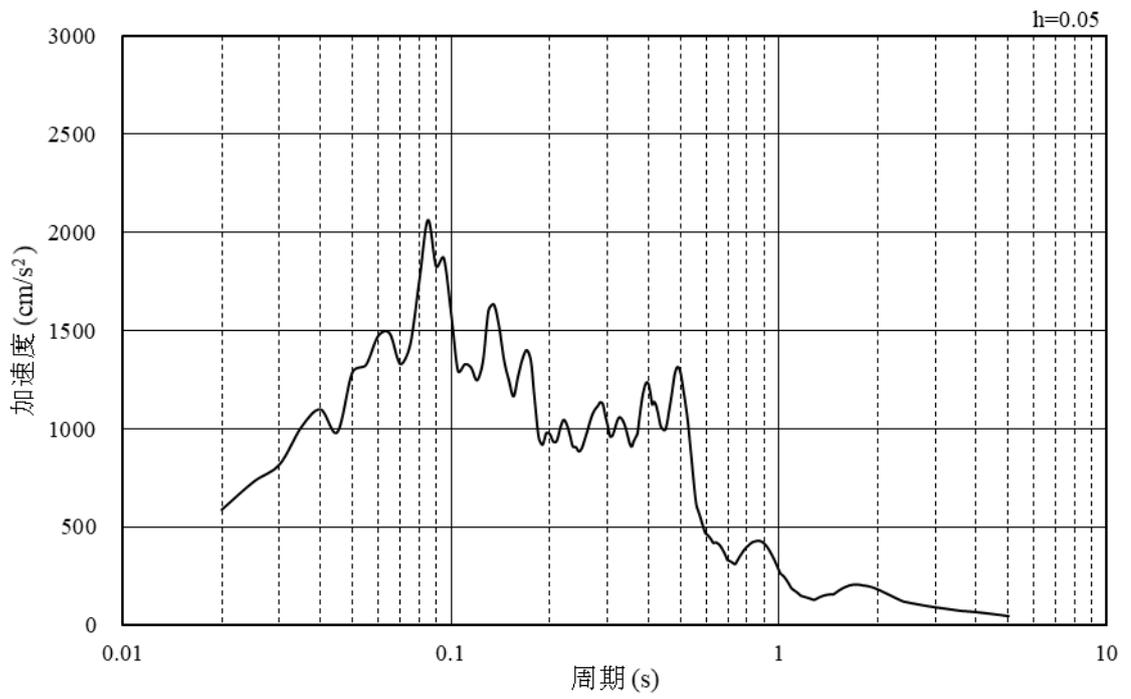


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - F 2, 鉛直方向)

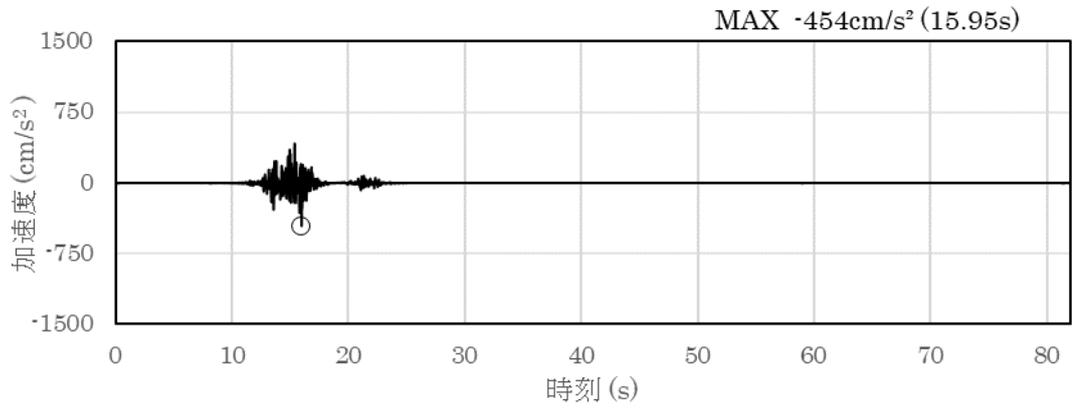


(a) 加速度時刻歴波形

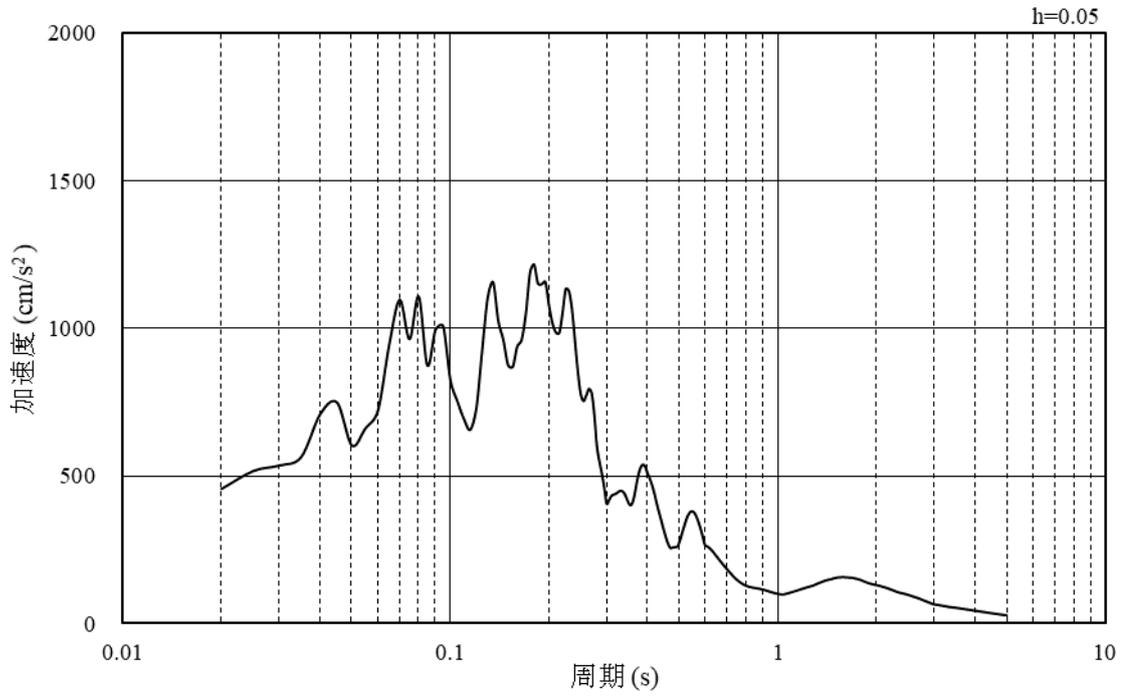


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - F 2, 水平方向)

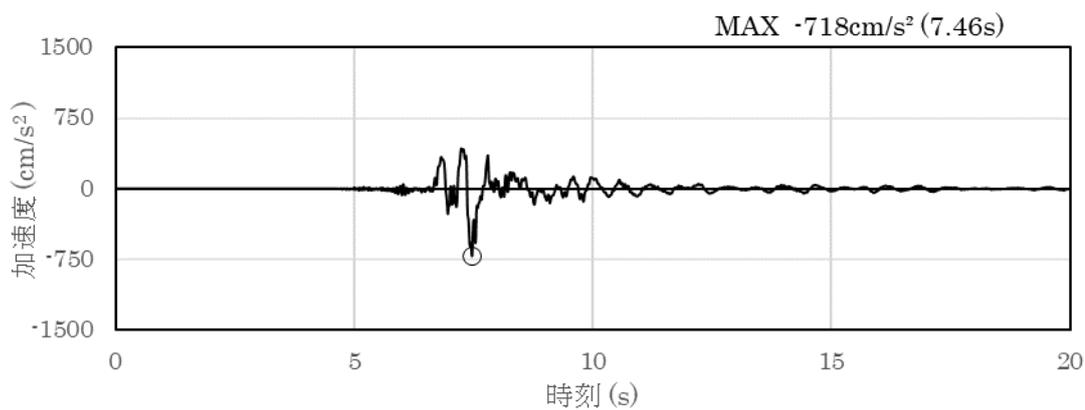


(a) 加速度時刻歴波形

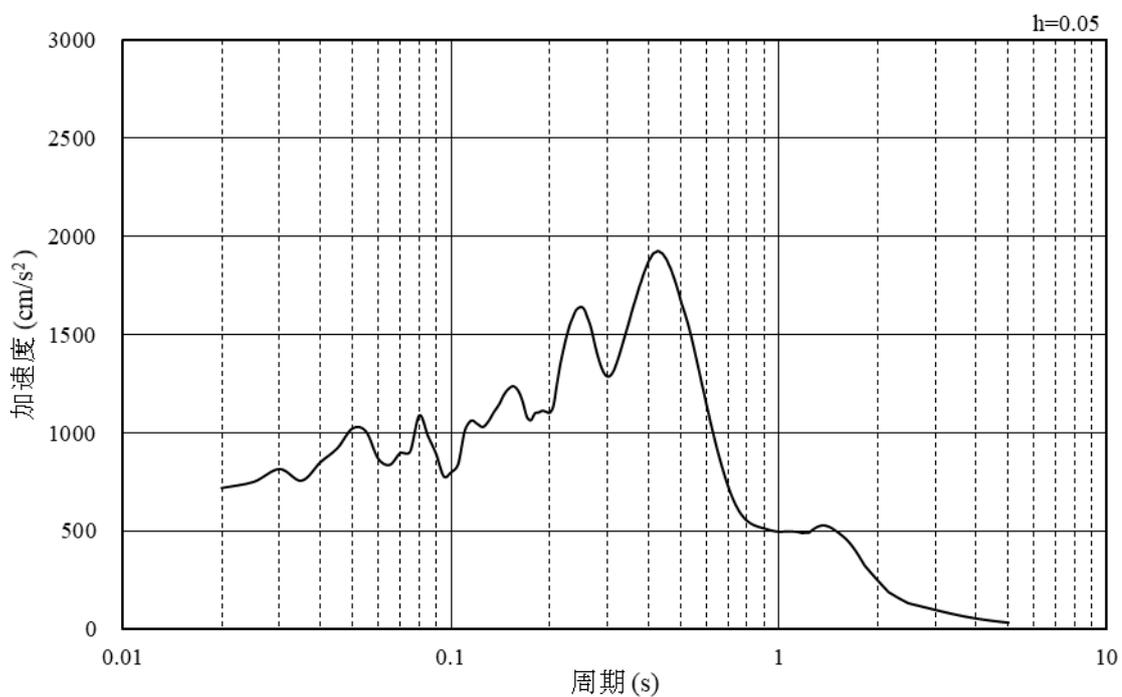


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - F 2, 鉛直方向)

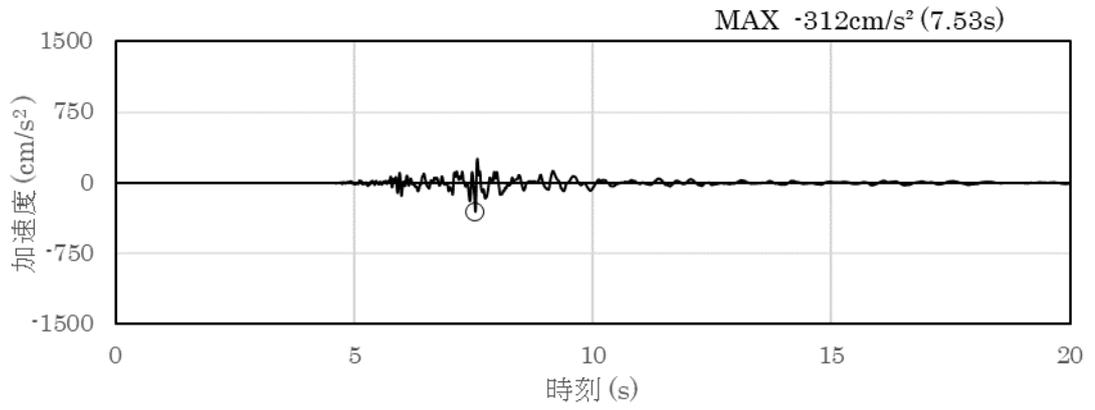


(a) 加速度時刻歴波形

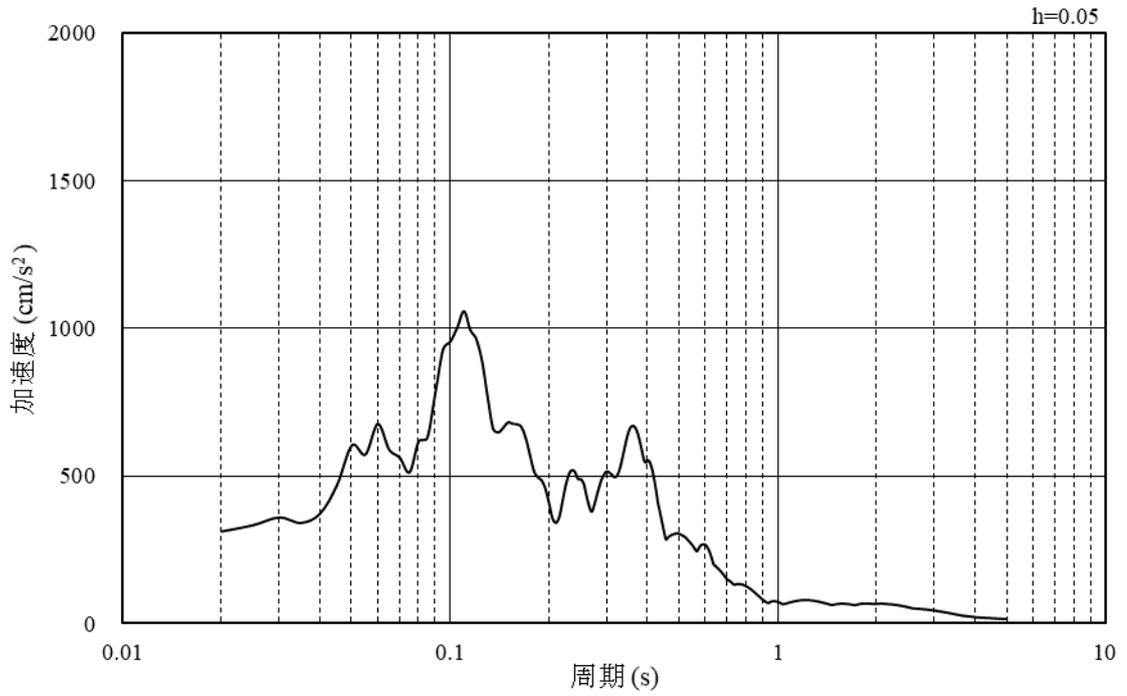


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - N 1, 水平方向)

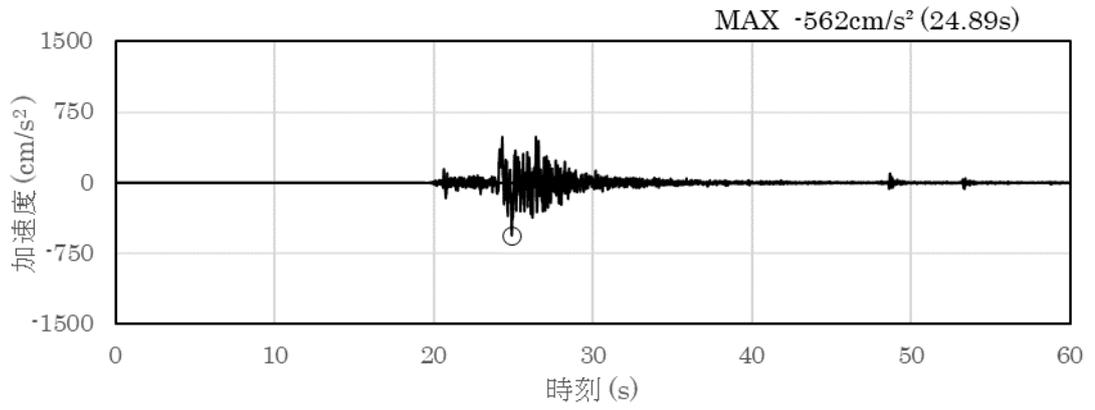


(a) 加速度時刻歴波形

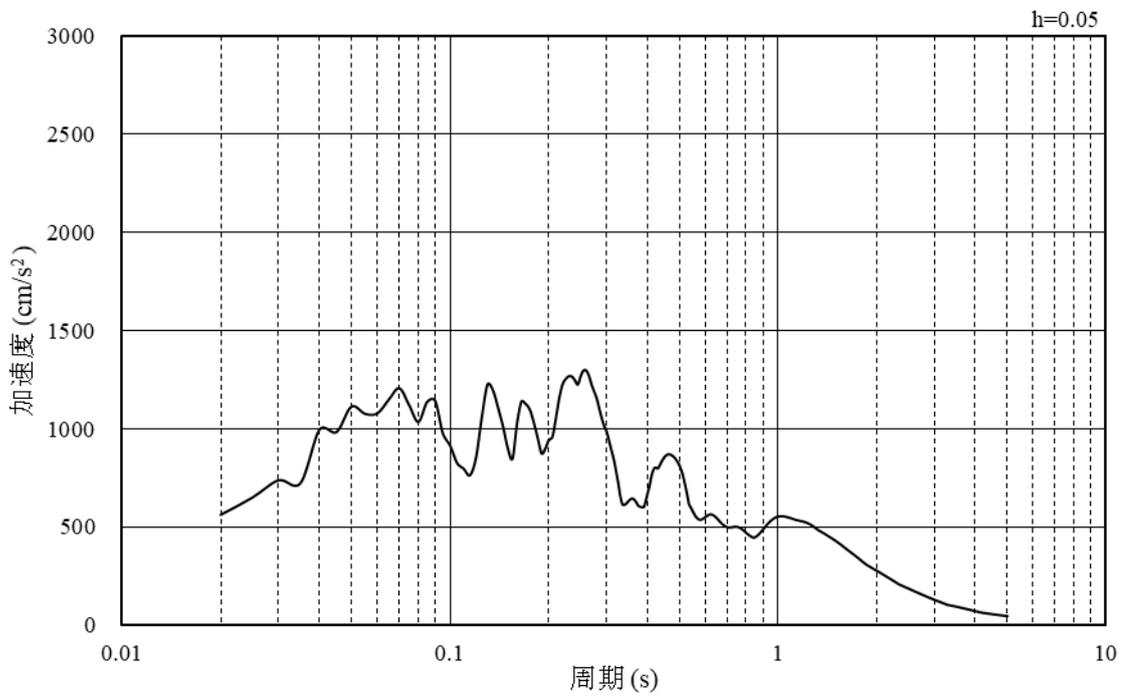


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - N 1, 鉛直方向)

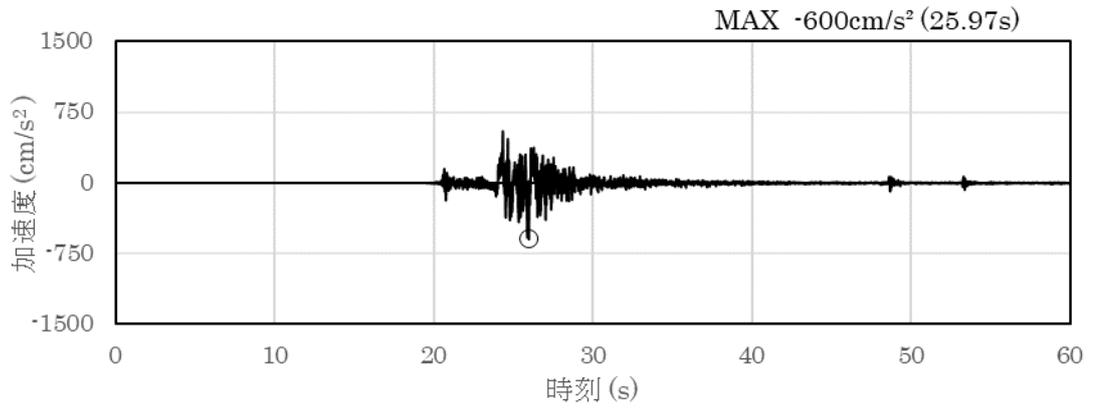


(a) 加速度時刻歴波形

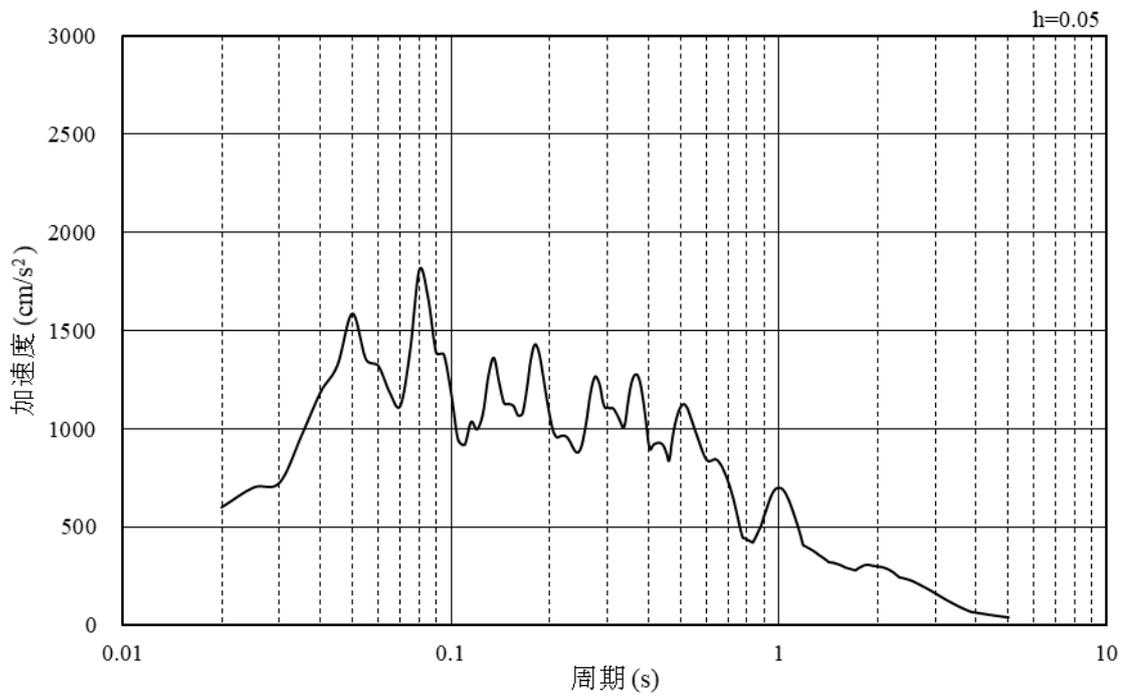


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S s - N 2 (N S), 水平方向)

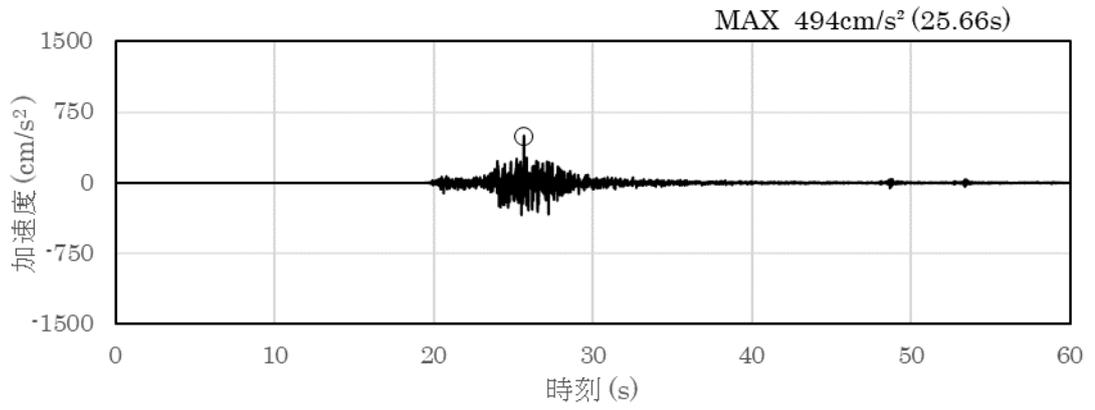


(a) 加速度時刻歴波形

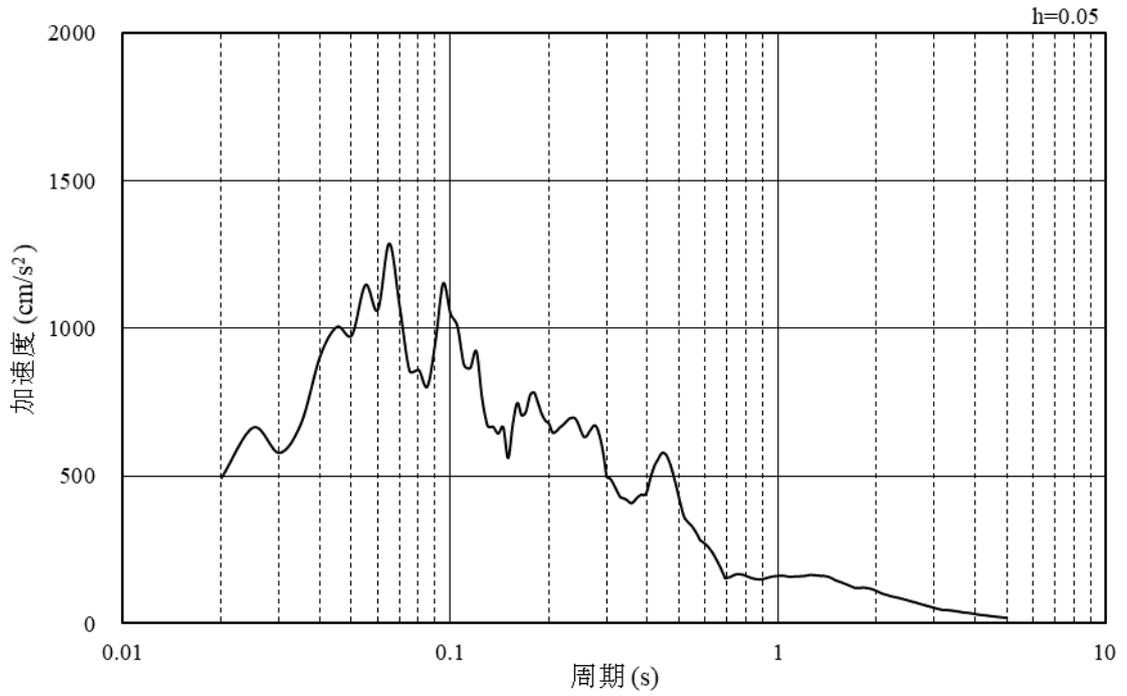


(b) 加速度応答スペクトル

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
(S_s-N2 (EW), 水平方向)



(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
(S s - N 2, 鉛直方向)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水口の地震応答解析モデルを図 3-20、図 3-21 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

取水口は、多質点のはり質点系モデルとし、アンカーコンクリートが設置されている範囲について周辺地盤の要素と剛ばり要素で連結する。

(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。

(5) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」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。

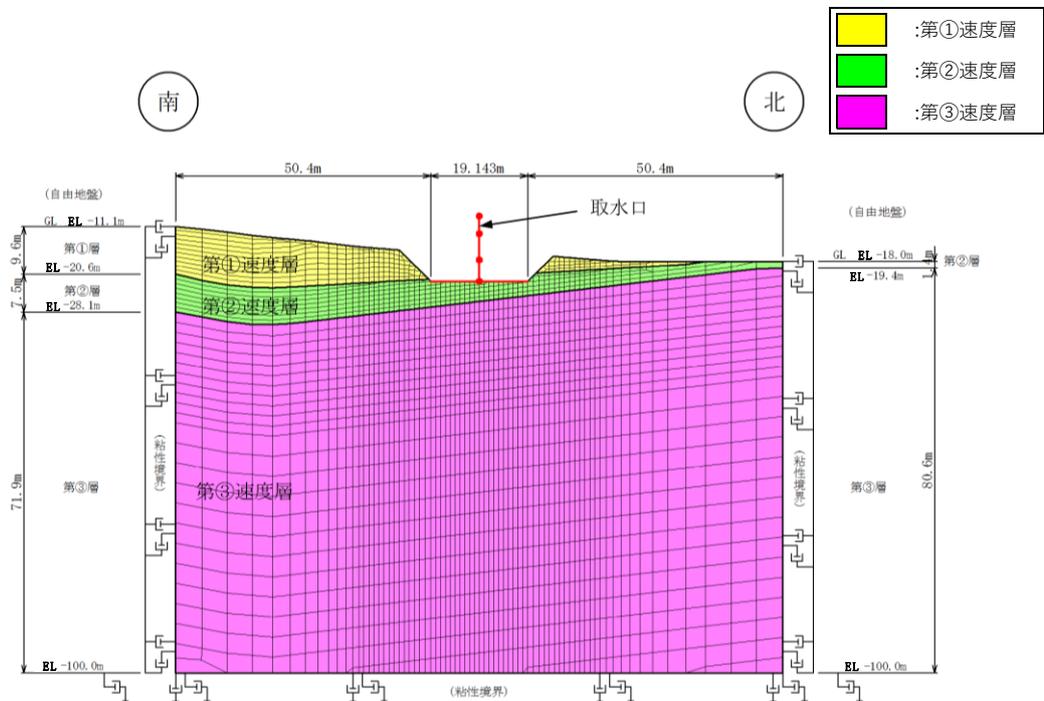
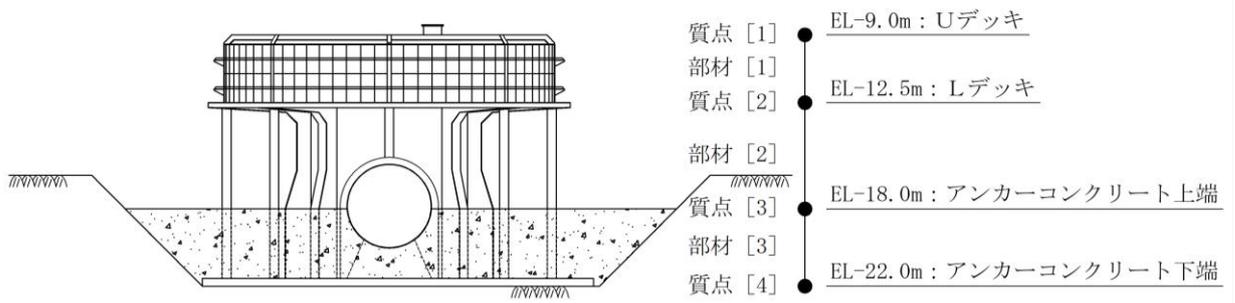


図 3-20 取水口の地震応答解析モデル



注：Uデッキは，アッパーデッキを示す。Lデッキは，ローアデッキを示す。

(取水口断面図)

(取水口部解析モデル)

質点番号	重量 (kN)		慣性モーメント (kN・m ²)
	水平方向	鉛直方向	
[1]	24.88	19.22	399.6
[2]	167.2	30.71	1,650
[3]	1,250	613.3	51,480
[4]	1,250	662.2	53,900

図 3-21 取水口の地震応答解析モデル (取水口部)

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 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 に示す。

表 3-5 使用材料

部 位	名 称	断面形状	材 料
Uデッキ	デッキプレート	PL-16	SS400
	主桁	BCT-250×100×12×19	
	クロスビーム	FB-100×12 FB-140×16 FB-160×16 BCT-250×100×12×19	
Uデッキ ～ Lデッキ	ストラット	φ 457.2×t12	
	斜材	φ 216.3×t8	
	メインスクリーン	H-294×200×8×12	
	補助スクリーン	CT-200×200×8×12	
	スクリーン	FB-200×16	
Lデッキ	デッキプレート	PL-16	
	デッキ外縁材	FB-257×9	
	クロスビーム	FB-140×16 FB-180×16 L-200×90×9×14 L-250×90×10×15	
	砂止め	FB-1,000×12 FB-1,213.8×12	
	Lデッキ主桁	主桁	
サイドポール		φ 457.2×t12	
鉛直管	鉛直管口	PL-16	
	鉛直管	PL-25	
	鉛直管底	PL-25	
接続管	接続管	PL-23	
	スティフナー	BCT-350×500×16×19 BCT-(350～1223)×500×16×19	
アンカー フレーム	底板	PL-12	
	主桁	H-400×400×13×21	
	接続管位置桁	H-400×400×13×21	
	クロスビーム	H-200×200×8×12 H-400×200×8×13	
	斜材	H-400×200×8×13	

表 3-6 材料の物性値

材料	項目	材料諸元
鋼材	ヤング係数 (N/mm ²)	2.00×10 ⁵
	ポアソン比	0.3

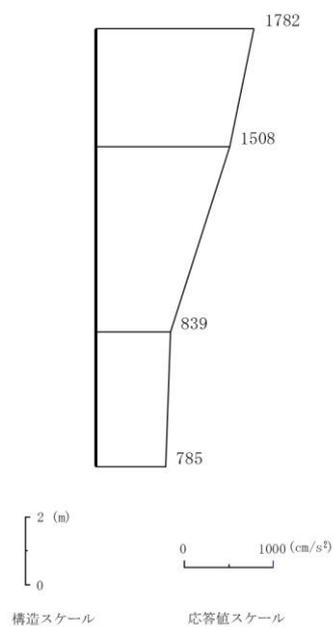
3.5.3 地盤の物性値

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。

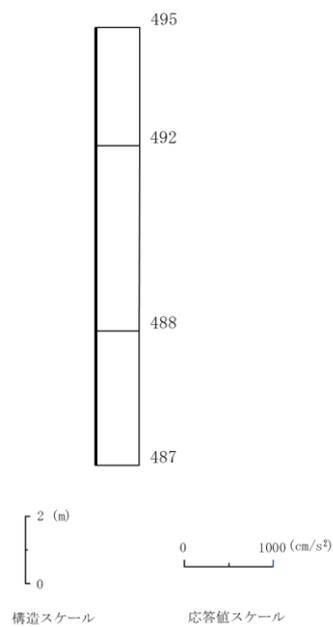
3.6 地震応答解析結果

3.6.1 南北断面の解析結果

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 に対する加速度分布図を図 3-22(1)～図 3-22(12)に示す。また、解析ケース①において、加速度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 3-22(13)及び図 3-22(14)に示す。

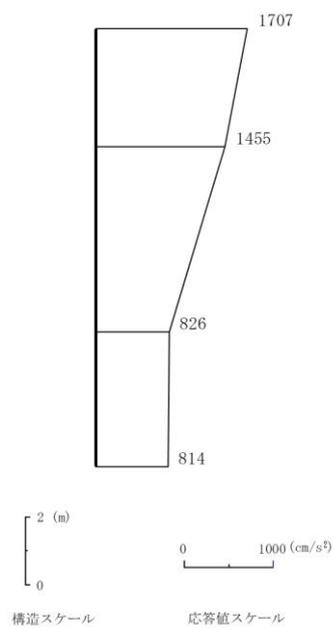


(a) 水平

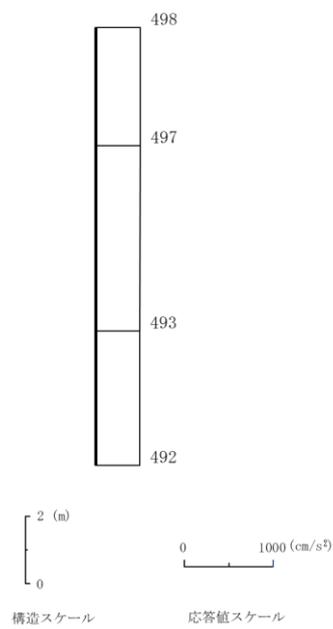


(b) 鉛直

図 3-22(1) 最大応答加速度分布図 (1/14)
(解析ケース①, S s - D (++))

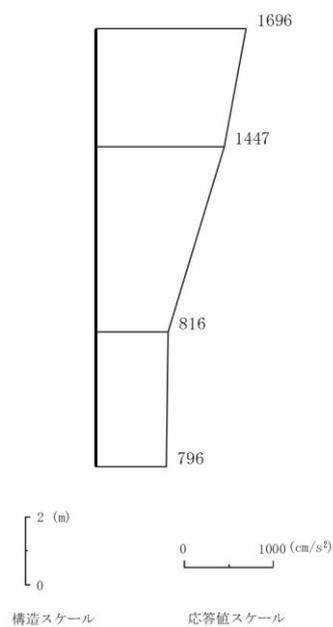


(a) 水平

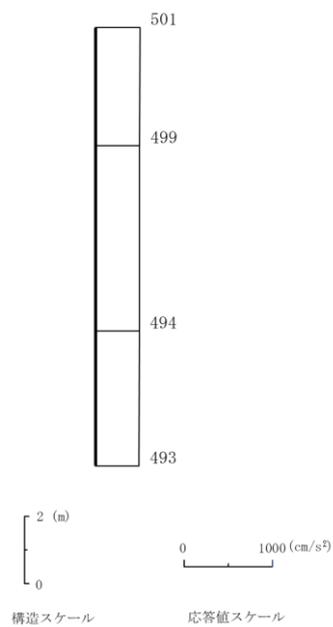


(b) 鉛直

図 3-22(2) 最大応答加速度分布図 (2/14)
(解析ケース①, S_s-D (-+))

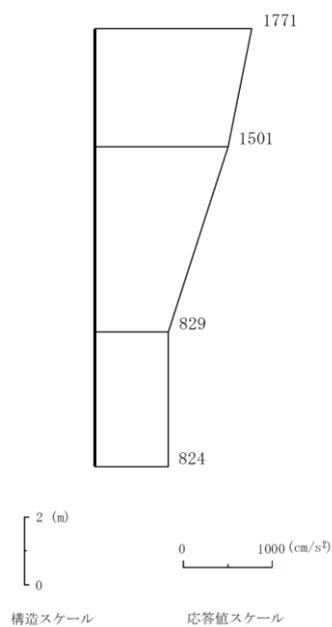


(a) 水平

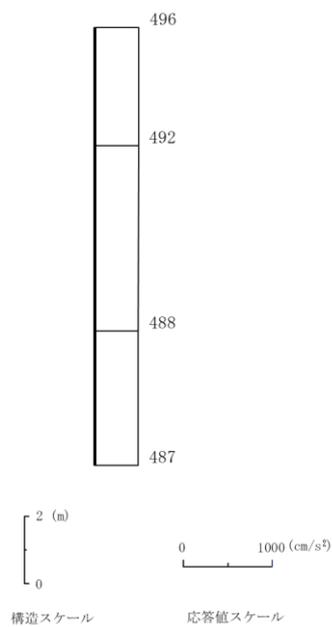


(b) 鉛直

図 3-22(3) 最大応答加速度分布図 (3/14)
(解析ケース①, S s - D (+ -))

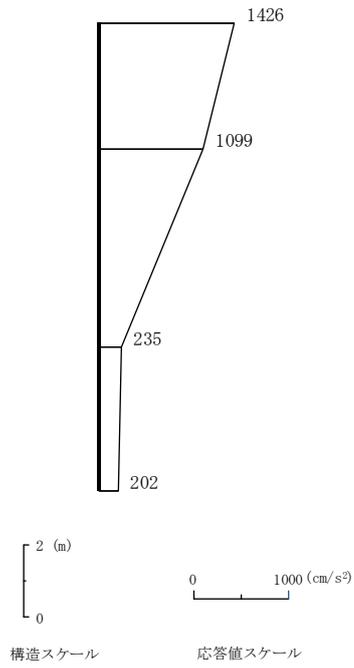


(a) 水平

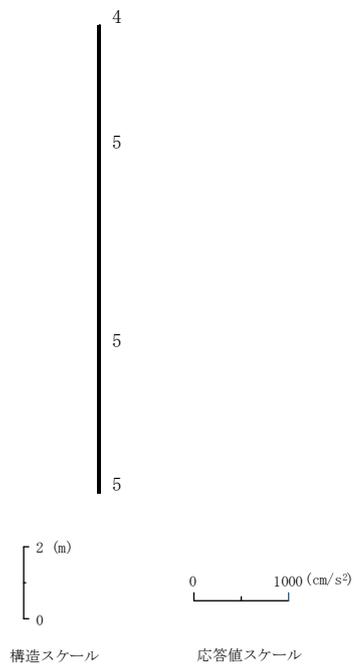


(b) 鉛直

図 3-22(4) 最大応答加速度分布図 (4/14)
(解析ケース①, S_s-D (---))

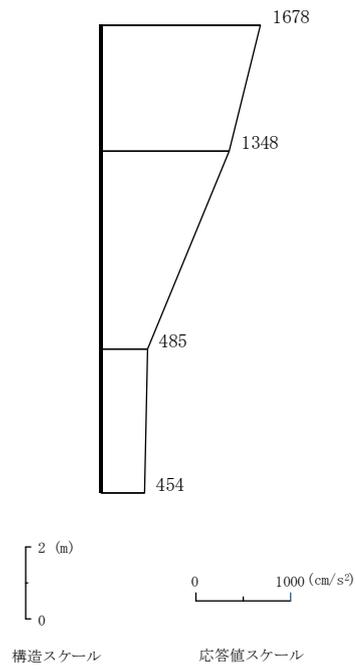


(a) 水平

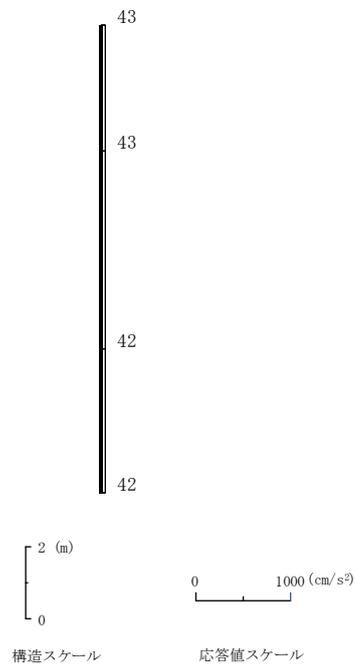


(b) 鉛直

図 3-22(5) 最大応答加速度分布図 (5/14)
(解析ケース①, S s - F 1 (++))

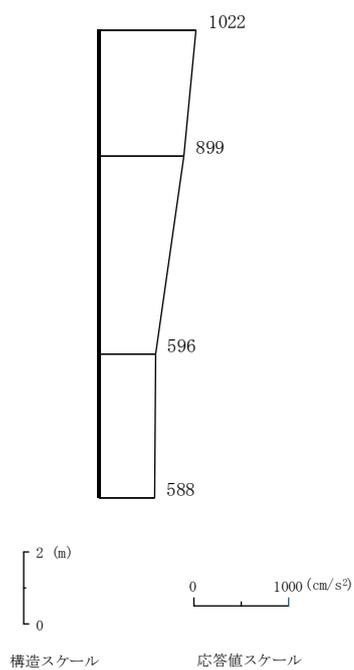


(a) 水平

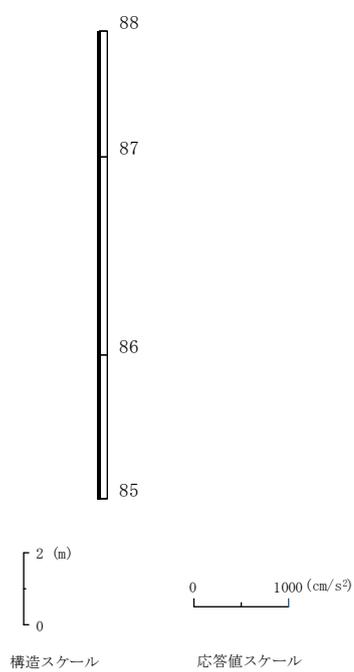


(b) 鉛直

図 3-22(6) 最大応答加速度分布図 (6/14)
(解析ケース①, S s - F 2 (++))

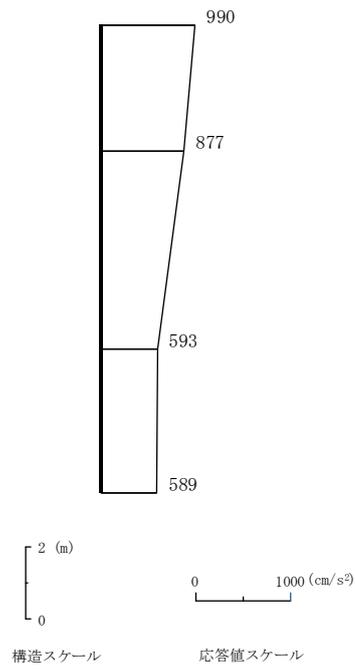


(a) 水平

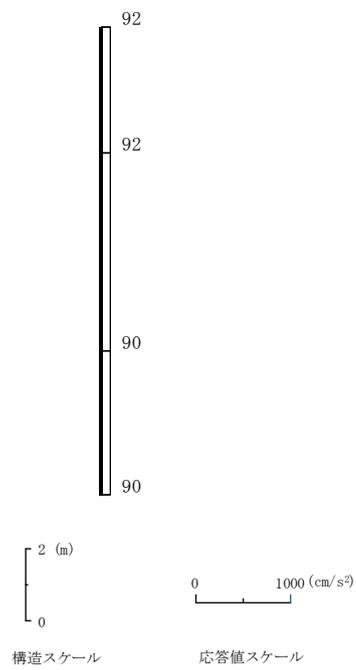


(b) 鉛直

図 3-22(7) 最大応答加速度分布図 (7/14)
(解析ケース①, S s - N 1 (++))

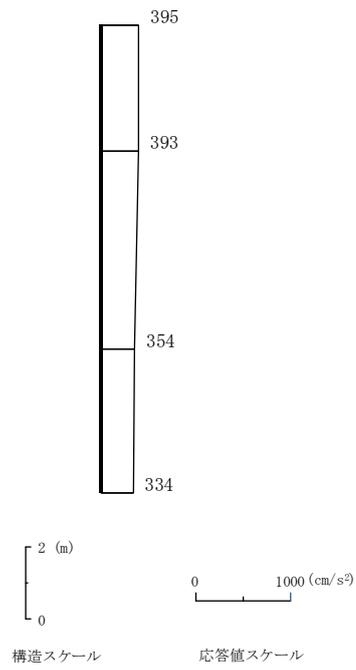


(a) 水平

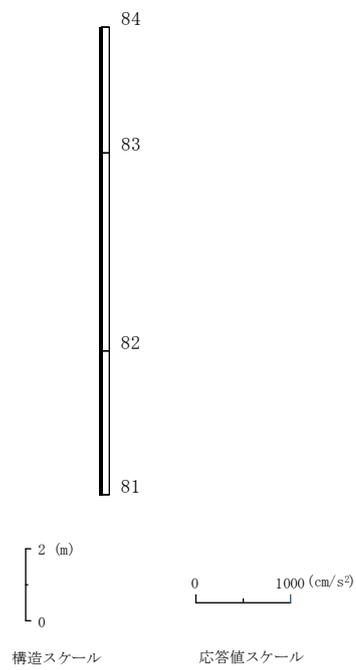


(b) 鉛直

図 3-22(8) 最大応答加速度分布図 (8/14)
(解析ケース①, S s - N 1 (-+))

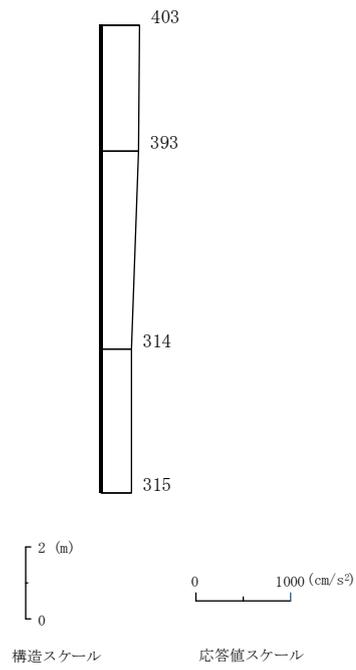


(a) 水平

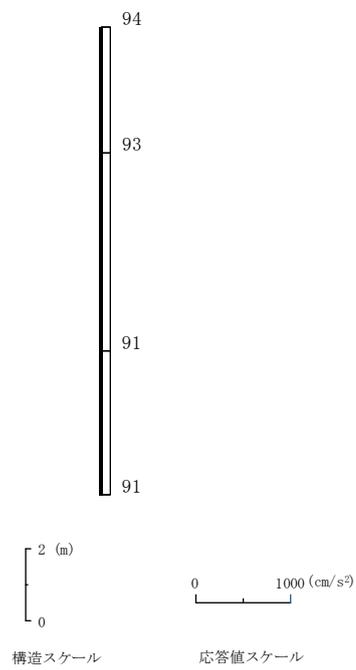


(b) 鉛直

図 3-22(9) 最大応答加速度分布図 (9/14)
(解析ケース①, S_s-N2 (NS) (++))

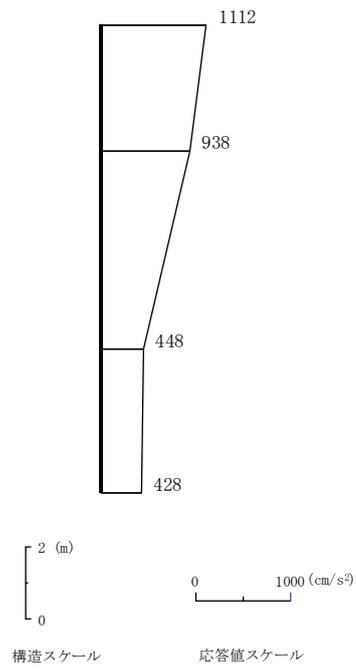


(a) 水平

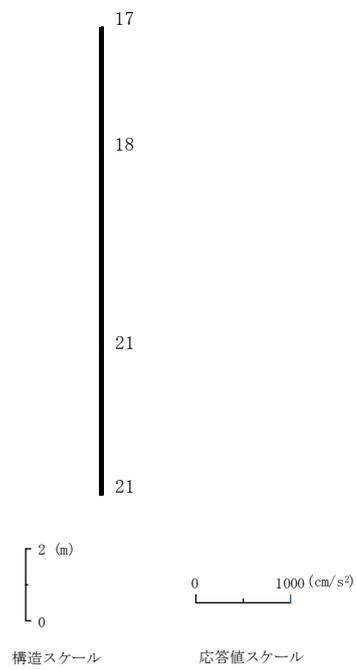


(b) 鉛直

図 3-22(10) 最大応答加速度分布図 (10/14)
(解析ケース①, $S_s - N2 (NS) (-+)$)

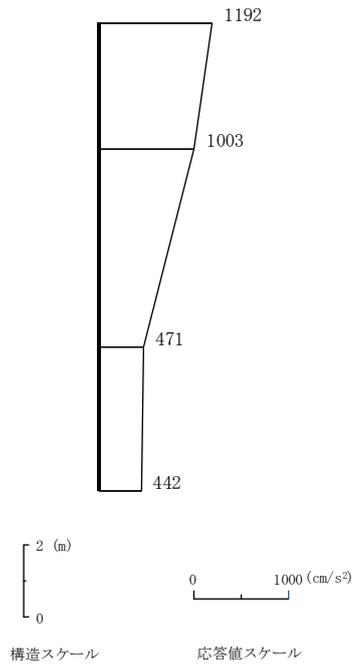


(a) 水平

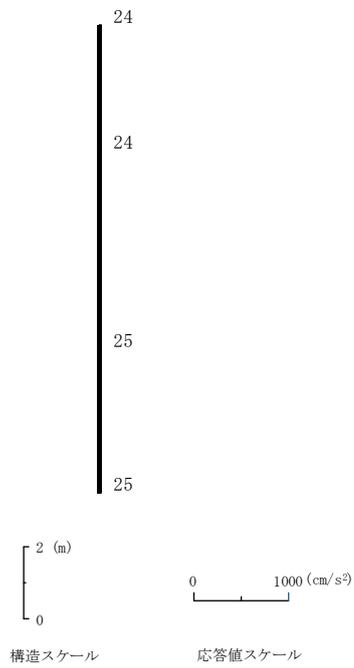


(b) 鉛直

図 3-22(11) 最大応答加速度分布図 (11/14)
(解析ケース①, S_s-N2 (EW) (++)

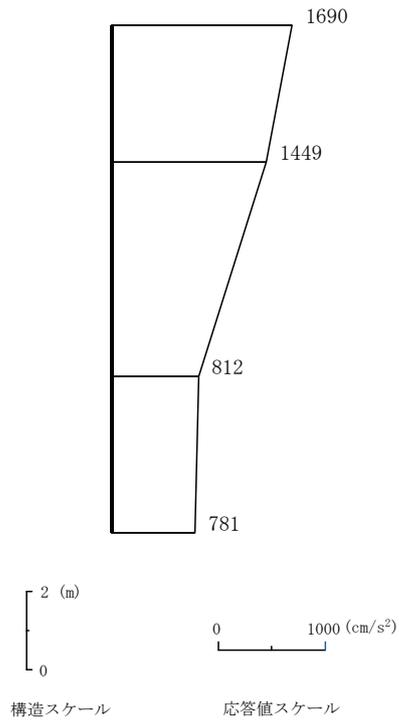


(a) 水平

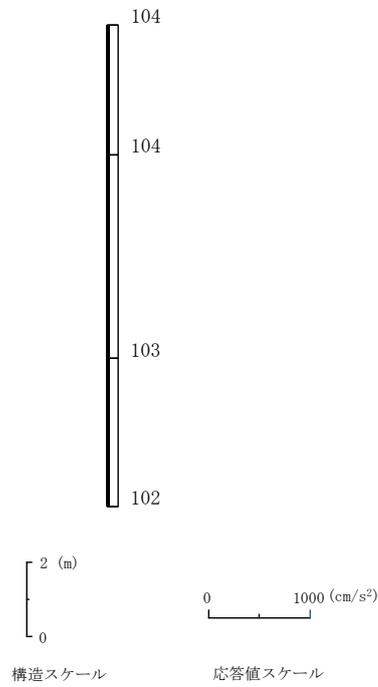


(b) 鉛直

図 3-22(12) 最大応答加速度分布図 (12/14)
(解析ケース①, S_s-N2 (EW) (-+))

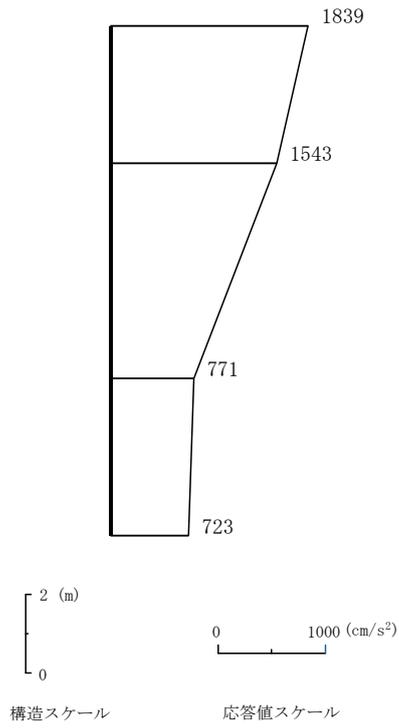


(a) 水平

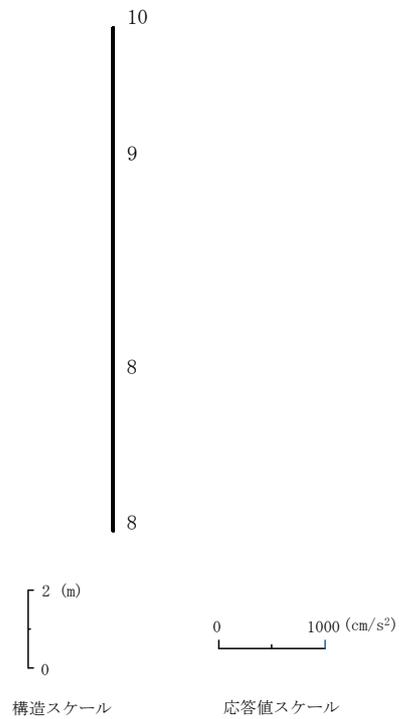


(b) 鉛直

図 3-22(13) 最大応答加速度分布図 (13/14)
(解析ケース②, S_s-D(++))



(a) 水平



(b) 鉛直

図 3-22(14) 最大応答加速度分布図 (14/14)
(解析ケース③, S s - D (++))

4. 応力解析

取水口の応力解析は、鋼材をシェル要素又ははり要素で、アンカーコンクリートをソリッド要素でモデル化した3次元静的FEM解析を行う。

取水口の応力解析は、「3. 地震応答解析」より取水口の耐震性に最も影響を及ぼす地震動を対象に実施するものとし、解析ケース①（S_s-D（++））を対象とする。

4.1 評価対象部位

取水口の応力解析は、鋼板部材及び通水機能を有する鉛直管を含めた鋼管部材の全構造部材を評価対象部位とする。

4.2 解析方法

取水口の応力解析は、「3. 地震応答解析」により得られる荷重を考慮する。

応力解析には「MSC NASTRAN」を使用する。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。

4.3 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。

4.3.1 耐震計画上考慮する状態

取水口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

海中に設置された構造物であることから積雪及び風荷重は考慮しない。

(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。

4.3.2 荷重

取水口の耐震安全性評価において、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、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、水圧による荷重を考慮する。

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

4.3.3 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 + 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)

4.4 解析モデル及び諸元

取水口の 3次元解析モデルを図 4-1 に示す。

(1) 境界条件

アンカーフレームには、地盤ばねを設け基礎地盤の反力を考慮する。地盤ばねに引張力が作用した場合、地盤ばねは作用しないものとし、取水口と基礎地盤の剥離を考慮する。

(2) 構造部材のモデル化

構造部材は線形のシェル要素又ははり要素でモデル化する。

(3) 地震荷重の作用方法

取水口の各構造部材には、「3. 地震応答解析」にて得られた応答加速度を考慮する。

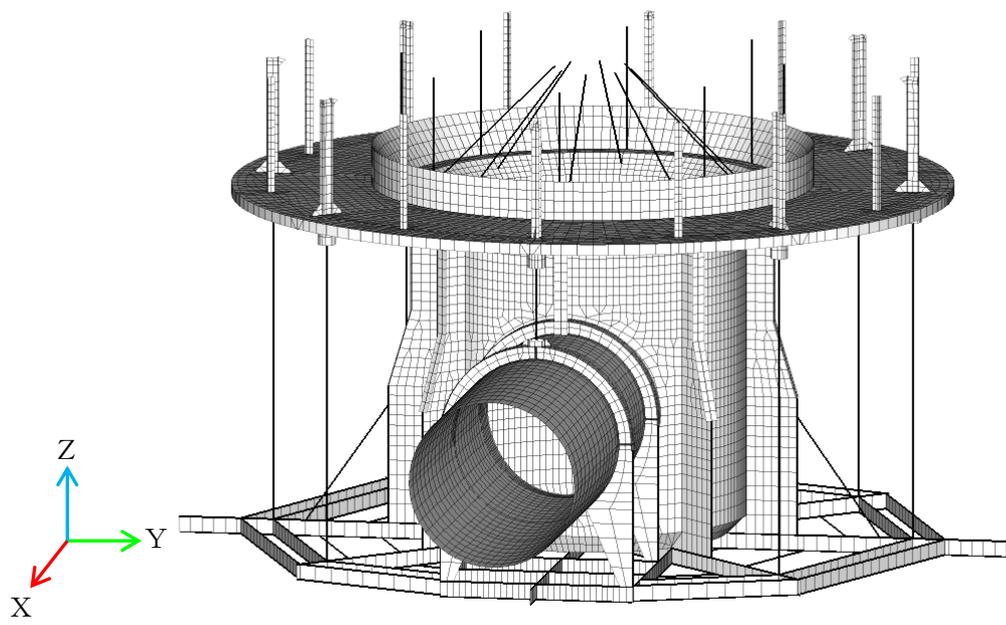


図 4-1 取水口の 3次元解析モデル

5. 耐震評価

5.1 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。

5.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界

鋼材及び鋼製管部材の許容限界は、「鋼構造設計基準—許容応力度法—（日本建築学会，2005年改定）」に基づき，短期許容応力度とする。構造部材の短期許容応力度を表5-1に示す。

表 5-1 鋼材の短期許容応力度

鋼材の種類	項目	短期許容応力度 (N/mm ²)
SS400	短期許容圧縮応力度 f_c	別途算出*
	短期許容引張応力度 f_t	235
	短期許容せん断応力度 f_s	135

注記*：短期許容圧縮応力度 f_c については，以下の式にて算出する。

$\lambda \leq \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{\left\{ 1 - 0.4 \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} F}{\nu} \times 1.5$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c = \frac{0.277F}{\left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2} \times 1.5$$

ここで，

λ : 圧縮材の細長比

$$\nu : \frac{2}{3} + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2$$

F : SM490A で 487.5N/mm²，SM400A 及び STK400 で 352.5N/mm²

Λ : 限界細長比で $\sqrt{\frac{\pi^2 E}{0.6F}}$

E : ヤング係数

(1) 鋼板部材

鋼板部材に生じる垂直応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を「鋼構造設計基準—許容応力度法—（日本建築学会，2005年改定）」に基づく次式により算定し、鋼材の短期許容引張応力度以下であることを確認する。

$$\sigma_m \leq f_t$$

$$x = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

ここで、

- σ_x : 要素座標系における x 方向直応力
- σ_y : 要素座標系における y 方向直応力
- τ_{xy} : 要素座標系における x y 面内せん断力
- σ_m : 組合せ応力度 (N/mm²)
- f_t : 鋼材の許容引張応力度 (=235N/mm²)

(2) 鋼管部材

鋼管部材に生じる垂直応力度及びせん断応力度が、「鋼構造設計基準—許容応力度法—（日本建築学会，2005年改定）」に基づく次式を満足することを確認する。

a. 圧縮力と曲げモーメントを受ける部材

$$\frac{\sigma_c + \sigma_b}{f_c} + \frac{\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_b - \sigma_c}{f_t} \leq 1$$

ここで、

- f_c : 許容圧縮応力度
- f_b : 許容曲げ応力度
- f_t : 許容引張応力度
- σ_c : 平均圧縮応力度
- σ_b : 曲げ応力度

b. 引張力と曲げモーメントを受ける部材

$$\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t} + \frac{\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1 \quad \text{かつ} \quad \frac{\sigma_b - \sigma_t}{f_b} \leq 1$$

ここで、

- σ_t : 平均引張応力度

c. せん断力を受ける鋼管部材

$$\frac{\tau}{f_s} \leq 1$$

ここで、

f_s : 許容せん断応力度

τ : せん断応力度

5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

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 5-2 に示す。

表 5-2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤	極限支持力度 (N/mm ²)
C _L 級岩盤	3.9

5.2 評価方法

取水口の耐震評価は、「4. 応力解析」に基づく発生応力が、「5.1 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。また、基礎地盤の支持性能評価は、「4. 応力解析」に基づく最大接地圧が、「5.1 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。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の応力度に対する各評価位置での最大照査値を表 6-1 に示す。

取水口の応力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1(1) 応力度に対する各評価位置での最大照査値
(水平 2 方向, シェル要素)

部位	評価位置*	解析 ケース	地震動	応力 σ (N/mm ²)	照査値
Uデッキ	デッキプレート	ケース ①	S s - D (++)	27.5	0.12
	ビーム交差部			71.6	0.31
	主桁			111.9	0.48
	斜材交差部			63.6	0.28
	クロスビーム			18.9	0.09
Uデッキ ～ Lデッキ	メインスクリーン			73.1	0.32
	補助スクリーン			20.4	0.09
Lデッキ	デッキプレート			37.3	0.16
	デッキ外縁材			19.7	0.09
	クロスビーム			34.2	0.15
	砂止め			25.6	0.11
Lデッキ 主桁	主桁			78.7	0.34
	サイトホール			37.5	0.16
鉛直管	鉛直管			141.0	0.60
接続管	接続管			183.4	0.79
	接続管 スティフナー			185.6	0.79
アンカーフレーム	底板			1.4	0.01
	主桁			4.3	0.02
	接続管位置桁			3.1	0.02
	クロスビーム	2.5	0.02		

注記* : 照査値が最大となる要素の位置を図 6-1 に示す。

表 6-1(2) 応力度に対する各評価位置での最大照査値
(水平 2 方向, はり要素)

部位	評価位置*1	解析 ケース	地震動	照査値				
				圧縮と曲げ		引張と曲げ		せん断
				*2	*3	*4	*5	
Uデッキ ～ Lデッキ	ストラット	ケース ①	S s - D (++)	0.19	0.15	0.14	0.13	0.04
	斜材			0.56	0.14	0.48	0.16	0.20
Lデッキ 主桁	サイトホール [一般部]			0.13	0.09	0.11	0.10	0.02
	サイトホール [接続管部]			0.19	0.15	-	-	0.03

注記*1: 照査値が最大となる要素の位置を図 6-1 に示す。

*2: 圧縮軸応力及び曲げ応力を受ける部材で, $\sigma_c/f_c + \sigma_b/f_b$

*3: 圧縮軸応力及び曲げ応力を受ける部材で, $(\sigma_b - \sigma_c)/f_t$

*4: 引張軸応力及び曲げ応力を受ける部材で, $(\sigma_t + \sigma_b)/f_t$

*5: 引張軸応力及び曲げ応力を受ける部材で, $(\sigma_b - \sigma_t)/f_b$

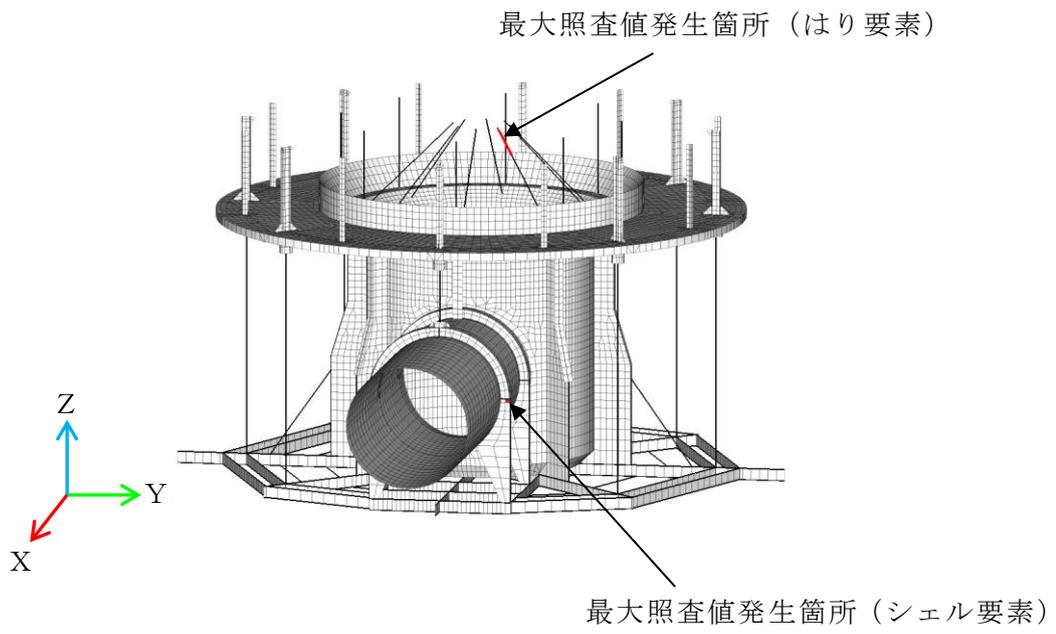


図 6-1 最大照査値発生箇所位置図

6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する評価結果の最大照査値を表 6-2 に示す。また、最大接地圧分布図を図 6-2 に示す。

取水口の基礎地盤に発生する最大接地圧が、許容限界を下回ることを確認した。

表 6-2 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

解析 ケース	地震動	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
ケース①	S s - D (--)	0.32	3.9	0.09

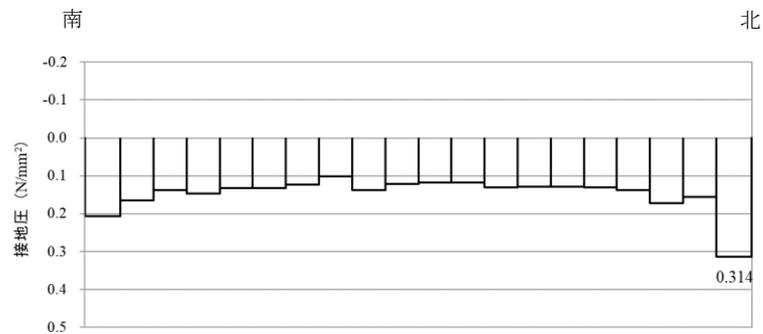


図 6-2 基礎地盤の最大接地圧分布図
(解析ケース①, S s - D (--))

VI-2-2-36 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の
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	6
2.4 適用規格・基準等	9
3. 耐震評価	10
3.1 地震時荷重算出断面	10
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 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎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	12
3.4 評価方法	14
3.4.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性評価	14
3.4.2 基礎地盤の支持性能評価	17
4. ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震時応答	18
5. 耐震評価結果	21
5.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性に対する評価結果	21
5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	22

別紙 付帯設備の耐震評価

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、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎が基準地震動 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。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎に要求される機能の維持を確認するにあたっては、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

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の位置図を図 2-1 に示す。

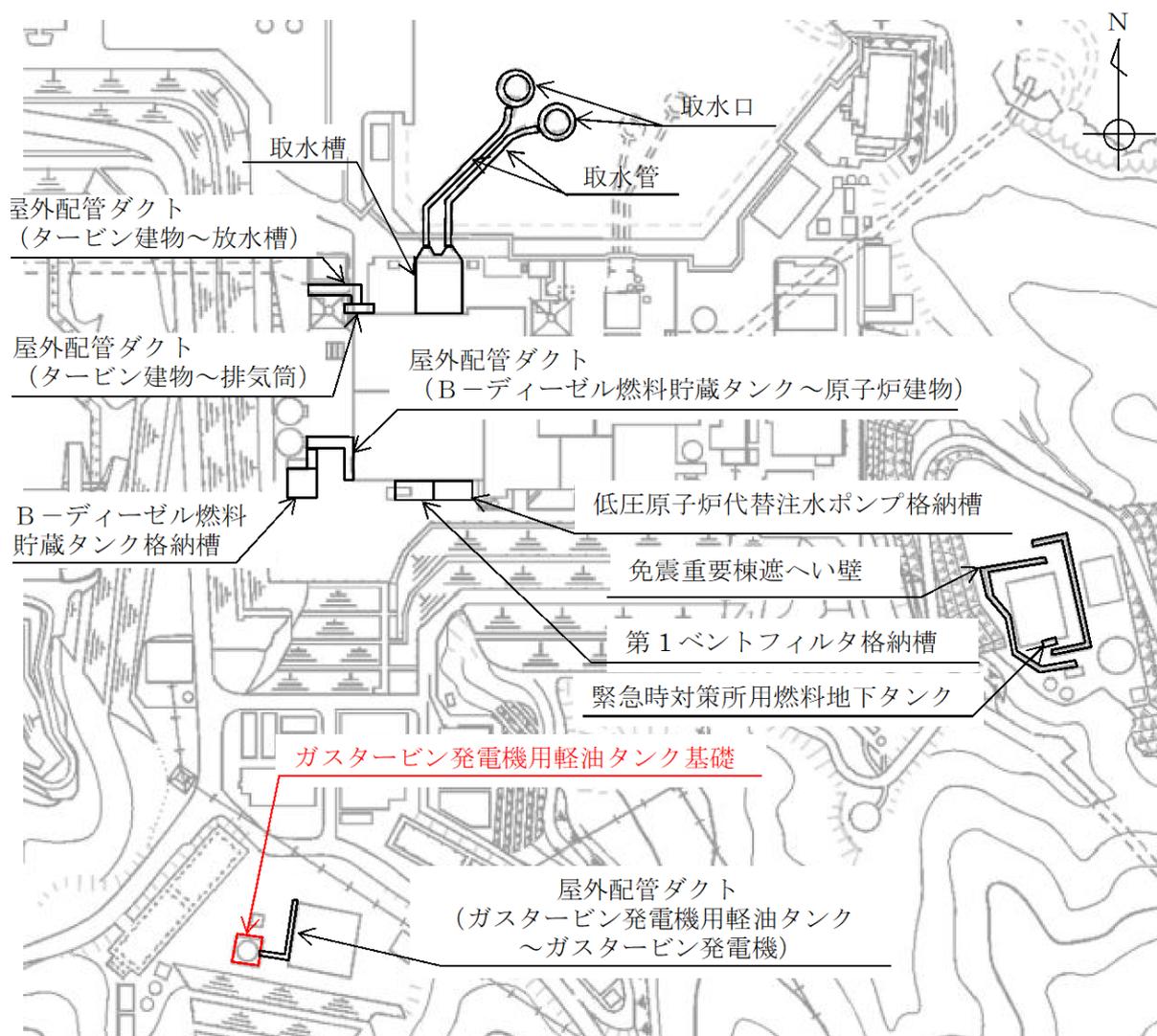


図 2-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 位置図

2.2 構造概要

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の平面図を図 2-2、断面図を図 2-3、概略配筋図を図 2-4 に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、内径 9.8m、容量 560m³のタンク 1 基を支持する平面寸法 18.0m×18.0m、厚さ 1.4m の鉄筋コンクリート造の構造物であり、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。

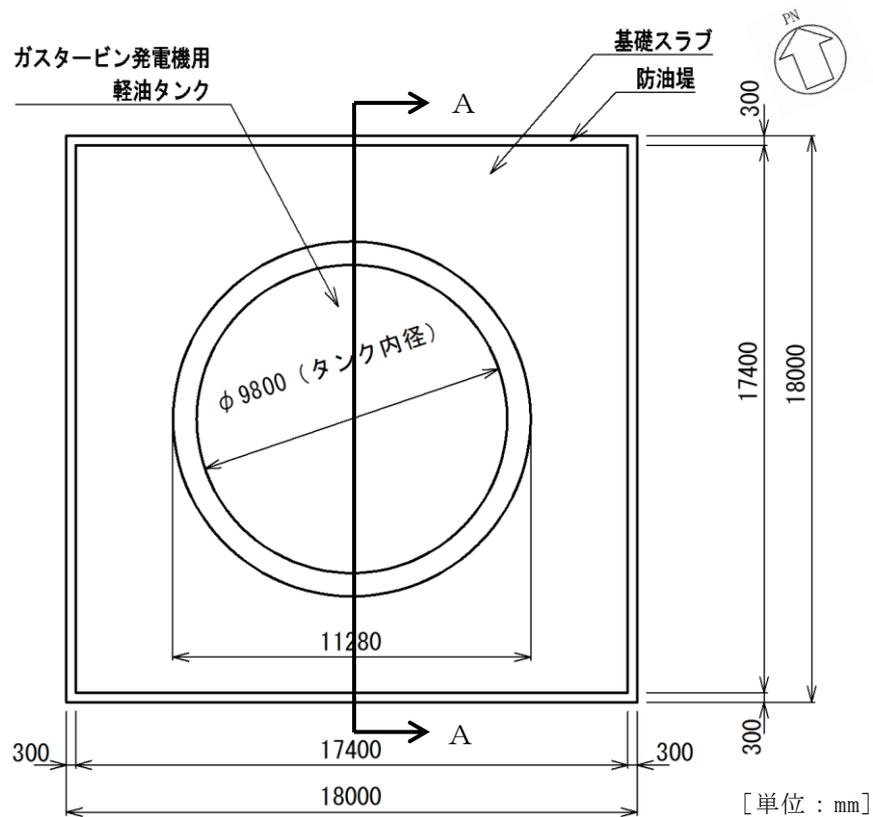


図 2-2 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 平面図

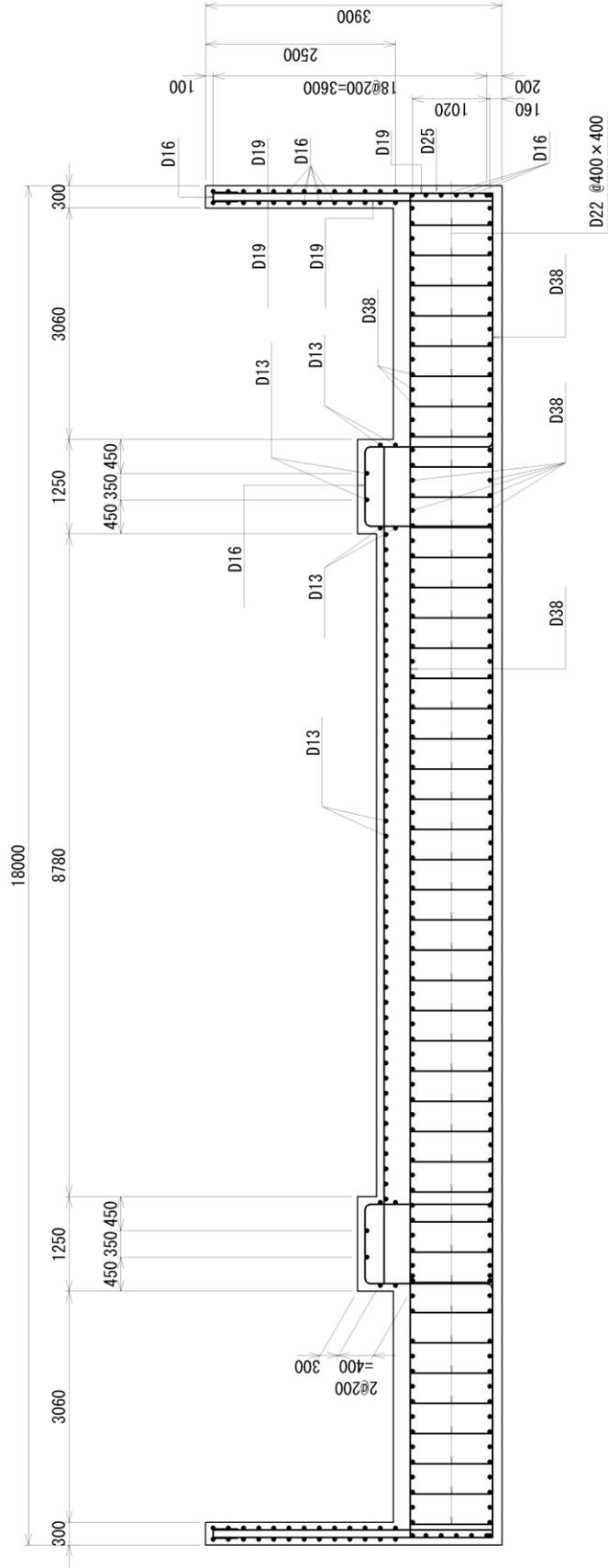


図 2-4 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 概略配筋図 (A-A 断面) [単位: mm]

2.3 評価方針

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、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。

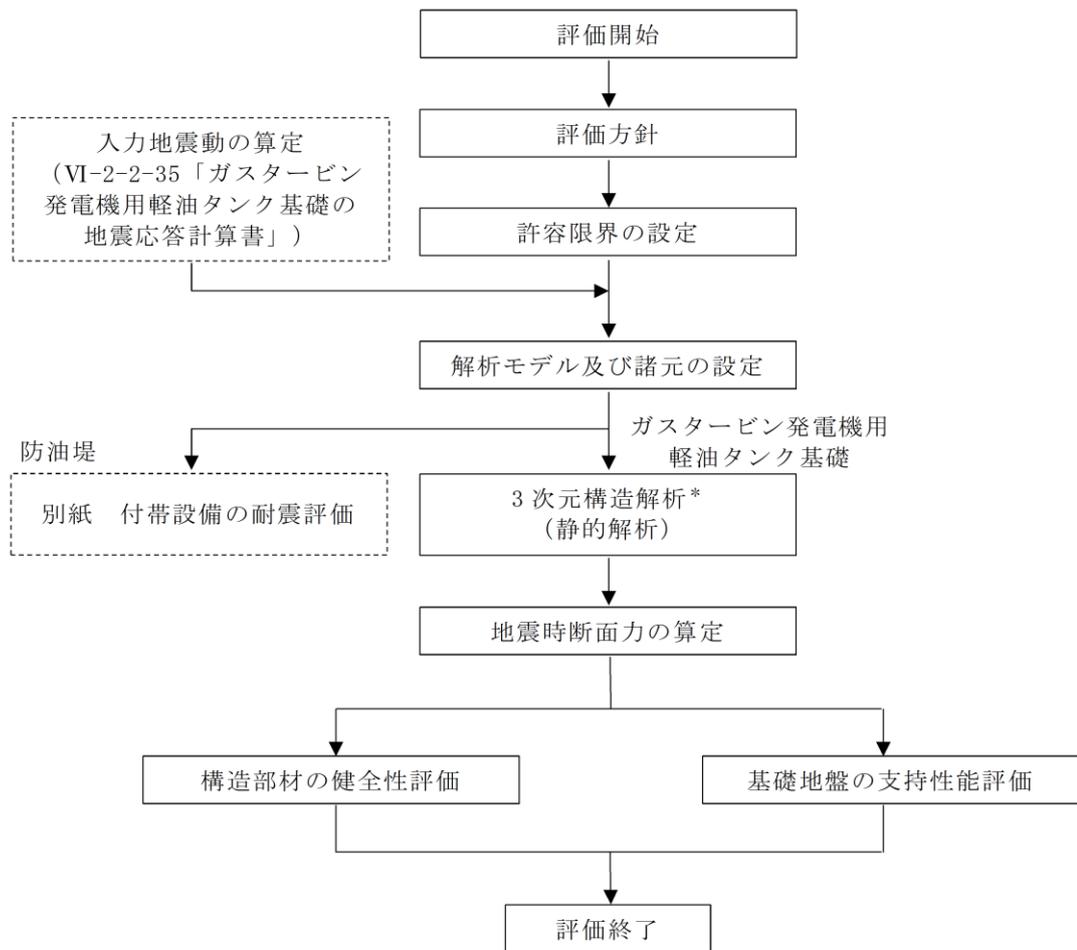
ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」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を確認する。

また、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の付帯設備のうち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るガスタービン発電機燃料配管等を間接支持する防油堤について、耐震評価を実施する。付帯設備（防油堤）の耐震評価については、別紙に示す。

構造部材の健全性評価については、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた水平方向及び鉛直方向の荷重を用いた 3 次元静的線形解析（線形シェル要素）により応答値を算定し、曲げ・軸力系の破壊に対しては照査用曲げモーメント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-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」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。



注記*：地盤物性のばらつきを考慮する。

図 2-5 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価フロー

表 2-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 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	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎	照査用曲げモーメント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	曲げ耐力*
				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*	

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

2.4 適用規格・基準等

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震性評価において適用する規格・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）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市観測第234号）
- ・Eの数値を算出する方法並びに V_0 及び風力係数の数値を定める件（平成12年5月31日建設省告示第1454号）

3. 耐震評価

3.1 地震時荷重算出断面

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震時荷重算定断面位置図を図3-1に示す。地震時荷重算出断面は、構造物の対称性からA-A断面とする。

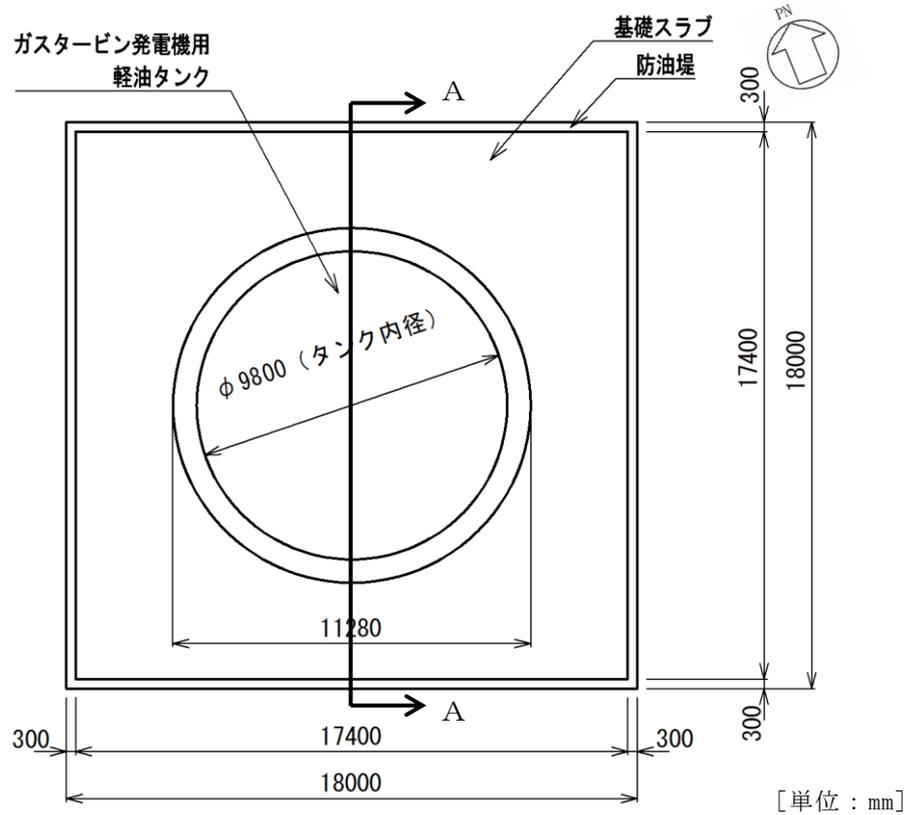


図3-1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎 地震時荷重算出断面位置図

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, 材料の物性値を表 3-2 に示す。

表 3-1 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 24N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-2 材料の物性値

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	2.50×10 ⁴
	ポアソン比	0.2

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 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎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

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の曲げ・軸力系の破壊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）（以下「コンクリート標準示方書」という。）に基づき、曲げ耐力とする。

(2) せん断破壊に対する許容限界

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎のせん断破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、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

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎周辺の岩級分布（A-A断面）を図3-2、基礎岩盤（C_L級）の極限支持力及びガスタービン発電機用軽油タンク基礎直下のMMRの支圧強度を表3-3に示す。

基礎岩盤（C_L級）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、基礎岩盤（C_L級）の極限支持力とする。

また、MMRについては、接地圧に対する許容限界をコンクリート標準示方書に基づくコンクリートの支圧強度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界は、基礎岩盤（C_L級）とMMRの許容限界を比較し、小さい値の基礎岩盤（C_L級）の許容限界を使用する。

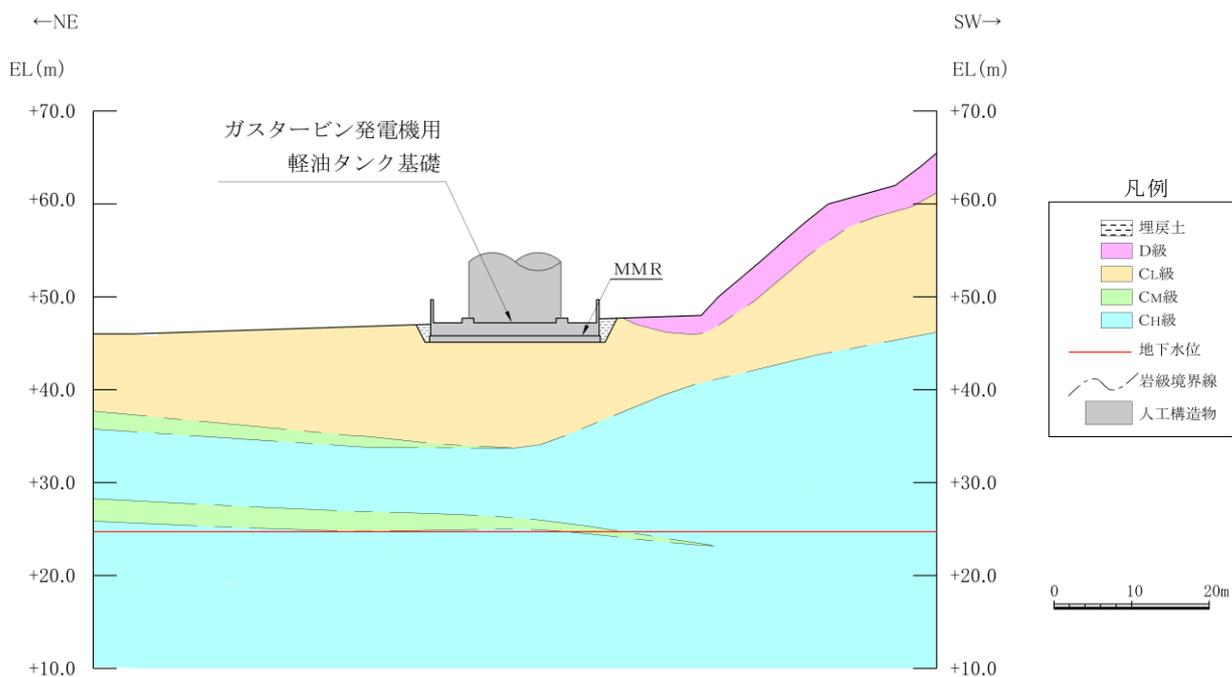


図 3-2 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎岩級分布図 (A-A断面)

表 3-3 基礎岩盤 (C_L級) の極限支持力及びMMRの支圧強度

評価項目	許容限界 (N/mm ²)	
基礎岩盤 (C _L 級)	極限支持力	3.9
MMR	支圧強度	18.0

3.4 評価方法

3.4.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性評価

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性評価においては、鉄筋コンクリート部材を線形シェル要素でモデル化し、3次元構造解析により水平2方向及び鉛直方向の荷重に対する評価を行う。3次元構造解析には、解析コード「NX NASTRAN」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3次元構造解析の入力荷重は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」の地震応答解析において、鉄筋コンクリート部材の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設定する。

3次元構造解析により算定した鉄筋コンクリート部材の照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が、「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。

(1) 解析モデル

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は、線形シェル要素でモデル化する。モデルの概念図を図3-3、要素分割図を図3-4に示す。

構造物の底面には、地盤ばねを配置する。地震時解析においては、表3-4に示す振動アドミッタンス理論に基づき求めた水平ばね及び鉛直ばねの地盤反力係数を用いる。

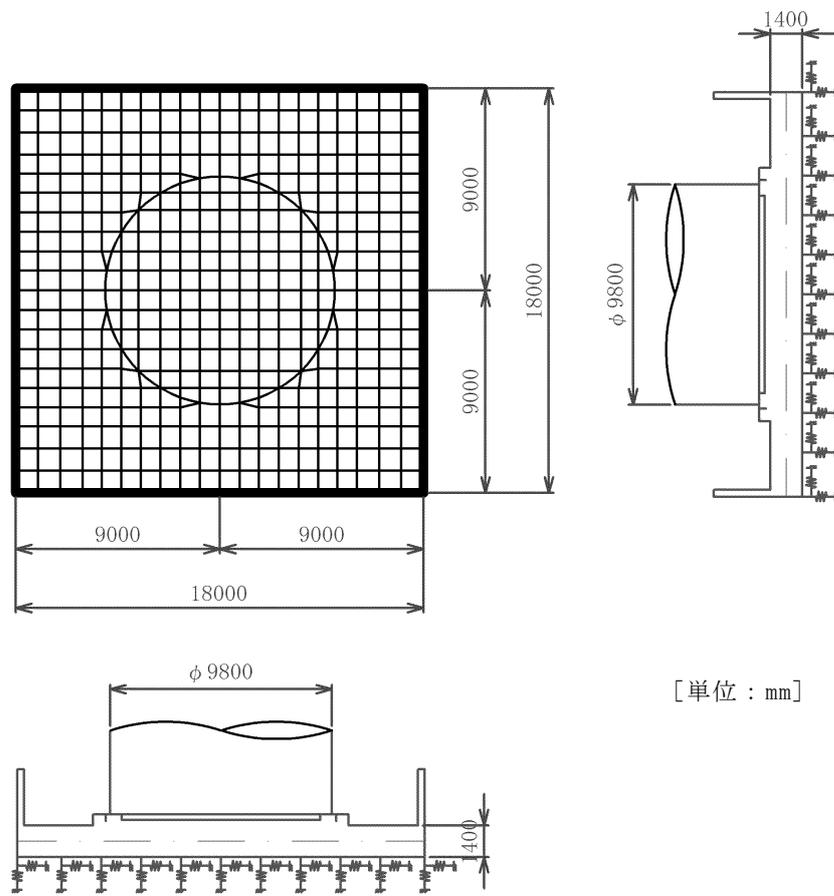


図 3-3 3次元構造解析モデル概念図

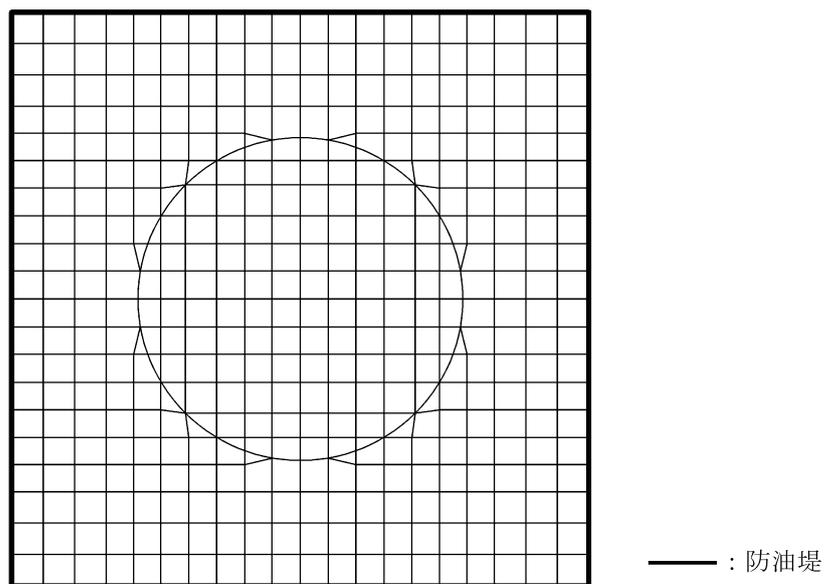


図 3-4 要素分割図

表 3-4 地盤反力係数

物性のばらつき	地盤反力係数 (kN/m ³)	
	水平ばね	鉛直ばね
平均値	3.506×10^5	1.115×10^6
平均値 + σ	4.960×10^5	1.580×10^6
平均値 - σ	2.290×10^5	7.268×10^5

(2) 照査時刻

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎はガスタービン発電機用軽油タンクを間接支持する構造物であり、その耐震評価にはガスタービン発電機用軽油タンクからの外力が支配的である。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の照査時刻は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」における地震応答解析の全解析ケース（ケース①～ケース③）について、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎頂版部の曲げモーメントが最大となる時刻とする。

(3) 入力荷重

3次元構造解析の入力荷重は、設計値及びVI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析に基づく「(2) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表 3-5 に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎は平面形状が正方形のため、水平2方向及び鉛直方向の荷重を使用する。水平1方向目は、「(2) 照査時刻」で選定した照査時刻における地震動の応答値を使用する。水平2方向目は、水平1方向目の地震動と直交する地震動（直交する地震動を設定していない場合は同一の地震動）の同時刻における応答値を使用する。鉛直方向は、地震動（鉛直成分）の同時刻における応答値を使用する。

なお、方向性を持たない地震動を水平1方向目とする場合には、保守的に、水平2方向目に同一の地震動を使用する。

表 3-5 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の耐震評価における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時 荷重	固定荷重	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎自重, 機器荷重
	積載荷重	積雪荷重, 風荷重
地震時 荷重	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎に作用する慣性力* ¹ , 地震時機器荷重* ²	

注記*1: 「(2) 照査時刻」で選定した照査時刻における応答加速度から算定する。

*2: 地震応答解析から機器を支持する位置で求められた断面力に基づき算定する。

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、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」に基づく地震応答解析により算定した基礎地盤に発生する接地圧が、「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。

4. ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震時応答

水平2方向及び鉛直方向の荷重による3次元構造解析に基づくガスタービン発電機用軽油タンク基礎の曲げ・軸力照査における最大照査値での断面力分布を図4-1及び図4-2に、せん断力照査における最大照査値での断面力分布を図4-3に示す。

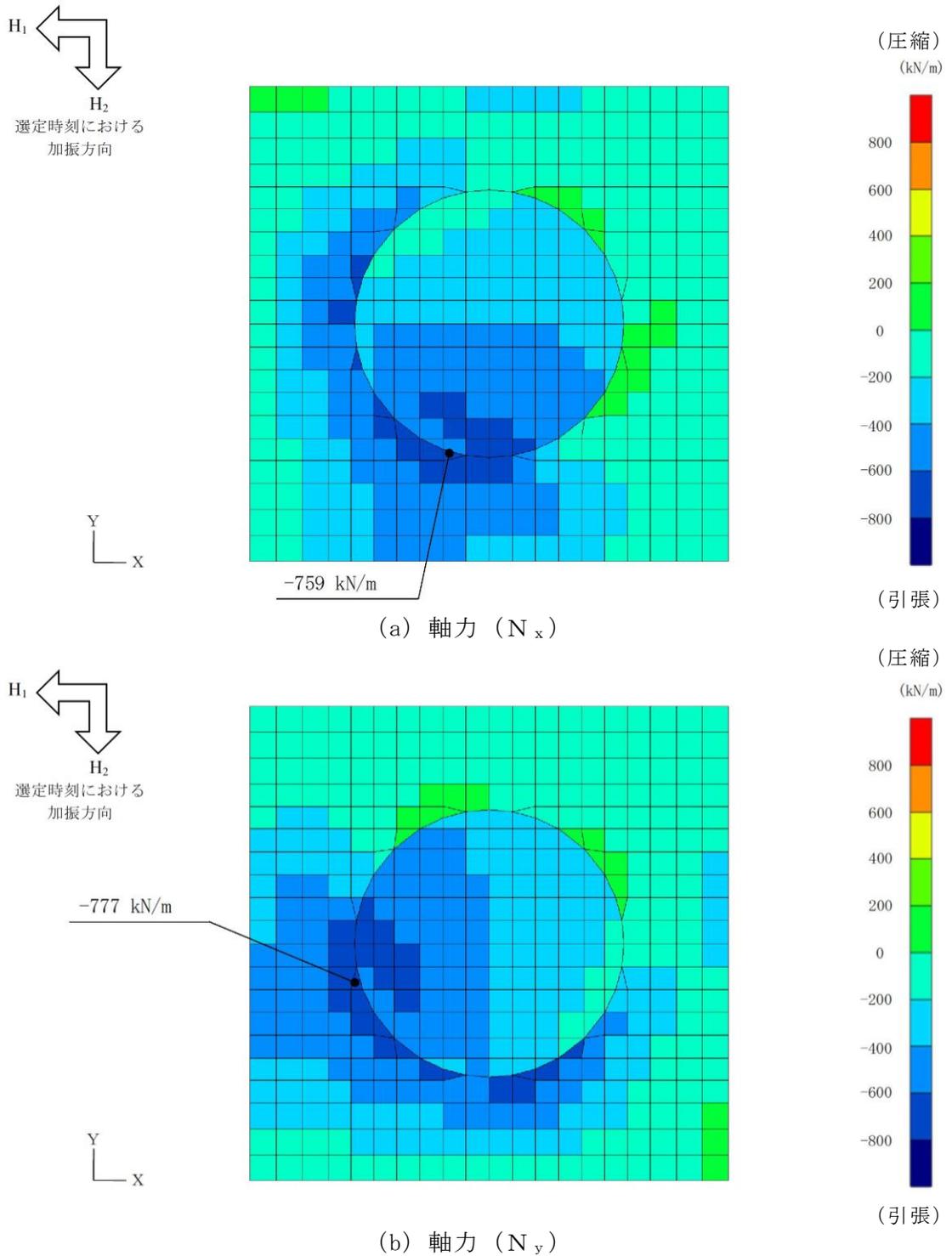
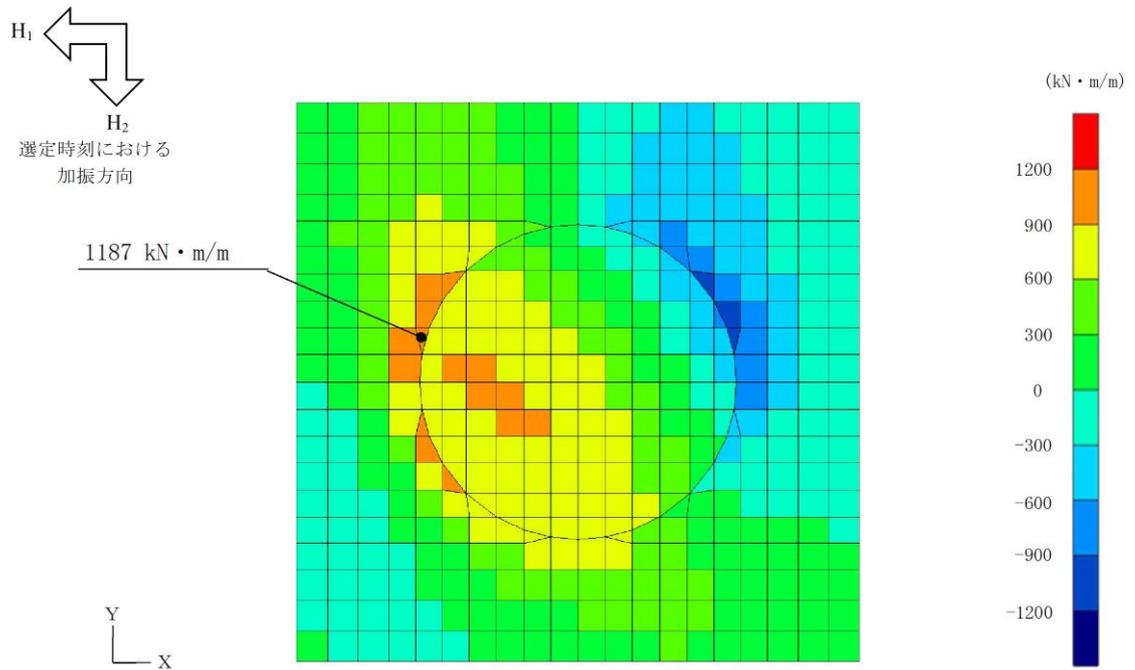
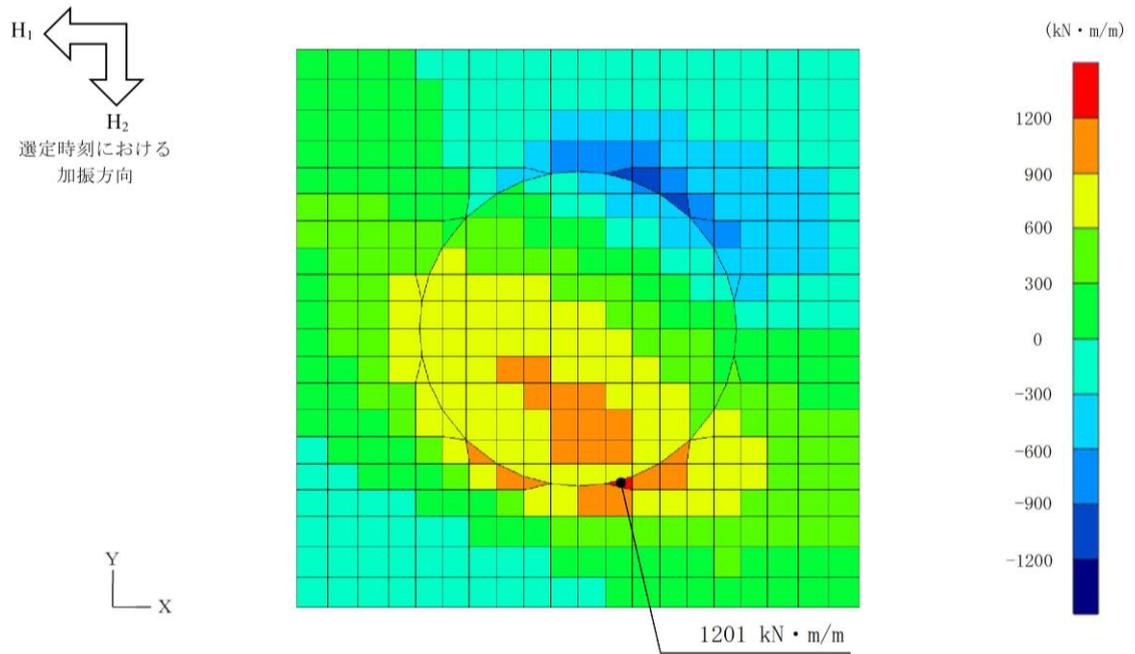


図4-1 曲げ・軸力系の破壊に対する断面力分布図
(解析ケース③, $S_s - D$, $t = 15.268s$)

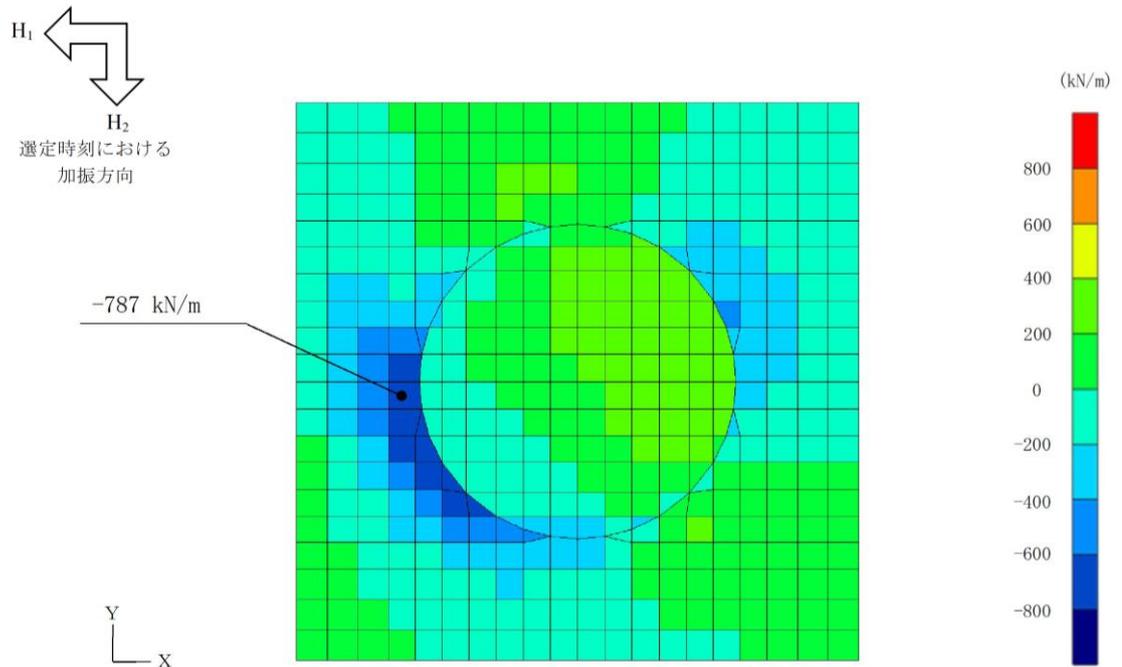


(a) 曲げモーメント (M_x)

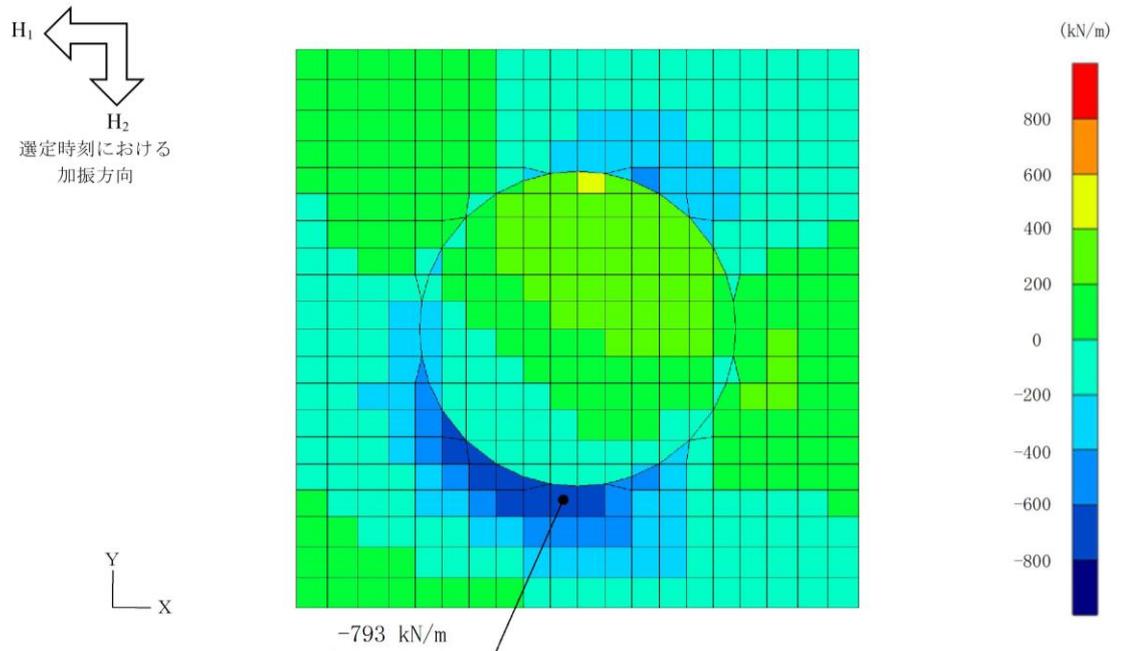


(b) 曲げモーメント (M_y)

図 4-2 曲げ・軸力系の破壊に対する断面力分布図
 (解析ケース③, $S_s - D$, $t = 15.268s$)



(a) せん断力 (Q_x)



(b) せん断力 (Q_y)

図 4-3 せん断破壊に対するせん断力分布図
 (解析ケース③, $S_s - D$, $t = 15.268s$)

5. 耐震評価結果

5.1 ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の健全性に対する評価結果

水平2方向及び鉛直方向の荷重によるガスタービン発電機用軽油タンク基礎の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表5-1に、せん断破壊に対する最大照査値を表5-2に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の照査用曲げモーメント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5-1 曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動*	時刻	照査用曲げモーメント M_d (kN・m)	曲げ耐力 M_u (kN・m)	照査値 M_d/M_u
③	S s - D	15.268s	1201	2329	0.52

注記*：水平2方向目：S s - D，鉛直方向：S s - D (UD)

表5-2 せん断破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動*	時刻	照査用せん断力 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{y d}$
③	S s - D	15.268s	793	1245	0.64

注記*：水平2方向目：S s - D，鉛直方向：S s - D (UD)

5.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

水平2方向及び鉛直方向の荷重による基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表5-3に示す。また、最大照査値発生位置を図5-1に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の基礎地盤に発生する最大接地圧が、極限支持力を下回ることを確認した。

表5-3 基礎地盤の支持性能に対する照査結果

解析 ケース	地震動*	時刻	最大接地圧 R_d (N/mm ²)	極限支持力 R_u (N/mm ²)	照査値 R_d/R_u
③	S s - D	15.268s	0.42	3.9	0.11

注記*：水平2方向目：S s - D，鉛直方向：S s - D (UD)

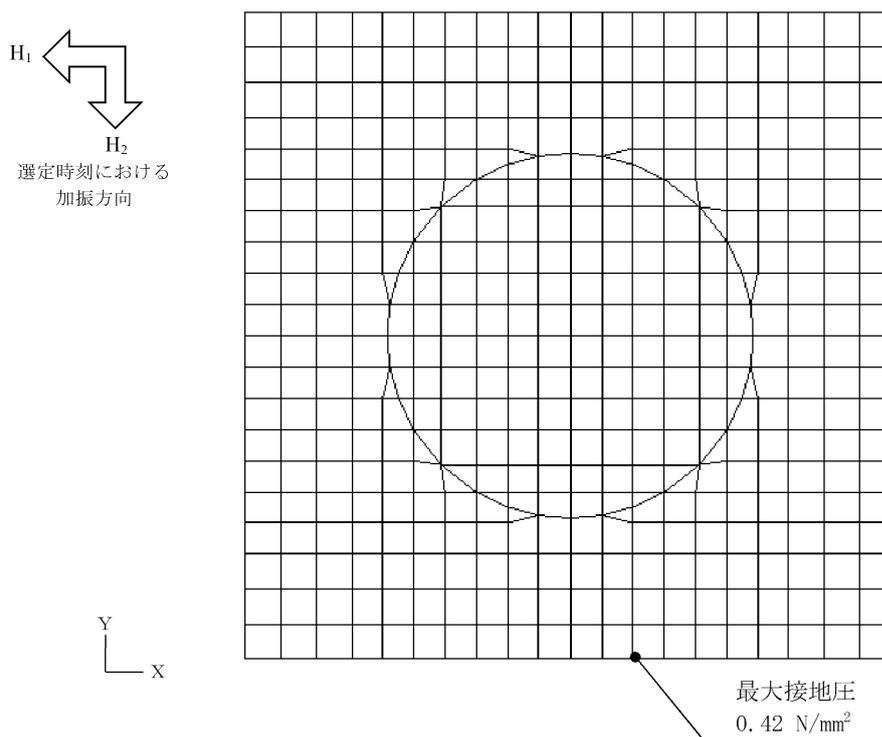


図5-1 最大照査値発生位置図（解析ケース③，S s - D，t=15.268s）

別紙 付帯設備の耐震評価

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	1
2.1 構造概要	1
2.2 評価方針	2
3. 耐震評価	4
3.1 評価対象断面	4
3.2 解析モデル	6
3.3 材料特性	7
3.4 照査用震度	8
3.5 入力荷重	8
3.6 許容限界	9
4. 耐震評価結果	10
4.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果	10
4.2 せん断破壊に対する評価結果	10

1. 概要

本資料は、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の付帯設備のうち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るガスタービン発電機燃料配管等を間接支持する防油堤が、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。

ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の付帯設備に要求される機能の維持を確認するにあたっては、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、片持ち梁の理論式による構造部材の健全性評価を実施する。

2. 基本方針

2.1 構造概要

評価対象とする防油堤の配置図を図 2-1、断面図を図 2-2 に示す。

防油堤は幅 0.3m、高さ 2.5m の鉄筋コンクリート造で、ガスタービン発電機用軽油タンク基礎を取り囲むように設置されている。

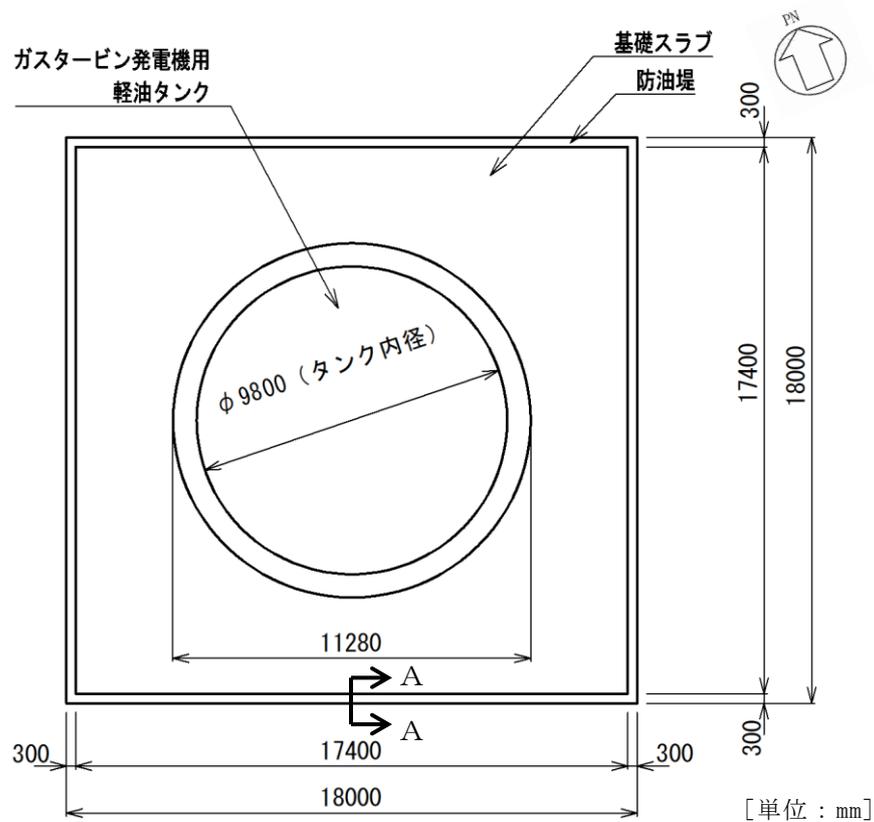


図 2-1 防油堤 配置図

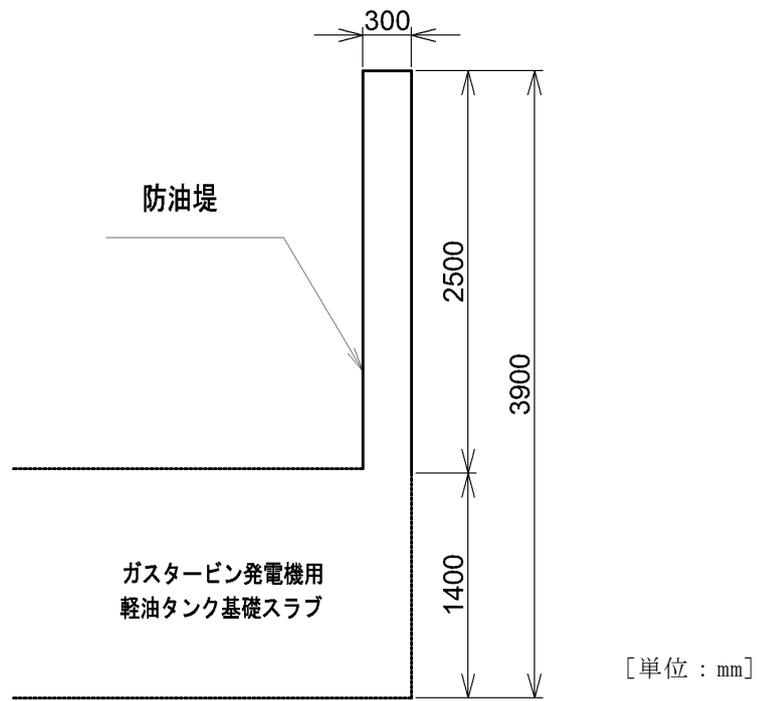


図 2-2 防油堤 断面図 (A-A 断面)

2.2 評価方針

付帯設備の耐震評価フローを図 2-3 に示す。

付帯設備の耐震評価は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」より得られた地震応答解析の結果に基づき、片持ち梁の理論式により断面力を算定し、鉄筋コンクリート部材の照査用曲げモーメント及び照査用せん断力が表 2-1 に示す許容限界以下であることを確認する。

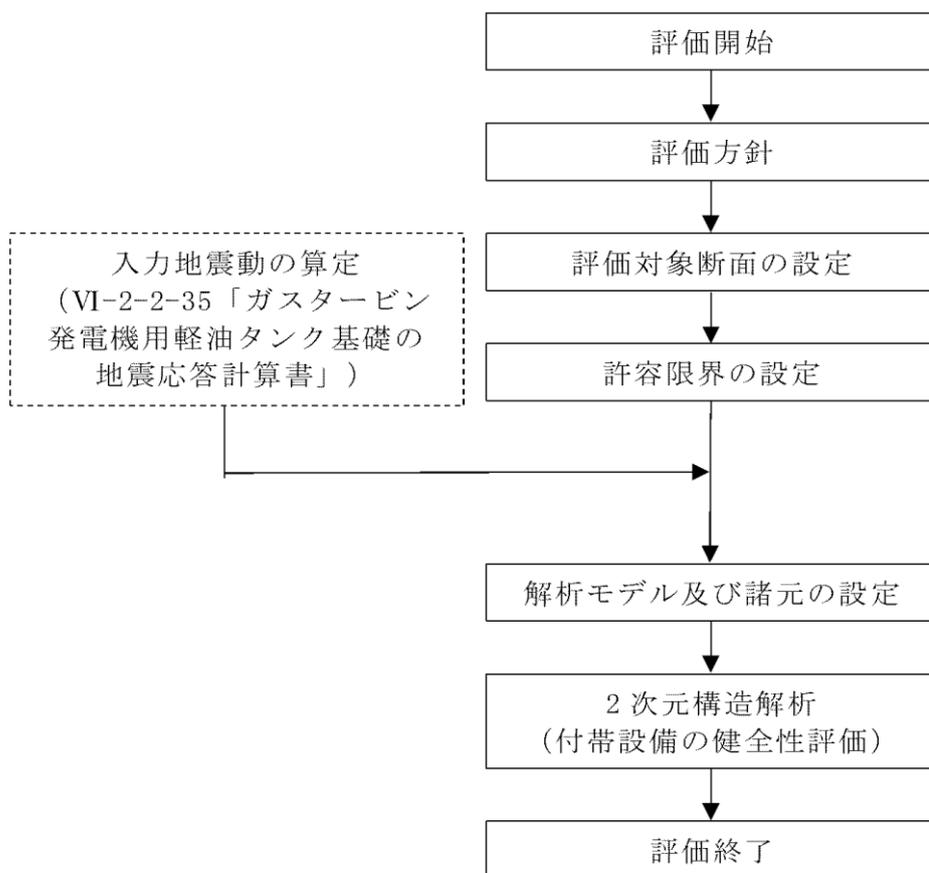


図 2-3 付帯設備の耐震評価フロー

表 2-1 付帯設備 評価項目

付帯設備	評価項目	評価方法	許容限界	
防油堤	構造部材の健全性	照査用曲げモーメント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	曲げ耐力*
			せん断力	せん断耐力*

注記*： 妥当な安全余裕を考慮する。

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

防油堤の評価対象断面位置図を図 3-1、概略配筋図を図 3-2 に示す。

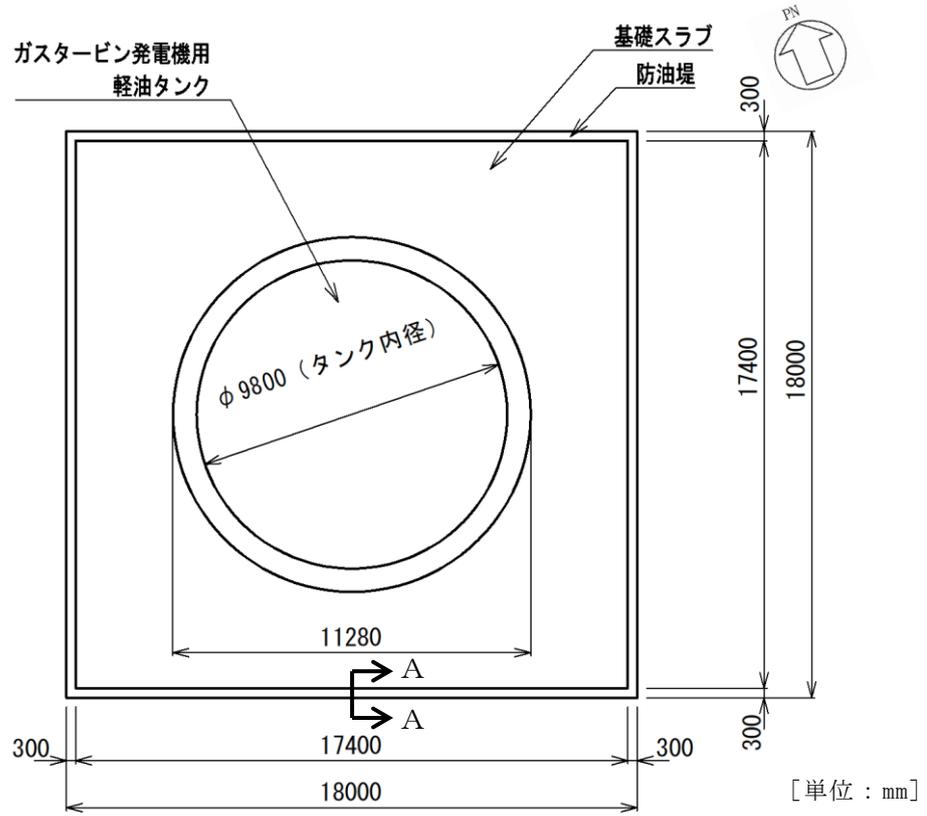
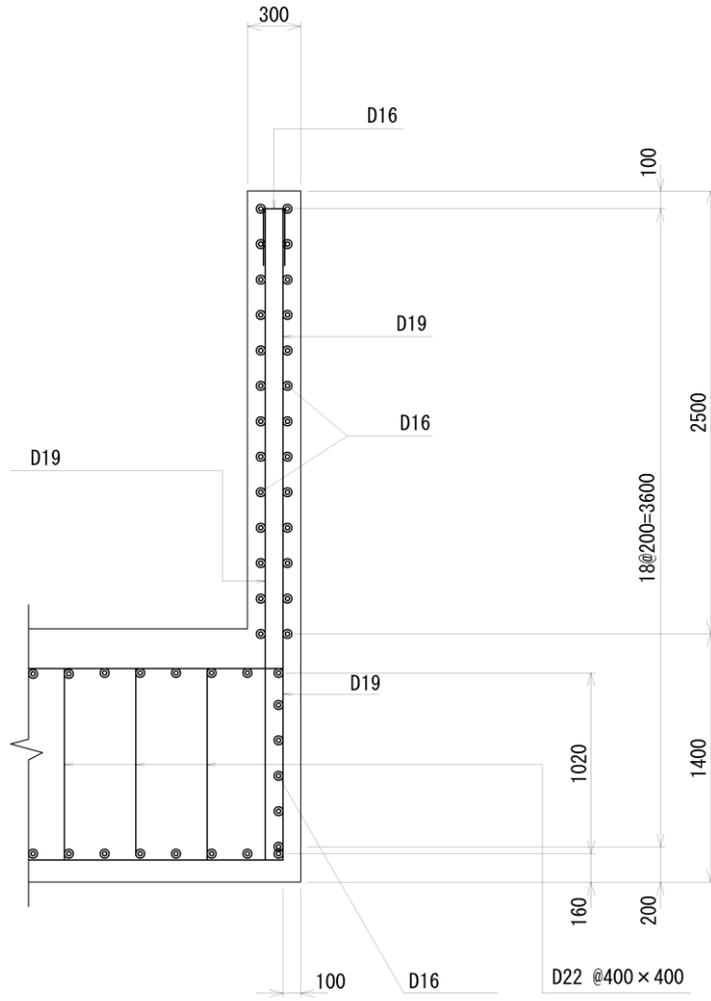


図 3-1 防油堤 評価断面位置図



[单位：mm]

图 3-2 防油堤 概略配筋图 (A-A 断面)

3.2 解析モデル

防油堤の解析モデルを図 3-3 に示す。防油堤は片持ち梁でモデル化し、図 3-4 に示す理論式により断面力を算定する。

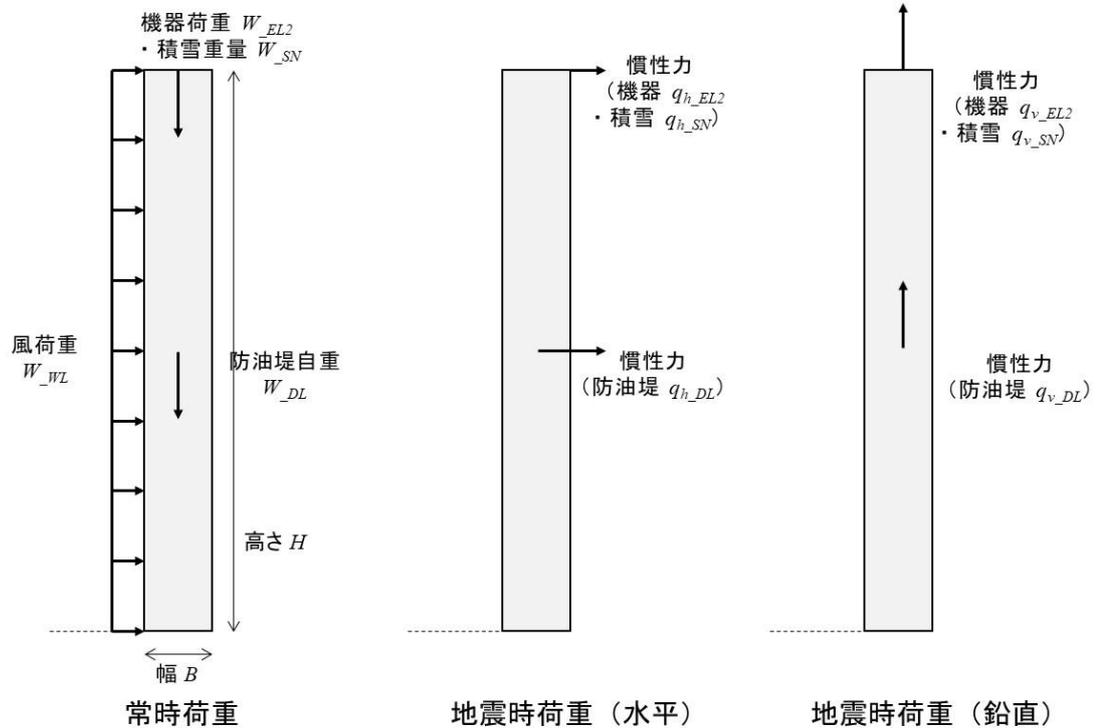


図 3-3 防油堤の解析モデル

曲げモーメント (地震時)

$$: M = q_{h_DL} \times 1/2 \times H + (q_{h_EL2} + q_{h_SN}) \times H + W_{WL} \times H^2 \times 1/2$$

せん断力 (地震時)

$$: Q_E = q_{h_DL} + q_{h_EL2} + q_{h_SN} + W_{WL} \times H$$

軸力 (地震時, 鉛直震度 K_v : 上向き)

$$: N = (W_{DL} + W_{EL2} + W_{SN}) - (q_{v_DL} + q_{v_EL2} + q_{v_SN})$$

ただし,

$$q_{h_DL} = K_h \times W_{DL}$$

$$q_{h_EL2} = K_h \times W_{EL2}$$

$$q_{h_SN} = K_h \times W_{SN}$$

$$q_{v_DL} = K_v \times W_{DL}$$

$$q_{v_EL2} = K_v \times W_{EL2}$$

$$q_{v_SN} = K_v \times W_{SN}$$

図 3-4 断面力算定の理論式

3.3 材料特性

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
コンクリート	設計基準強度 24N/mm ²
鉄筋	SD345

表 3-2 材料の物性値

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m ³)	24.0
コンクリート	ヤング係数 (N/mm ²)	2.50×10 ⁴
	ポアソン比	0.2

3.4 照査用震度

防油堤の照査用水平震度は、VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」における地震応答解析の全解析ケース（ケース①～ケース③）から、防油堤における最大応答加速度（水平方向）を用いて算定する。

照査用鉛直震度は、水平震度の算定に用いた最大応答加速度（水平方向）と同時刻の防油堤における最大応答加速度（鉛直方向）を用いて算定する。

照査用震度を表 3-3 に示す。

表 3-3 照査用震度の設定

解析 ケース	地震動*1	時刻	照査用震度	
			水平震度 K_h	鉛直震度 K_v *2
③	S s - D	11.155s	2.40	-0.03

注記*1：鉛直方向：S s - D（UD）

*2：鉛直震度は正の値が鉛直上向き、負の値が鉛直下向きを表す。

3.5 入力荷重

防油堤の耐震評価における入力荷重を表 3-4 に示す。防油堤の入力荷重は、「3.4 照査用震度」で設定した照査用震度、固定荷重、積載荷重を用いて算定する。

なお、積載荷重にはVI-1-1-3-1-1「発電用原子炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に基づく積雪荷重及び風荷重を考慮する。

表 3-4 防油堤の耐震評価における入力荷重

区分	種別	考慮する荷重
常時 荷重	固定荷重	防油堤自重、機器荷重
	積載荷重	積雪荷重、風荷重
地震時 荷重	慣性力	防油堤に作用する慣性力

3.6 許容限界

(1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

防油堤の曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、曲げ耐力とする。

(2) せん断破壊に対する許容限界

防油堤のせん断破壊に対する許容限界は、コンクリート標準示方書に基づき、コンクリートのせん断耐力とする。

4. 耐震評価結果

4.1 曲げ・軸力系の破壊に対する評価結果

防油堤の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査値を表 4-1 に示す。

防油堤の照査用曲げモーメント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

解析 ケース	地震動*	時刻	照査用曲げモーメント M (kN・m)	曲げ耐力 M _u (kN・m)	照査値 M/M _u
③	S s - D	11.155s	58	99	0.59

注記*：鉛直方向：S s - D (UD)

4.2 せん断破壊に対する評価結果

防油堤のせん断破壊に対する最大照査値を表 4-2 に示す。

防油堤の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 4-2 せん断破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動*	時刻	照査用せん断力 V _d (kN)	せん断耐力 V _{y d} (kN)	照査値 V _d /V _{y d}
③	S s - D	11.155s	46	111	0.42

注記*：鉛直方向：S s - D (UD)

VI-2-4 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性に関する説明書

VI-2-4-1 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

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

2. 耐震評価条件整理

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

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

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/3)

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

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/3)

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

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/3)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
核 燃料 物質 の 取 扱 施 設 及 び 貯 蔵 施 設	そ の 他	燃料プール監視 カメラ (SA)	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-4-1
		燃料プール監視 カメラ用冷却設備	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	VI-2-4-4-2

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

*2：本工事計画で新規に申請する設備であることから，差異比較の対象外

VI-2-4-2 使用済燃料貯蔵設備の耐震性についての計算書

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

目 次

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

1. 概要

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

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

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

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

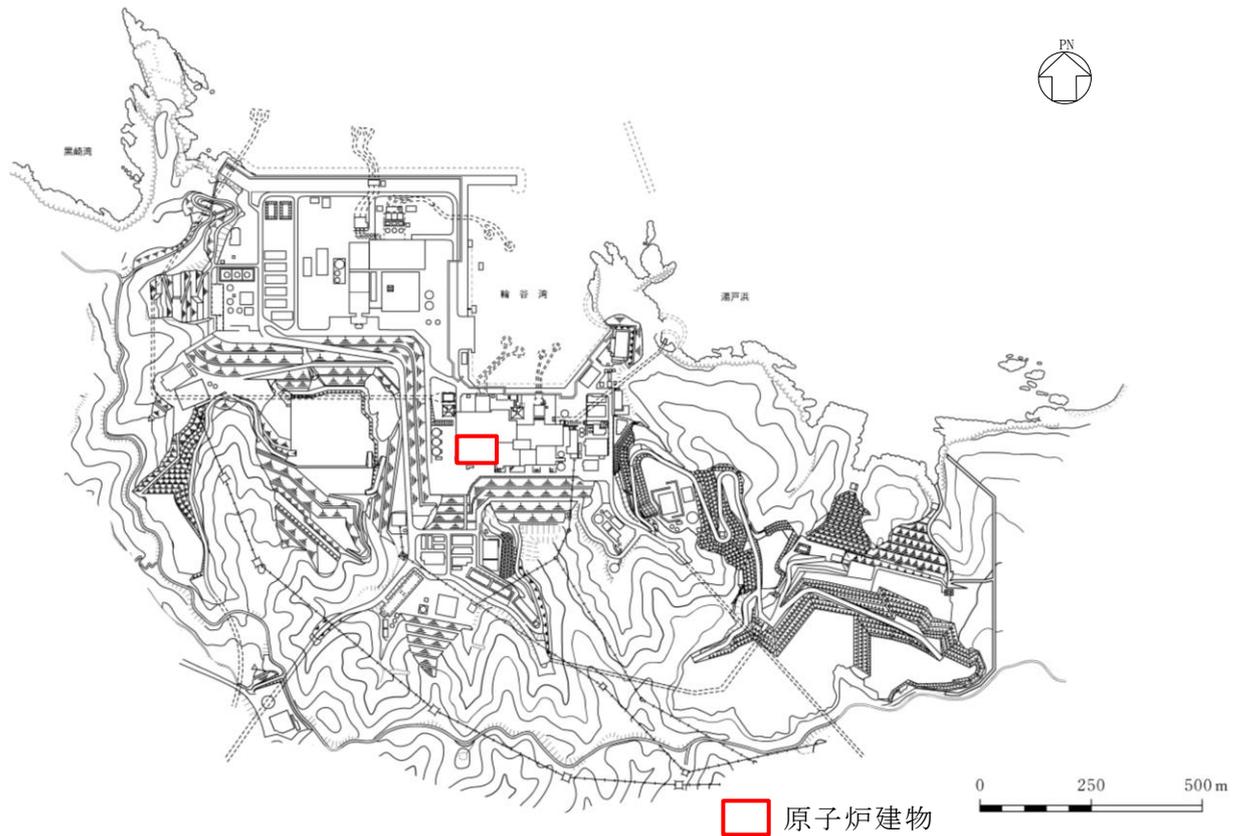


図2-1 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の設置位置

2.2 構造概要

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

燃料プール内には、収容される機器の遮蔽及び冷却のため常時水が張られている。

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

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

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

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

注記*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

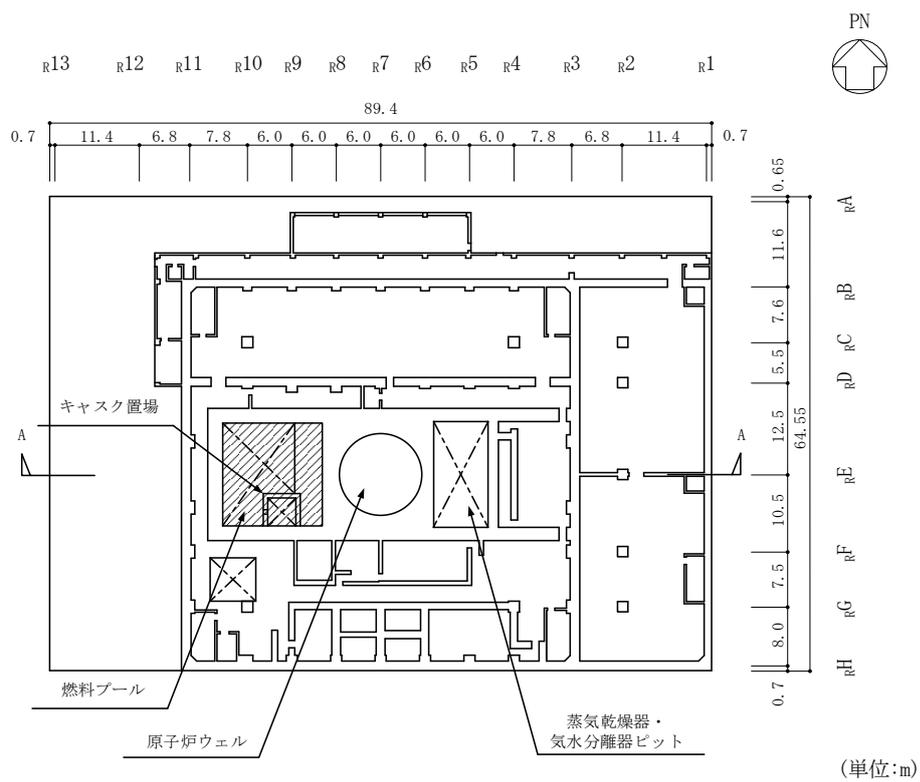


図 2-2 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図
(EL 34.8m)

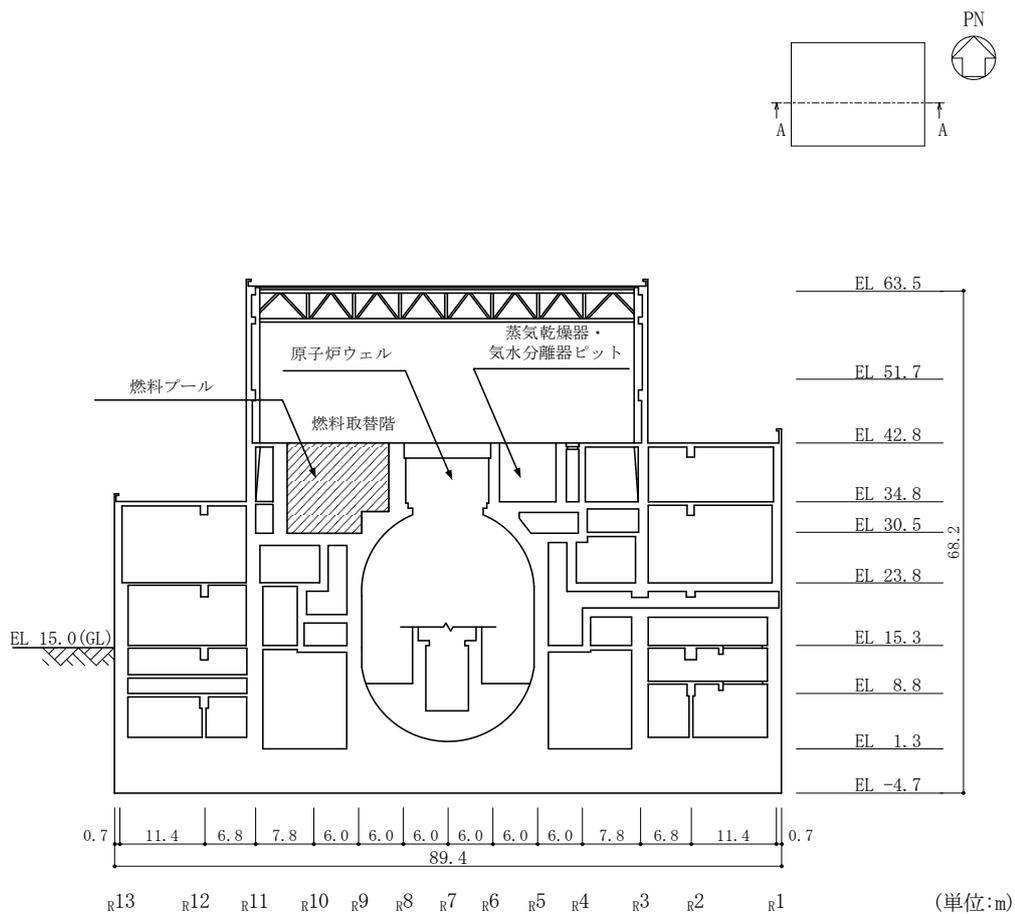
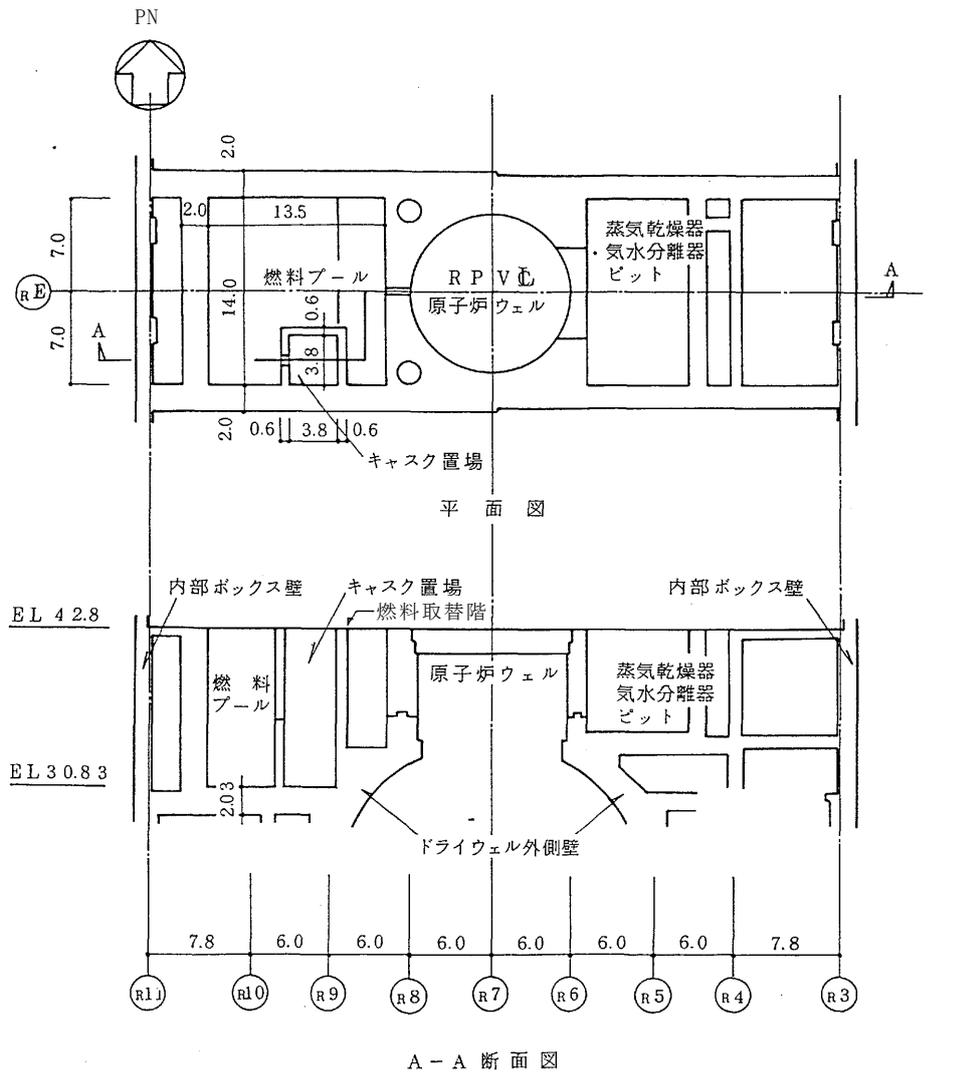


図 2-3 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略断面図 (A-A 断面)



(単位:m)

図 2-4 燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図及び概略断面図

2.3 評価方針

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

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

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

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

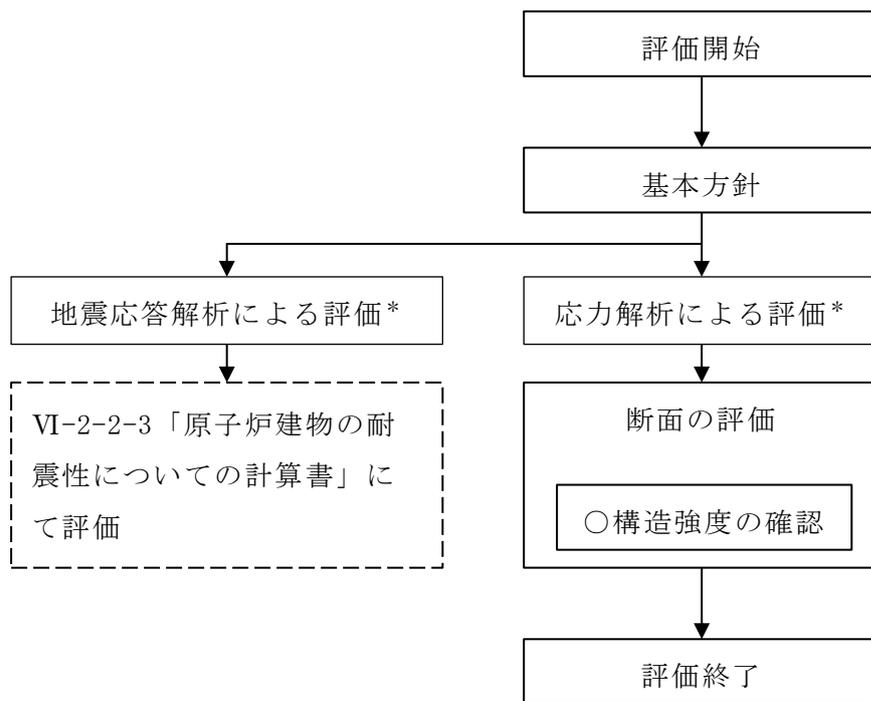
また、燃料プールの重大事故等対処施設としての評価においては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、 S_s 地震時に対する評価を行う。

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

燃料プール及びキャスク置場の評価フローを図2-5に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

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



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

図 2-5 燃料プール及びキャスク置場の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

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

3. 応力解析による評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

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

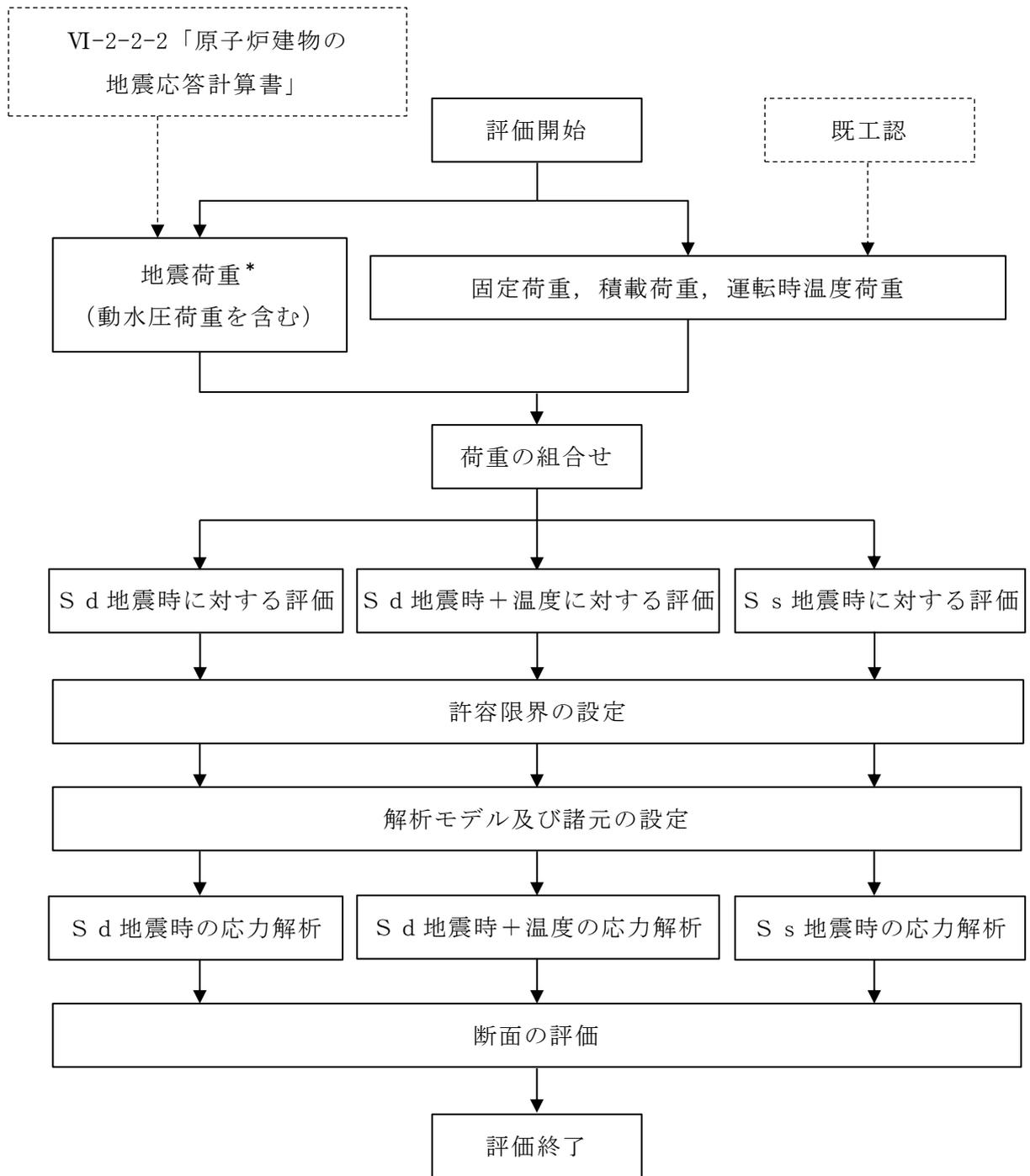
S_d地震時及びS_s地震時の荷重の組合せに対しては、以下の(1)及び(2)の方針に基づき断面の評価を行う。また、応力解析による評価フローを図3-1に示す。

(1) S_d地震時に対する評価

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

(2) S_s地震時に対する評価

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



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 3-1 応力解析による評価フロー

3.2 荷重及び荷重の組合せ

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

3.2.1 荷重

(1) 固定荷重、積載荷重及び運転時温度荷重

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

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

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

表 3-1 運転時内外表面温度

(単位：℃)

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

(2) 地震荷重

a. S_d 地震荷重

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

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

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

S_d 地震荷重を表 3-2～表 3-4 に示す。

b. S_s 地震荷重

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

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

S_s 地震荷重を表 3-5～表 3-7 に示す。

表 3-2 S d 地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

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

(b) E W 方向

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

表 3-3 S d 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

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

(b) E W 方向

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

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

表 3-4 S d 地震荷重 (鉛直震度)

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

表 3-5 S s 地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

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

(b) E W 方向

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

表 3-6 S s 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

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

(b) E W 方向

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

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

表 3-7 S s 地震荷重 (鉛直震度)

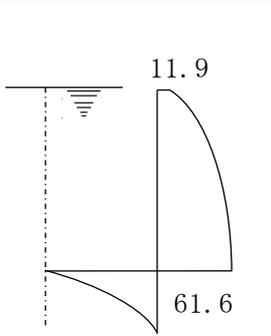
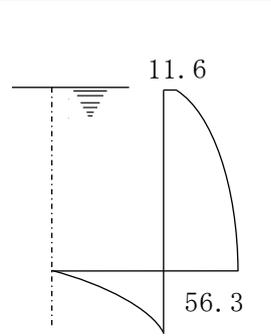
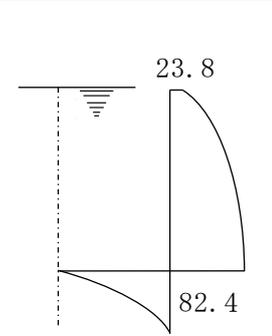
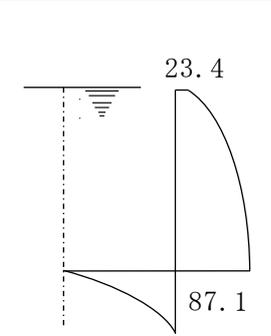
EL (m)	鉛直震度
	S s
42.8 34.8	1.28
34.8 30.5	1.15

c. 地震時動水圧荷重

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

表 3-8 地震時動水圧荷重

(単位：kN/m²)

S d 地震時動水圧荷重*1		S s 地震時動水圧荷重*2	
N S 方向	E W 方向	N S 方向	E W 方向
			

注記*1：S d 地震荷重と同時に作用するものとする。

*2：S s 地震荷重と同時に作用するものとする。

3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-9 に示す。

表 3-9 荷重の組合せ

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

注記*：運転時温度荷重がない場合も考慮する。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- T : 運転時温度荷重
- S_d, S_s : 地震荷重 (地震時動水圧荷重を含む)

3.3 許容限界

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

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

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

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

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

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

表 3-12 コンクリートの許容応力度

(単位：N/mm²)

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

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

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

*3：軸力の検討に用いる許容圧縮応力度を示す。

表 3-13 鉄筋の許容応力度

(単位：N/mm²)

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

表 3-14 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

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

3.4 解析モデル及び諸元

3.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

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

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

(2) 使用要素

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

解析モデルの節点数は587、要素数は570である。

(3) 境界条件

a. 水平地震力作用時及び温度荷重時以外

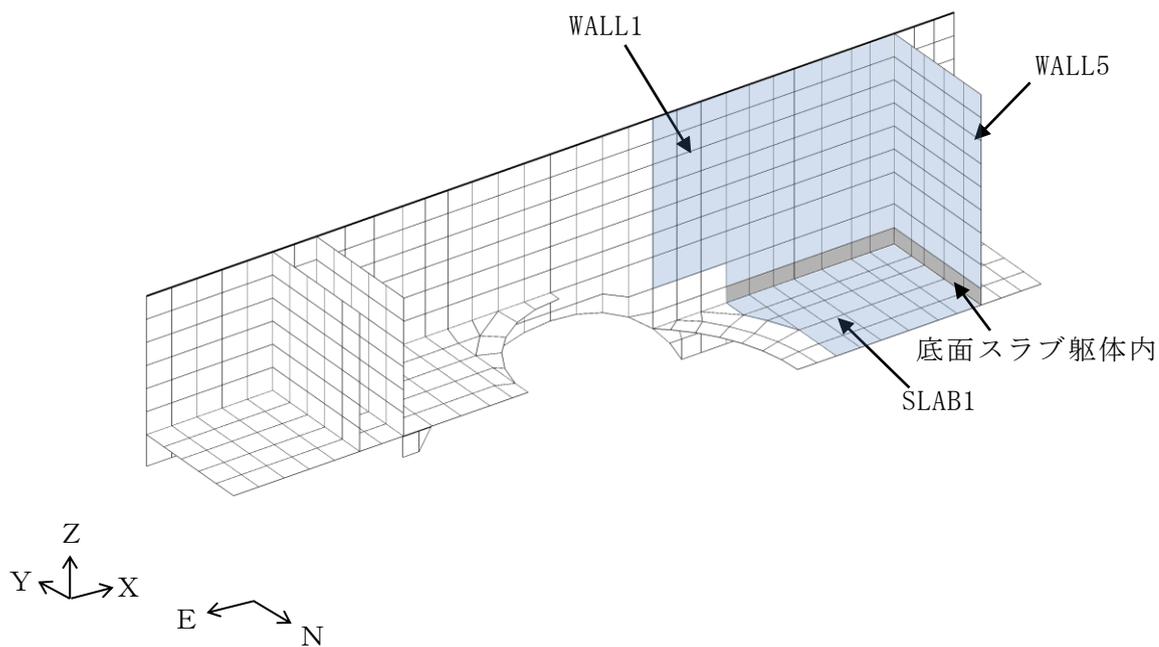
応力解析モデルのドライウェル外側壁との接続部について鉛直方向変位及び回転を拘束し、内部ボックス壁下端について鉛直方向変位を拘束する。

b. 水平地震力作用時

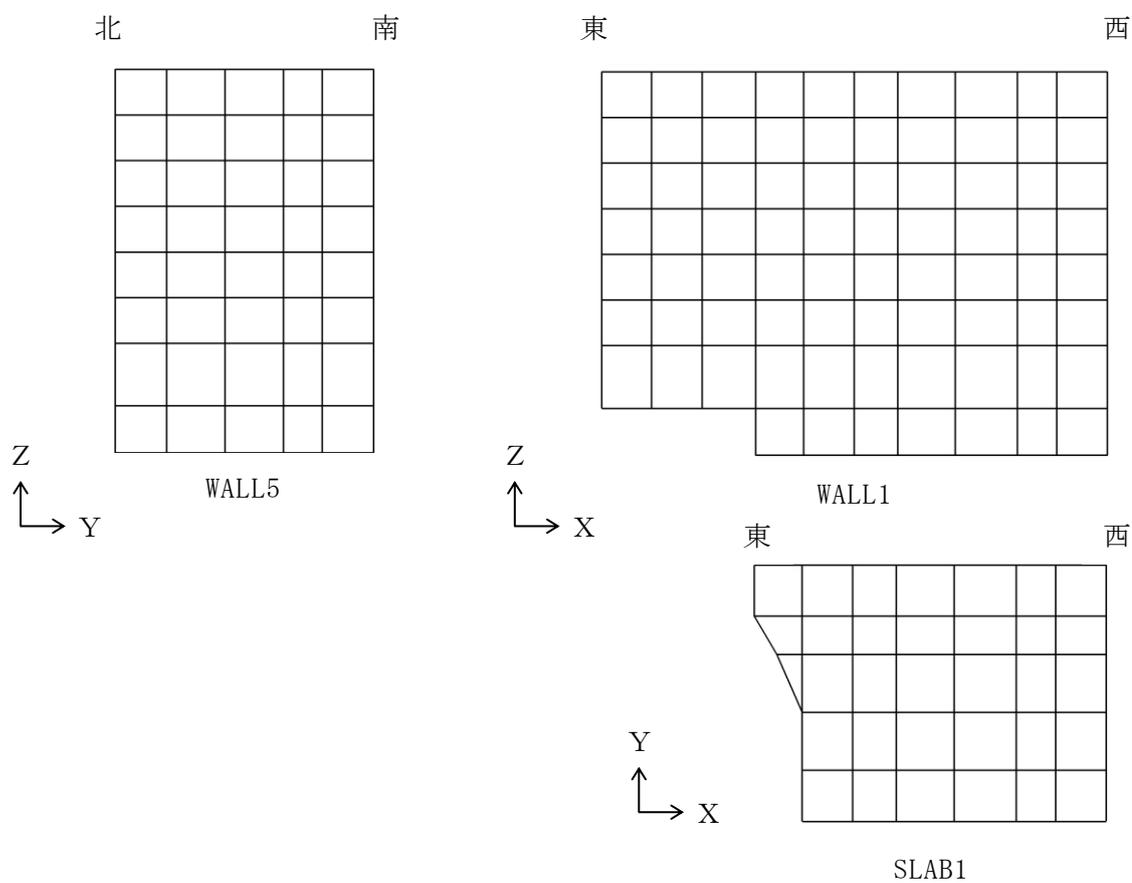
応力解析モデルのドライウェル外側壁との接続部を固定とし、内部ボックス壁端部にはプール部と周辺構造物との間で生じる荷重の伝達を考慮し、鉛直方向の外力を与える。

c. 温度荷重時

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



(a) 全体鳥瞰図



(b) 燃料プール要素分割図

図 3-2 解析モデル概要図

3.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 3-15 及び表 3-16 に示す。

表 3-15 コンクリートの物性値

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

表 3-16 鉄筋の物性値

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

3.5 評価方法

3.5.1 応力解析方法

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

(1) 荷重ケース

それぞれの外力の状態の応力は、次の荷重による応力を組み合わせて求める。

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

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3-17 に示す。

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

表 3-17(1) 荷重の組合せケース

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

注：[]は応力状態 2 に対する荷重を示す。

表 3-17(2) 荷重の組合せケース

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

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

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

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

b. 運転時温度荷重

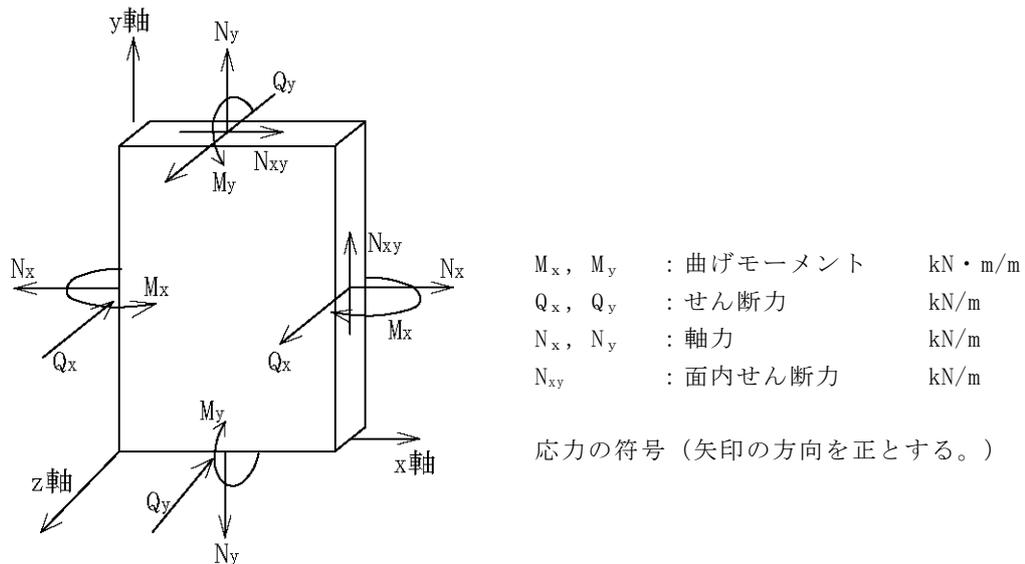
S d 地震時における熱応力については，「CCV規格」に基づき，部材の剛性を一律に低減する一律低減法により評価する。

c. 地震荷重及び温度荷重以外の荷重

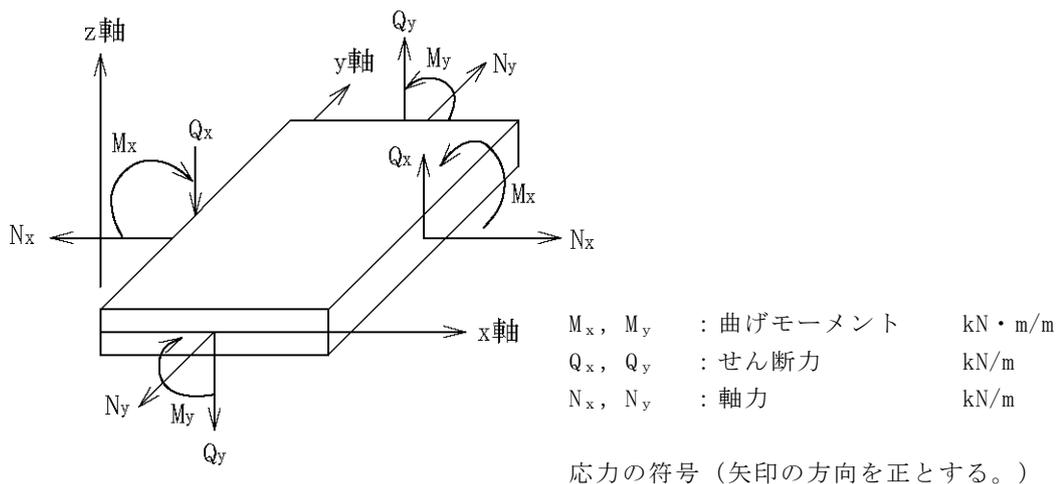
地震荷重及び温度荷重以外の荷重については，モデル上の各節点又は各要素に，集中荷重又は分布荷重として入力する。

3.5.2 断面の評価方法

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



(a) 壁



(b) 底面スラブ

図3-3 壁及び底面スラブの断面力成分

(1) S d 地震時

a. 壁

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

(a) 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する断面の評価方法

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

膜力と面内せん断力の関係図を図 3-4 に示す。

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

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

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

ここで、

N_{ϕ}^* , N_{θ}^* : ϕ , θ 方向の等価膜力

N_{ϕ} , N_{θ} : ϕ , θ 方向の膜力

$N_{\phi\theta}$: 面内せん断力

(ϕ 方向は子午線方向, θ 方向は円周方向とする)

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

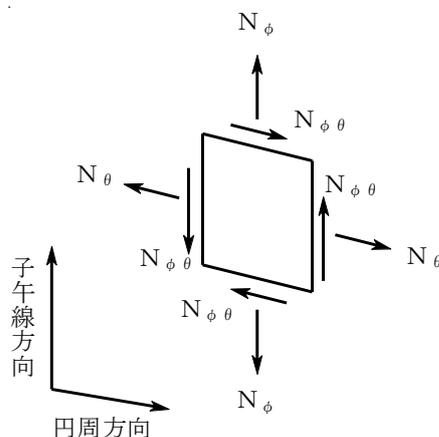


図3-4 膜力と面内せん断力の関係図

(b) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3512.1に準拠して行う。

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

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

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

ここで、

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

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

(c) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3513.1に準拠して行う。

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

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

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

ここで、

τ_R : 終局面外せん断応力度 (N/mm²)

p_t : 主筋の鉄筋比

σ_0 : 外力による膜応力度 (N/mm²) (引張の符号を正とする)

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

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

a_w : 面外せん断力に対する補強筋の断面積 (mm²)

b : 断面の幅 (mm)

x : 面外せん断力に対する補強筋の間隔 (mm)

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

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

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

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

F_c : コンクリートの設計基準強度 (N/mm²)

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

b. 底面スラブ

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

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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

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

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」のCVE-3522に準拠して行う。

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

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

ここで、

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

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

ここで、

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

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

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

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

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

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

(2) S s 地震時

a. 壁

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

(a) 軸力、曲げモーメント及び面内せん断力に対する断面の評価方法

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

(b) 軸力に対する断面の評価方法

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

(c) 面内せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」の CVE-3512.2 に準拠して行う。

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

(d) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」の CVE-3513.2 に準拠して行う。

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

b. 底面スラブ

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

(a) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

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

(b) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「CCV規格」の CVE-3522 に準拠して行う。

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

4. 評価結果

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

4.1 S d地震時

断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

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

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

選定した要素の位置を図4-2に、評価結果を表4-2に示す。

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

4.2 S s地震時

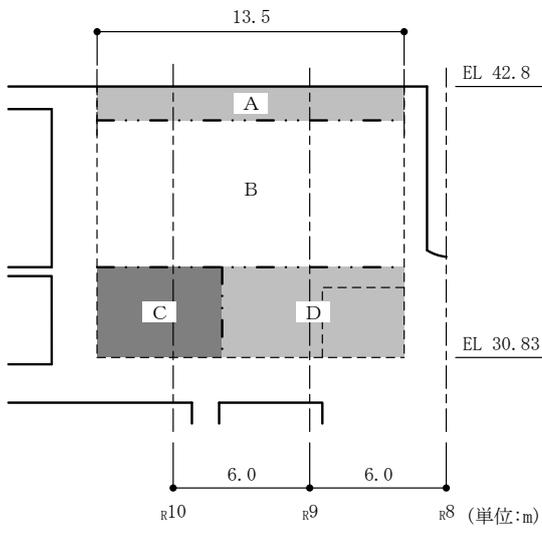
断面の評価結果を記載する要素を以下のとおり選定する。

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

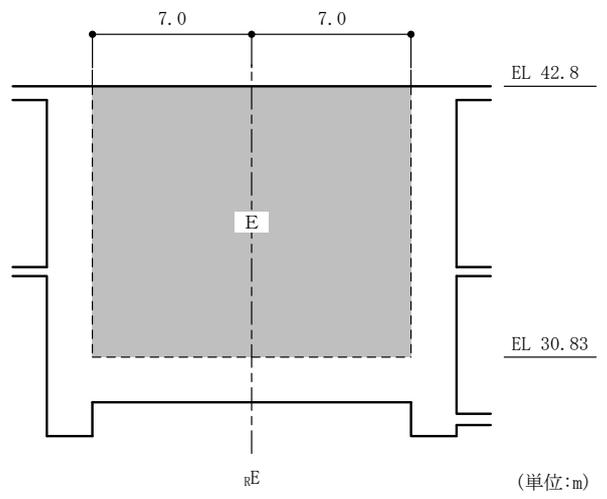
底面スラブについては、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素をそれぞれ選定する。

選定した要素の位置を図4-3に、評価結果を表4-3に示す。

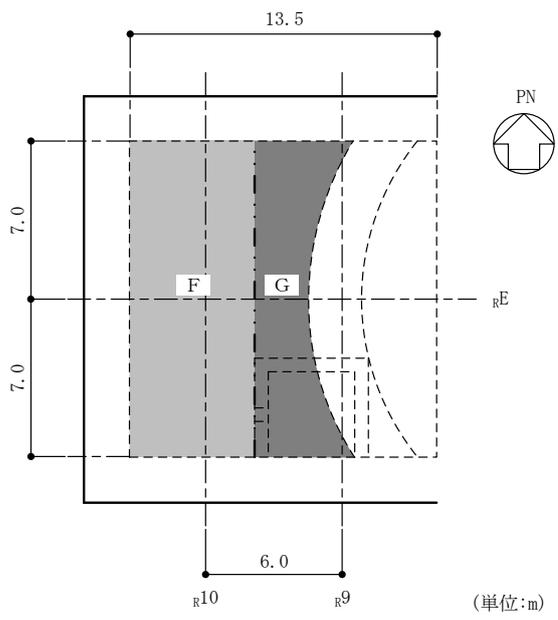
S s地震時において、壁について、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力による鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。また、底面スラブについて、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



南側壁



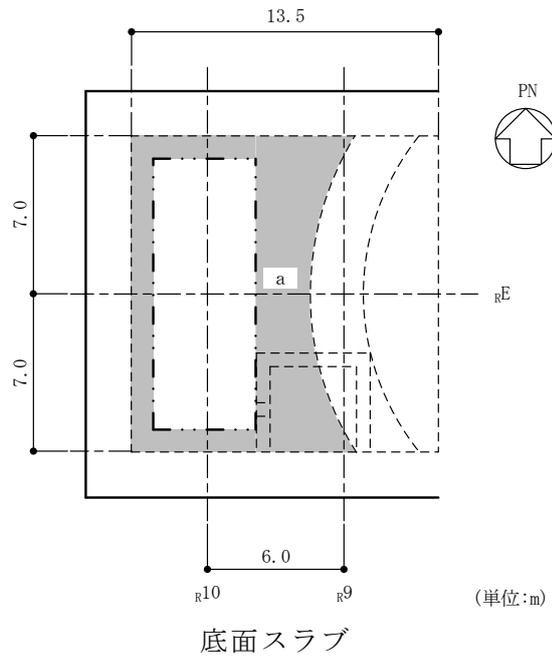
西側壁



底面スラブ

(a) 主筋

図 4-1(1) 配筋領域図



(b) せん断補強筋

図 4-1(2) 配筋領域図

表 4-1 配筋一覧

(a) 南側壁主筋

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

(b) 西側壁主筋

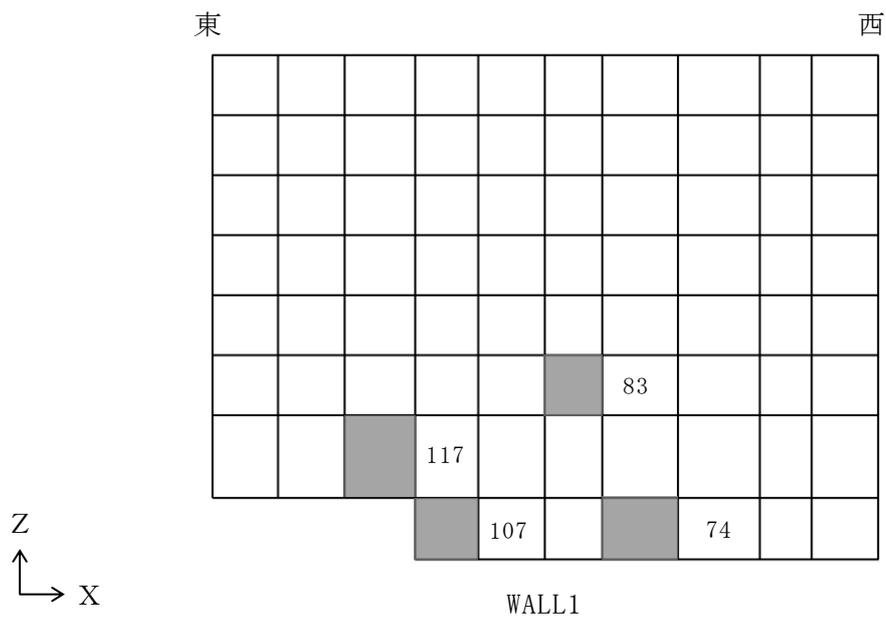
領域	タテ方向	ヨコ方向
E	(内側) D38@200 + D38@400 (外側) D38@200 + D38@400	(内側) D38@200 + D38@400 (外側) D38@200 + D38@400

(c) 底面スラブ主筋

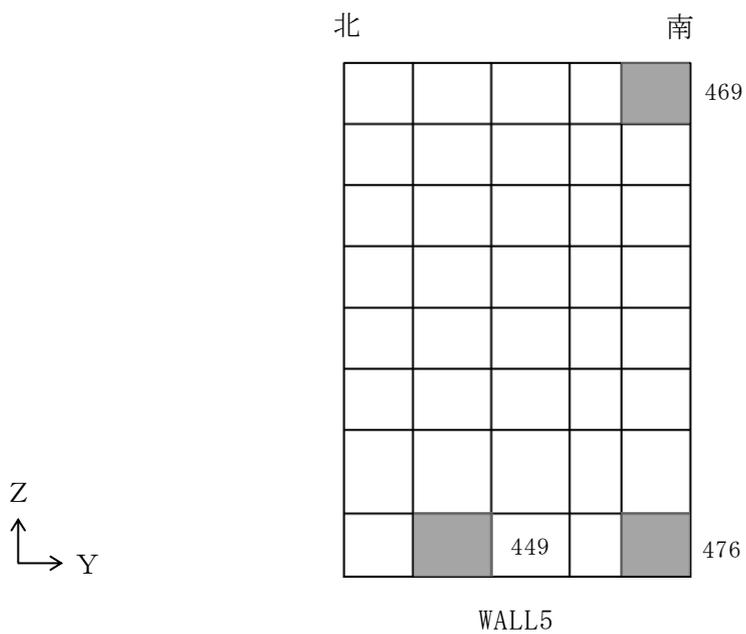
領域	N S 方向	E W 方向
F	(上ば筋) D38@200 + D38@400 (下ば筋) 2-D38@200	(上ば筋) 2-D38@200 (下ば筋) 2-D38@200 + D38@400
G	(上ば筋) D38@200 + D38@400 (下ば筋) 2-D38@200 + D38@400	(上ば筋) 2-D38@200 (下ば筋) 2-D38@200 + D38@400

(d) 底面スラブせん断補強筋

領域	配筋
a	D19@400 × 200

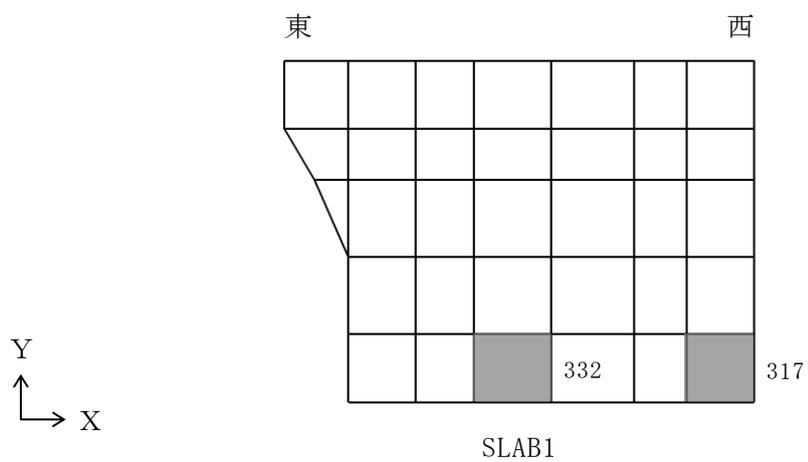


(a) 南側壁



(b) 西側壁

図 4-2(1) 選定した要素の位置 S d 地震時

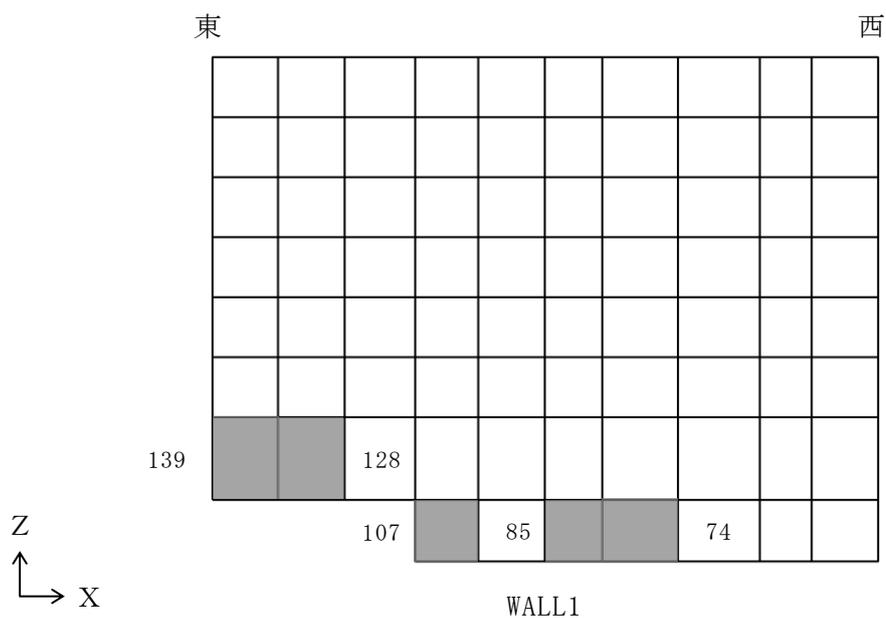


(c) 底面スラブ

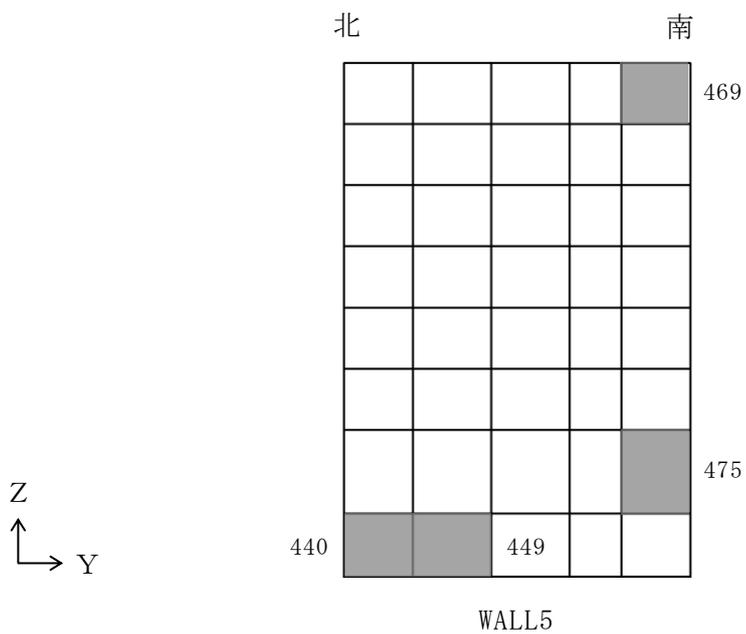
図 4-2(2) 選定した要素の位置 S d 地震時

表 4-2 評価結果 S d 地震時

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

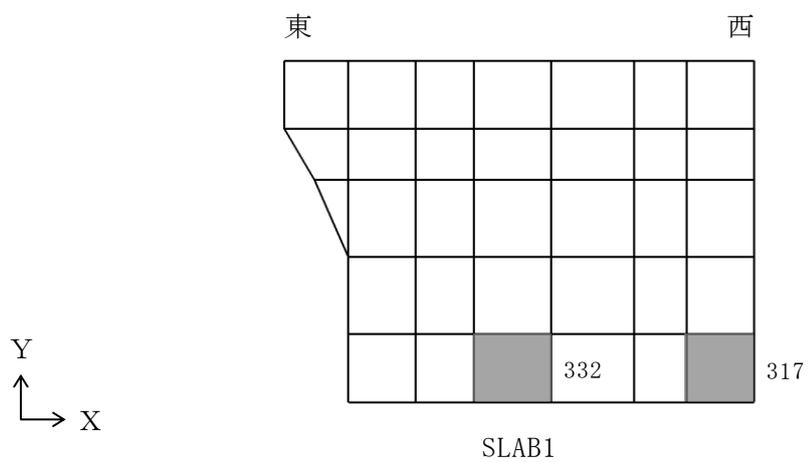


(a) 南側壁



(b) 西側壁

図 4-3(1) 選定した要素の位置 S s 地震時



(c) 底面スラブ

図 4-3(2) 選定した要素の位置 S s 地震時

表 4-3 評価結果 S s 地震時

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

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

目 次

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

1. 概要

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

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

2. コンクリート及び鉄筋の温度の影響に関する調査

2.1 鉄筋コンクリートの高温時の特性

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

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

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

2.2 既往の文献による高温時のコンクリートの特性

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

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

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

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

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

表 2-1 高温を受けたコンクリートの圧縮強度に関する文献一覧

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

3. 施設を構成する部材の構造特性

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

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

4. まとめ

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

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

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	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 固有値解析方法	9
4.2 解析モデル及び諸元	9
4.3 固有値解析結果	11
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
5.3 設計用地震力	20
5.4 計算方法	21
5.5 計算条件	26
5.6 応力の評価	26
6. 機能維持評価	28
6.1 電氣的機能維持評価方法	28
7. 評価結果	29
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	29

1. 概要

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

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

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール水位・温度（S A）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、7個の熱電対で構成されており、熱電対は保護管に内蔵され、圧縮継手により架構に固定する。</p> <p>架構は、基礎ボルトにより床面に設置され、水中サポートブロックを壁面のワークテーブルフックに引掛けて設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>基礎部 (3か所)</p> <p>検出器</p> <p>圧縮継手</p> <p>保護管</p> <p>検出器固定部詳細</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>架構基礎部詳細 (3か所)</p> <p>(単位: mm)</p> <p>検出器固定部</p> <p>(床面)</p> <p>架構</p> <p>水中サポート ブロック</p> <p>(壁面)</p>

2.2 評価方針

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

燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

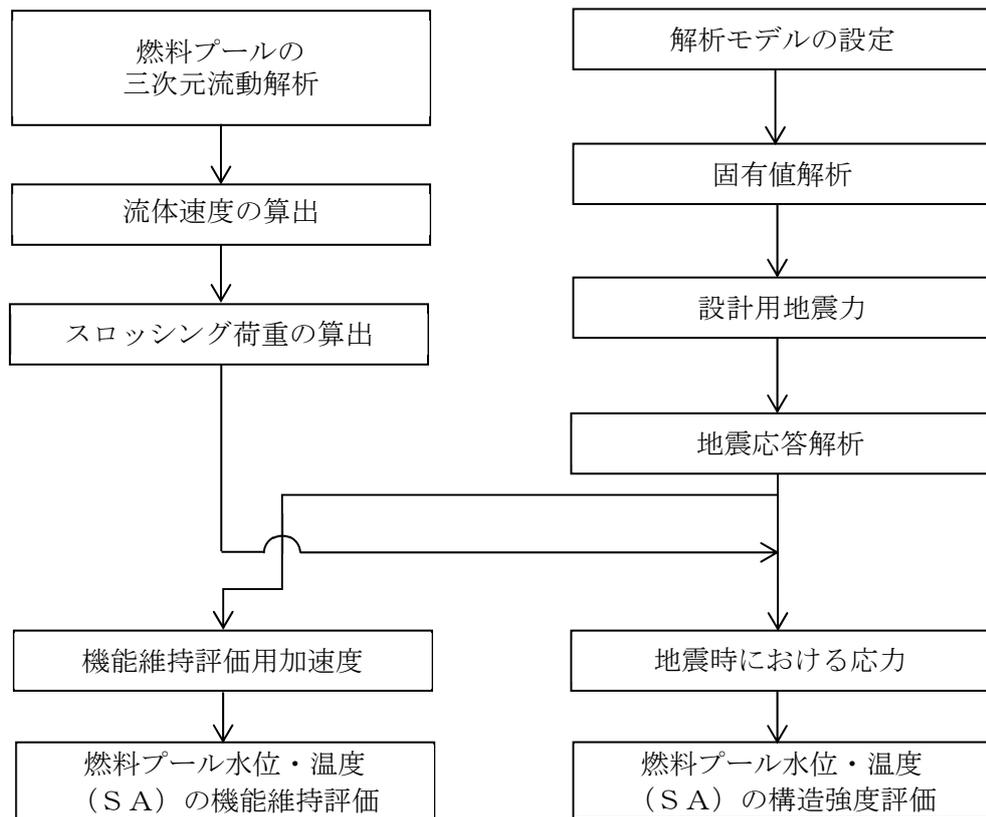


図 2-1 燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_m	架構の断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	スロッシングにおける架構の投影面積	mm^2
C_d	架構の抗力係数	—
C_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_s	スロッシングにより架構に生じる抗力	N
$f_{b m}$	架構の許容曲げ応力	MPa
$f_{c m}$	架構の許容圧縮応力	MPa
$f_{s b}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{s m}$	架構の許容せん断応力	MPa
$f_{t m}$	架構の許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t s}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 （許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
I	架構の断面2次モーメント	mm^4
i	座屈軸についての断面2次半径	mm
ℓ_k	圧縮材の座屈長さ	mm
L	材長	mm
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力（1本当たり）	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(R T)$	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
V	スロッシングによる流速	m/s
W	計器の荷重	N
Z_p	架構の断面におけるねじり断面係数	mm^3
Z_x	架構の断面における x 軸方向の断面係数	mm^3
Z_y	架構の断面における y 軸方向の断面係数	mm^3
π	円周率	—

記号	記号の説明	単位
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
σ_{bx}	架構に生じる x 方向の曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる y 方向の曲げ応力	MPa
$\sigma_{t(c)}$	架構に生じる軸応力	MPa
τ_x	架構に生じる x 方向のせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じる y 方向のせん断応力	MPa
τ_p	架構に生じるねじり応力	MPa
ρ	水の密度	kg/m ³
ρ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
ρ_m	架構に生じる組合せ応力	MPa
ρ_s	架構に生じるせん断応力	MPa
$\rho_{t(c)}$	架構に生じる引張（圧縮）応力	MPa
ν	ポアソン比	—
ν_c	圧縮材の座屈安全率	—
Λ	限界細長比	—
λ	圧縮材の細長比	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

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

3. 評価部位

燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部及び架構について実施する。燃料プール水位・温度（S A）の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

燃料プール水位・温度（S A）の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 燃料プール水位・温度（S A）は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

4.2 解析モデル及び諸元

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

- (1) 燃料プール水位・温度（S A）の計器の質量は、計器自身の質量のほか、内包水の質量及び水の付加質量*を考慮する。
- (2) 燃料プール水位・温度（S A）の計器の質量は、重心に集中するものとする。
- (3) 燃料プール水位・温度（S A）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。
- (4) 拘束条件として、基礎ボルト部の並進方向を固定する。また、水中サポートブロック部の水平方向及び鉛直方向のうち下向き方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (6) 解析コードは、「N S A F E」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。

注記*：機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した質量

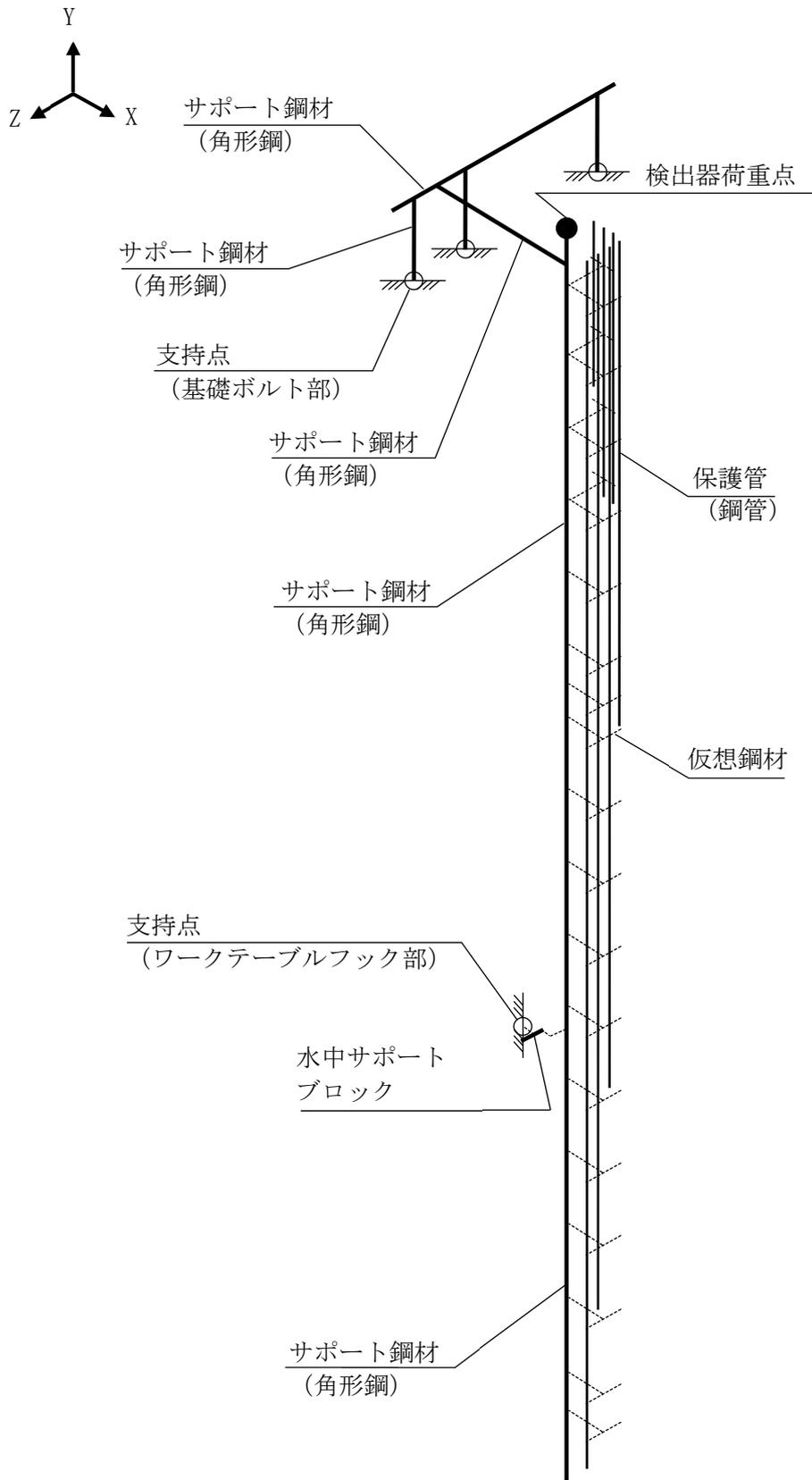


図 4-1 解析モデル

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, 図 4-3, 図 4-4, 図 4-5 及び図 4-6 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 5 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 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	Z方向	
1次	水平		-0.007	0.081	-0.043
2次	水平		0.136	-0.014	0.017
3次	水平		0.105	0.525	0.023
4次	水平		-0.526	0.064	0.005
5次	鉛直		-0.010	-0.084	0.131

注記* : 刺激係数は, モード質量を正規化し, 固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

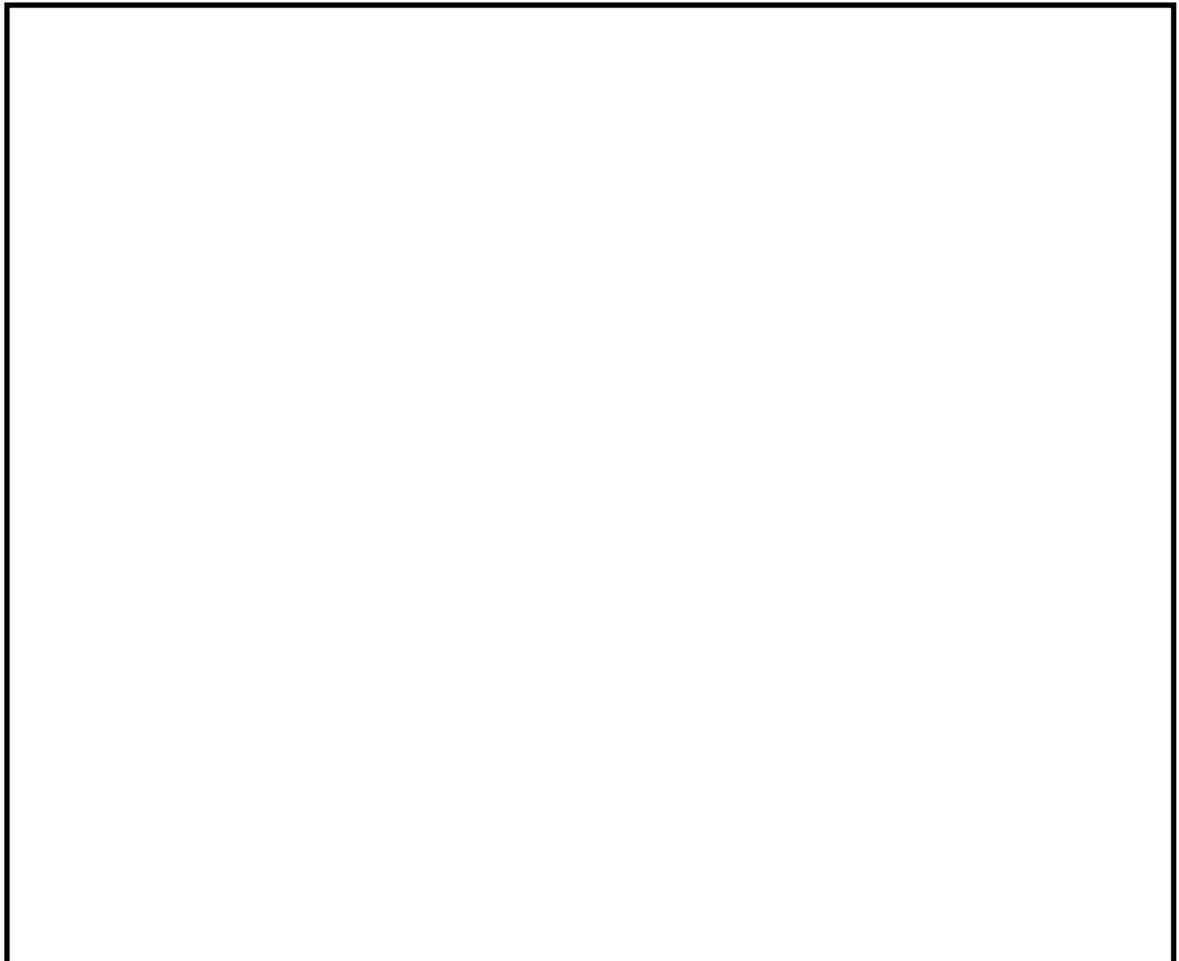


図 4-2 振動モード (1次モード 水平方向 s)

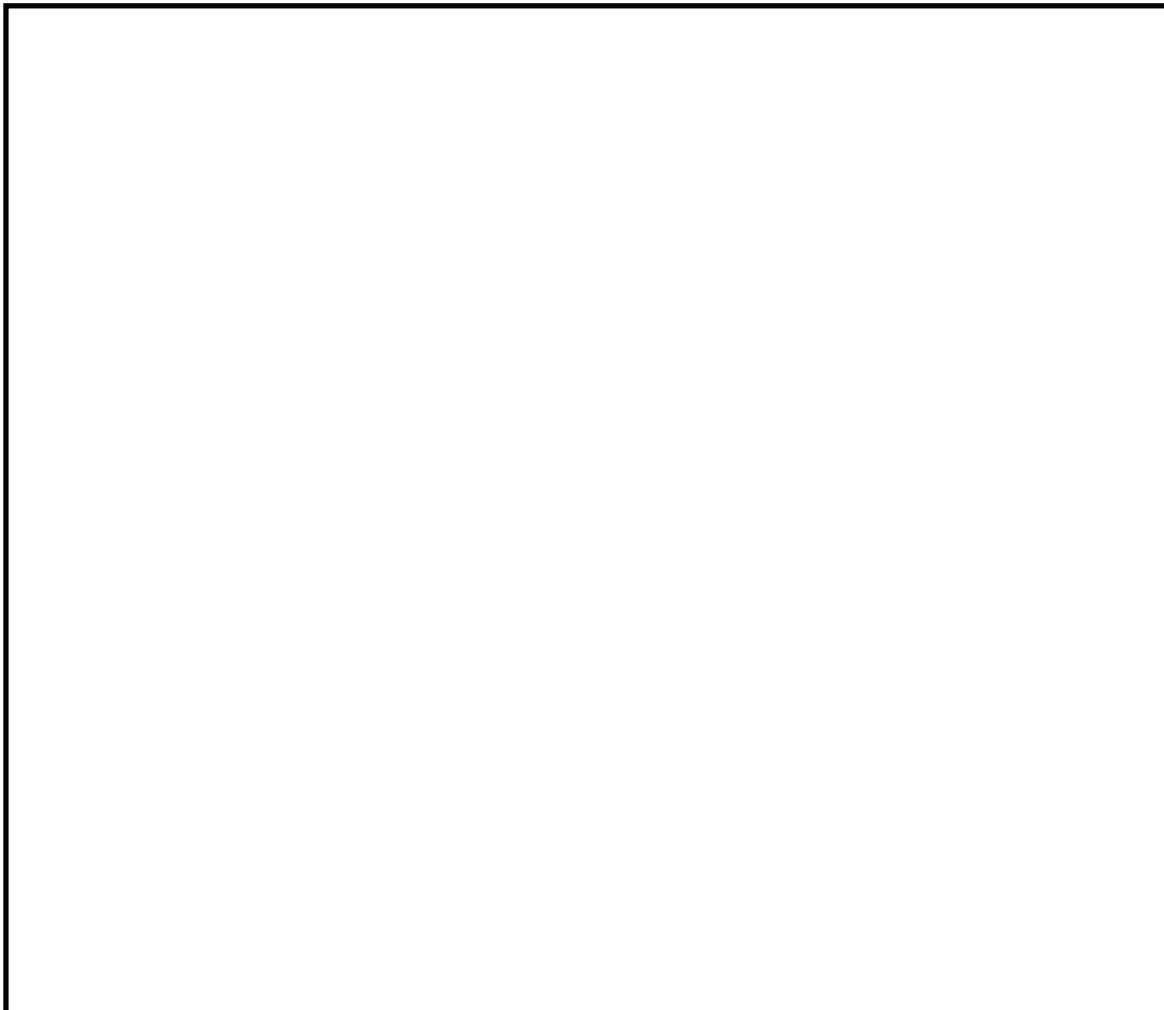


図 4-3 振動モード (2 次モード 水平方向 s)

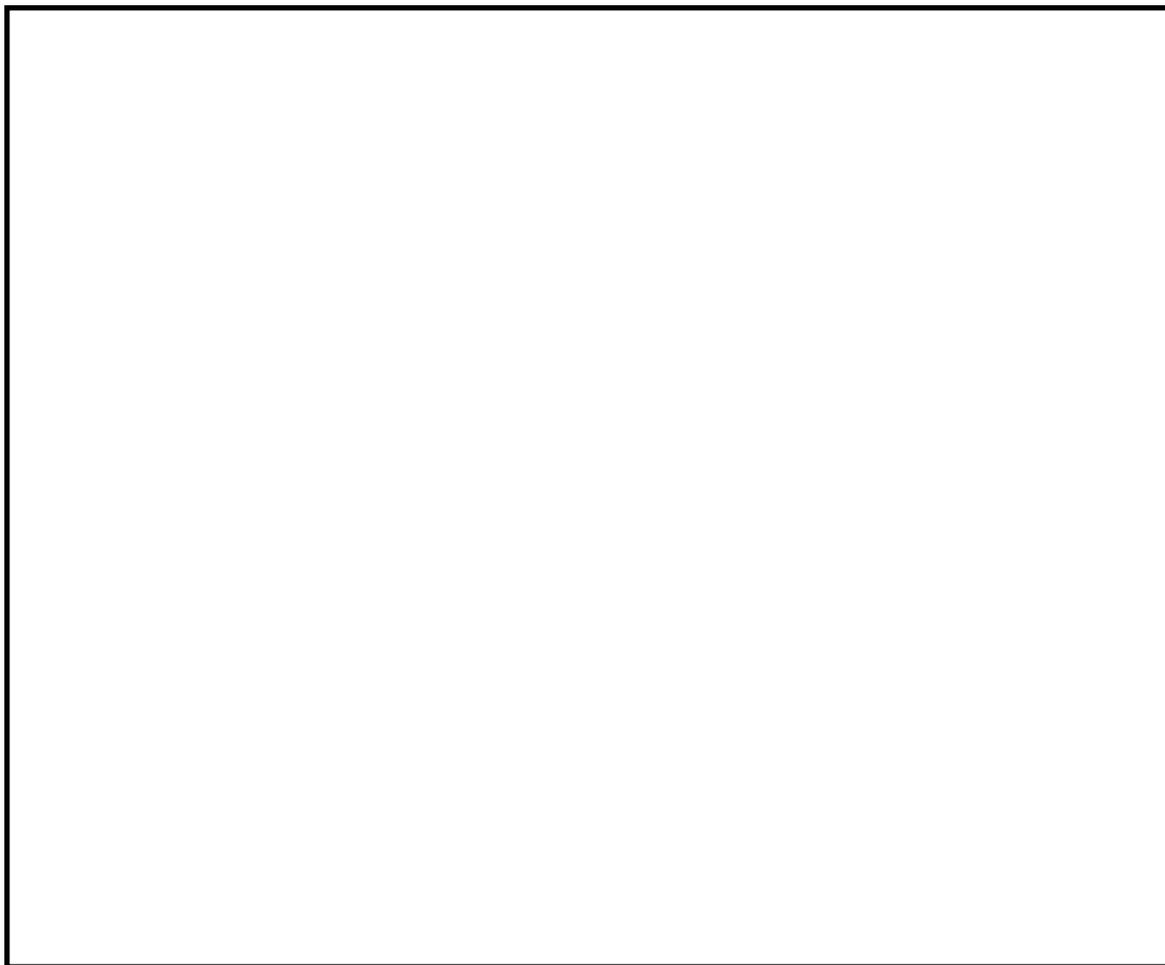


図 4-4 振動モード (3 次モード 水平方向 s)

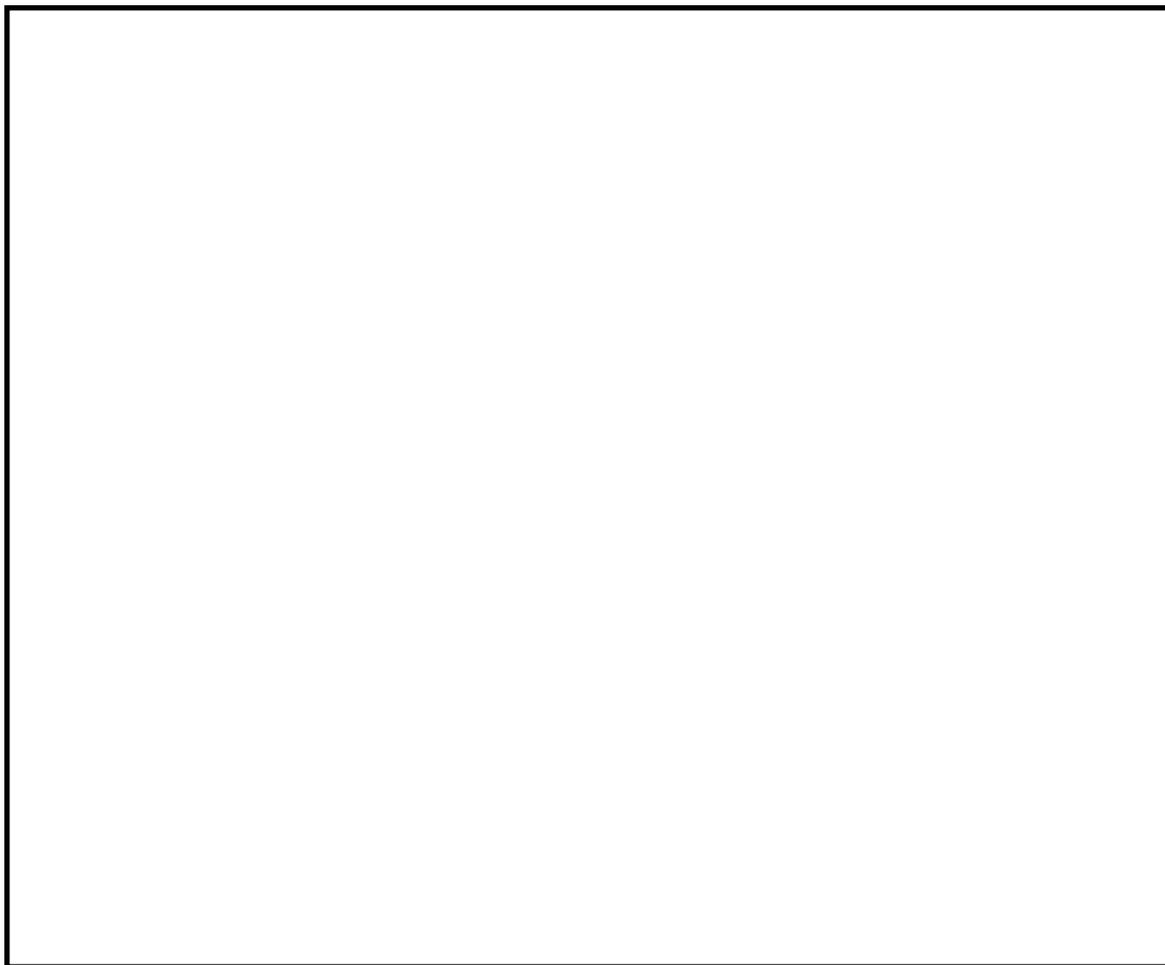


図 4-5 振動モード (4 次モード 水平方向 s)

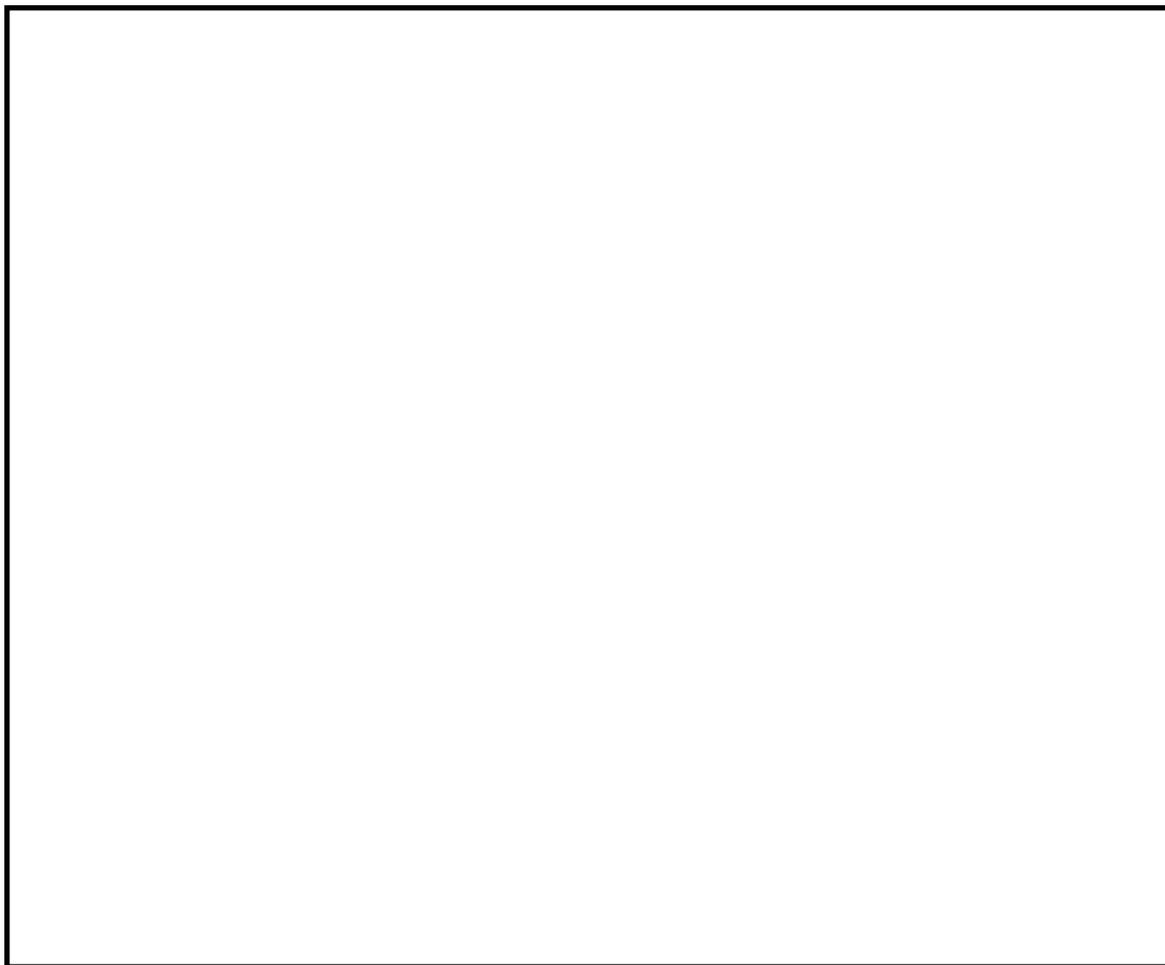


図 4-6 振動モード (5 次モード 鉛直方向 s)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.2 項(1)～(6)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 燃料プール水位・温度（SA）の質量は、計器の質量、内包水の質量及び水の付加質量のほか、更に精緻に評価するため、排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。
- (2) 地震力は、燃料プール水位・温度（SA）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み合わせには、SRSS法を適用する。
- (3) スロッシング力は、燃料プール水位・温度（SA）に対して、水平方向から作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

5.2.2 許容応力

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

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

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

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	100	221	373	-
架構	SUS304	周囲環境温度	100	171	441	205

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。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ (m)		原子炉建物 EL 42.8 ^{*1}					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> ^{*2} 鉛直 : <input type="text"/> ^{*2}					
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 ^{*3}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	<input type="text"/>	—	—	—	27.69	27.69	—
2 次	<input type="text"/>	—	—	—	13.96	13.96	—
3 次	<input type="text"/>	—	—	—	15.88	15.88	—
4 次	<input type="text"/>	—	—	—	21.61	21.61	—
5 次	<input type="text"/>	—	—	—	—	—	—
動的震度 ^{*5}		—	—	—	3.42	3.42	2.46
静的震度 ^{*6}		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載（水平）、5 次固有周期について記載（鉛直）

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

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

*5：設計用震度 II（基準地震動 S s）

*6： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

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

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

- (5) 抗力の算出から得られた高さレベルごとの抗力によりサポート架構に生じる動水圧荷重を付加し、図4-1に示す解析モデルに生じる応力を算出する。

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる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。

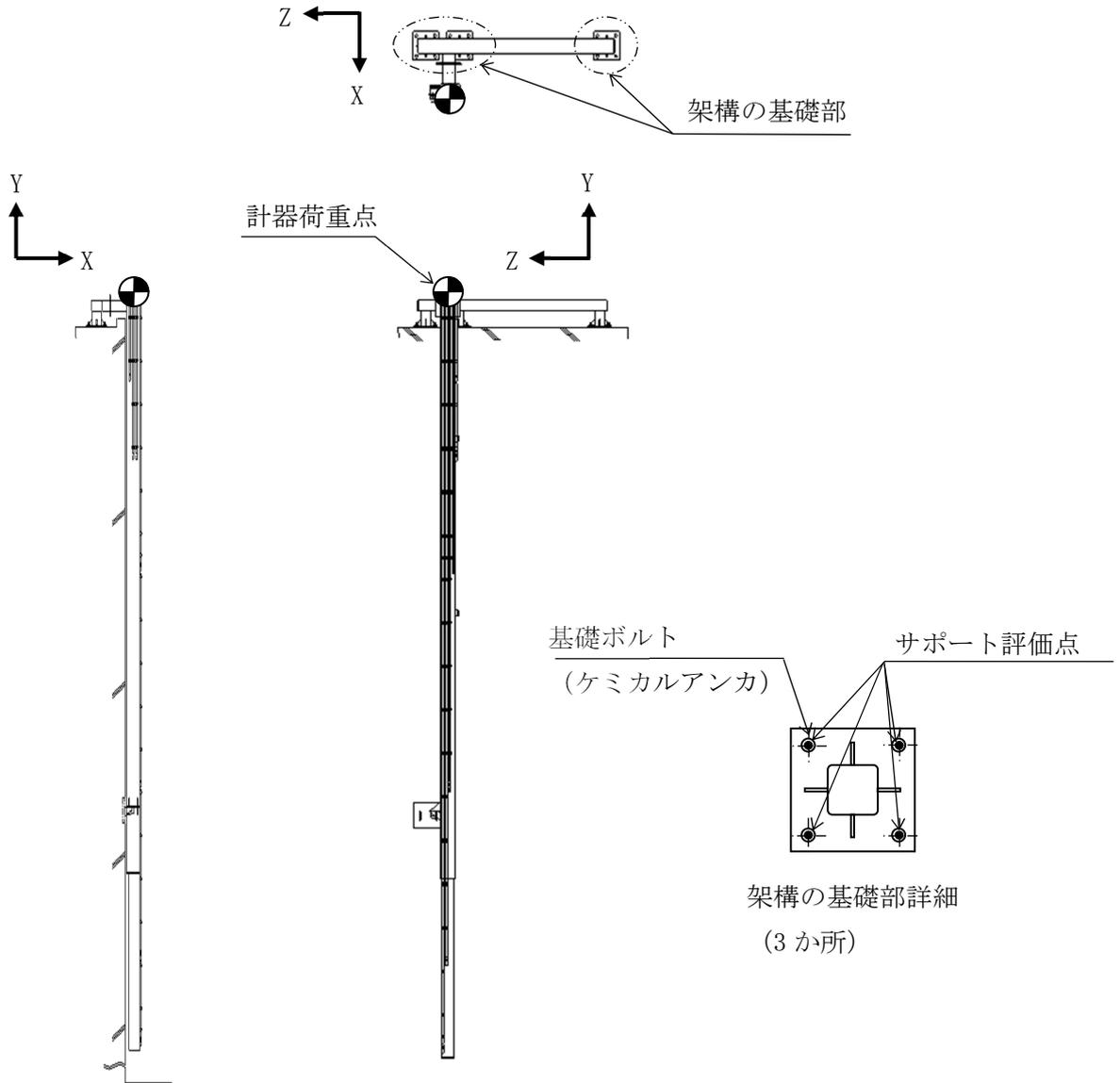


図5-1 計算モデル (基礎ボルト)

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

表 5-5 基礎ボルト (1 本当たり) 発生反力

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

(1) 引張応力

基礎ボルト (1本当たり) に対する引張応力は, 下式により計算する。

引張応力

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

ここで, 基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

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

(2) せん断応力

基礎ボルト (1本当たり) に対するせん断応力は, 下式により計算する。

せん断応力

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

5.4.1.2 架構の応力

架構の応力は、三次元はりモデルによる個別解析から各節点に生じる応力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

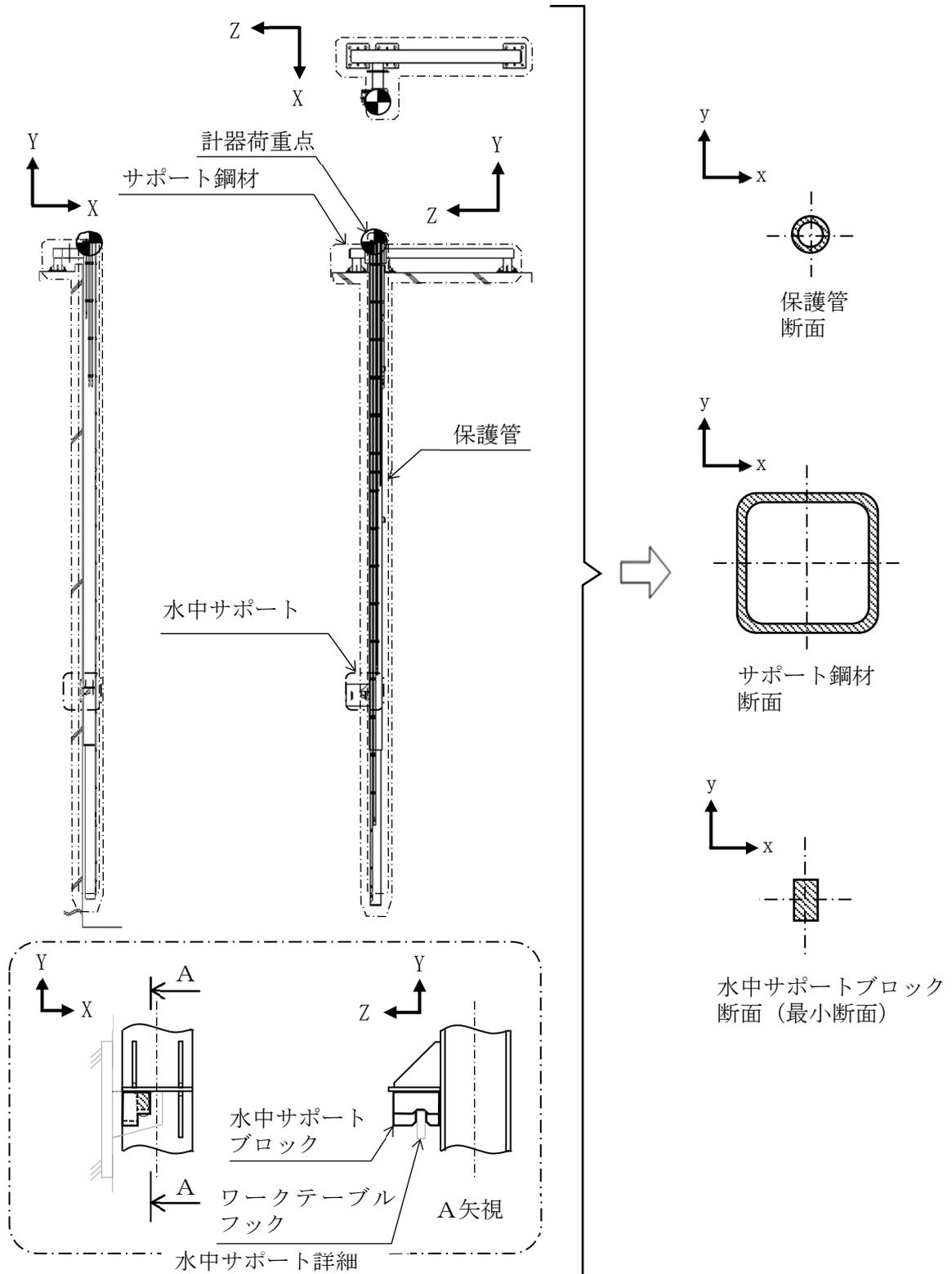


図 5-2 計算モデル (架構)

組合せ応力が最大となる架構の評価点の最大発生応力を表 5-6 に示す。

表 5-6 発生応力

(単位：MPa)

対象部位	ケース	軸力	せん断		ねじり	曲げ	
		$\sigma_{t(c)}$	τ_x	τ_y	τ_p	σ_{bx}	σ_{by}
架構	地震力						
	スロッシング						
	地震力+スロッシング						

注記*：軸力マイナスは圧縮応力を示す。

(1) 引張（圧縮）応力

架構に対する引張（圧縮）応力は、下式により計算する。

引張（圧縮）応力（ $\rho_{t(c)}$ ）

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

(2) せん断応力

架構に対するせん断応力は、下式により計算する。

せん断応力（ ρ_s ）

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

(3) 曲げ応力

架構に対する曲げ応力は、下式により計算する。

曲げ応力（ ρ_b ）

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

(4) 組合せ応力

架構に対する組合せ応力は、下式により計算する。

組合せ応力（ ρ_m ）

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

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルト及び架構の応力計算条件

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

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

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

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

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

f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.2 架構の応力評価

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

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

ただし、 ℓ_k 、 Λ 、 λ 、 ν_c 、 i は次式より求める。

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

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

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

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

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール水位・温度（S A）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

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

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

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8m/s^2$)

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

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-4-2-4 R0

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

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

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

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

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

1.2 機器要目

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

部材	A _m (mm ²)	I (mm ⁴)	L (mm)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
架構				171	441	205	—	205

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 架構の発生応力

(単位：MPa)

部材	軸力	せん断		ねじり	曲げ	
	$\sigma_{t(c)}$	τ_x	τ_y	τ_p	σ_{bx}	σ_{by}
架構						

注記*：軸力マイナスは圧縮応力を示す。

S2 補 VI-2-4-2-4 R0

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	—	—	$\sigma_b = 12$	$f_{ts} = 156^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 7$	$f_{sb} = 120$

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 架構の応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
架構	SUS304	引張 (圧縮)	—	—	$\rho_{t(c)} = 2^*$	$f_{cm} = 201$
		せん断	—	—	$\rho_s = 22$	$f_{sm} = 118$
		曲げ	—	—	$\rho_b = 154$	$f_{bm} = 205$
		組合せ	—	—	$\rho_m = 160$	$f_{tm} = 205$

すべて許容応力以下である。

注記*：発生応力は圧縮応力を示す。

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
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-1)	水平方向		10.0
	鉛直方向		10.0
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-2)	水平方向		10.0
	鉛直方向		10.0
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-3)	水平方向		10.0
	鉛直方向		10.0
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-4)	水平方向		10.0
	鉛直方向		10.0
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-5)	水平方向		10.0
	鉛直方向		10.0
燃料プール水位・温度 (S A) (L/TE216-6)	水平方向		10.0
	鉛直方向		10.0
燃料プール水位・温度 (S A) (TE216-4)	水平方向		10.0
	鉛直方向		10.0

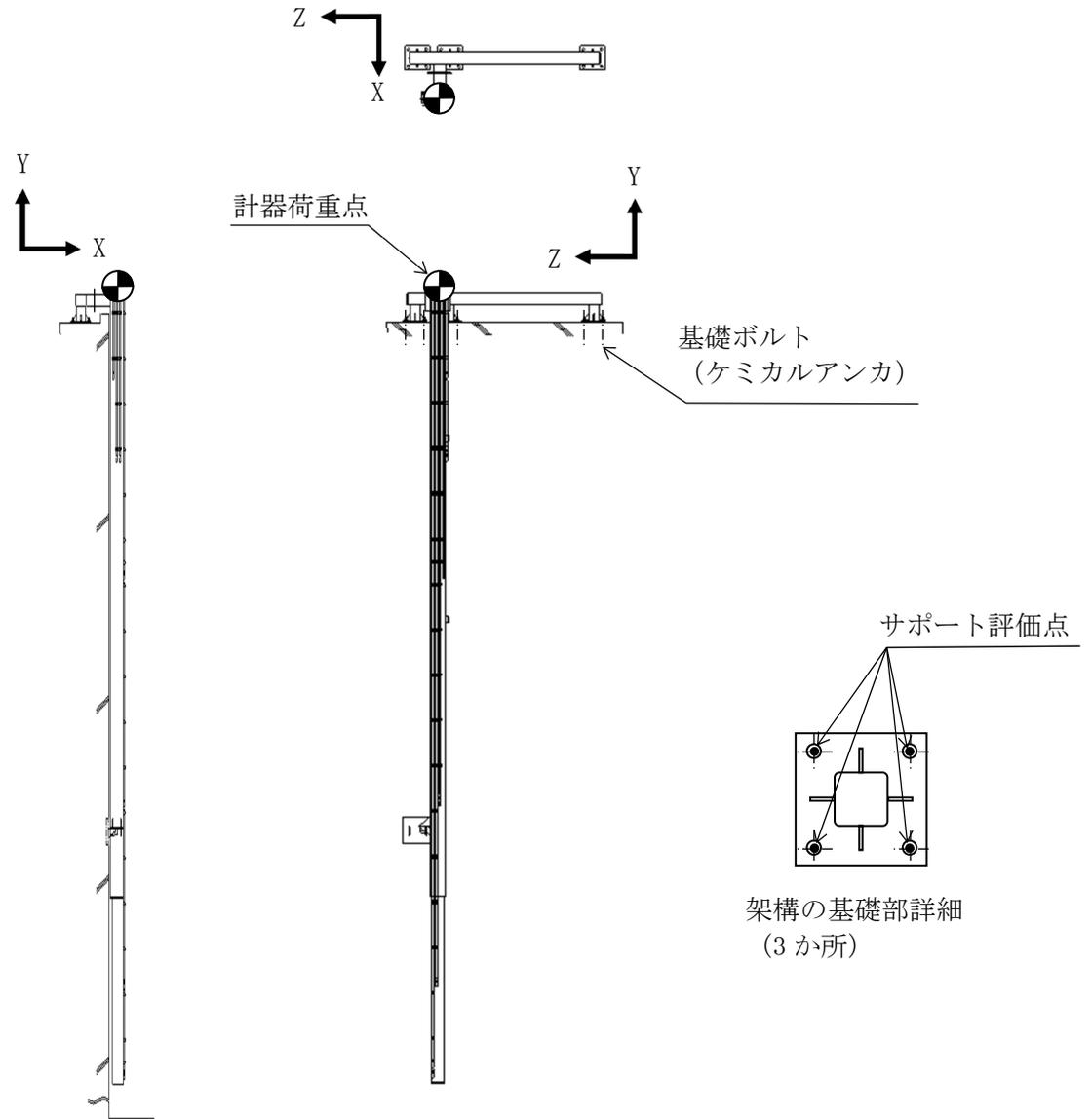
注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる評価部位における応答加速度又は 1.2・DAS のいずれか大きい値とする。

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。

1.5 その他の機器要目

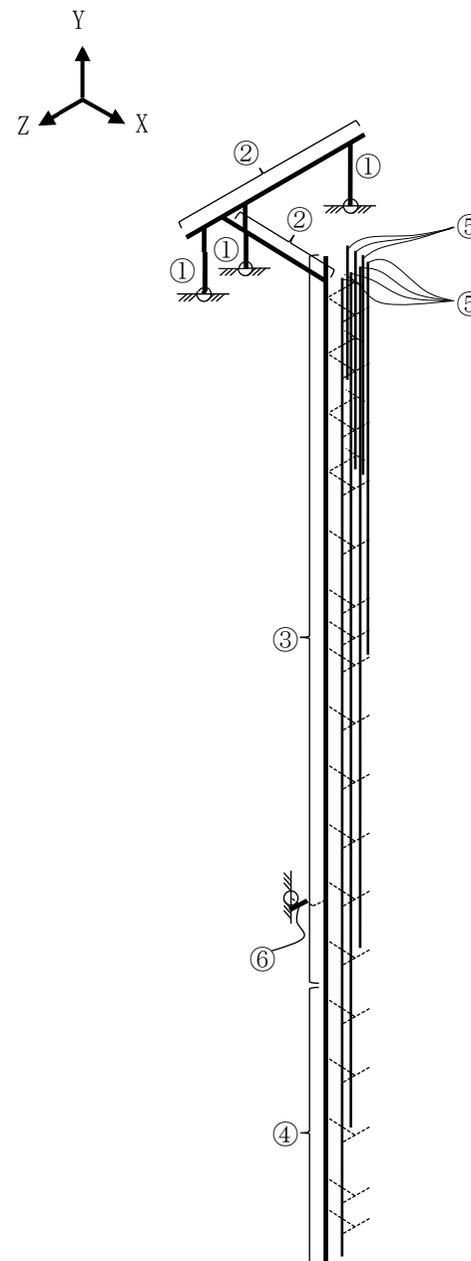
(1) 材料物性値

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



(2) 断面性状

部材	要素	材質	A_m (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)	Z_D (mm^3)
サポート鋼材	①	SUS304				
	②	SUS304				
	③	SUS304				
	④	SUS304				
保護管	⑤	SUS304TP				
水中サポート ブロック	⑥	SUS304				



VI-2-4-2-5 燃料プール水位（S A）の耐震性についての計算書

目 次

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

1. 概要

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

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

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール水位（S A）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

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

2.2 評価方針

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

燃料プール水位（S A）の耐震評価フローを図2-1に示す。

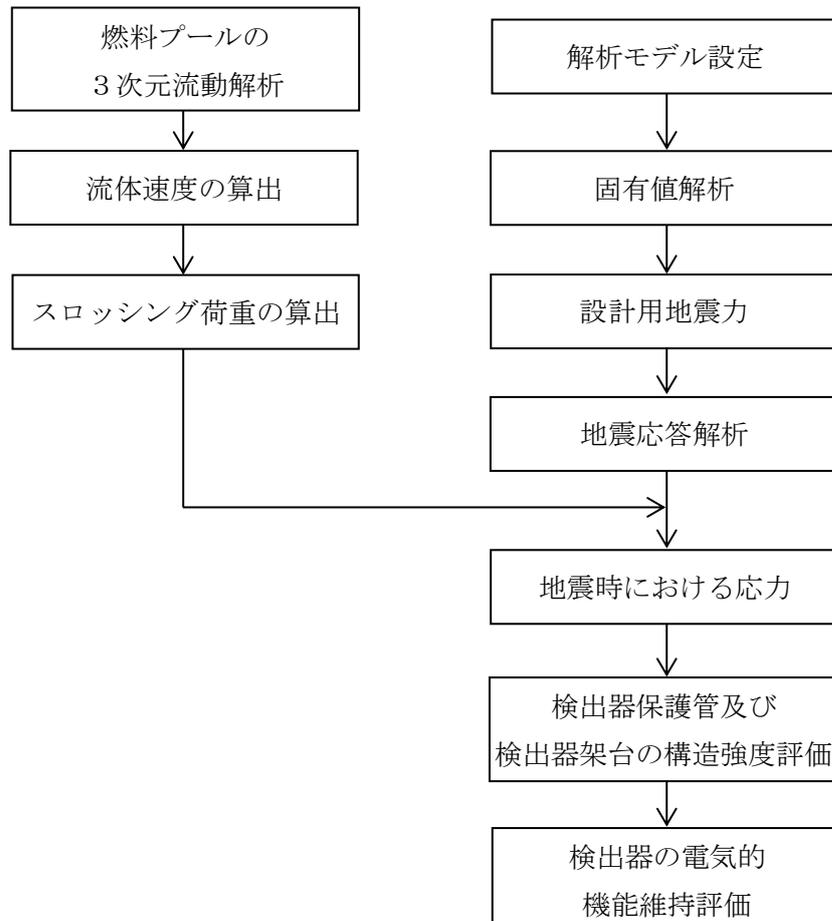


図2-1 燃料プール水位（S A）の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	配管（検出器保護管）外半径	mm
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _p	検出器保護管の軸断面積	mm ²
A _s	スロッシングにおける検出器保護管の投影面積	mm ²
C _d	検出器保護管の抗力係数	—
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d ₁	基礎ボルトの呼び径	mm
d _o	検出器保護管外径	mm
d _i	検出器保護管内径	mm
d _r	検出器芯棒外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F _b	基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F _s	スロッシングにより検出器保護管に生じる抗力	N
F _x	検出器保護管取付部における水平方向荷重	N
F _{x1}	地震力における水平方向荷重	N
F _{x11}	地震力におけるX方向荷重	N
F _{x12}	地震力におけるY方向荷重	N
F _{x2}	スロッシングにおける水平方向荷重	N
F _{x21}	スロッシングにおけるX方向荷重	N
F _{x22}	スロッシングにおけるY方向荷重	N
F _y	検出器保護管取付部における鉛直方向荷重	N
F _{xB}	検出器保護管取付部に作用する力（水平方向）	N
F _{yB}	検出器保護管取付部に作用する力（鉛直方向）	N
f _{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度(=9.80665)	m/s ²
h ₁	検出器架台の据付面から重心までの距離	mm
h ₂	検出器保護管取付部から検出器架台の重心までの鉛直方向距離	mm
ℓ ₁₁	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1	mm
ℓ ₁₂	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*1	mm
ℓ ₂₁	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*2	mm
ℓ ₂₂	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離*2	mm
ℓ _b	検出器保護管取付部中心から重心までの水平方向距離	mm
ℓ _p	検出器保護管長さ	mm
M _x	検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント（X軸回り）	N・mm
M _z	検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント（Z軸回り）	N・mm
m _{b1}	検出器架台質量	kg
m _{b2}	検出器架台梁質量	kg
m _p	検出器保護管質量	kg
m _w	検出器保護管内包水質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—

記号	記号の説明	単位
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t	検出器保護管の厚さ	mm
V	スロッシングによる流速	m/s
γ	低減係数	—
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_p	検出器保護管に生じる曲げ応力	MPa
σ_{p1}	地震力における曲げ応力	MPa
σ_{p11}	地震力における軸応力	MPa
σ_{p12}	地震力における組み合わせ応力	MPa
σ_{p2}	スロッシングにおける曲げ応力	MPa
σ_{p3}	自重における軸応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ρ	水の密度	kg/m ³
ρ_0	検出器保護管材の密度	kg/m ³
ν	ポアソン比	—
X	NS方向	—
Y	鉛直方向	—
Z	EW方向	—

注記*1：図5-3参照

*2：図5-2参照

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

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

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

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

*4：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

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

4. 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価

4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法

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

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

4.2 検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

4.2.2 検出器保護管の許容応力

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

4.2.3 検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件

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

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

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

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
検出器保護管		周囲環境温度	171	—	—

4.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元

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

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

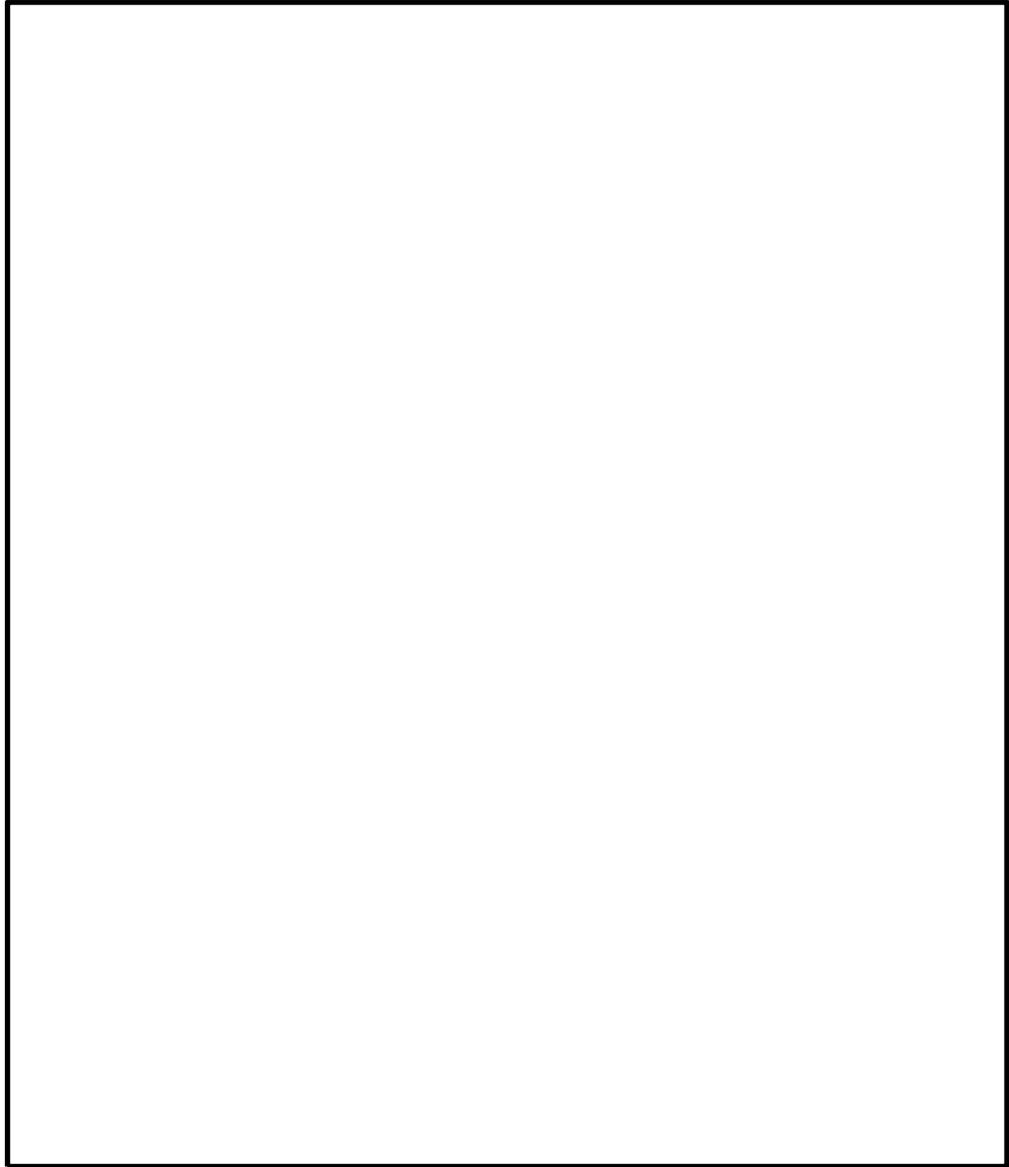


図4-1 検出器保護管の解析モデル

4.4 検出器保護管の固有周期

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

表4-4 検出器保護管の固有値解析結果

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

注記*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

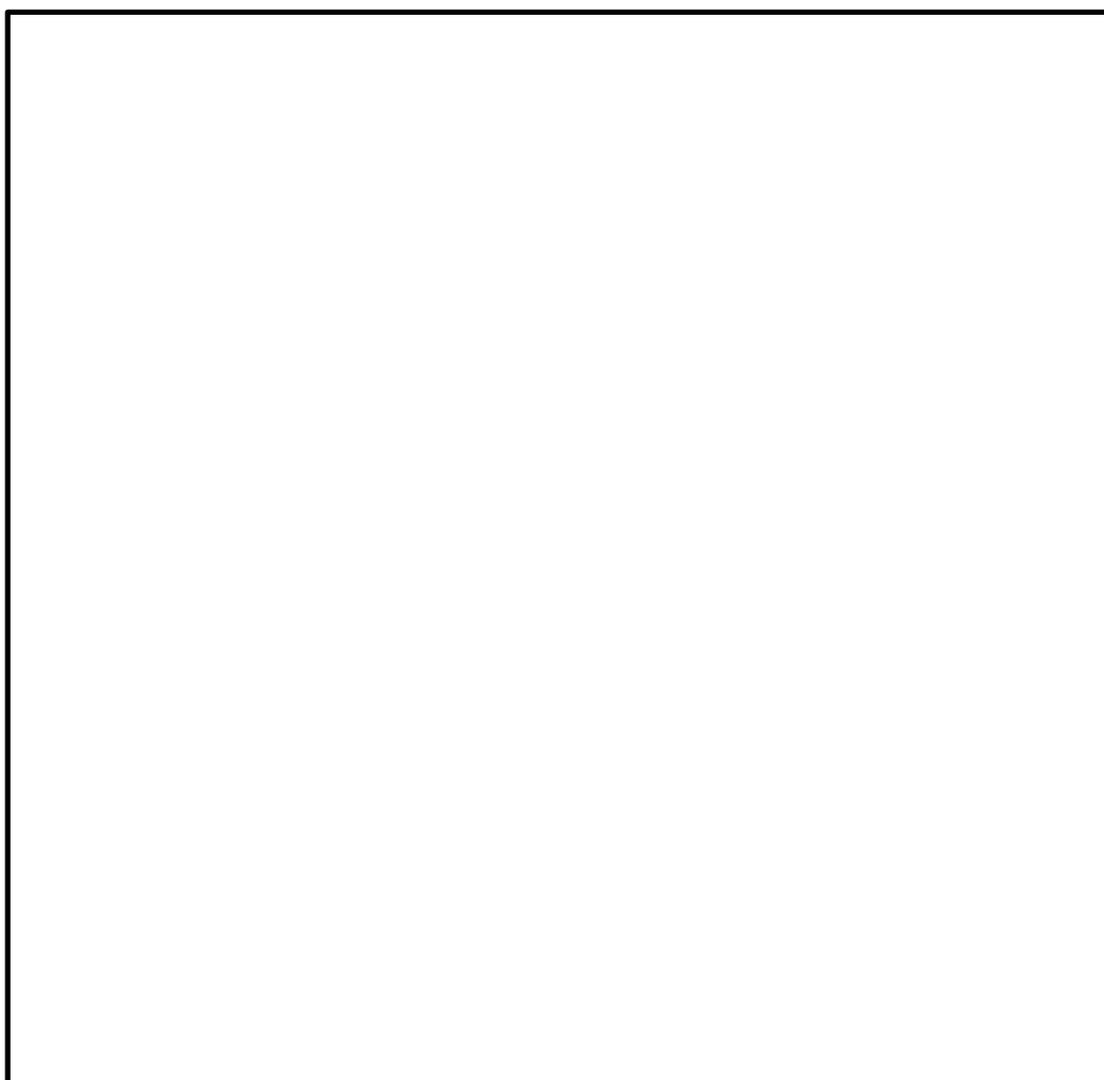


図4-2 検出器振動モード図

4.5 検出器の設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

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

表 4-5 検出器の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

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

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

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

*4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*5：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 検出器保護管の計算方法

4.6.1 地震力における応力の算出

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

表4-6 地震力における曲げ応力

曲げ応力 σ_{p1} [MPa]

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

4.6.2 スロッシングにおける応力の算出

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

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

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

表4-7 スロッシングにおける曲げ応力

スロッシングにおける曲げ応力 σ_{p2} [MPa]

4.6.3 地震力及びスロッシングによる応力の算出

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

表4-8 検出器保護管に生じる曲げ応力

曲げ応力 σ_p [MPa]

4.7 検出器保護管の計算条件

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

4.8 検出器保護管の応力の評価

4.6.3項で求めた検出器保護管に生じる応力が、表4-2に示す許容応力 $1.5 \cdot ft^*$ よりも保守的な使用材料の設計降伏点 S_y 以下であることを確認する。

5. 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価

5.1 検出器架台の地震応答解析及び構造強度評価方法

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

5.2 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

5.2.2 検出器架台の許容応力

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

5.2.3 検出器架台の使用材料の許容応力評価条件

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

表 5-1 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-2 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F [*] (MPa)
	SUS316	周囲環境温度	176	476	205	205

5.3 検出器架台の解析モデル及び諸元

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

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



図5-1 検出器架台の解析モデル

5.4 検出器架台の固有周期

検出器架台の固有値解析の結果を表 5-3 に示す。

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

表5-3 検出器架台の固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	[]	[]
2次		

5.5 検出器架台の設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 5-4 検出器架台の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

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

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

5.6 検出器架台の計算方法

5.6.1 地震力における応力の算出

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

表5-5 地震力における水平方向荷重

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

表5-6 スロッシングにおける水平方向荷重

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

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

表5-7 検出器保護管取付部における荷重

水平方向荷重 F_x [N]	鉛直方向荷重 F_y [N]
[]	

5.6.2 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

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

引張力 (F_b)

左右方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{21} + M_x}{n_f \cdot (\ell_{21} + \ell_{22})} \dots\dots\dots (5.2.4.2.1)$$

前後方向

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_{12} + M_z}{n_f \cdot (\ell_{11} + \ell_{12})} \dots\dots\dots (5.2.4.2.2)$$

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

$$F_{xB} = C_H \cdot g \cdot m_{b2} + F_x \dots\dots\dots (5.2.4.2.3)$$

$$F_{yB} = (C_V - 1) \cdot g \cdot m_{b2} + F_y \dots\dots\dots (5.2.4.2.4)$$

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

$$M_x = F_{yB} \cdot \ell_{21} + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.5)$$

$$M_z = F_{yB} \cdot (\ell_b + \ell_{12}) + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.6)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式で求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.2.4.2.8)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力 (Q_b)

$$Q_b = m_{b1} \cdot g \cdot C_H + F_{xB} \dots\dots\dots (5.2.4.2.9)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.10)$$

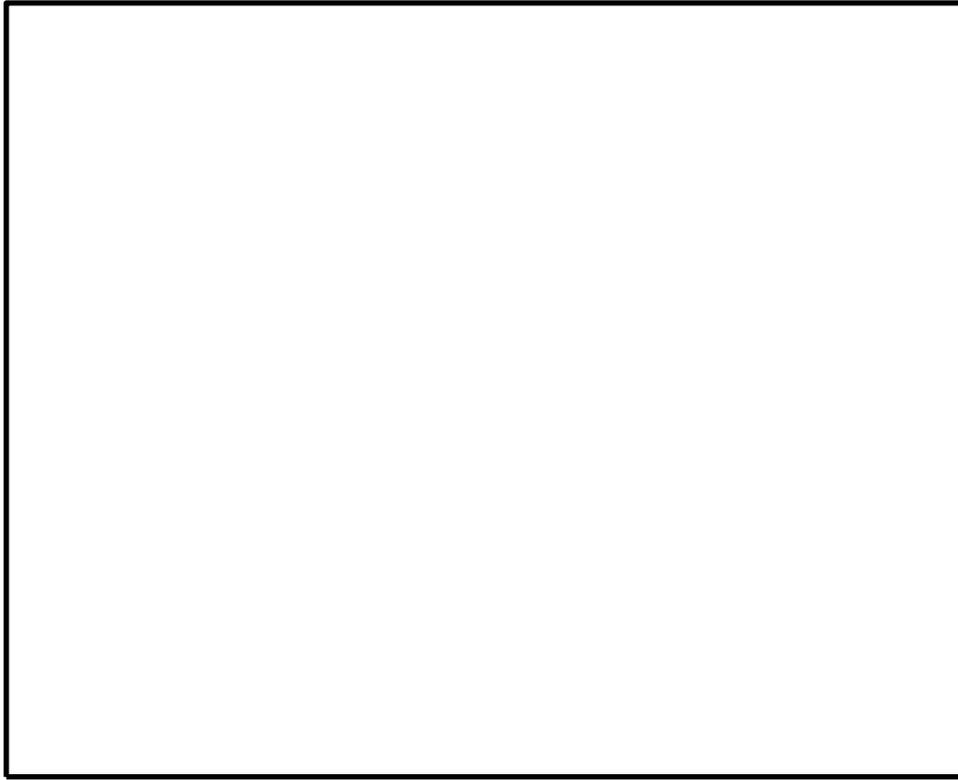


図 5-2 計算モデル (左右方向転倒)

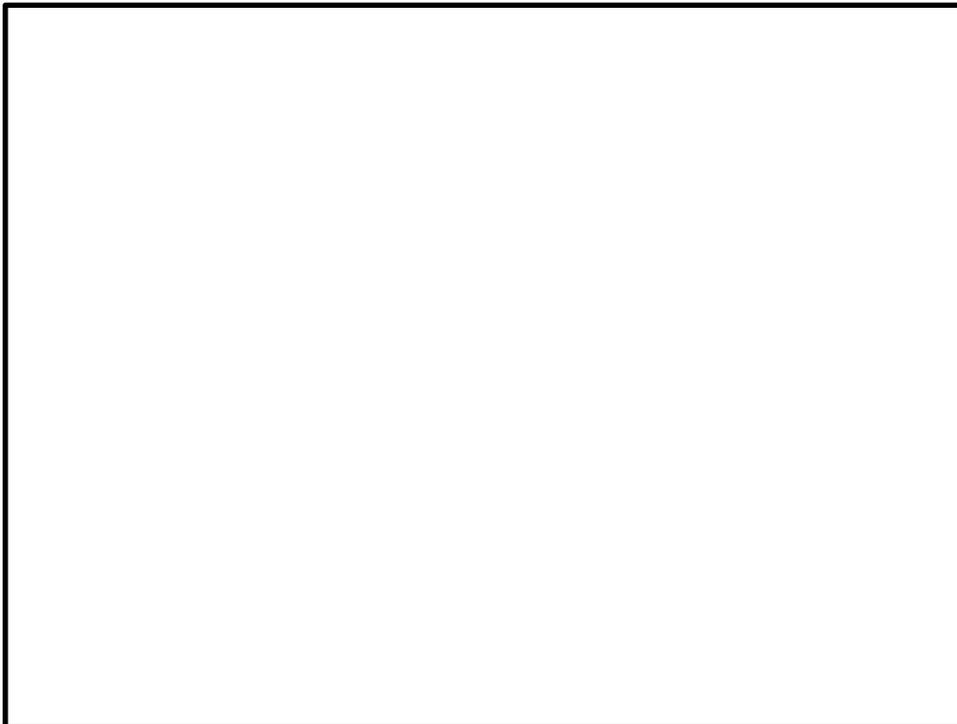


図 5-3 計算モデル (前後方向転倒)

5.7 検出器架台の計算条件

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

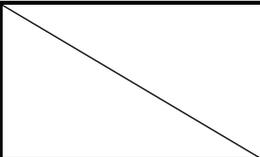
5.8 検出器架台の応力の評価

5.8.1 基礎ボルトの応力評価

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

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.2.6.1.1)$$

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。

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール水位（S A）の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

燃料プール水位（S A）は、電氣信号を伝搬する機能のみであり、検出器保護管が変形・破損しなければ、その機能を維持できる。したがって、燃料プール水位（S A）の機能維持評価は、検出器保護管が健全であることの確認により行う。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

構造強度評価の結果をもって評価に代える。

【燃料プール水位（SA）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 検出器保護管

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール水位 (SA)	常設/防止 常設/緩和	<div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 15px; margin: 0 auto;"></div> EL. 42.80* ¹	—	—	—		

注記 * 1 : 基準床レベルを示す。

* 2 : 設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

* 3 : 設計用床応答スペクトル II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

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

1.1.3 固有周期

モード	固有周期	卓越方向
1次	—	
2次		
3次		
4次		

1.1.4 計算数値

1.1.4.1 検出器保護管に生じる応力

(単位：MPa)

方向	地震における曲げ応力	地震における軸応力	スロッシングにおける 曲げ応力	自重における軸応力	検出器保護管に生じる 曲げ応力	検出器保護管に生じる 組み合わせ応力
X方向						
Y方向						
Z方向						
水平方向						
3方向						

1.2 検出器架台

1.2.1 設計条件

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

注記 * 1 : 基準床レベルを示す。

* 2 : 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

m_{b1} (kg)	m_{b2} (kg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ℓ_{11}^* (mm)	ℓ_{12}^* (mm)	ℓ_{21}^* (mm)	ℓ_{22}^* (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f
<input type="text"/>											1

注記 * : 前後左右方向転倒に対する評価時の要目を示す。

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

部材	材料	T (℃)	E (MPa)
検出器架台	<input type="text"/>		

1.2.3 計算数値

1.2.3.1 検出器保護管取付部における荷重 (単位：N)

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

1.2.3.2 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

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

1.2.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント (単位：N・mm)

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

1.3 結論

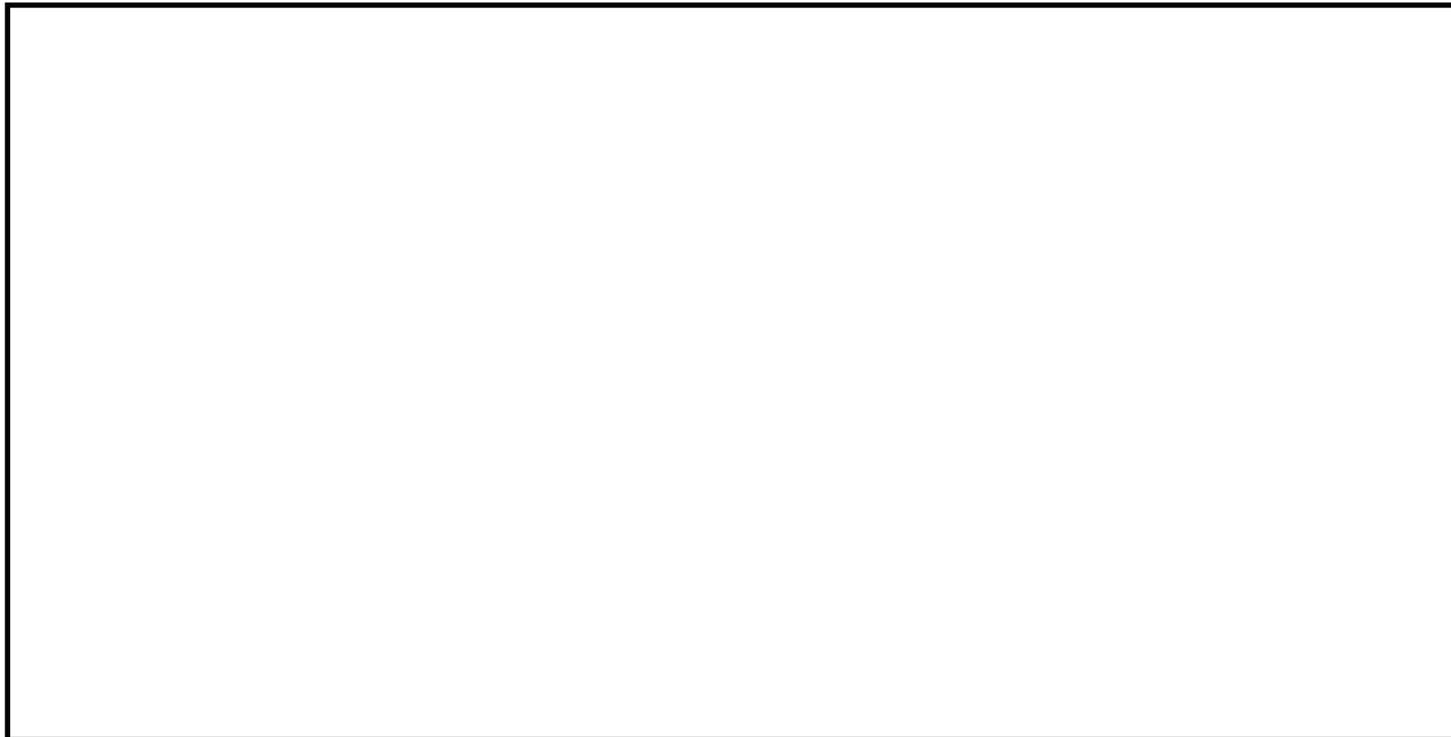
1.3.1 燃料プール水位 (S A) の応力

(単位 : MPa)

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

すべて許容値応力以下である。

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



正面 (左右方向)

側面 (前後方向)

VI-2-4-3 使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1 燃料プール冷却系の耐震性についての計算書

VI-2-4-3-1-2 燃料プール冷却ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	5
3.1 構造強度評価方法	5
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 計算条件	5
4. 機能維持評価	9
4.1 基本方針	9
4.2 ポンプの動的機能維持評価	10
4.3 原動機の動的機能維持評価	18
5. 評価結果	30
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	30

1. 概要

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

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

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

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却ポンプの構造計画を表 2-1 から表 2-3 に示す。

表 2-1 構造計画

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

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>ポンプのケーシング内のロータは軸に支持され、軸は軸受に支持される。</p>	<p>ターボ形 (横形単段遠心式ポンプ)</p>	<p>(ポンプ構造図)</p>

表 2-3 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>原動機の軸（回転子）は軸受に支持され、軸受及び固定子はモータフレームに支持される。端子箱は端子箱取付ボルトでモータフレームに固定する。</p>	<p>ターボ形 (横形単段遠心式ポンプ)</p>	<p>(正面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(原動機構造図)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

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

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

3.2.2 許容応力

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

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

3.3 計算条件

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

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料貯 蔵槽冷却浄化 設備	燃料プール冷却ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等 クラス 2 ポンプ* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	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を示す。

*2：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

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

表 3-2 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

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

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

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

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

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

注記* : SS400 相当

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

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

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

4.2 ポンプの動的機能維持評価

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

4.2.1 評価対象部位

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

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

このうち「c. 基礎ボルト」及び「d. ポンプ取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。「e. 軸受」、「f. メカニカルシール」及び「g. ケーシング吐出配管」については、J E A G 4 6 0 1 において「既往研究において、耐震性が十分確認されたため、評価は省略できる」との記載があることから評価を省略する。

「h. 軸継手」については、地震荷重については軸受で負担するため軸継手部には有意な応力が発生しないことから評価を省略する。

以上より、本計算書においては、軸、摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）を評価対象部位とする。

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、クラス 2 支持構造物の許容応力状態Ⅲ_AS に準拠し設定する。摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）は、変位可能寸法を評価基準値として設定する。評価基準値を表 4-1 に示す。

表 4-1 評価基準値

評価対象部位	材料	単位	評価基準値
軸		MPa	298
摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）	—	mm	

4.2.3 記号の説明

燃料プール冷却ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4-2 に示す。

表 4-2 記号の説明

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

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

4.2.4 評価方法

(1) 軸

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

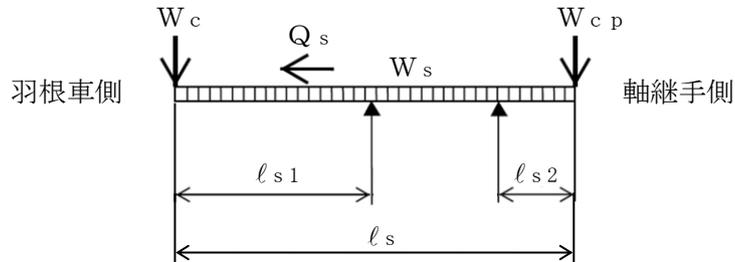


図4-1 軸の計算モデル

ポンプ振動による震度

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

ポンプ回転により作用するモーメント

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

軸の断面係数

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

地震力を考慮した軸等分布荷重

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

地震力を考慮した軸等分布荷重による羽根車側軸受部での曲げモーメント

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

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重

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

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重による羽根車側軸受部での曲げモーメント

$$M_c = W_c \cdot l_{s1} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重による軸継手側軸受部での曲げモーメント

$$M_{s2} = \frac{W_s \cdot l_{s2}^2}{2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.8)$$

地震力を考慮した軸継手側軸端部荷重

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

地震力を考慮した軸継手側軸端部荷重による軸継手側軸受部での曲げモーメント

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

軸に作用する最大曲げモーメント

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

回転体の全質量によるスラスト荷重

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

軸の断面積

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

軸に生じる最大引張応力

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

軸の極断面係数

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

ポンプの回転モーメントにより発生する捻じり応力

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

組合せ応力

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

(2) 摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）

図 4-2 に示す計算モデルにて，軸に生じる変位量を求め，変位可能寸法以下であることを確認する。

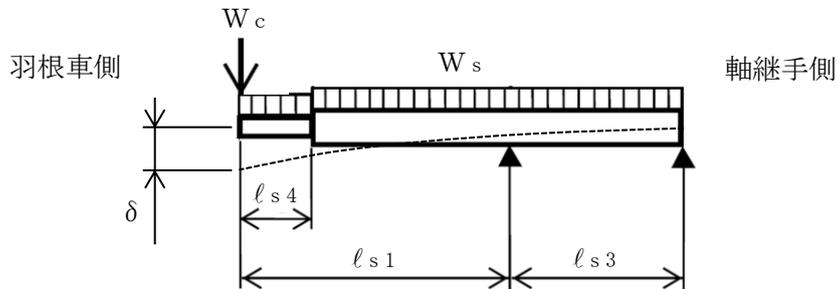


図 4-2 摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）の計算モデル

ポンプ振動による震度

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

軸の断面二次モーメント（羽根車側軸受部）

$$I_b = \frac{\pi \cdot D_b^4}{64} \dots\dots\dots (4.2.4.19)$$

軸の断面二次モーメント（羽根車部）

$$I_c = \frac{\pi \cdot D_c^4}{64} \dots\dots\dots (4.2.4.20)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重

$$W_s = \frac{m_s \cdot g \cdot \sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}}{l_s} \dots\dots\dots (4.2.4.21)$$

等分布荷重による羽根車側軸受部の傾斜

$$i_b = \frac{W_s}{24 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot (4 \cdot l_{s1}^2 \cdot l_{s3} - l_{s3}^3) \dots\dots\dots (4.2.4.22)$$

傾斜 i_b による羽根車部軸段付部のたわみ量

$$\delta_{w1} = i_b \cdot (l_{s1} - l_{s4}) \dots\dots\dots (4.2.4.23)$$

等分布荷重による羽根車部軸段付部のたわみ量

$$\delta_{w2} = \frac{W_s \cdot \ell_{s1}^4}{8 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot \ell_{s4}}{3 \cdot \ell_{s1}} + \frac{\ell_{s4}^4}{3 \cdot \ell_{s1}^4}\right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.24)$$

等分布荷重による羽根車部軸段付部の傾斜

$$i_{c1} = \frac{W_s \cdot \ell_{s1}^3}{6 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(1 - \frac{\ell_{s4}^3}{\ell_{s1}^3}\right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.25)$$

傾斜 i_b 及び傾斜 i_{c1} による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta_{w3} = (i_b + i_{c1}) \cdot \ell_{s4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.26)$$

等分布荷重による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta_{w4} = \frac{W_s \cdot \ell_{s4}^4}{8 \cdot E_s \cdot I_c} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.27)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重による変位量

$$\delta_w = \delta_{w1} + \delta_{w2} + \delta_{w3} + \delta_{w4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.28)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重

$$W_c = m_c \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.29)$$

羽根車側軸端部荷重による羽根車部軸段付部のたわみ量

$$\delta_{w1} = \frac{W_c \cdot \ell_{s1}^3}{3 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(\frac{\ell_{s1} + \ell_{s3}}{\ell_{s1}} - \left(\frac{3}{2} + \frac{\ell_{s3}}{\ell_{s1}}\right) \cdot \frac{\ell_{s4}}{\ell_{s1}} + \frac{\ell_{s4}^3}{2 \cdot \ell_{s1}^3}\right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.30)$$

羽根車側軸端部荷重による羽根車部軸段付部の傾斜

$$i_{c2} = \frac{W_c \cdot \ell_{s1}^2}{2 \cdot E_s \cdot I_b} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \ell_{s3}}{3 \cdot \ell_{s1}} - \frac{\ell_{s4}^2}{\ell_{s1}^2}\right) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.31)$$

傾斜 i_{c2} による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta_{w2} = i_{c2} \cdot \ell_{s4} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.32)$$

羽根車側軸端部荷重による羽根車側軸端部のたわみ量

$$\delta_{w3} = \frac{W_c \cdot \ell_{s4}^3}{3 \cdot E_s \cdot I_c} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.33)$$

地震力を考慮した羽根車側軸端部荷重による変位量

$$\delta w = \delta w_1 + \delta w_2 + \delta w_3 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.34)$$

地震力を考慮した軸等分布荷重及び羽根車側軸端部荷重による変位量

$$\delta = \delta_w + \delta_w \quad \dots\dots\dots (4.2.4.35)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

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

4.3.1 評価対象部位

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

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

このうち「g. 基礎ボルト」及び「h. 原動機取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。「i. 冷却ファン，クーラユニット」については、冷却ファンは遠心直動式ファンであり、インペラ・ケーシング間の接触が回転機能の喪失に関わるが、原動機においては、固定子と回転子のクリアランスが最も小さく、当該クリアランスで回転機能維持の評価を実施することから、冷却ファンの評価を省略する。

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

4.3.2 評価基準値

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

評価基準値を表4-3に示す。

表4-3 評価基準値

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

4.3.3 記号の説明

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

表 4-4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _k	キーの断面積	mm ²
A _{m f}	モータフレームの断面積	mm ²
A _{m s}	軸の断面積	mm ²
A _t	端子箱取付ボルトの断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _{m s}	軸の直径	mm
d _t	端子箱取付ボルトの呼び径	mm
E _{m s}	軸の縦弾性係数	MPa
F ₁	回転子質量による荷重	N
F ₂	軸継手質量による荷重	N
F _{B1}	軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F _{B1} '	軸継手側軸受の静等価荷重	N
F _{B2}	反軸継手側軸受のラジアル荷重	N
F _{B2} '	反軸継手側軸受の静等価荷重	N
F _H	水平方向に発生する荷重	N
F _K	キーに発生する荷重の合計	N
F _M	原動機回転によりキーに発生する荷重	N
F _{m s}	軸（回転子）質量によるラジアル荷重	N
F _t	端子箱取付ボルト 1 本あたりの引張力（軸方向）	N
F _t	端子箱取付ボルト 1 本あたりの引張力（軸直角方向）	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
H _P	予想最大両振幅	μm
h _m	原動機取付面から重心までの距離	mm
h _t	端子箱取付面から重心までの距離	mm
I _{m s}	軸（回転子）の断面二次モーメント	mm ⁴
L ₁	重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
L ₂	端子箱取付ボルト間の距離	mm
L _B	軸受間の距離	mm
ℓ _{m s 1}	反軸継手側軸受から軸受間距離の 1/2 までの距離	mm
ℓ _{m s 2}	軸継手側軸受から軸受間距離の 1/2 までの距離	mm
M _M	原動機回転により作用するモーメント	N・mm

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

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

図4-3に示す計算モデルにて、キーに生じるせん断力を算出し、キーに生じるせん断応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

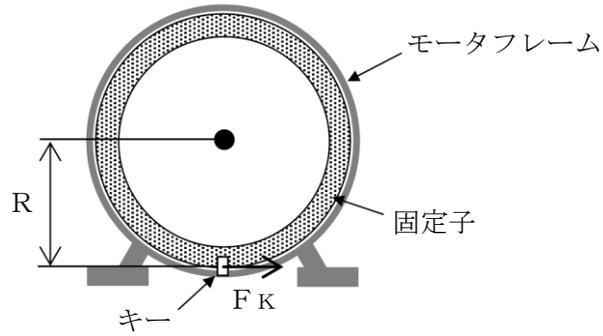


図4-3 固定子の計算モデル

ポンプ振動による震度

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

原動機回転により作用するモーメント

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

原動機回転によりキーに発生する荷重

$$F_M = \frac{M_M}{R} \dots\dots\dots (4.3.4.3)$$

水平方向に発生する荷重

$$F_H = m_k \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.4)$$

キーに発生する荷重の合計

$$F_K = F_M + F_H \dots\dots\dots (4.3.4.5)$$

キーに発生するせん断応力

$$\tau_k = \frac{F_K}{A_k} \dots\dots\dots (4.3.4.6)$$

(2) 軸（回転子）

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

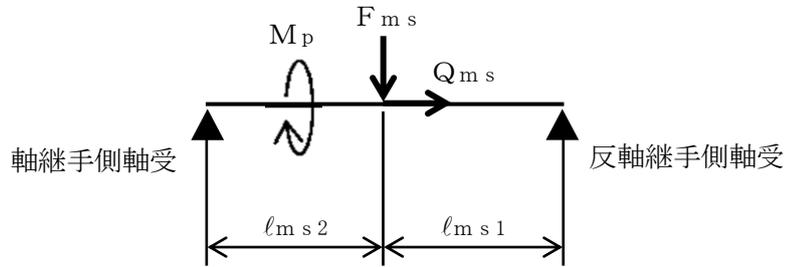


図4-4 軸（回転子）の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.7)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.8)$$

軸の断面係数

$$Z_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{32} \dots\dots\dots (4.3.4.9)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P\right) \dots\dots\dots (4.3.4.10)$$

軸（回転子）質量によるスラスト荷重

$$Q_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.11)$$

軸の極断面係数

$$Z_{msp} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^3}{16} \dots\dots\dots (4.3.4.12)$$

原動機の回転モーメントにより発生する捻じり応力

$$\tau_{mms} = \frac{MP}{Z_{m s p}} \dots\dots\dots (4.3.4.13)$$

軸の断面積

$$A_{ms} = \frac{\pi}{4} \cdot D_{ms}^2 \dots\dots\dots (4.3.4.14)$$

軸に生じる最大引張応力

$$\sigma_{ms1} = \frac{l_{ms1} \cdot l_{ms2}}{Z_{ms} \cdot (l_{ms1} + l_{ms2})} \cdot F_{ms} + \frac{Q_{ms}}{A_{ms}} \dots\dots\dots (4.3.4.15)$$

組合せ応力

$$\sigma_{ms} = \sqrt{\sigma_{ms1}^2 + 3 \cdot \tau_{mms}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.16)$$

(3) 端子箱

図4-5に示す計算モデルにて、端子箱取付ボルトに生じる荷重を算出し、端子箱取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

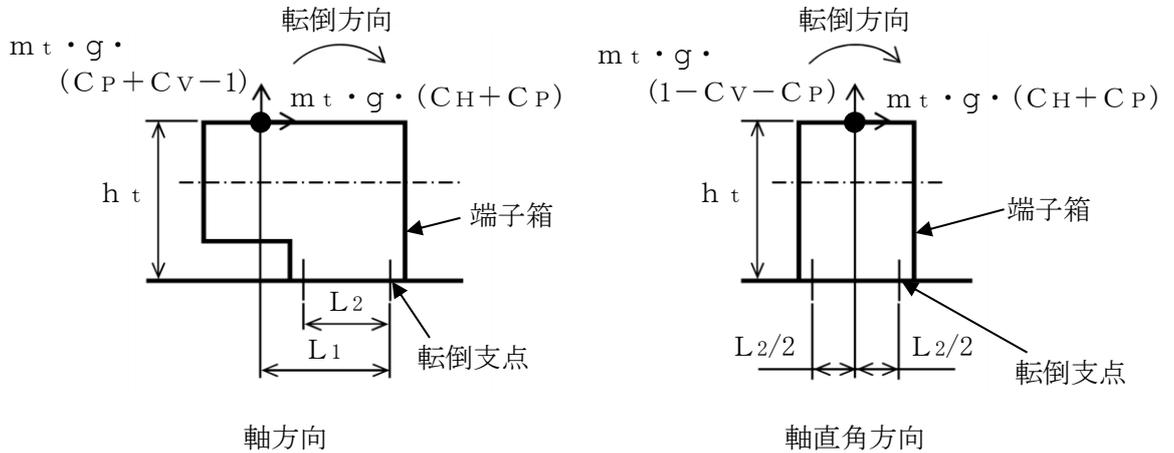


図4-5 端子箱の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.17)$$

端子箱取付ボルトの断面積

$$A_t = \frac{\pi}{4} \cdot d_t^2 \quad \dots\dots\dots (4.3.4.18)$$

端子箱取付ボルト1本あたりの引張力

軸方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t + m_t \cdot g \cdot (C_P + C_V - 1) \cdot L_1}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.19)$$

軸直角方向

$$F_t = \frac{m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t - m_t \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \cdot \frac{L_2}{2}}{n_{t f} \cdot L_2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.20)$$

端子箱取付ボルトに発生する引張応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.21)$$

端子箱取付ボルトのせん断力

$$Q_t = m_t \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.22)$$

端子箱取付ボルトに発生するせん断応力

$$\tau_t = \frac{Q_t}{n_t \cdot A_t} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.23)$$

(4) 軸受

図4-6に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

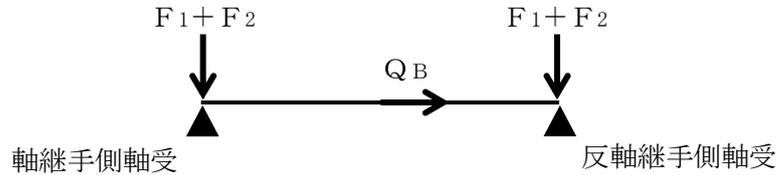


図4-6 軸受の計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.24)$$

回転子質量による荷重

$$F_1 = m_{mr} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.25)$$

軸継手質量による荷重

$$F_2 = m_{cp} \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2 + C_P}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.26)$$

軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B1} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.27)$$

反軸継手側軸受のラジアル荷重

$$F_{B2} = F_1 + F_2 \dots\dots\dots (4.3.4.28)$$

スラスト荷重

$$Q_B = (m_{mr} + m_{cp}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \dots\dots\dots (4.3.4.29)$$

軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B1}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B1} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B1}) \dots\dots\dots (4.3.4.30)$$

反軸継手側軸受の静等価荷重

$$F_{B2}' = \text{Max} (0.6 \cdot F_{B2} + 0.5 \cdot Q_B, F_{B2}) \dots\dots\dots (4.3.4.31)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

図4-7に示す計算モデルにて、軸（回転子）に生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

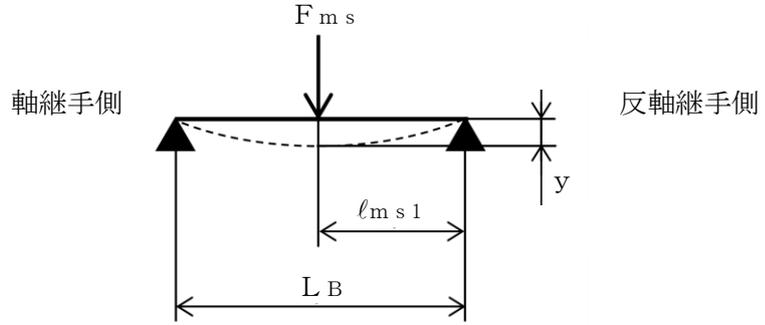


図4-7 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{HP}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.32)$$

軸（回転子）質量によるラジアル荷重

$$F_{ms} = (m_j + m_a + m_{cp}) \cdot g \cdot \left(\sqrt{CH^2 + (CV+1)^2 + CP}\right) \dots\dots\dots (4.3.4.33)$$

軸（回転子）の断面二次モーメント

$$I_{ms} = \frac{\pi \cdot D_{ms}^4}{64} \dots\dots\dots (4.3.4.34)$$

軸（回転子）の変位量

$$y = \frac{F_{ms} \cdot \ell_{ms1} \cdot (L_B^2 - \ell_{ms1}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E_{ms} \cdot I_{ms} \cdot L_B} \dots\dots\dots (4.3.4.35)$$

(6) モータフレーム

図4-8に示す計算モデルにて、モータフレームに生じる応力を算出し、モータフレームに生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。なお、モータフレームの評価は、構造上厳しくなる軸直角方向について評価を実施する。

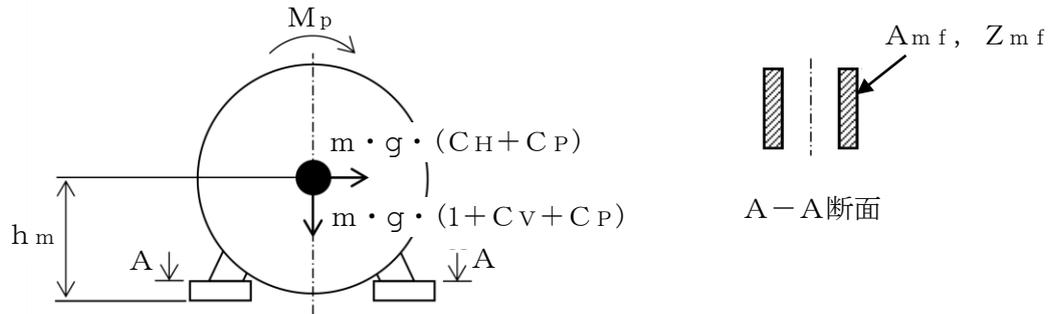


図4-8 モータフレームの計算モデル

ポンプ振動による震度

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.3.4.36)$$

ポンプ回転により作用するモーメント

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N}\right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.3.4.37)$$

水平方向の荷重によるせん断応力

$$\tau_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.38)$$

水平方向の荷重による曲げ応力 (圧縮)

$$\sigma_{mf1} = \frac{m \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_m}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.39)$$

自重及び鉛直方向の荷重による圧縮応力

$$\sigma_{mf2} = \frac{m \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P)}{A_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.40)$$

原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力

$$\sigma_{mf3} = \frac{MP}{Z_{mf}} \dots\dots\dots (4.3.4.41)$$

組合せ応力

$$\sigma_{mf} = \sqrt{(\sigma_{mf1} + \sigma_{mf2} + \sigma_{mf3})^2 + 3 \cdot \tau_{mf1}^2} \dots\dots\dots (4.3.4.42)$$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール冷却ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却ポンプ	常設耐震 /防止	原子炉建物 EL 30.5*1	—*2	—*2	—	—	C _H =3.61*3	C _V =2.23*3	C _P =0.29	—	□

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							6	3
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)					—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)					—	軸	—

注記*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2: 周囲環境温度で算出

H _p (μm)	N (ポンプ) (rpm)	N (原動機) (rpm)

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=28$	$f_{ts1}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=22$	$f_{sb1}=342$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=40$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=12$	$f_{sb2}=342$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=33$	$f_{ts3}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=23$	$f_{sb3}=134$

すべて許容応力以下である。

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

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	198	原子炉建物 EL 30.5*1	—*2	—*2	C _H =2.63*3	C _V =2.08*3	C _P =0.29	66	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
燃料プール冷却ポンプ用 原動機	横形ころがり 軸受電動機	110	原子炉建物 EL 30.5*1	—*2	—*2	C _H =2.63*3	C _V =2.08*3	C _P =0.29	150	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

1.2.2.1 横形単段遠心式ポンプの機器要目

(1) 軸

部材	m _r (kg)	m _s (kg)	m _{c p} (kg)	m _c (kg)	D _s (mm)	l _s (mm)	l _{s 1} (mm)	l _{s 2} (mm)	N (rpm)	P (kW)
軸										110

(2) 摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）

部材	m _s (kg)	m _c (kg)	D _b (mm)	D _c (mm)	l _s (mm)	l _{s 1} (mm)	l _{s 3} (mm)	l _{s 4} (mm)	N (rpm)
摺動部（ロータとケーシングのクリアランス）									

1.2.2.2 横形ころがり軸受電動機の機器要目

(1) 固定子

部材	A_k (mm ²)	m_k (kg)	N (rpm)	P (kW)	R (mm)	$T_{m a}$ (%)
固定子	2240	397	3600	110	265	240

(2) 軸 (回転子)

部材	$D_{m s}$ (mm)	$\ell_{m s 1}$ (mm)	$\ell_{m s 2}$ (mm)	m_a (kg)	$m_{c p}$ (kg)	m_j (kg)	N (rpm)	P (kW)	$Z_{m s}$ (mm ³)
軸 (回転子)	50	385.75	385.75	194	5.1	57	3600	110	1.227×10^4

(3) 端子箱

部材	A_t (mm ²)	h_t (mm)	L_1 (mm)	L_2^* (mm)	m_t (kg)	n_t	$n_{t f}$
端子箱	78.54	300	187	130	22	4	2
				130			

注記* : 端子箱の機器要目における上段は軸直角方向に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向に対する評価時の要目を示す。

(4) 軸受

部材	$m_{c p}$ (kg)	$m_{m r}$ (kg)
軸受	5.1	251

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

部材	$D_{m s}$ (mm)	$E_{m s}$ (MPa)	L_B (mm)	$\ell_{m s 1}$ (mm)
固定子と回転子間のクリアランス	50	193000	771.5	385.75

(6) モータフレーム

部材	$A_{m f}$ (mm ²)	h_m (mm)	m (kg)	$Z_{m f}$ (mm ³)
モータフレーム	15500	315	1055.1	2844312

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(×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	2.63	1.4
	鉛直方向	2.08	1.0
原動機	水平方向	2.63	4.7
	鉛直方向	2.08	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度により定まる加速度
 ポンプは、水平、鉛直方向ともに機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。
 原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、以下の項目について評価する。

1.2.3.2 横形単段遠心式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ポンプ取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸	37	298

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 ロータとケーシングのクリアランスの評価

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
ロータとケーシングのクリアランス	0.11	

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3 横形ころがり軸受電動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	7	104

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価 (単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸（回転子）	177	265

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価 (単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
端子箱	引張	12	174
	せん断	2	134

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側	1.090×10^4	
反軸継手側	1.090×10^4	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

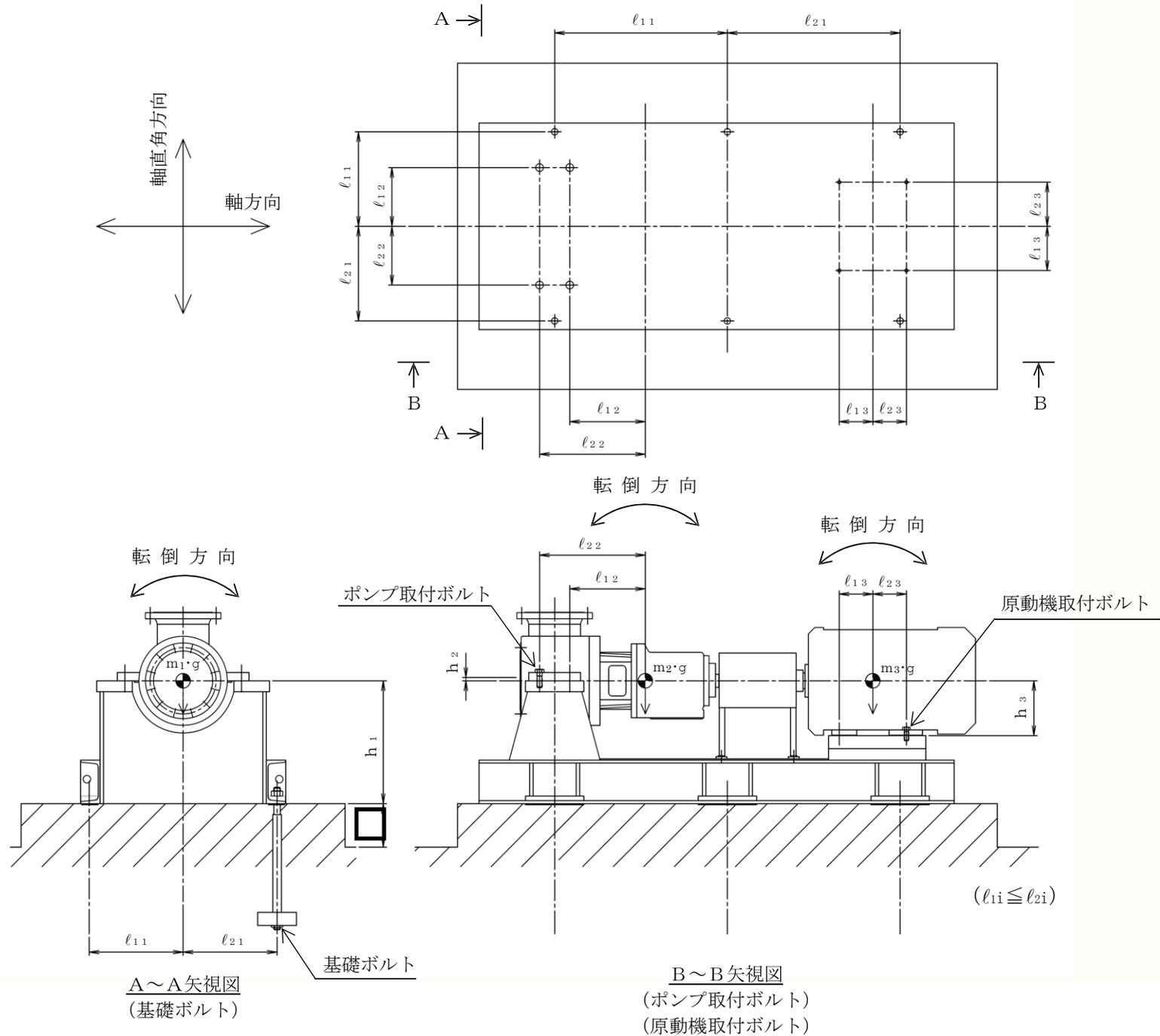
評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	1.77	

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価 (単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
モータフレーム	7	232

すべて許容応力以下である。



VI-2-4-4 その他の核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の耐震性についての計算書

VI-2-4-4-1 燃料プール監視カメラ（S A）の耐震性についての計算書

目 次

1. 燃料プール監視カメラ (SA)	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用規格・基準等	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	6
1.3 評価部位	7
1.4 固有周期	7
1.4.1 基本方針	7
1.4.2 固有周期の確認方法	7
1.4.3 固有周期の確認結果	7
1.5 構造強度評価	8
1.5.1 構造強度評価方法	8
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
1.5.3 設計用地震力	12
1.5.4 計算方法	13
1.5.5 計算条件	15
1.5.6 応力の評価	16
1.6 機能維持評価	17
1.6.1 電氣的機能維持評価方法	17
1.7 評価結果	18
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

2. 燃料プール監視カメラ（SA）サポート	22
2.1 概要	22
2.2 一般事項	22
2.2.1 構造計画	22
2.2.2 評価方針	24
2.2.3 適用規格・基準等	25
2.2.4 記号の説明	26
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	27
2.3 評価部位	28
2.4 固有周期	28
2.4.1 基本方針	28
2.4.2 固有周期の確認方法	28
2.4.3 固有周期の確認結果	28
2.5 構造強度評価	29
2.5.1 構造強度評価方法	29
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	29
2.5.3 設計用地震力	33
2.5.4 計算方法	34
2.5.5 計算条件	36
2.5.6 応力の評価	37
2.6 評価結果	38
2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	38

3. 監視カメラ制御盤（中央制御室）	42
3.1 概要	42
3.2 一般事項	42
3.2.1 構造計画	42
3.3 固有周期	44
3.3.1 固有周期の確認	44
3.4 構造強度評価	45
3.4.1 構造強度評価方法	45
3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	45
3.4.3 計算条件	45
3.5 機能維持評価	49
3.5.1 電氣的機能維持評価方法	49
3.6 評価結果	50
3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	50
3.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	50

4. 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）	56
4.1 概要	56
4.2 一般事項	56
4.2.1 構造計画	56
4.2.2 評価方針	58
4.2.3 適用規格・基準等	59
4.2.4 記号の説明	60
4.2.5 計算精度と数値の丸め方	61
4.3 評価部位	62
4.4 固有周期	62
4.4.1 基本方針	62
4.4.2 固有周期の確認方法	62
4.4.3 固有周期の確認結果	62
4.5 構造強度評価	63
4.5.1 構造強度評価方法	63
4.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	63
4.5.3 設計用地震力	67
4.5.4 計算方法	68
4.5.5 計算条件	70
4.5.6 応力の評価	71
4.6 機能維持評価	72
4.6.1 電氣的機能維持評価方法	72
4.7 評価結果	73
4.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	73

1. 燃料プール監視カメラ（S A）

1.1 概要

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

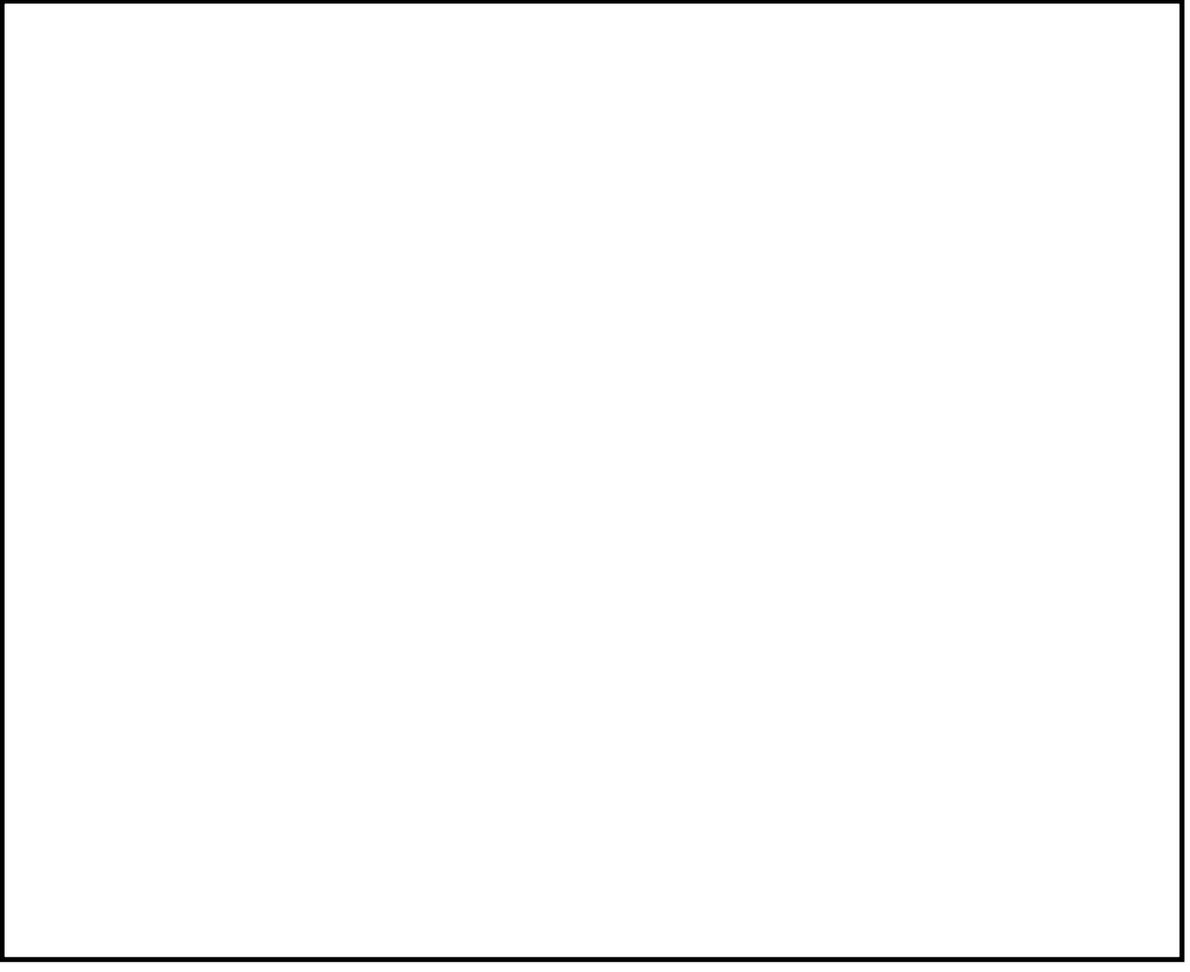
燃料プール監視カメラ（S A）は、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

燃料プール監視カメラ（S A）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
燃料プール監視カメラ (S A) は, 取付ボルト にてサポート鋼材に設置 する。	赤外線カメラ	

1.2.2 評価方針

燃料プール監視カメラ（S A）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「1.2.1 構造計画」にて示す燃料プール監視カメラ（S A）の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「1.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、燃料プール監視カメラ（S A）の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「1.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価フローを図1-1に示す。

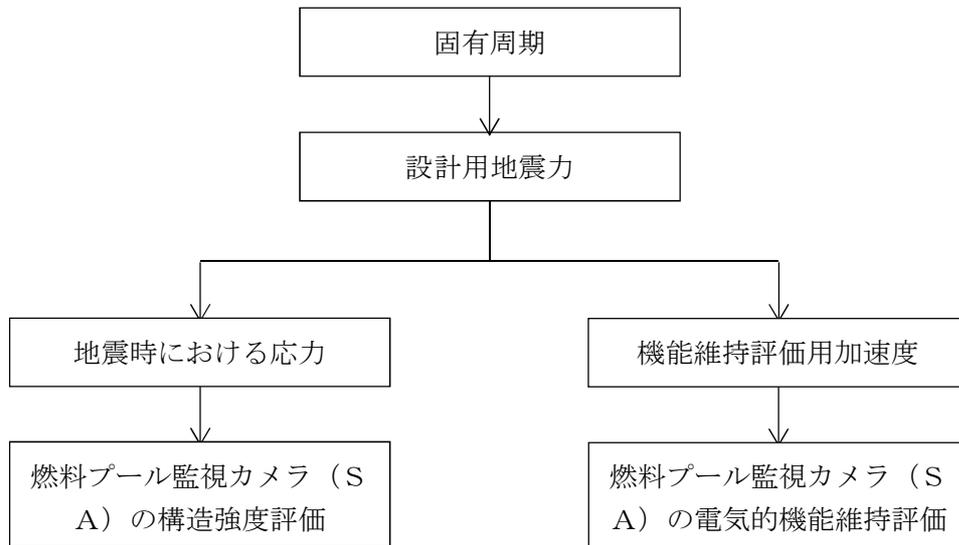


図1-1 燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{b2}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_2	ボルトの呼び径	mm
F_2	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_2^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{b2}	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり)	N
f_{sb2}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to2}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts2}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_2	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l_{12}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_{22}	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m_2	燃料プール監視カメラ (SA) の質量	kg
n_2	ボルトの本数	—
n_{f2}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_{b2}	ボルトに作用するせん断力	N
S_{u2}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_{y2}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_{y2}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_{b2}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{b2}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_{12} \leq l_{22}$

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-2 に示すとおりである。

表 1-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

1.3 評価部位

燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価は、「1.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて実施する。

燃料プール監視カメラ（S A）の耐震評価部位については、表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 基本方針

燃料プール監視カメラ（S A）の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

1.4.2 固有周期の確認方法

正弦波掃引試験により固有周期を確認する。燃料プール監視カメラ（S A）の外形図を表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 1-3 に示す。試験の結果、固有周期は 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 1-3 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

- (1) 燃料プール監視カメラ（S A）の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は燃料プール監視カメラ（S A）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) 燃料プール監視カメラ（S A）は取付ボルトでサポート鋼材に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 燃料プール監視カメラ（S A）の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール監視カメラ（S A）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.5.2.2 許容応力

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

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール監視カメラ（S A）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	燃料プール監視カメラ（S A）	常設／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 1-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 1-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト						

1.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 1-7 に示す。

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

表 1-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	$C_H = $ <input type="text"/> *2	$C_V = $ <input type="text"/> *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図1-2 計算モデル（短辺方向転倒）

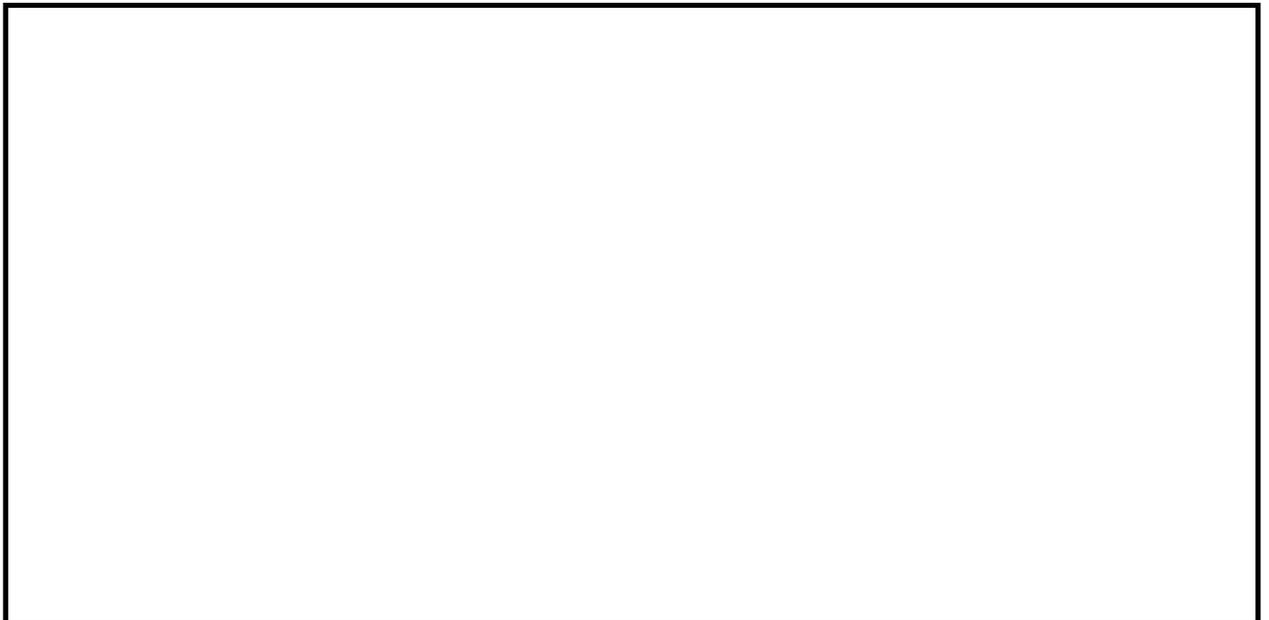


図1-3 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図1-2及び図1-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} \text{ (短辺)} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{22} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{22} - l_{12})} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.1)$$

$$F_{b2} \text{ (長辺)} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V + 1) \cdot l_{12} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{22} - l_{12})} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.3)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.4)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.6)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ（S A）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 ボルトの応力評価

1.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{b2} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts2} 以下であること。ただし、 f_{to2} は下表による。

$$f_{ts2} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to2} - 1.6 \cdot \tau_{b2}, f_{to2}] \dots\dots\dots (1.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{b2} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb2} 以下であること。ただし、 f_{sb2} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to2}	$\frac{F_2^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb2}	$\frac{F_2^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール監視カメラ（S A）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお，機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

燃料プール監視カメラ（S A）の機能確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，実機の据付状態を模擬したうえで，当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-8 に示す。

表 1-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ（S A）	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール監視カメラ (SA) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール監視カメラ (SA)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m ₂ (kg)	h ₂ (mm)	d ₂ (mm)	A _{b2} (mm ²)	n ₂	S _{y2} (MPa)	S _{u2} (MPa)	S _{y2} (RT) (MPa)
取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l ₁₂ *2 (mm)	l ₂₂ *2 (mm)	n _{f2} *2	F ₂ (MPa)	F ₂ * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	長辺方向
	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *1					

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

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

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b2}		Q _{b2}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{ts2} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{sb2} = $ <input type="text"/>

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts2} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to2} - 1.6 \cdot \tau_{b2}, f_{to2}]$

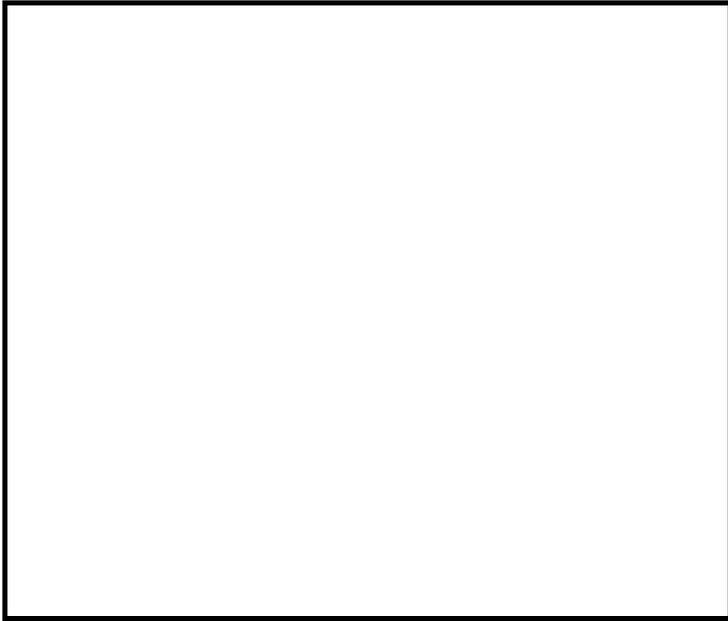
1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

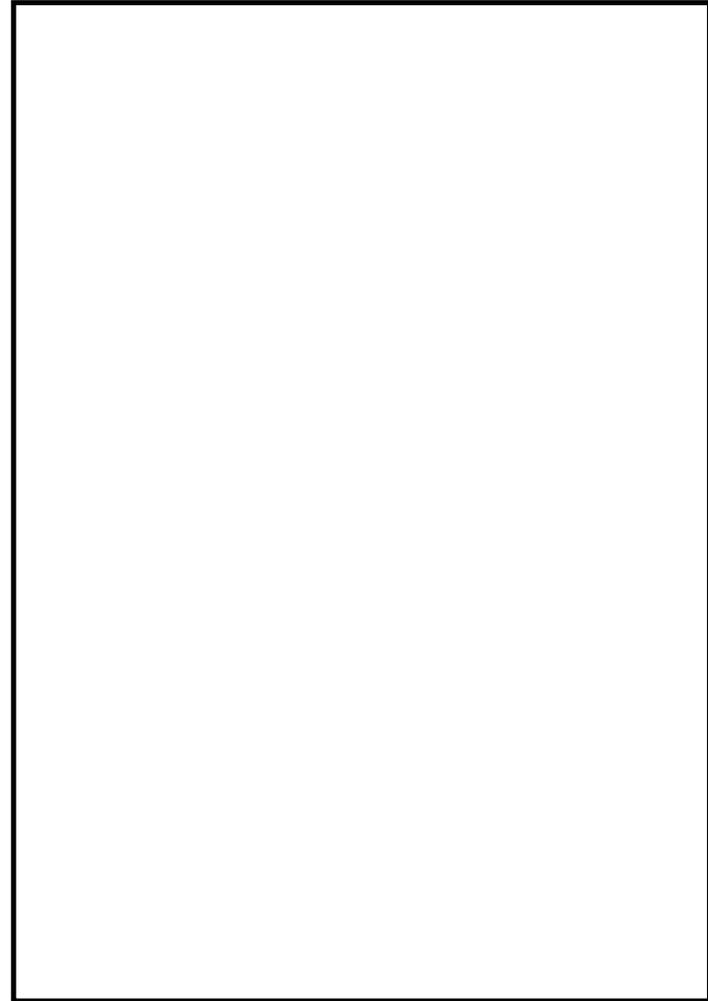
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ (SA)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

正面
(短辺方向)



側面
(長辺方向)



2. 燃料プール監視カメラ（S A）サポート

2.1 概要

燃料プール監視カメラ（S A）サポートは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
燃料プール監視カメラ (S A) サポートは、基礎ボルトにて壁に設置する。	支持構造物	

2.2.2 評価方針

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す燃料プール監視カメラ（S A）サポートの部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.6 評価結果」に示す。

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

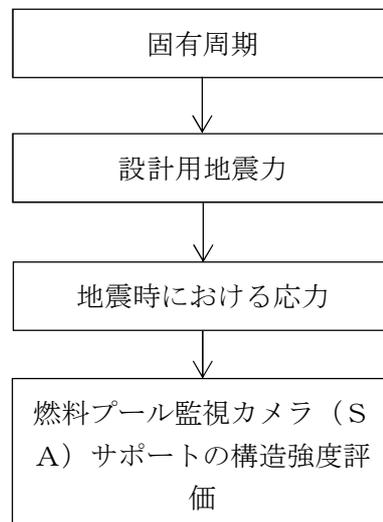


図 2-1 燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{b1}	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_1	ボルトの呼び径	mm
F_1	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F_1^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{b1}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_{b11}	鉛直方向地震及び壁取付機器取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_{b21}	鉛直方向地震及び壁取付機器取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
f_{sb1}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to1}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts1}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l_{11}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_{21}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_{31}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
m_1	燃料プール監視カメラ (SA) サポート (カメラ本体含む) の質量	kg
n_1	ボルトの本数	—
n_{fv1}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (前後方向)	—
n_{fH1}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (左右方向)	—
Q_{b1}	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b11}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b21}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
S_{u1}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_{y1}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_{y1}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_{b1}	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{b1}	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 基本方針

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

2.4.2 固有周期の確認方法

正弦波掃引試験により固有周期を確認する。燃料プール監視カメラ（S A）サポートの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 2-3 に示す。試験の結果、固有周期は 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

水平	<input type="text"/>
鉛直	

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 燃料プール監視カメラ（S A）サポートの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は燃料プール監視カメラ（S A）サポートに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 燃料プール監視カメラ（S A）サポートは基礎ボルトで壁に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、左右方向及び前後方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 燃料プール監視カメラ（S A）サポートの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	燃料プール監視カメラ（S A） サポート	常設／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 2-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 2-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

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

表 2-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	$C_H =$ <input type="text"/> *2	$C_V =$ <input type="text"/> *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図2-2 計算モデル（左右方向転倒）

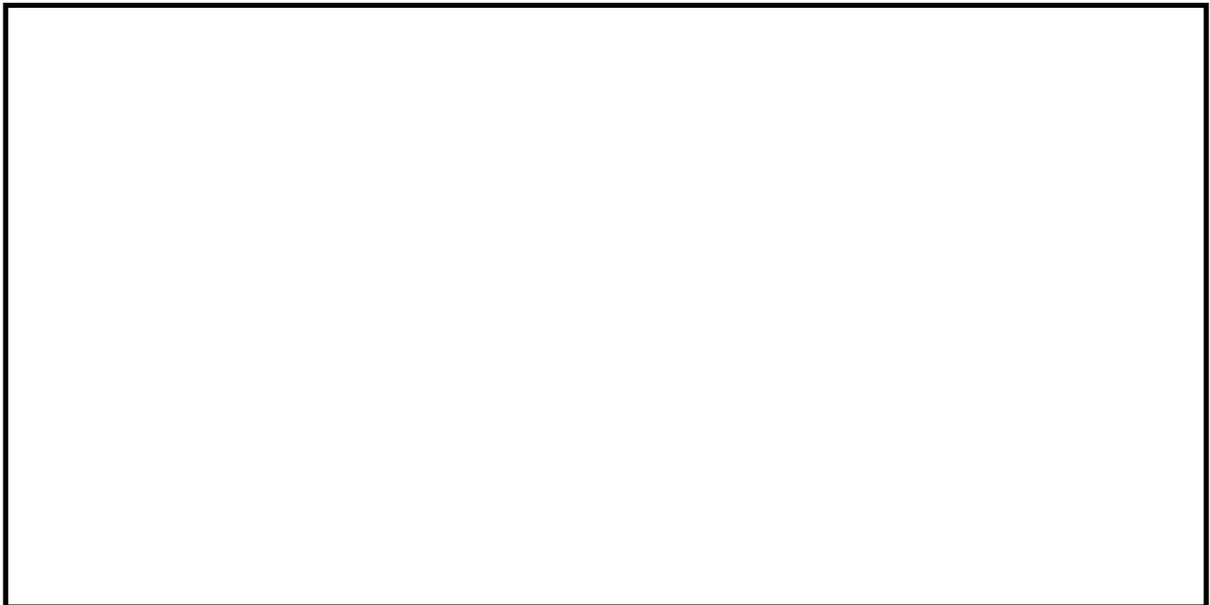


図2-3 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図2-2及び図2-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b11} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g}{n_{fV1} \cdot \ell_{21}} + \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g}{n_{fH1} \cdot \ell_{31}} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

$$F_{b21} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot C_H \cdot \ell_{11} \cdot g}{n_{fV1} \cdot \ell_{21}} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

$$F_{b1} = \text{Max} (F_{b11}, F_{b21}) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b11} = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b21} = m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot g \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.7)$$

$$Q_{b1} = \sqrt{(Q_{b11})^2 + (Q_{b21})^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.9)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ（S A）サポートの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{b1} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts1} 以下であること。ただし、 f_{to1} は下表による。

$$f_{ts1} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to1} - 1.6 \cdot \tau_{b1}, f_{to1}] \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{b1} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb1} 以下であること。ただし、 f_{sb1} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to1}	$\frac{F_1^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb1}	$\frac{F_1^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 評価結果

2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール監視カメラ（S A）サポートの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール監視カメラ (SA) サポートの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール監視カメラ (SA) サポート	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1 (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m ₁ (kg)	h ₁ (mm)	d ₁ (mm)	A _{b1} (mm ²)	n ₁	S _{y1} (MPa)	S _{u1} (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l ₁₁ *2 (mm)	l ₂₁ *2 (mm)	l ₃₁ *2 (mm)	n _{f v1} *2	n _{f H1} *2	F ₁ (MPa)	F ₁ * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	前後方向
	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—				

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

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

下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b1}		Q _{b1}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

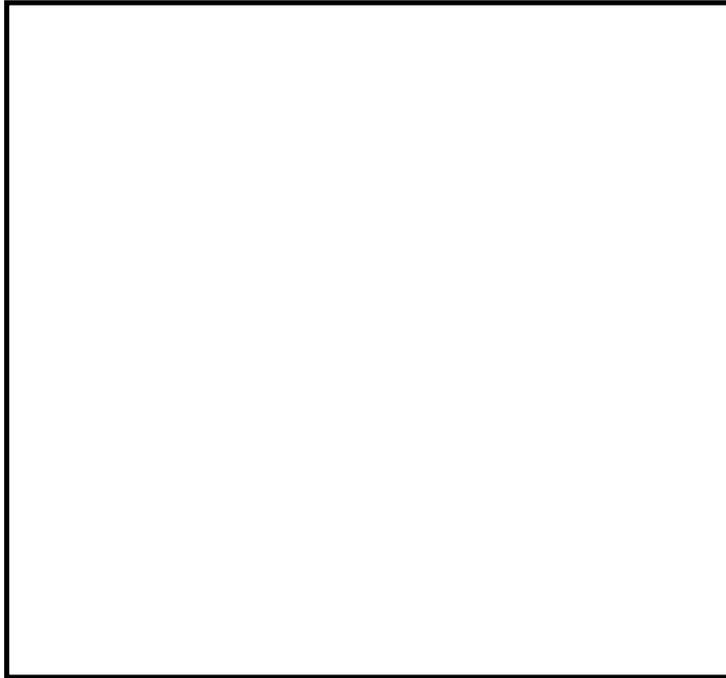
(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{ts1} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{sb1} = $ <input type="text"/>

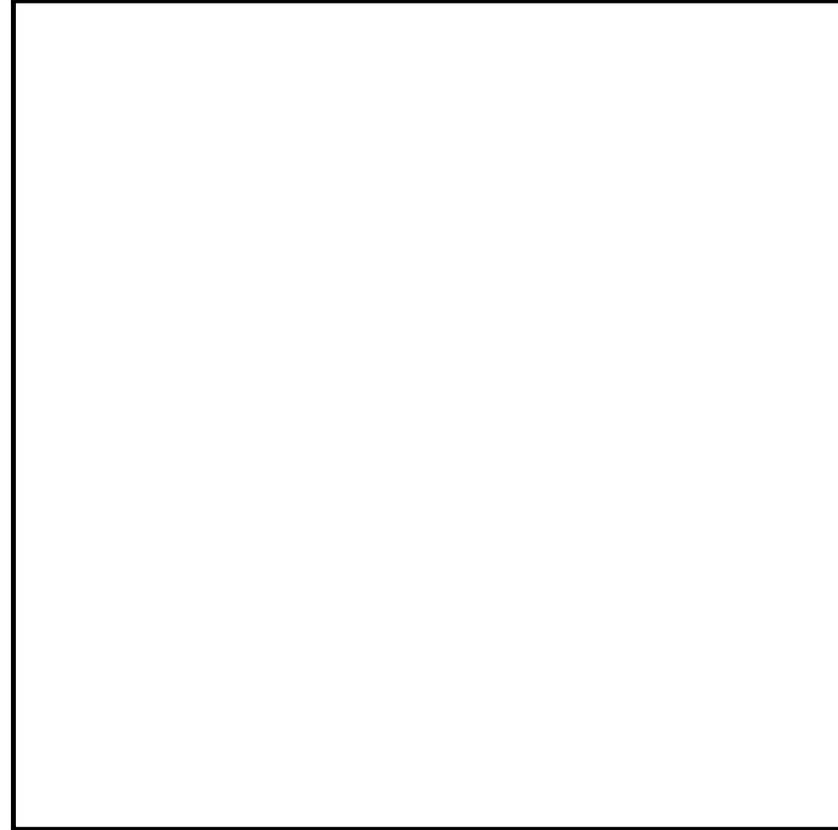
すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts1} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to1} - 1.6 \cdot \tau_{b1}, f_{to1}]$

正面
(左右方向)



側面
(前後方向)



3. 監視カメラ制御盤（中央制御室）

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、監視カメラ制御盤（中央制御室）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

監視カメラ制御盤（中央制御室）は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

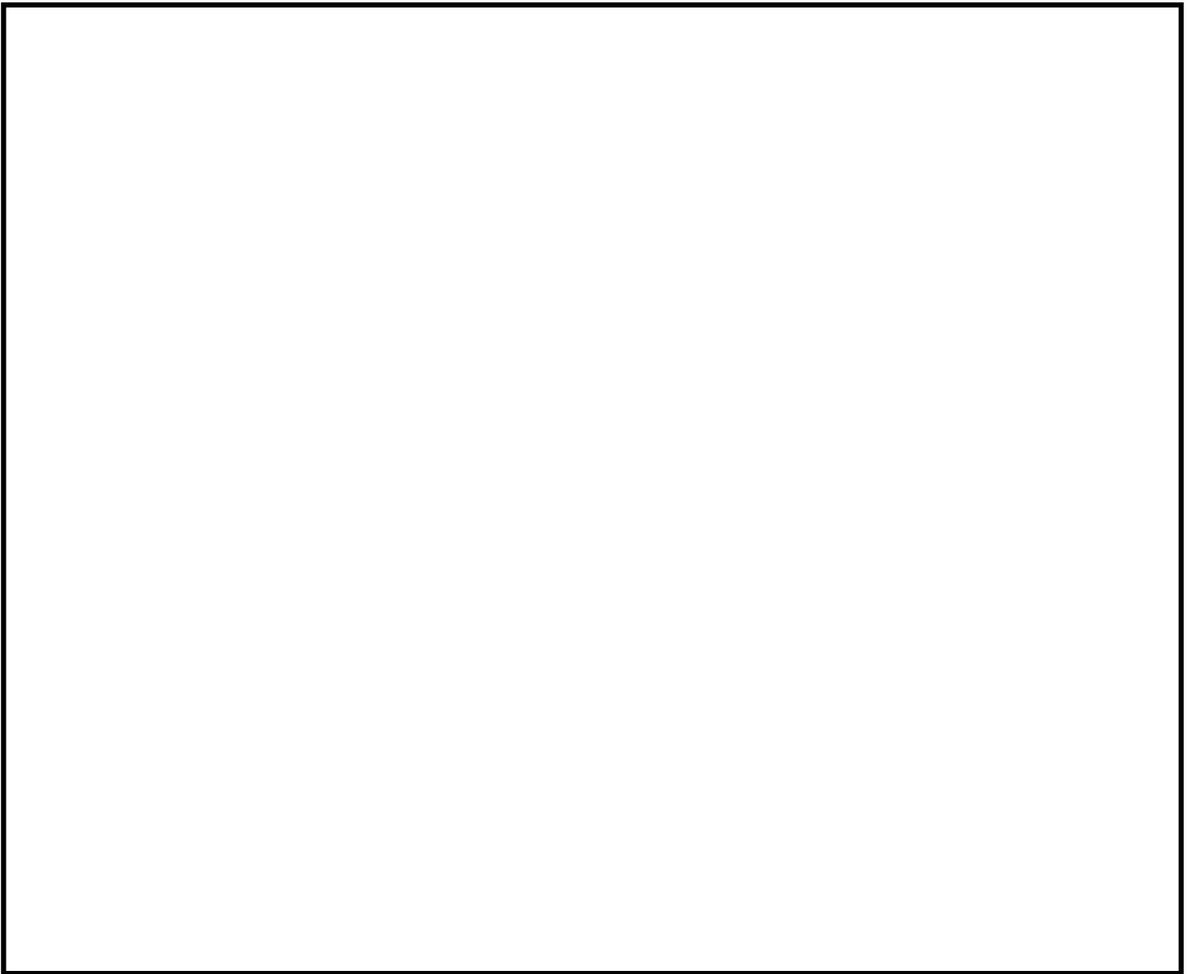
なお、監視カメラ制御盤（中央制御室）は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

監視カメラ制御盤（中央制御室）の構造計画を表3-1に示す。

表 3-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラ制御盤（中央制御室）は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。</p> <p>チャンネルベースは基礎ボルトで基礎に設置する。</p>	<p>直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立開放型の盤）</p>	

3.3 固有周期

3.3.1 固有周期の確認

監視カメラ制御盤（中央制御室）の固有周期は、振動試験（加振試験）により確認する。試験の結果、固有周期は□秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有周期 (単位 : s)

監視カメラ制御盤 (中央制御室)	水平	□
	鉛直	

3.4 構造強度評価

3.4.1 構造強度評価方法

監視カメラ制御盤（中央制御室）の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

監視カメラ制御盤（中央制御室）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

3.4.2.2 許容応力

監視カメラ制御盤（中央制御室）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-5 のとおりとする。

3.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

監視カメラ制御盤（中央制御室）の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-7 に示す。

3.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【監視カメラ制御盤（中央制御室）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質 の取扱施設 及び 貯蔵施設	その他の核 燃料物質の 取扱施設及 び貯蔵施設	監視カメラ制御盤 (中央制御室)	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅲ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質 の取扱施設 及び 貯蔵施設	その他の核 燃料物質の 取扱施設及 び貯蔵施設	監視カメラ制御盤 (中央制御室)	常設／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

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

*²：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 3-5 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—
取付ボルト		周囲環境温度				—

表 3-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—
取付ボルト		周囲環境温度				—

3.5 機能維持評価

3.5.1 電氣的機能維持評価方法

監視カメラ制御盤（中央制御室）の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

監視カメラ制御盤（中央制御室）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-8 に示す。

表 3-8 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
監視カメラ制御盤（中央制御室）	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

3.6 評価結果

3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

監視カメラ制御盤（中央制御室）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

3.6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【監視カメラ制御盤（中央制御室）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	S	制御室建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{ts1} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{sb1} = $ <input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{ts2} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{sb2} = $ <input type="text"/>

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
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	常設/防止 常設/緩和	制御室建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s）

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} * (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)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	短辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{ts1} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = $ <input type="text"/>	$f_{sb1} = $ <input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{ts2} = $ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = $ <input type="text"/>	$f_{sb2} = $ <input type="text"/>

すべて許容応力以下である。

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

2.4.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8m/s²)

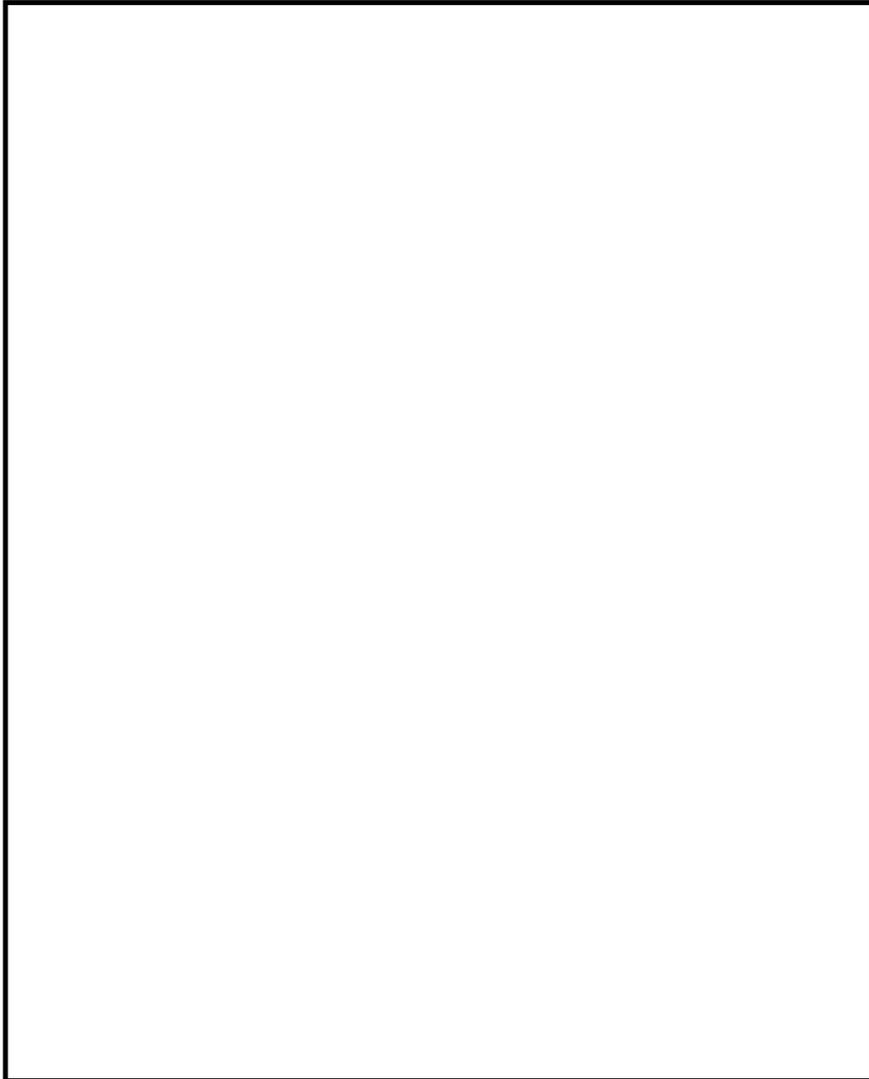
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ制御盤 (中央制御室)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

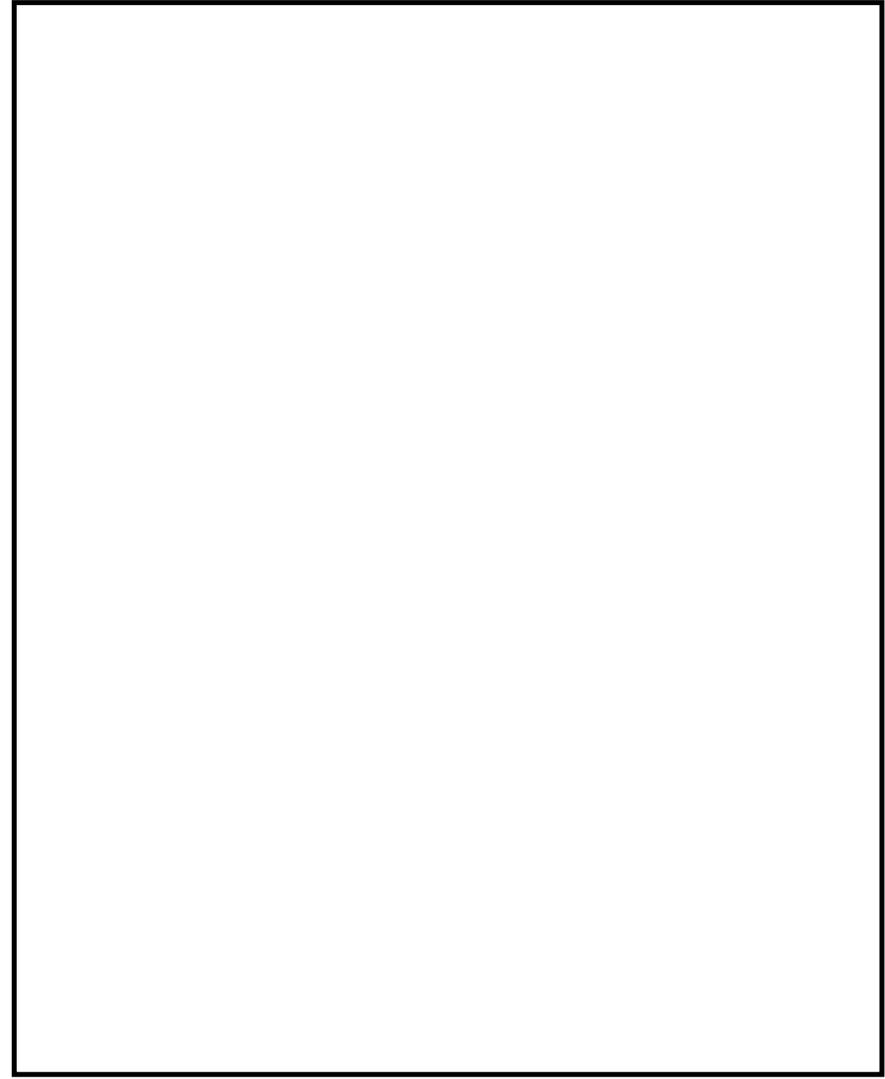
正面
(長辺方向)

側面
(短辺方向)



正面
(長辺方向)

側面
(短辺方向)



4. 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）

4.1 概要

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

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）は、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

4.2 一般事項

4.2.1 構造計画

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の構造計画を表4-1に示す。

表 4-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
監視モニタ（ノート PC）を固縛用ベルトにて表示（監視モニタ）（緊急時対策所）に固縛する。 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）は、基礎ポルトにて壁に設置する。	監視モニタ（ノート PC）	

4.2.2 評価方針

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「4.2.1 構造計画」にて示す表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の部位を踏まえ「4.3 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「4.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.7 評価結果」に示す。

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価フローを図4-1に示す。

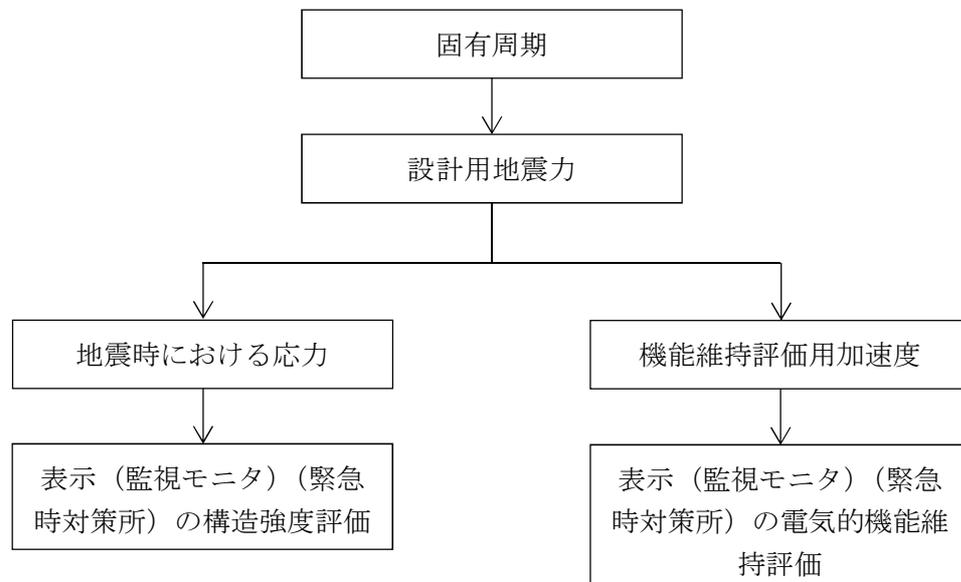


図4-1 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価フロー

4.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

4.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり)	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本あたり)	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本あたり)	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	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_2	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離	mm
l_3	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離	mm
m	表示 (監視モニタ) (緊急時対策所) の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_{fv}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (前後方向)	—
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (左右方向)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

4.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 4-2 に示すとおりである。

表 4-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

4.3 評価部位

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価は、「4.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震評価部位については、表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4 固有周期

4.4.1 基本方針

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.4.2 固有周期の確認方法

正弦波掃引試験により固有周期を確認する。表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の外形図を表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-3 に示す。試験の結果、固有周期は 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

4.5 構造強度評価

4.5.1 構造強度評価方法

- (1) 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は表示（監視モニタ）（緊急時対策所）に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）は基礎ボルトで壁に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、左右方向及び前後方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

4.5.2.2 許容応力

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-5 のとおりとする。

4.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	表示（監視モニタ） （緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—

4.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 に示す。

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

表 4-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
緊急時対策所 EL <input type="text"/> (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	$C_H =$ <input type="text"/> *2	$C_V =$ <input type="text"/> *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S_s ）

4.5.4 計算方法

4.5.4.1 応力の計算方法

4.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図4-2 計算モデル（左右方向転倒）



図4-3 計算モデル（前後方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図4-2及び図4-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot (1 + C_v) \cdot h \cdot g}{n_{fv} \cdot l_2} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot l_3} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.1)$$

$$F_{b2} = \frac{m \cdot (1 + C_v) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot l_1 \cdot g}{n_{fv} \cdot l_2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.2)$$

$$F_b = \text{Max} (F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot (1 + C_v) \cdot g \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.5.4.1.1.9)$$

4.5.5 計算条件

4.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.5.6 応力の評価

4.5.6.1 ボルトの応力評価

4.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

4.6 機能維持評価

4.6.1 電氣的機能維持評価方法

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-8 に示す。

表 4-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

機器名称	方向	機能確認済加速度
表示（監視モニタ） （緊急時対策所）	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

4.7 評価結果

4.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【表示（監視モニタ）（緊急時対策所）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
表示（監視モニタ） （緊急時対策所）	常設／防止 常設／緩和	緊急時対策所 EL <input type="text"/> (EL <input type="text"/> *1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *2	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	ℓ ₁ *2 (mm)	ℓ ₂ *2 (mm)	ℓ ₃ *2 (mm)	n _{fV} *2	n _{fH} *2	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	前後方向
	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—				

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2：各ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	<input type="text"/>	引張	—	—	$\sigma_b =$ <input type="text"/>	$f_{ts} =$ <input type="text"/> *
		せん断	—	—	$\tau_b =$ <input type="text"/>	$f_{sb} =$ <input type="text"/>

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

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
表示 (監視モニタ) (緊急時対策所)	水平方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	鉛直方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

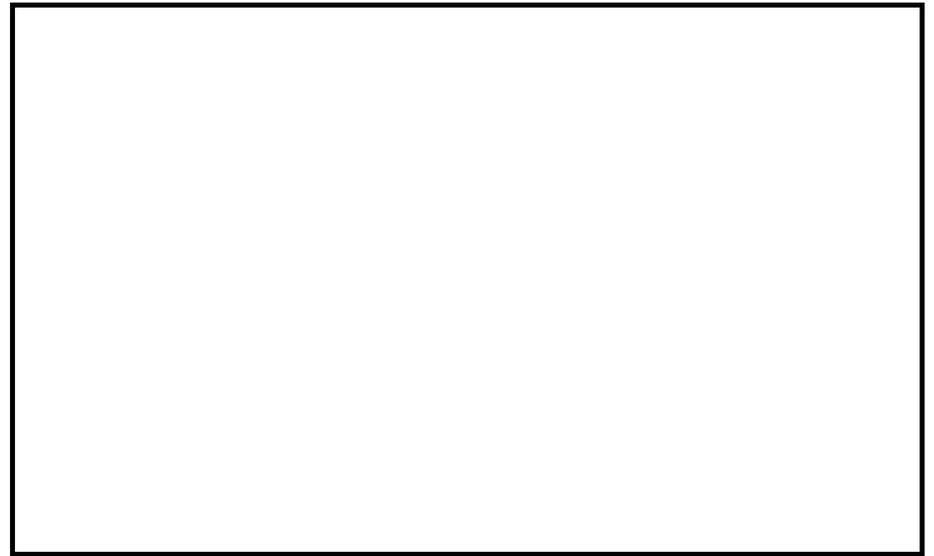
76



平面



正面
(左右方向)



側面
(前後方向)

VI-2-4-4-2 燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 基本方針	8
4.2 固有周期の確認方法	8
4.3 固有周期の確認結果	8
5. 構造強度評価	9
5.1 構造強度評価方法	9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.5 計算条件	22
5.6 応力の評価	23
6. 機能維持評価	24
6.1 電氣的機能維持評価方法	24
7. 評価結果	25
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	25

1. 概要

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

燃料プール監視カメラ用冷却設備は、重大事故等対処設備においては、常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール監視カメラ用冷却設備の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>コンプレッサーはコンプレッサー取付ボルト，ドライヤーはドライヤー取付ボルト，フローメータ，レギュレータ架台はフローメータ，レギュレータ架台取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。</p> <p>チャンネルベースは，基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>コンプレッサー，ドライヤー，フローメータ，レギュレータ</p>	

2.2 評価方針

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

燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価フローを図2-1に示す。

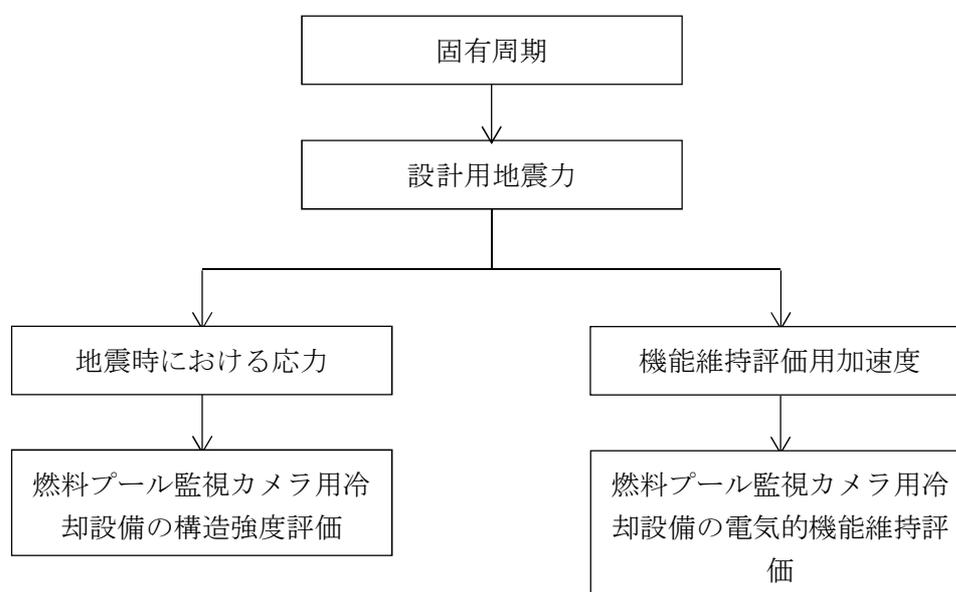


図2-1 燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力) * ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ^{1, *3}	mm
m_i	燃料プール監視カメラ用冷却設備の質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 基礎ボルト

$i=2$: コンプレッサー取付ボルト

$i=3$: ドライヤー取付ボルト

$i=4$: フローメータ, レギュレータ架台取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

$i=1$: 据付面

$i=2$: コンプレッサー取付面

$i=3$: ドライヤー取付面

i =4 : フローメータ, レギュレータ架台取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

燃料プール監視カメラ用冷却設備の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

燃料プール監視カメラ用冷却設備の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

正弦波掃引試験により固有周期を確認する。燃料プール監視カメラ用冷却設備の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。試験の結果、固有周期は 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期

(単位：s)

燃料プール監視カメラ用冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	
	鉛直	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 燃料プール監視カメラ用冷却設備の各機器の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は燃料プール監視カメラ用冷却設備に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 燃料プール監視カメラ用冷却設備はチャンネルベースに固定されており、固定端とする。また、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 燃料プール監視カメラ用冷却設備の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール監視カメラ用冷却設備の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

燃料プール監視カメラ用冷却設備の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール監視カメラ用冷却設備の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	その他の核燃 料物質の取扱 施設及び貯蔵 施設	燃料プール監視カメラ用 冷却設備	常設／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IV _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして IV _A Sの許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 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 (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度				—
コンプレッサー取付ボルト		周囲環境温度				—
ドライヤー取付ボルト		周囲環境温度				—
フローメータ, レギュレータ 架台取付ボルト		周囲環境温度				—

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)		減衰定数 (%)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	—	$C_H = \text{}$ *3	$C_V = \text{}$ *2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）



図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{21} \cdot g}{n_{f1} \cdot (l_{11} + l_{21})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 コンプレッサー取付ボルトの計算方法

コンプレッサー取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。



図5-3 計算モデル（短辺方向転倒）

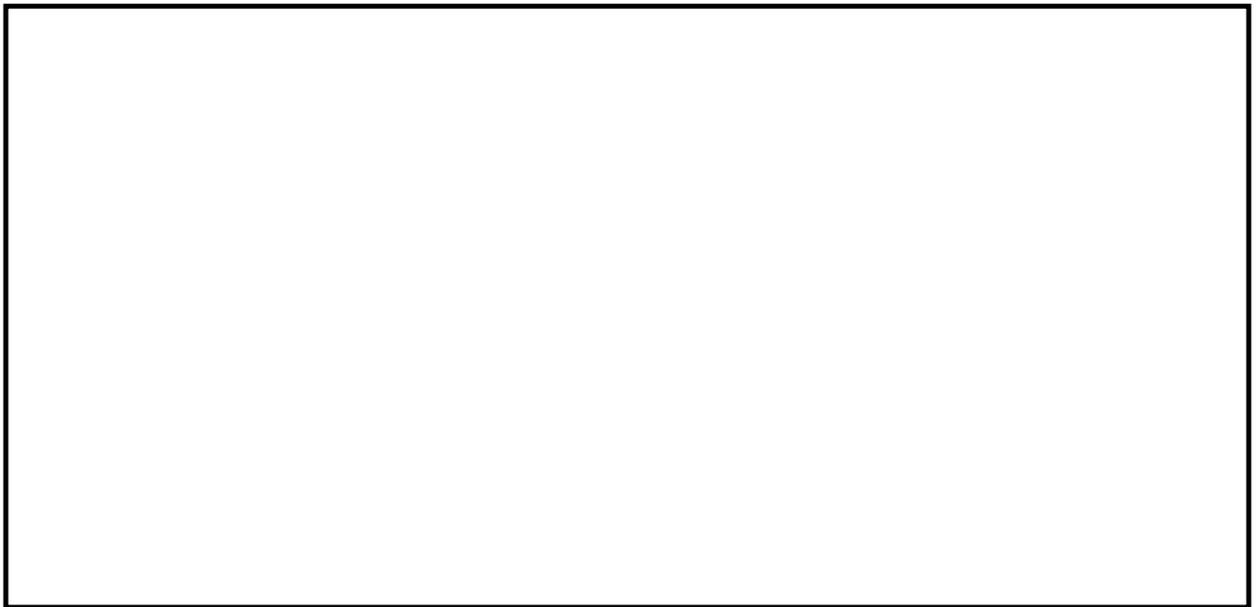


図5-4 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

コンプレッサー取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{22} \cdot g}{n_{f2} \cdot (l_{12} + l_{22})} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、コンプレッサー取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

コンプレッサー取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 ドライヤー取付ボルトの計算方法

ドライヤー取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

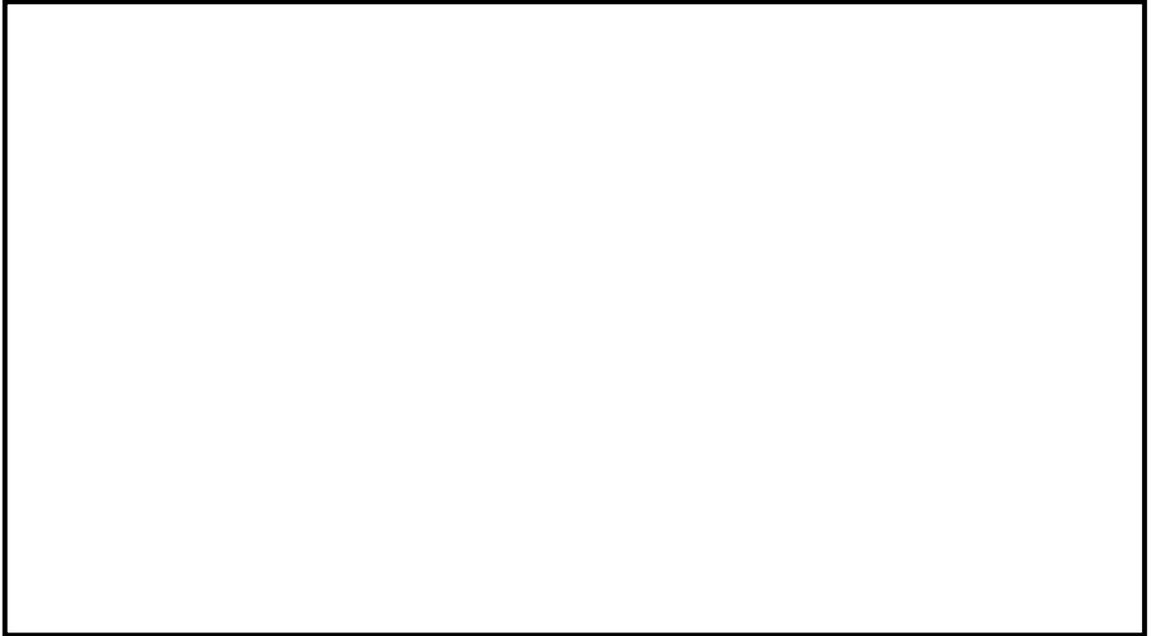


図5-5 計算モデル（短辺方向転倒）



図5-6 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ドライヤー取付ボルトに対する引張力は，図5-5及び図5-6でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b3} = \frac{m_3 \cdot C_H \cdot h_3 \cdot g + m_3 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{23} \cdot g}{n_{f3} \cdot (l_{13} + l_{23})} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

ここで，ドライヤー取付ボルトの軸断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = \frac{\pi}{4} \cdot d_3^2 \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

(2) せん断応力

ドライヤー取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b3} = m_3 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{n_3 \cdot A_{b3}} \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

5.4.1.4 フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの計算方法

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

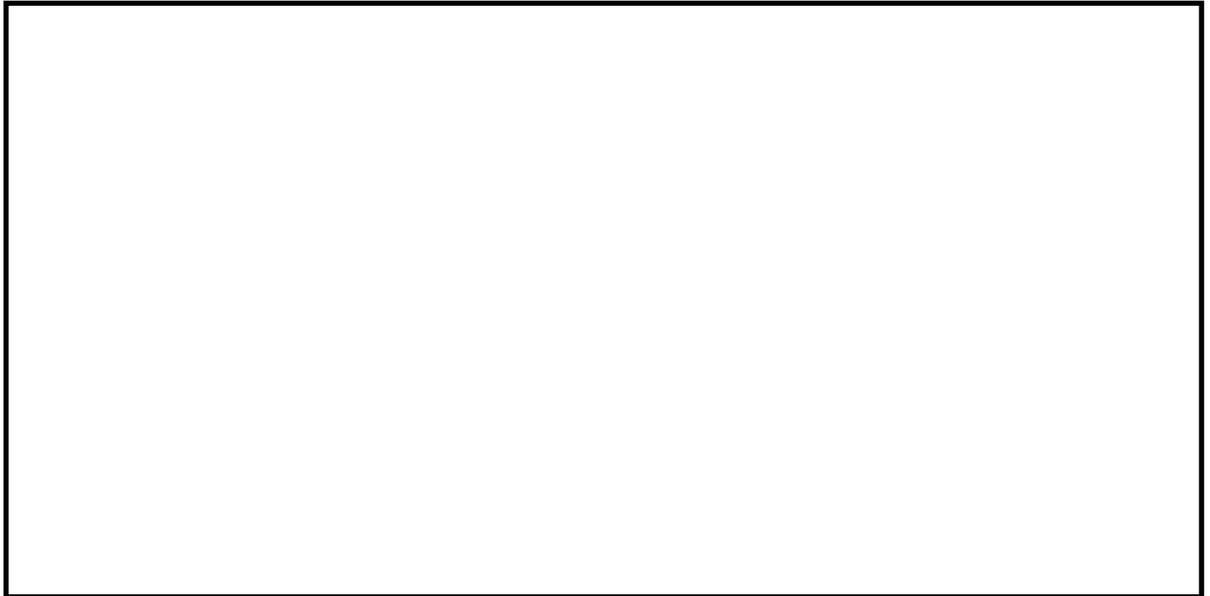


図5-7 計算モデル（短辺方向転倒）

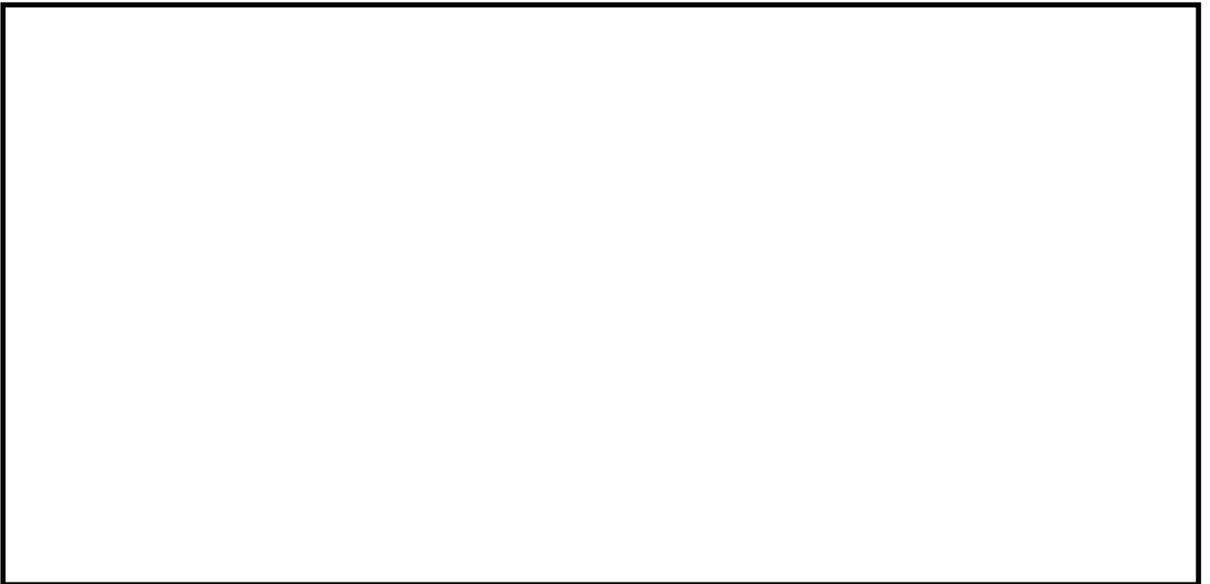


図5-8 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトに対する引張力は，図5-7及び図5-8でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b4} = \frac{m_4 \cdot C_H \cdot h_4 \cdot g + m_4 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{24} \cdot g}{n_{f4} \cdot (l_{14} + l_{24})} \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b4} = \frac{F_{b4}}{A_{b4}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

ここで，フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの軸断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = \frac{\pi}{4} \cdot d_4^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

(2) せん断応力

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b4} = m_4 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b4} = \frac{Q_{b4}}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots\dots\dots (5.4.1.4.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 コンプレッサー取付ボルトの応力計算条件

コンプレッサー取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.3 ドライヤー取付ボルトの応力計算条件

ドライヤー取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.4 フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの応力計算条件

フローメータ，レギュレータ架台取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】、【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

燃料プール監視カメラ用冷却設備の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

燃料プール監視カメラ用冷却設備の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、実機の据付状態を模擬したうえで、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平	<input type="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

燃料プール監視カメラ用冷却設備の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【燃料プール監視カメラ用冷却設備（A-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール監視カメラ用 冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ 用冷却設備)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *3	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）により得られる震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i=3)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
フローメータ、レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l_{1i}^{*2} (mm)	l_{2i}^{*2} (mm)	n_{fi}^{*2}	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	 *1	 *1		—		—	長辺方向
	 *1	 *1					
コンプレッサー取付ボルト ($i=2$)				—		—	短辺方向
							
ドライヤー取付ボルト ($i=3$)				—		—	短辺方向
							
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト ($i=4$)	 *1	 *1		—		—	短辺方向
	 *1	 *1					

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し,
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i=3)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	□	引張	—	—	$\sigma_{b1} = \square$	$f_{ts1} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = \square$	$f_{sb1} = \square$
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	□	引張	—	—	$\sigma_{b2} = \square$	$f_{ts2} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = \square$	$f_{sb2} = \square$
ドライヤー取付ボルト (i=3)	□	引張	—	—	$\sigma_{b3} = \square$	$f_{ts3} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = \square$	$f_{sb3} = \square$
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	□	引張	—	—	$\sigma_{b4} = \square$	$f_{ts4} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} = \square$	$f_{sb4} = \square$

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)

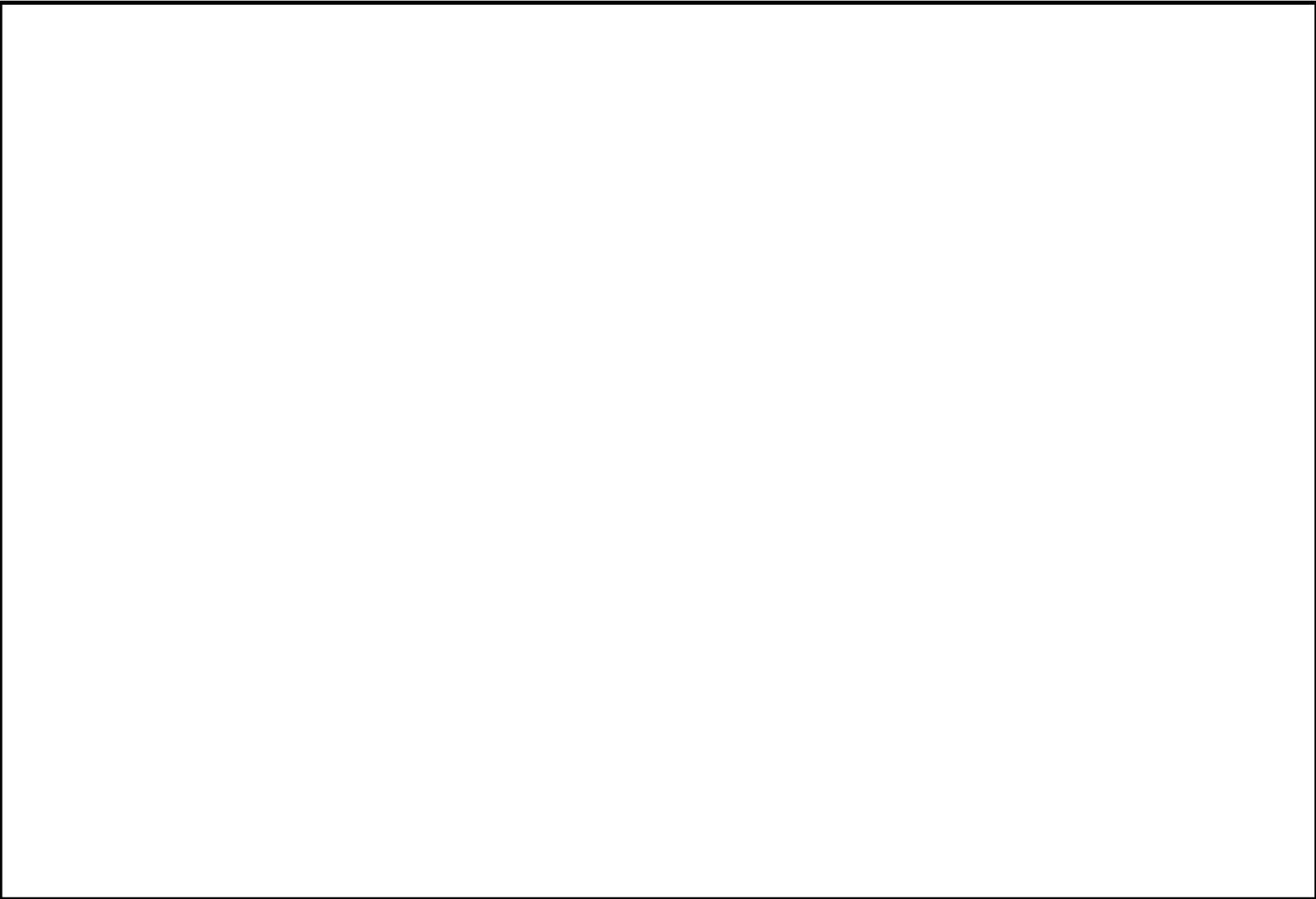
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (A-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平方向	□	□
	鉛直方向	□	□

注記* : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

(短辺方向)

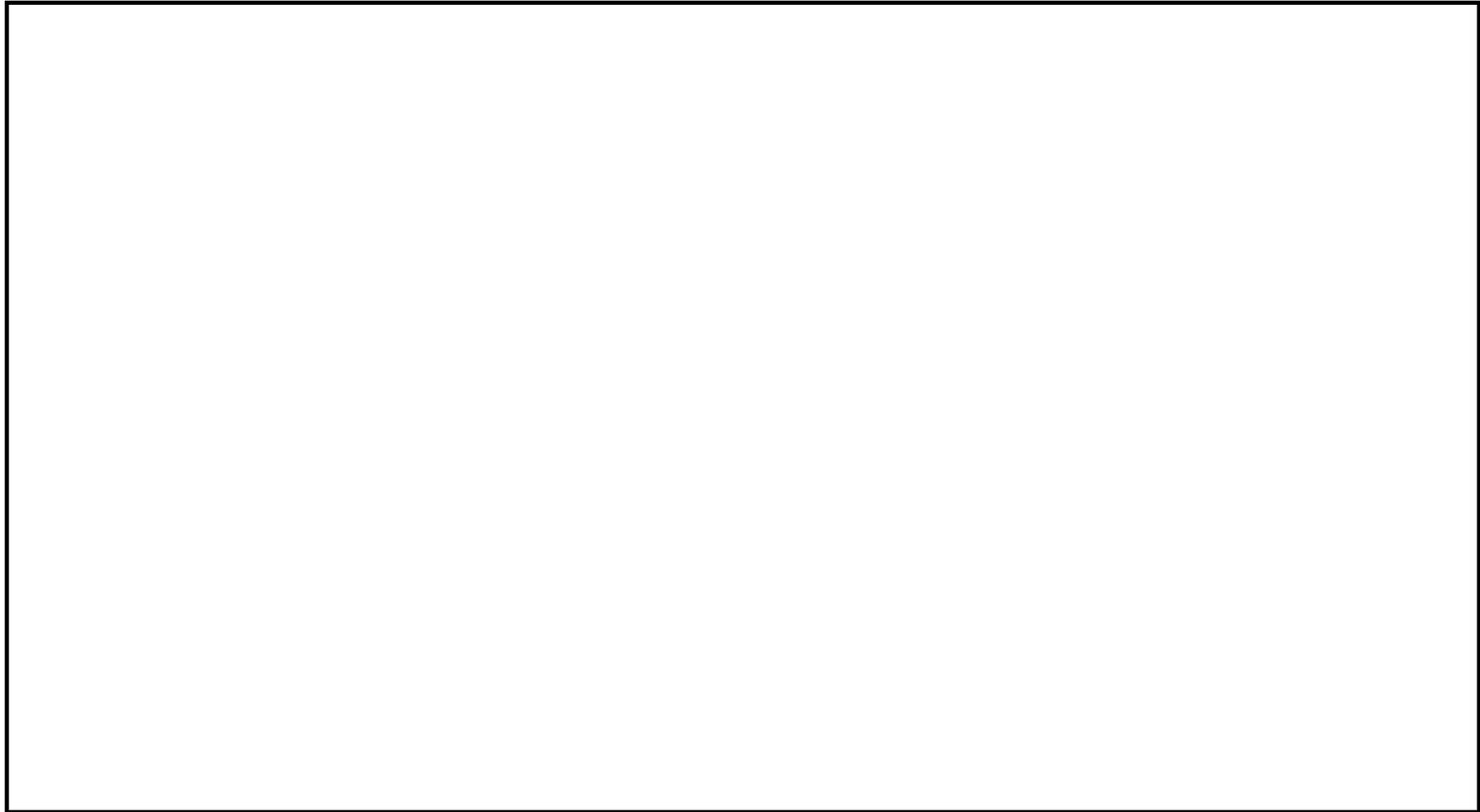
(長辺方向)

30



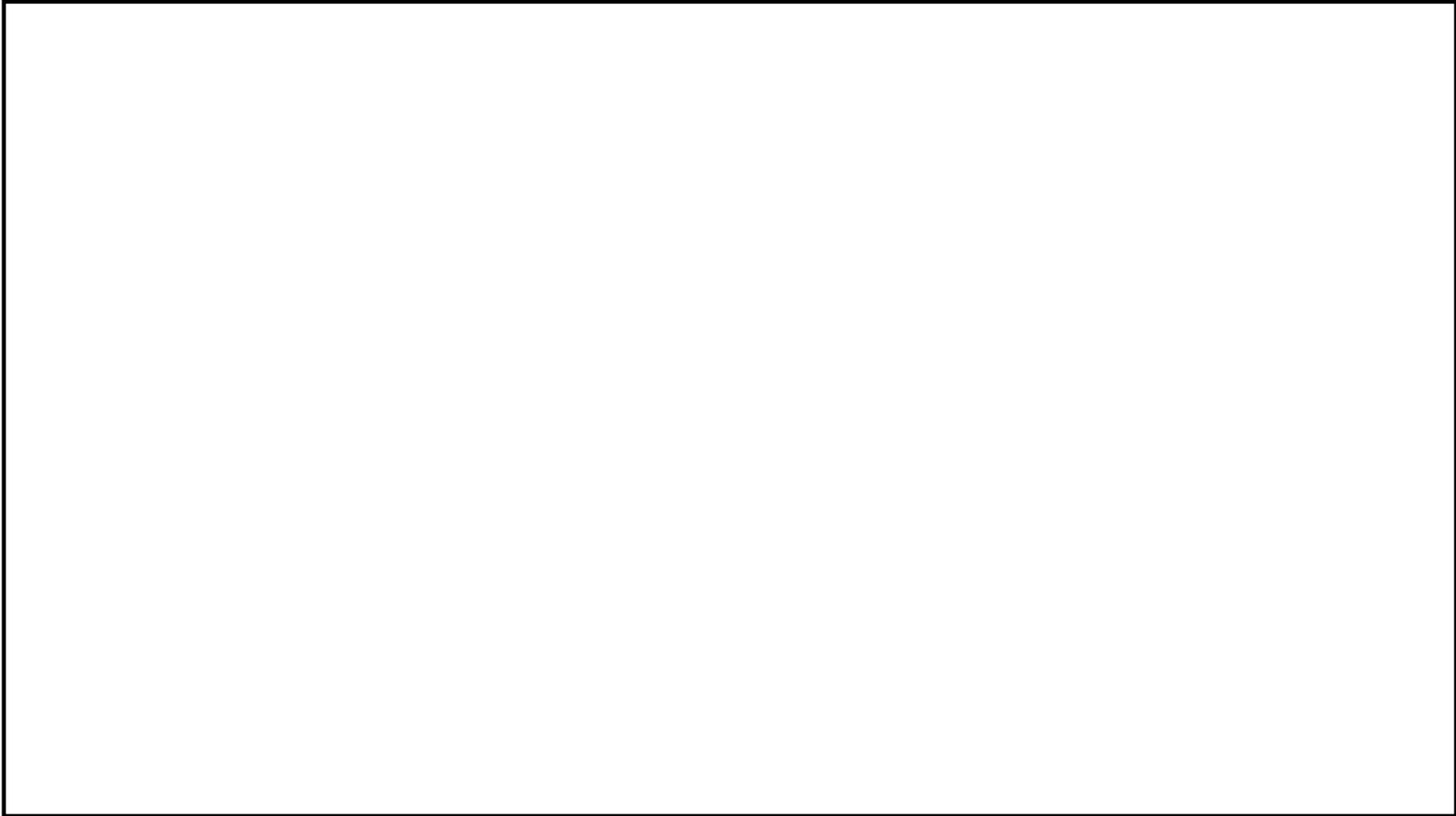
(短辺方向)

(長辺方向)



(短辺方向)

(長辺方向)



(短辺方向)

(長辺方向)



【燃料プール監視カメラ用冷却設備（B-燃料プール監視カメラ用冷却設備）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
燃料プール監視カメラ用 冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ 用冷却設備)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL <input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H = <input type="text"/> *3	C _V = <input type="text"/> *2	<input type="text"/>

注記*1：基準床レベルを示す

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S_s）により得られる震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i=3)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
フローメータ、レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	<input type="text"/>	<input type="text"/> *1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	l_{1i}^{*2} (mm)	l_{2i}^{*2} (mm)	n_{fi}^{*2}	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i=1$)	 *1	 *1		—		—	長辺方向
	 *1	 *1					
コンプレッサー取付ボルト ($i=2$)				—		—	短辺方向
							
ドライヤー取付ボルト ($i=3$)				—		—	短辺方向
							
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト ($i=4$)	 *1	 *1		—		—	短辺方向
	 *1	 *1					

注記*1: 重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

*2: 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し,
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{bi}		Q _{bi}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ドライヤー取付ボルト (i=3)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	□	引張	—	—	$\sigma_{b1} = \square$	$f_{ts1} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = \square$	$f_{sb1} = \square$
コンプレッサー取付ボルト (i=2)	□	引張	—	—	$\sigma_{b2} = \square$	$f_{ts2} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = \square$	$f_{sb2} = \square$
ドライヤー取付ボルト (i=3)	□	引張	—	—	$\sigma_{b3} = \square$	$f_{ts3} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = \square$	$f_{sb3} = \square$
フローメータ, レギュレータ架台 取付ボルト (i=4)	□	引張	—	—	$\sigma_{b4} = \square$	$f_{ts4} = \square^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} = \square$	$f_{sb4} = \square$

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

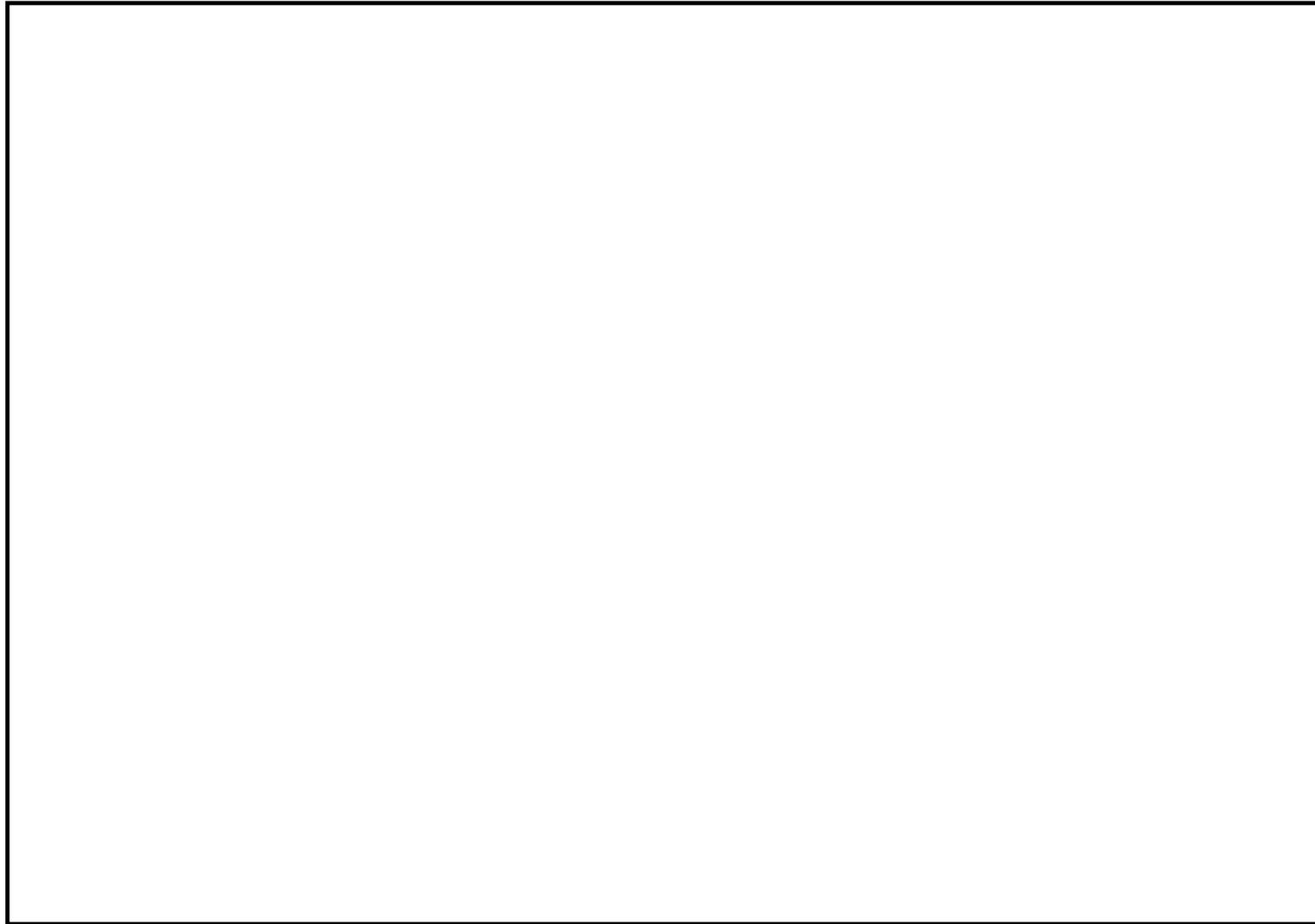
(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
燃料プール監視カメラ用冷却設備 (B-燃料プール監視カメラ用冷却設備)	水平方向	□	□
	鉛直方向	□	□

注記* : 設計用震度 II (基準地震動 S_s) により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

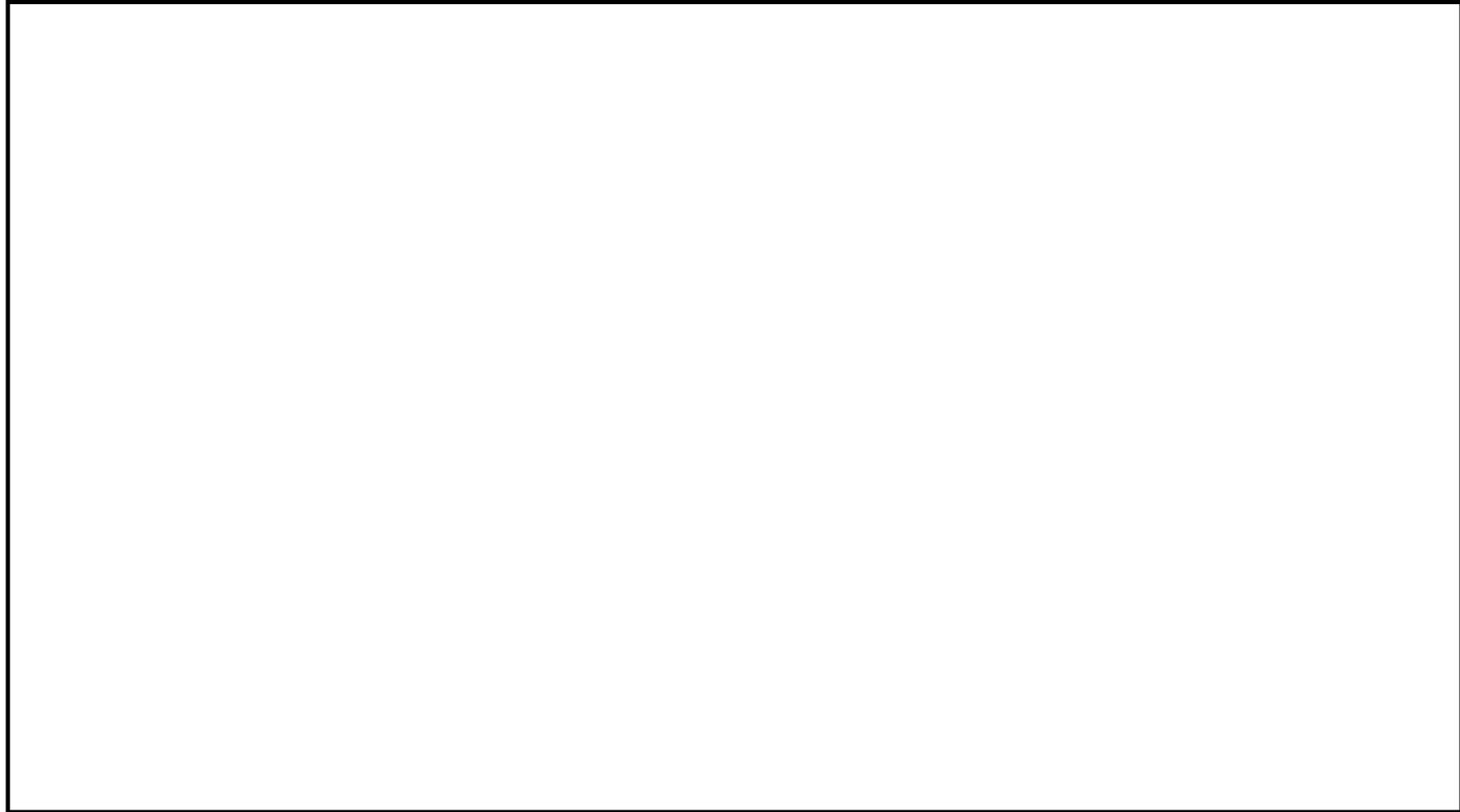
(短辺方向)

(長辺方向)



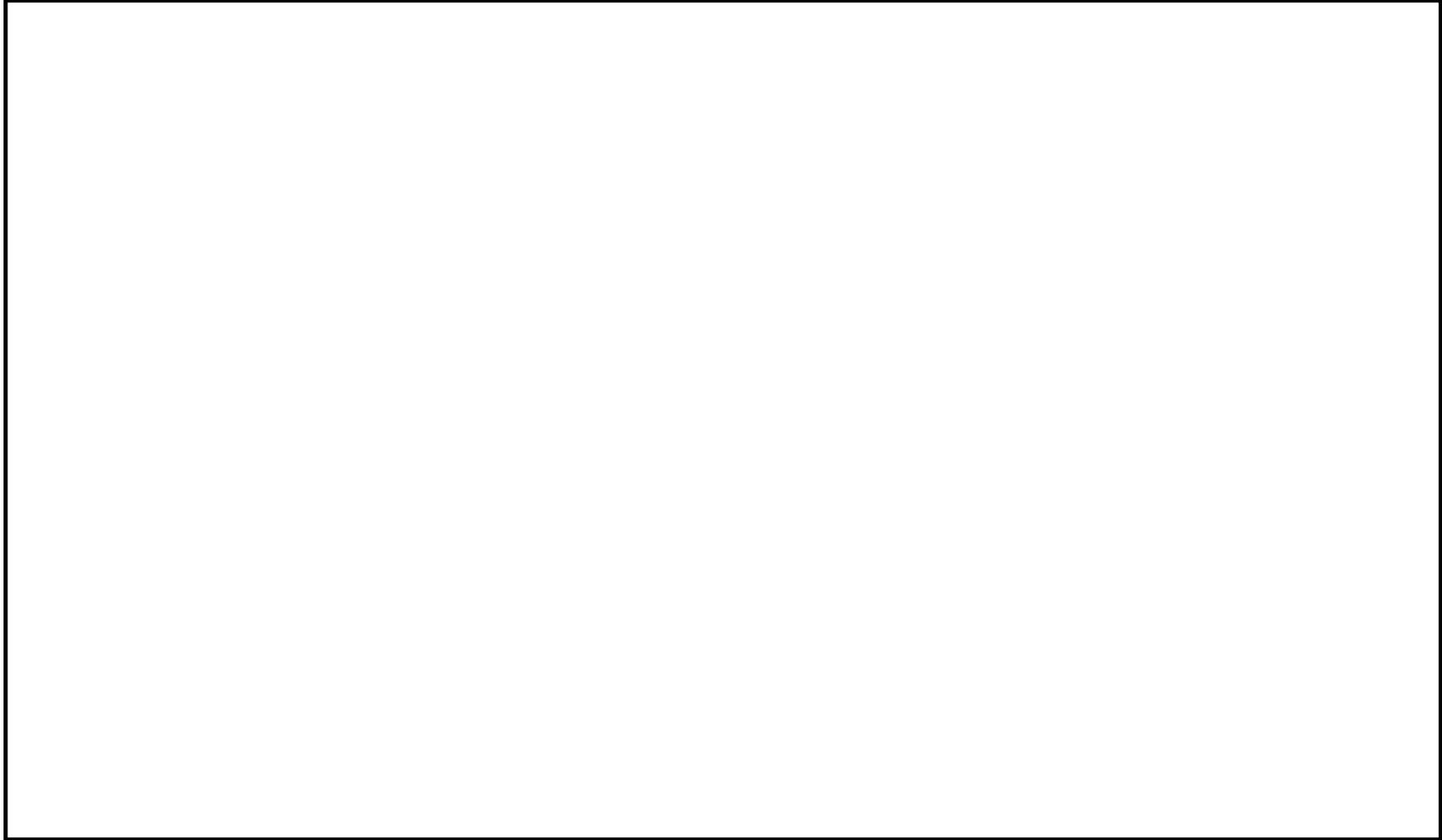
(短辺方向)

(長辺方向)



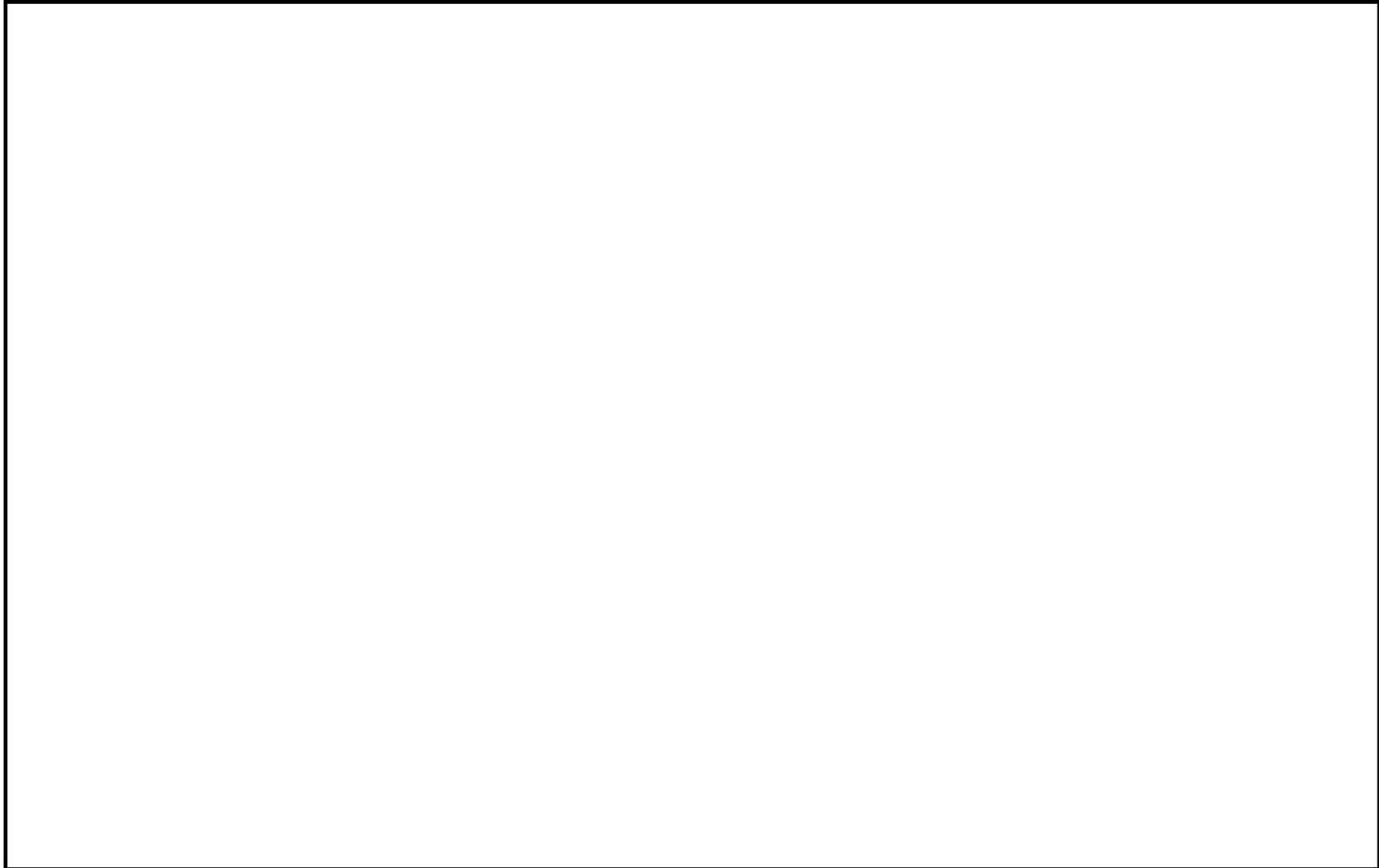
(短辺方向)

(長辺方向)



(短辺方向)

(長辺方向)



VI-2-5 原子炉冷却系統施設の耐震性に関する説明書

VI-2-5-1 原子炉冷却系統施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、原子炉冷却系統施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

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

原子炉冷却系統施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材 再循環設備	原子炉再循環系	ポンプ	S	有	VI-2-5-2-1-1	—	—	—
		原子炉再循環系	主配管	S	有	VI-2-5-2-1-1	—	—	—
	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	逃がし安全弁逃がし弁 機能用アキュムレータ	S	無	VI-2-5-3-1-1	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-5-3-1-1
			逃がし安全弁自動減圧 機能用アキュムレータ	S	無	VI-2-5-3-1-1	—	—	—
			逃がし安全弁	S	有	VI-2-5-3-1-2	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-5-3-1-2
			主要弁	S	有	VI-2-5-3-1-2	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-3-1-2	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-5-3-1-2
			主配管	S	有	VI-2-5-3-1-2	—	—	—
			主配管	B	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-3-1-2
			主配管	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (2/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材 の循環設備	給水系	主要弁	S	有	VI-2-5-3-2-1	—	—	—
		主配管	S	有	VI-2-5-3-2-1	—	—	—	
	残留熱除去設備	残留熱除去系	残留熱除去系熱交換器	S	有	VI-2-5-4-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-1
			残留熱除去ポンプ	S	有	VI-2-5-4-1-2	常設/防止* ³ (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系 ストレーナ	S	有	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7	常設/防止* ⁴ (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7
			主要弁	S	有	VI-2-5-4-1-4	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-4-1-4	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-4-1-4	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-4-1-4
			主配管	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (3/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	主配管 (原子炉冷却材再循環 設備 原子炉再循環系 に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-2-1-1
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2
			ジェットポンプ (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-5

表 2-1 耐震評価条件一覧表(4/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	原子炉格納容器 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-1
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-11
			主配管 (A-ドライウェ ルスプレイ管) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-4-4-1-1
			主配管 (B-ドライウェ ルスプレイ管) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-4-4-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (5/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器 フィルタベント系	主配管（サプレッション ンチェンバスプレイ 管） （原子炉格納施設に記 載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-9-4-4-1-2
			原子炉格納容器 （原子炉格納施設に記 載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-1
			原子炉格納容器配管貫 通部 （原子炉格納施設に記 載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-11
			主配管 （原子炉格納施設 放 射性物質濃度制御設備 及び可燃性ガス濃度制 御設備並びに格納容器 再循環設備 非常用ガ ス処理系に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-4-5-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (6/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器 フィルタベント系	主要弁 (原子炉格納施設 原 子炉格納容器調気設備 窒素ガス制御系に記 載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-1
			主配管 (原子炉格納施設 原 子炉格納容器調気設備 窒素ガス制御系に記 載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-6-1-1
			主要弁 (原子炉格納施設 圧 力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に 記載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (7/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器 フィルタベ ント系	圧力開放板 (原子炉格納施設に記 載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-1
			主配管 (原子炉格納施設 圧 力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に 記載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-1
			第1ベントフィルタス クラバ容器 (原子炉格納施設に記 載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-2
			第1ベントフィルタ銀 ゼオライト容器 (原子炉格納施設に記 載)	—	—* ²	—	常設耐震/防止	—	VI-2-9-4-7-1-3

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (8/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	高圧炉心スプレイポン プ	S	有	VI-2-5-5-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-1-1
			高圧炉心スプレイ系 ストレーナ	S	有	VI-2-5-5-1-2 VI-2-5-5-1-4 VI-2-5-5-1-5 VI-2-5-5-1-6	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-1-2 VI-2-5-5-1-4 VI-2-5-5-1-5 VI-2-5-5-1-6
			主要弁	S	有	VI-2-5-5-1-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-1-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-1-3	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-5-1-3
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉压力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (9/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	高圧炉心スプレイスパー ージャ (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-7
			高圧炉心スプレイ系配 管 (原子炉圧力容器内 部) (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-9
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記 載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (X-35, X-210) (原子炉格納施設に記 載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-11

表 2-1 耐震評価条件一覧表(10/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイポン プ	S	有	VI-2-5-5-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-1
			低圧炉心スプレイ系 ストレーナ	S	有	VI-2-5-5-2-2 VI-2-5-5-2-4 VI-2-5-5-2-5 VI-2-5-5-2-6	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-2 VI-2-5-5-2-4 VI-2-5-5-2-5 VI-2-5-5-2-6
			主要弁	S	有	VI-2-5-5-2-3	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-5-2-3	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-5-2-3
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表(11/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイスパー ージャ (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-7
			低圧炉心スプレイ系配 管(原子炉圧力容器内 部) (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-9
			原子炉格納容器(サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記 載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記 載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-11

表 2-1 耐震評価条件一覧表(12/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	高圧原子炉代替注水ポンプ	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-5-3-1
			主配管	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-5-3-2
			主配管 (原子炉冷却材の循環設備 主蒸気系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-3-1-2
			主配管 (原子炉冷却材の循環設備 給水系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-3-2-1
			C-残留熱除去系ストレーナ (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7
			主配管 (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-4-1-4

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (13/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	主配管 (原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-5-6-1-3
			主配管 (原子炉冷却材浄化設備 原子炉浄化系に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-5-8-1-1
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-3-1-2
			給水スパーージャ (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止	—	VI-2-3-3-3-6

表 2-1 耐震評価条件一覧表(14/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	原子炉格納容器（サブ レッションチェンバ） （原子炉格納施設に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 （原子炉格納施設に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止	—	VI-2-9-2-11
	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却系 ストレナ	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-5-4-1 VI-2-5-6-1-4	
		主配管 （原子炉冷却材の循環 設備 主蒸気系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-3-1-2	
		主配管 （原子炉冷却材の循環 設備 給水系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-3-2-1	

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (15/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却ポンプ（駆動用蒸気タービン含む。） （原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （DB 拡張）	—	VI-2-5-6-1-1 VI-2-5-6-1-2
			主配管 （原子炉冷却材補給設備 原子炉隔離時冷却系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （DB 拡張）	—	VI-2-5-6-1-3
			主配管 （原子炉冷却材浄化設備 原子炉浄化系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （DB 拡張）	—	VI-2-5-8-1-1

表 2-1 耐震評価条件一覧表(16/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2
			給水スパージャ (原子炉本体に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-3-6
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記載)	—	—* ²	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-11

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (17/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧原子炉代替注水系	低圧原子炉代替注水ポンプ	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-5-5-5-1
			低圧原子炉代替注水槽	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-27
			主配管	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-5-5-5-2
			主配管 (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-5-4-1-4
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-3-3-1-2

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (18/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧原子炉代替注水系	低圧注水系配管（原子炉圧力容器内部） （原子炉本体に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-3-3-3-8
			原子炉格納容器配管貫通部 （原子炉格納施設に記載）	—	—* ²	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-9-2-11
	残留熱除去系		残留熱除去系熱交換器 （残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-4-1-1
			残留熱除去ポンプ （残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-4-1-2
			残留熱除去系ストレーナ （残留熱除去設備 残留熱除去系に記載）	—	—* ²	—	常設／防止 （D B 拡張）	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7

表 2-1 耐震評価条件一覧表(19/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系	主配管 (残留熱除去設備 残留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4
			炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-3-3-1-2
			原子炉格納容器 (サブ レッションチェンバ) (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-2
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記載)	—	—*2	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-9-2-11

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (20/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	ほう酸水注入系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
			原子炉压力容器 (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-1-2
			差圧検出・ほう酸水注 入系配管（ティーより N11 ノズルまでの外管） (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-2-5
			差圧検出・ほう酸水注 入系配管（原子炉圧力 容器内部） (原子炉本体に記載)	—	—*2	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-3-10

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (21/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類* ¹	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	ほう酸水注入系	ほう酸水注入ポンプ (計測制御系統施設 に記載)	—	—* ²	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-1
			ほう酸水貯蔵タンク (計測制御系統施設 に記載)	—	—* ²	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-2
			主配管 (計測制御系統施設 に記載)	—	—* ²	—	常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-3
			原子炉格納容器配管貫 通部 (原子炉格納施設に記 載)	—	—* ²	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-11

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (22/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	水の供給設備	ほう酸水貯蔵タンク (計測制御系統施設 に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-6-4-1-2
			低圧原子炉代替注水槽 (非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備 低圧原子炉代替注水系 に記載)	—	—*2	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-2-27
	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	原子炉隔離時冷却ポン プ(駆動用蒸気タービ ン含む。)	S	無	VI-2-5-6-1-1 VI-2-5-6-1-2	—	—	—
			主要弁	S	無	VI-2-5-6-1-3	—	—	—
			主配管	S	無	VI-2-5-6-1-3	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (23/25)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却系（原子炉補機海水系を含む。）	原子炉補機冷却系熱交換器	S	有	VI-2-5-7-1-1	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-1
			原子炉補機冷却水ポンプ	S	有	VI-2-5-7-1-2	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-2
			原子炉補機海水ポンプ	S	有	VI-2-5-7-1-3	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-3
			原子炉補機冷却系サージタンク	S	有	VI-2-5-7-1-4	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-4
			原子炉補機海水ストレーナ	S	無	VI-2-5-7-1-5	常設／防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-1-5
			主要弁	S	有	VI-2-5-7-1-6	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-7-1-6	常設／防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-1-6
			主配管	S	有	VI-2-5-7-1-6	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (24/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	(高圧炉心スプレ イ補機海水系を 含む。)	高圧炉心スプレ イ補機 冷却系熱交換器	S	有	VI-2-5-7-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-1
			高圧炉心スプレ イ補機 冷却水ポンプ	S	有	VI-2-5-7-2-2	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-2
			高圧炉心スプレ イ補機 海水ポンプ	S	無	VI-2-5-7-2-3	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-3
			高圧炉心スプレ イ補機 冷却系サージタンク	S	有	VI-2-5-7-2-4	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-4
			高圧炉心スプレ イ補機 海水ストレーナ	S	無	VI-2-5-7-2-5	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-5-7-2-5
			主配管	S	有	VI-2-5-7-2-6	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-5-7-2-6

表 2-1 耐震評価条件一覧表 (25/25)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機代替冷却系	主配管	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-7-3-1
			残留熱除去系熱交換器 (残留熱除去設備 残 留熱除去系に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-4-1-1
			A-原子炉補機冷却系サ ージタンク (原子炉補 機冷却系 (原子炉補機 海水系を含む。) に記 載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-7-1-4
			主配管 (原子炉補機冷却設備 原子炉補機冷却系 (原 子炉補機海水系を含 む。) に記載)	—	—*2	—	常設耐震／防止	—	VI-2-5-7-1-6
	原子炉浄化設備	原子炉浄化系	主要弁	S	有	VI-2-5-8-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-5-8-1-1	—	—	—

注記*1 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備, 「常設／防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*2 : 本工事計画で新規に申請する設備であることから, 差異比較の対象外

*3 : C-残留熱除去ポンプは低圧注水モードのみで使用するためDB設備とする。

*4 : C-残留熱除去系ストレーナは低圧注水モードのみで使用するためDB設備とする。

VI-2-5-3 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-2-5-3-2 給水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書
(給水系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	21
3.1 計算方法	21
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	22
3.3 設計条件	25
3.4 材料及び許容応力	47
3.5 設計用地震力	48
4. 解析結果及び評価	49
4.1 固有周期及び設計震度	49
4.2 評価結果	61
4.2.1 管の応力評価結果	61
4.2.2 支持構造物評価結果	65
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	66
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	67

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、給水系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

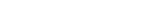
(3) 弁

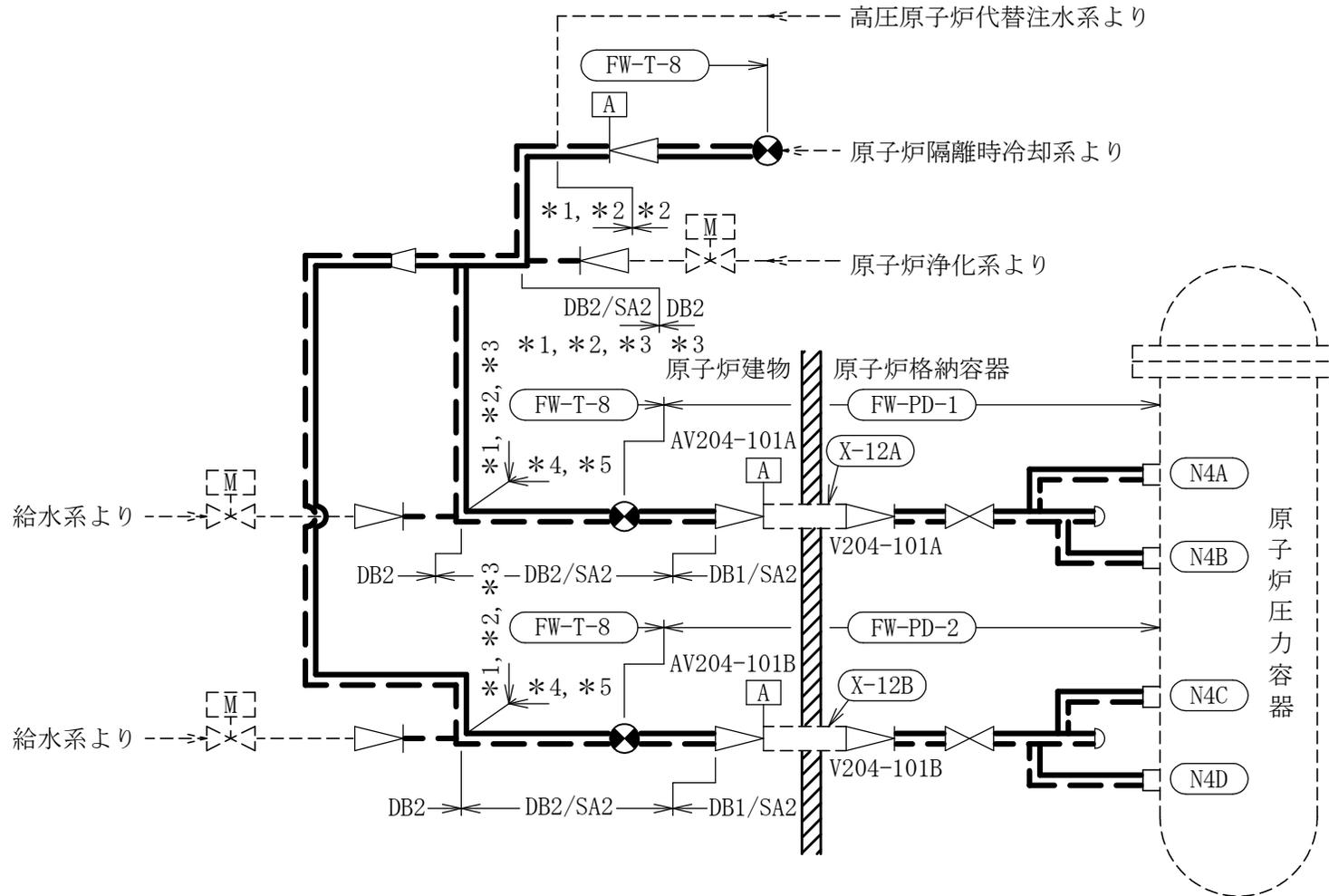
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

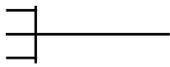
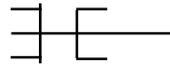
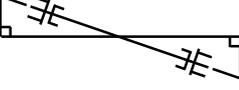
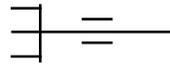
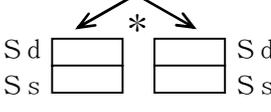


- 注記*1：高圧原子炉代替注水系の申請範囲であるが、計算結果は本系統に含めて示す。
 *2：原子炉隔離時冷却系の申請範囲であるが、計算結果は本系統に含めて示す。
 *3：原子炉浄化系の申請範囲であるが、計算結果は本系統に含めて示す。
 *4：高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *5：原子炉隔離時冷却系との兼用範囲である。

給水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

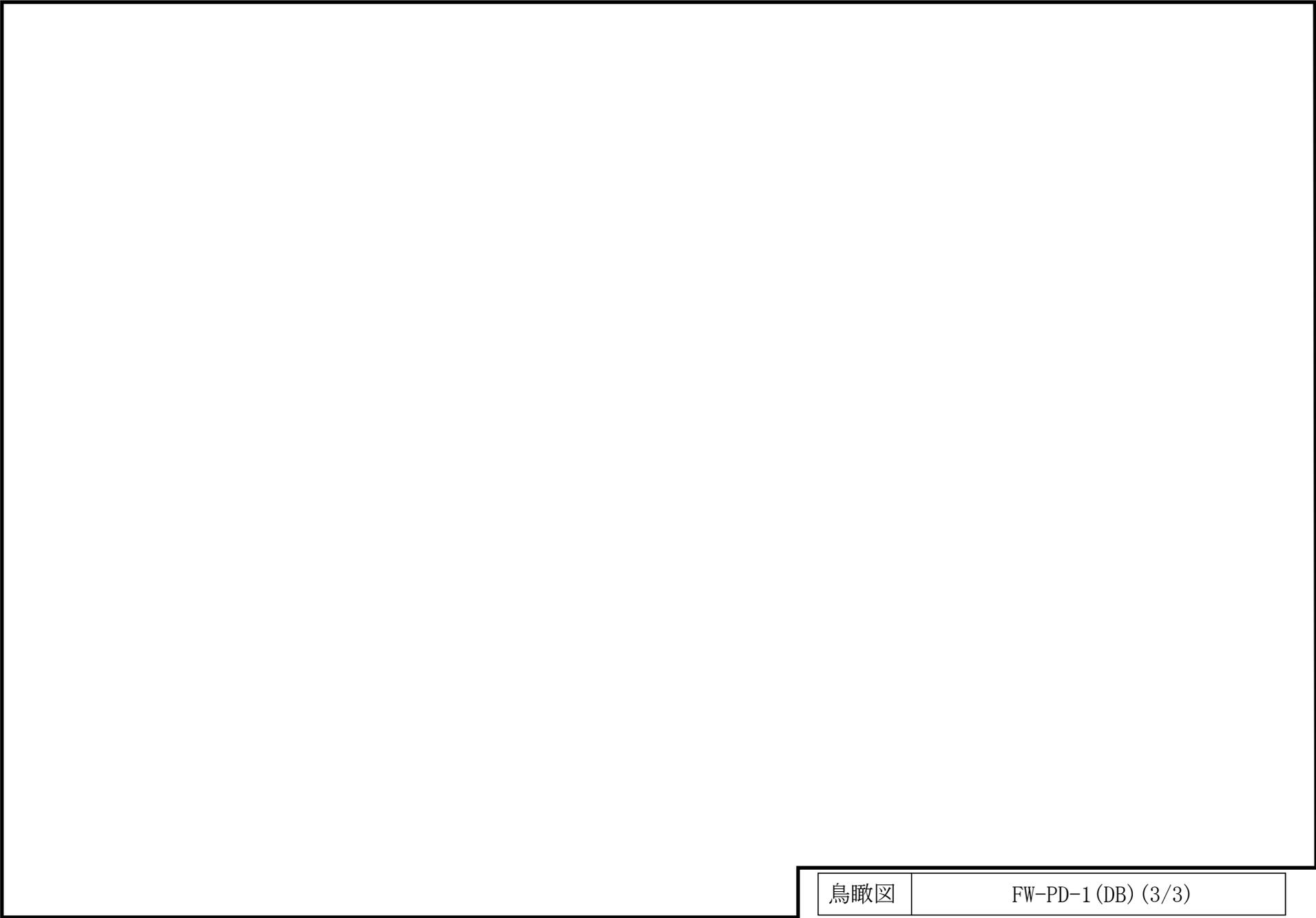
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また,  内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

5

鳥瞰図

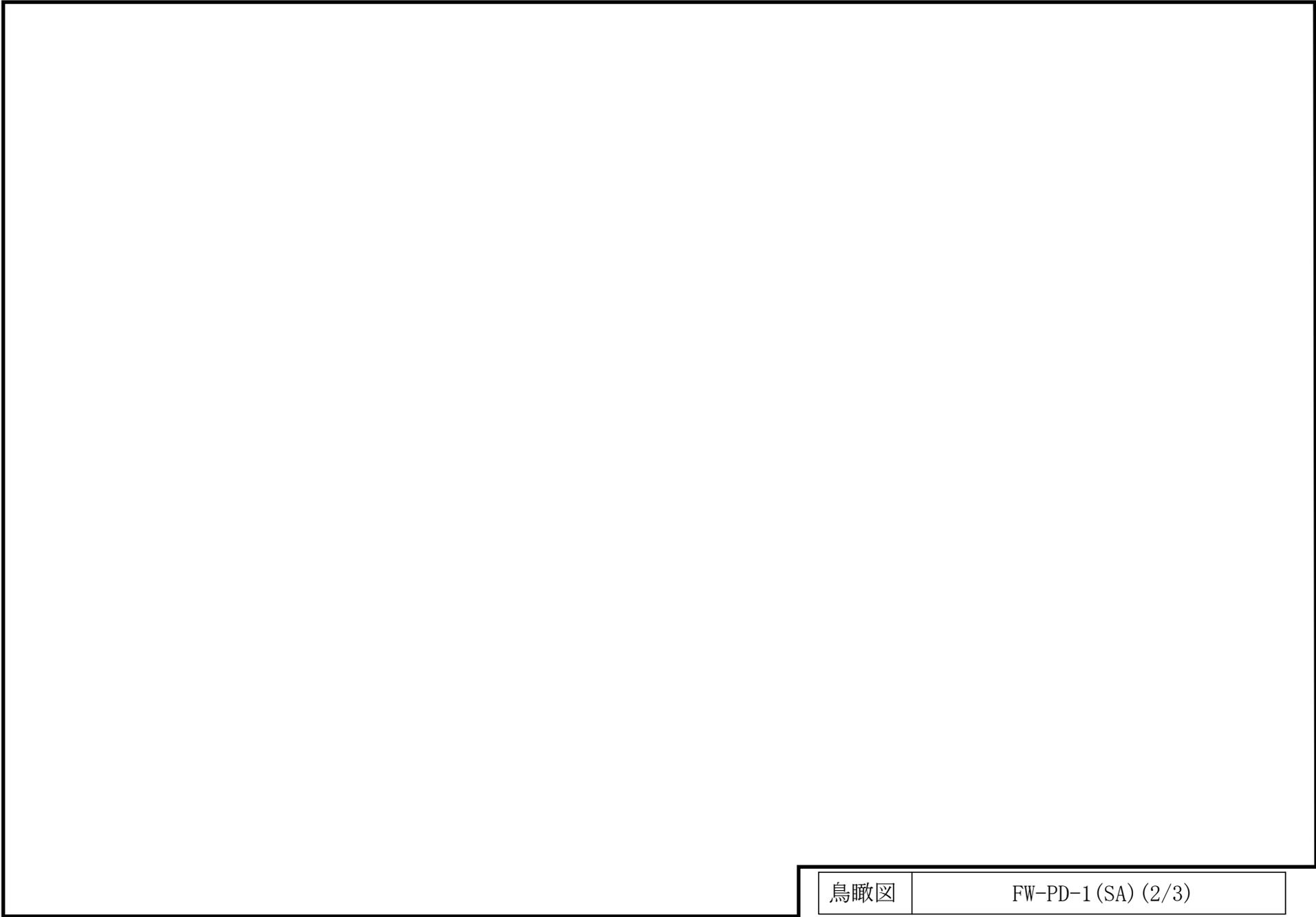
FW-PD-1 (DB) (1/3)

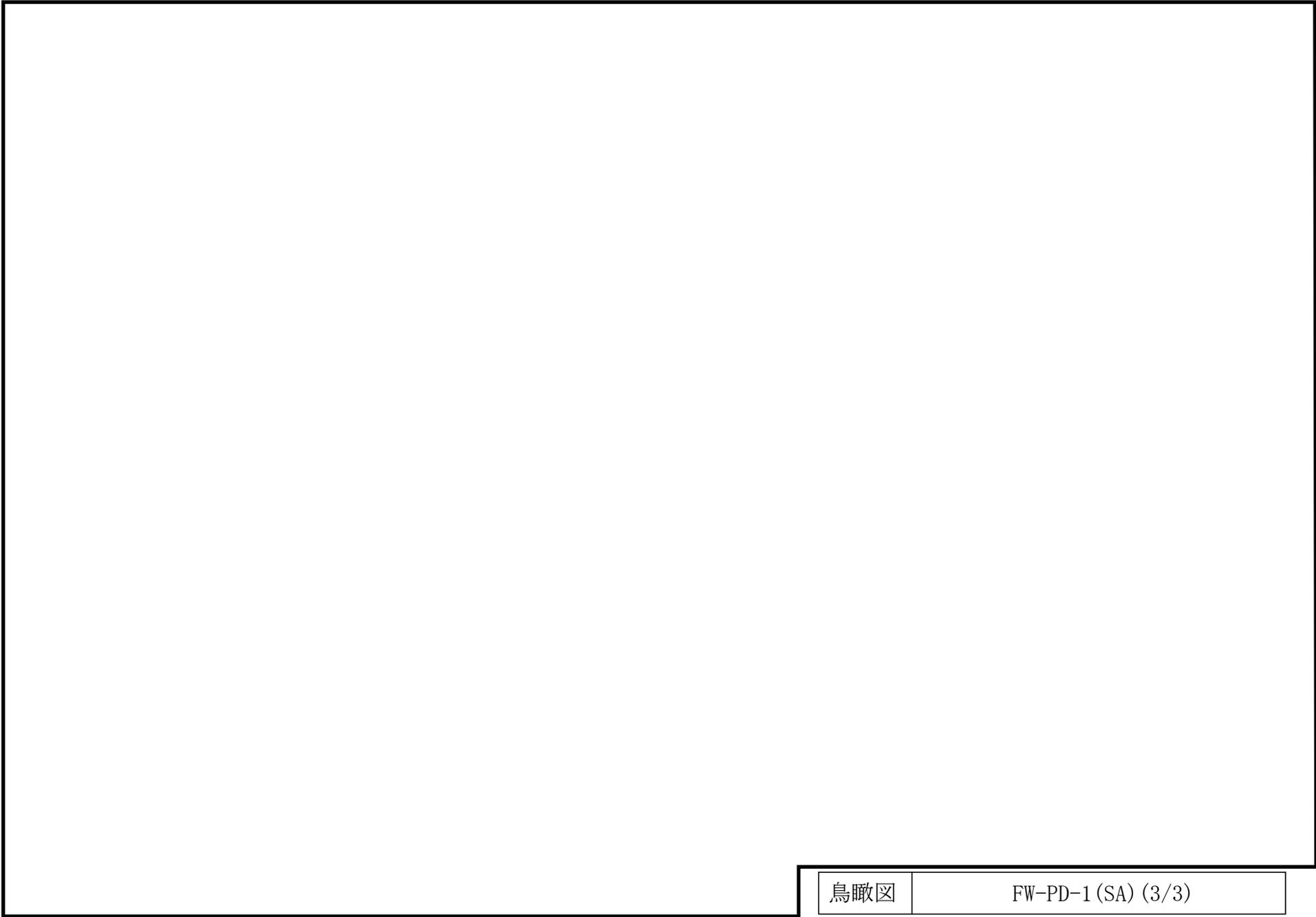


∞

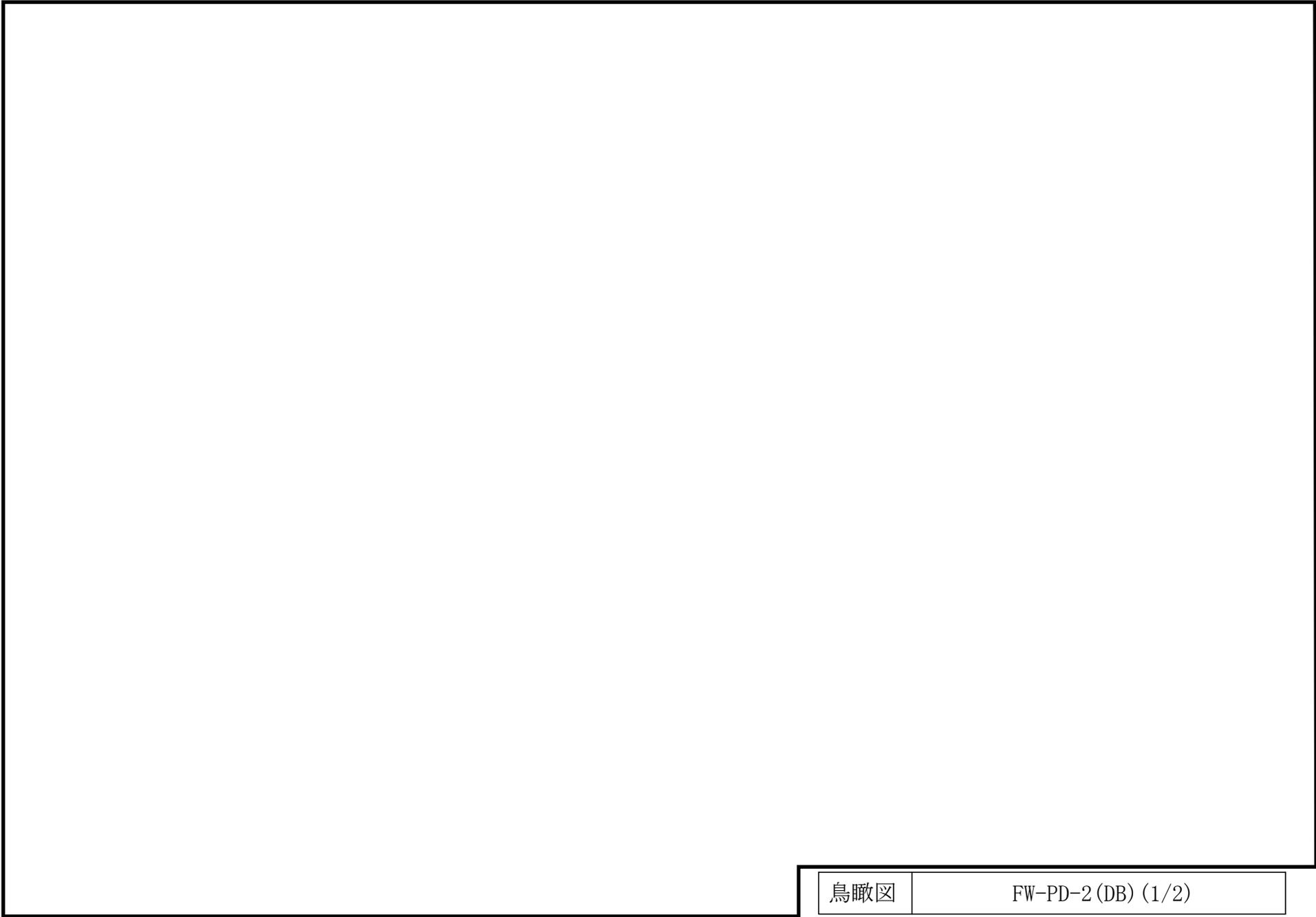
鳥瞰図

FW-PD-1 (SA) (1/3)

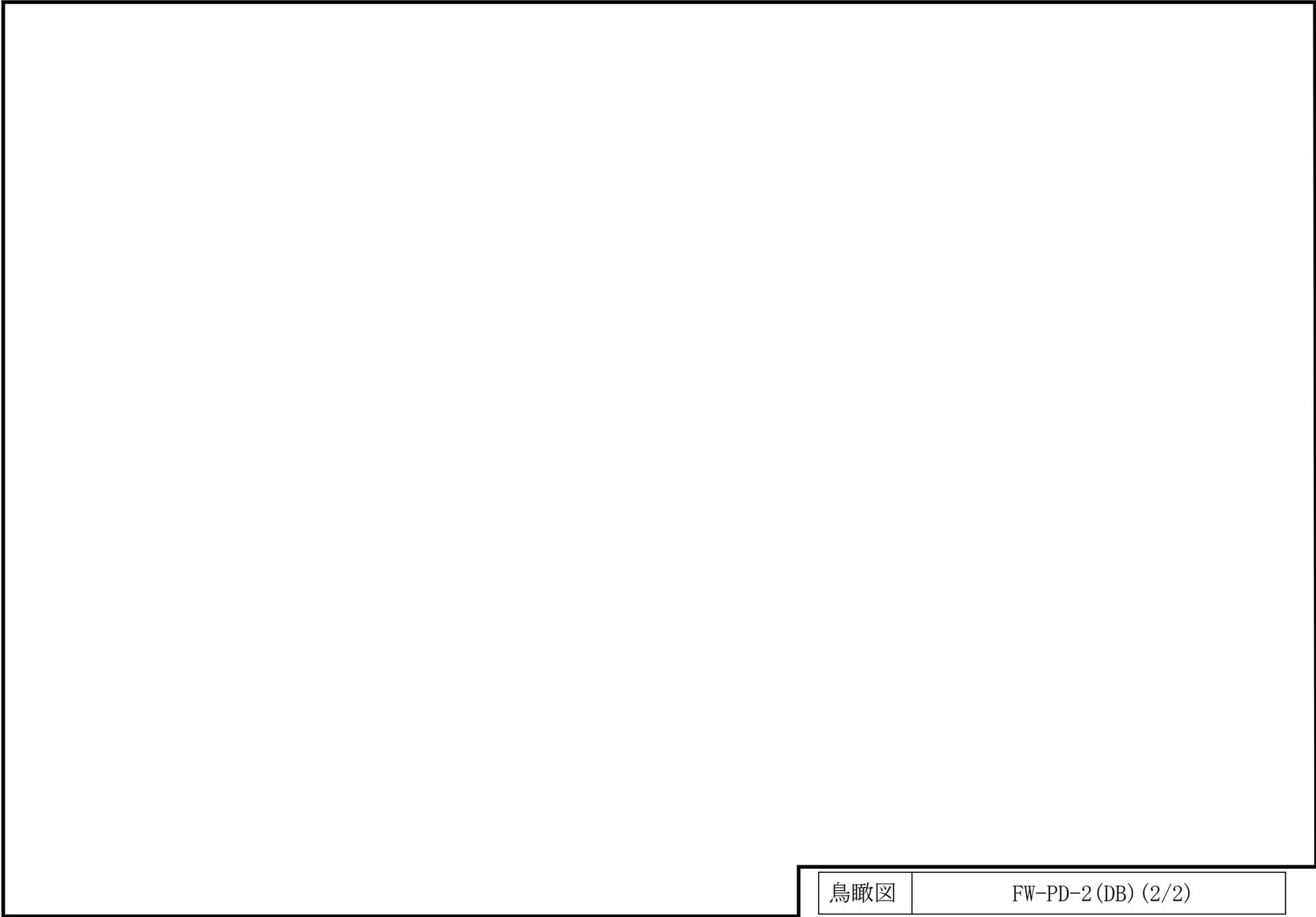


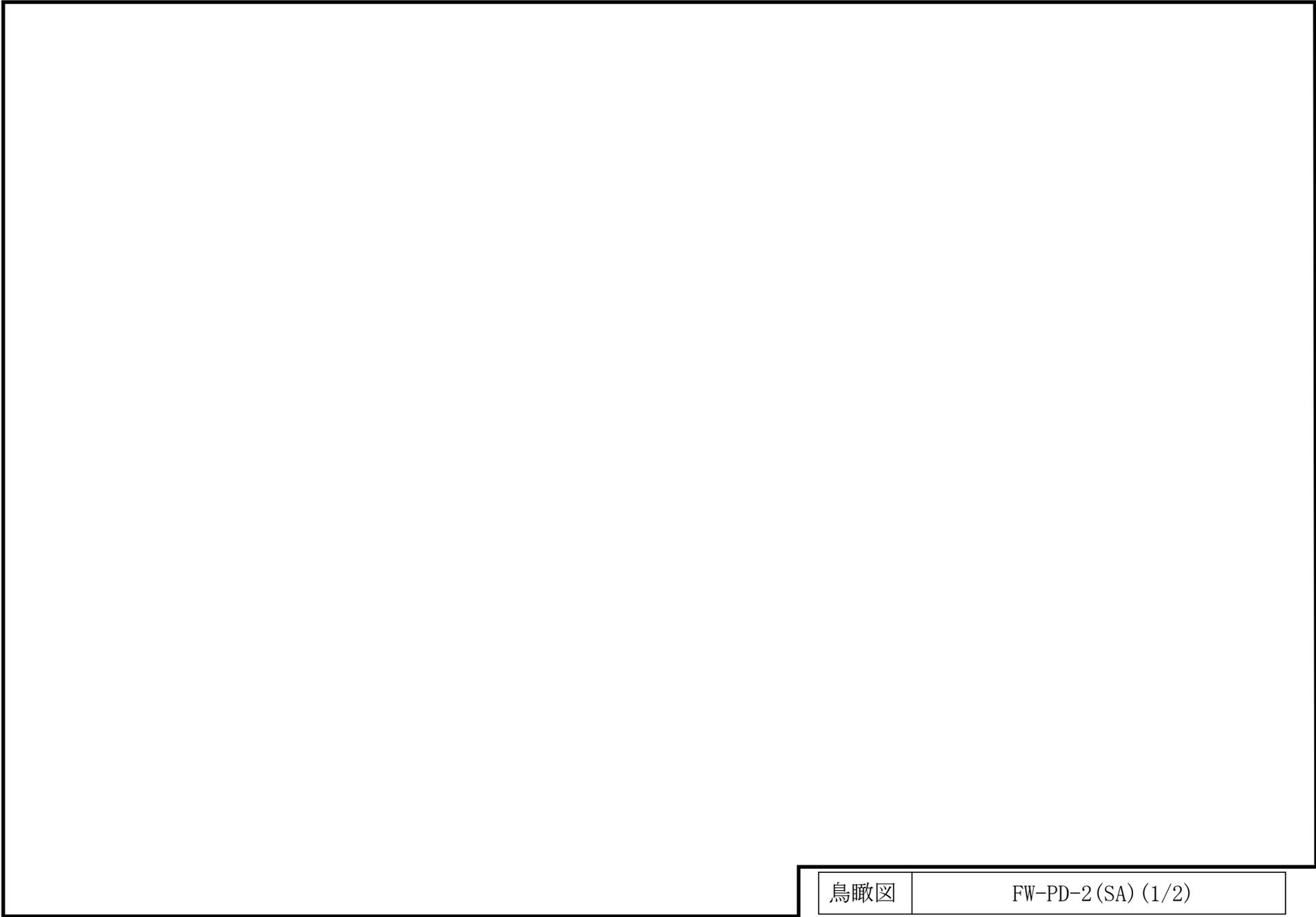


鳥瞰図	FW-PD-1 (SA) (3/3)
-----	--------------------

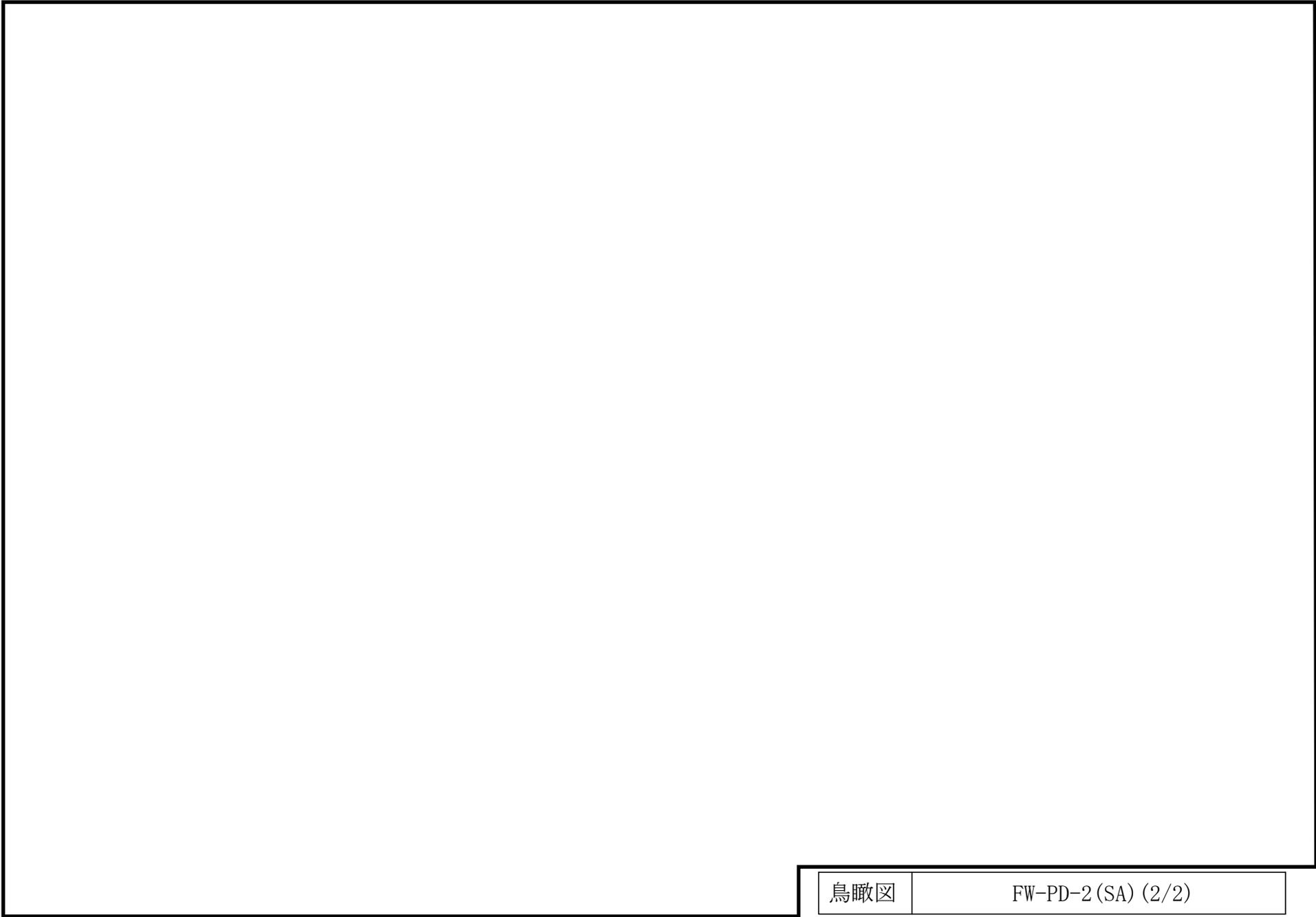


鳥瞰図	FW-PD-2 (DB) (1/2)
-----	--------------------





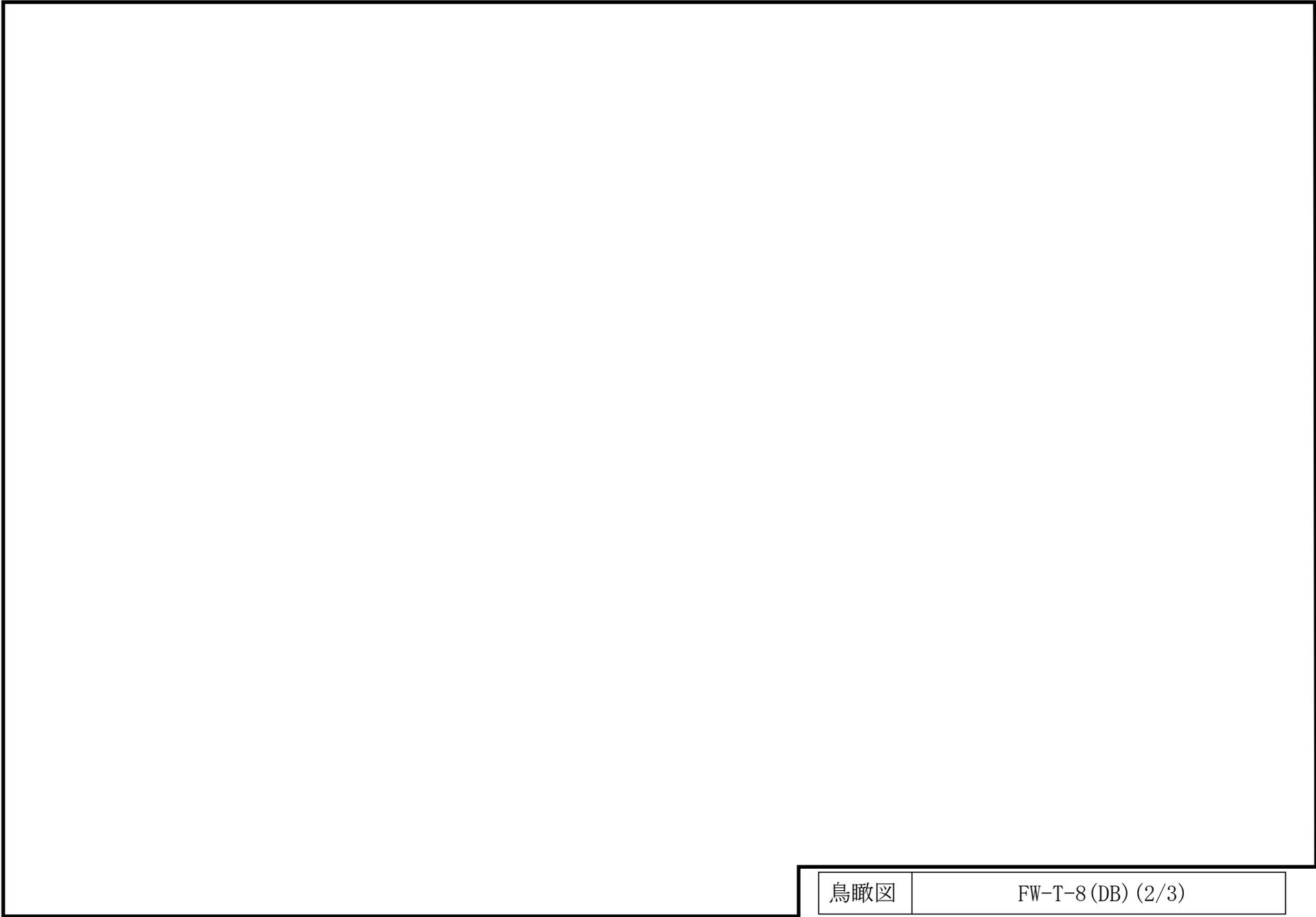
鳥瞰図	FW-PD-2 (SA) (1/2)
-----	--------------------

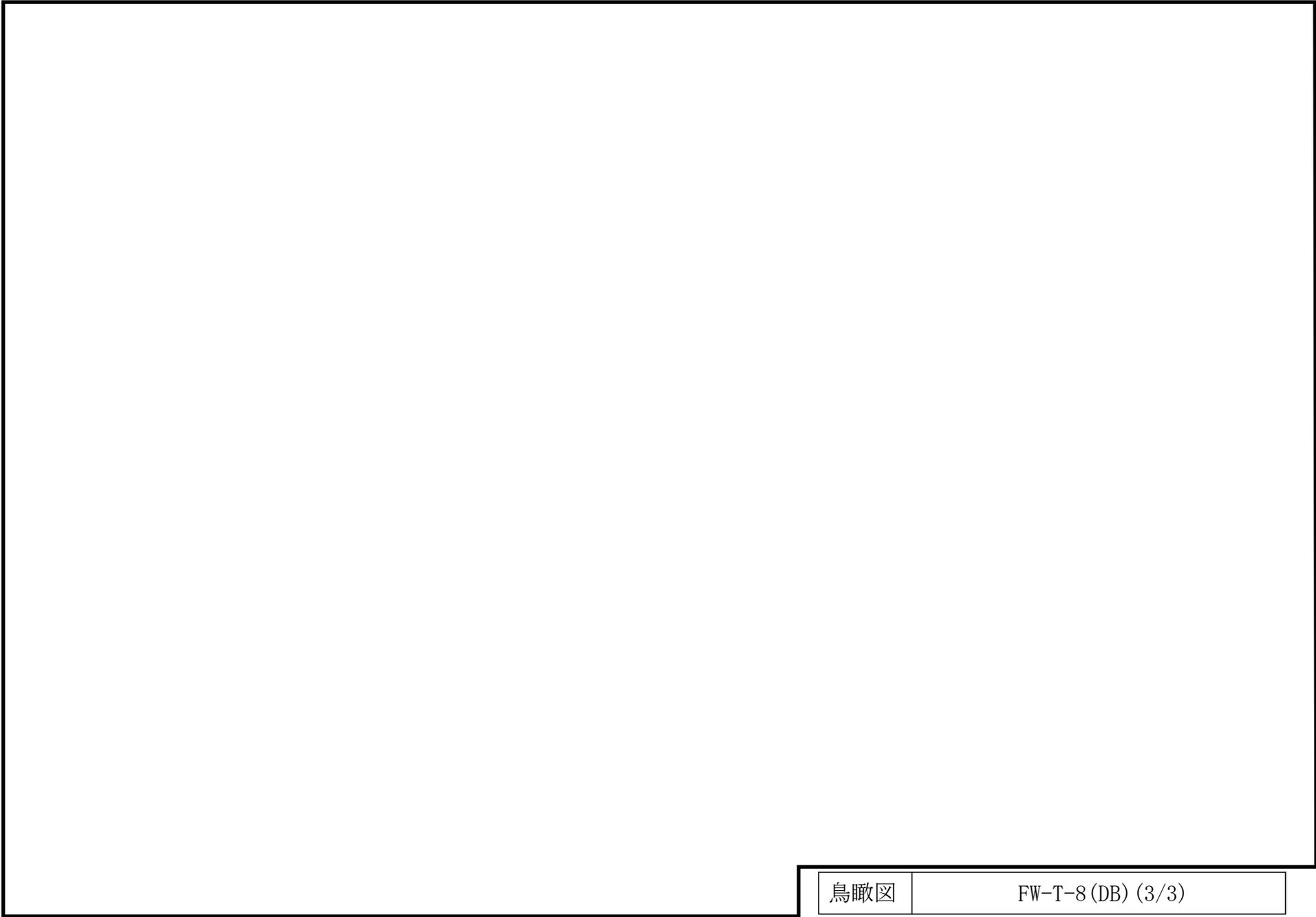


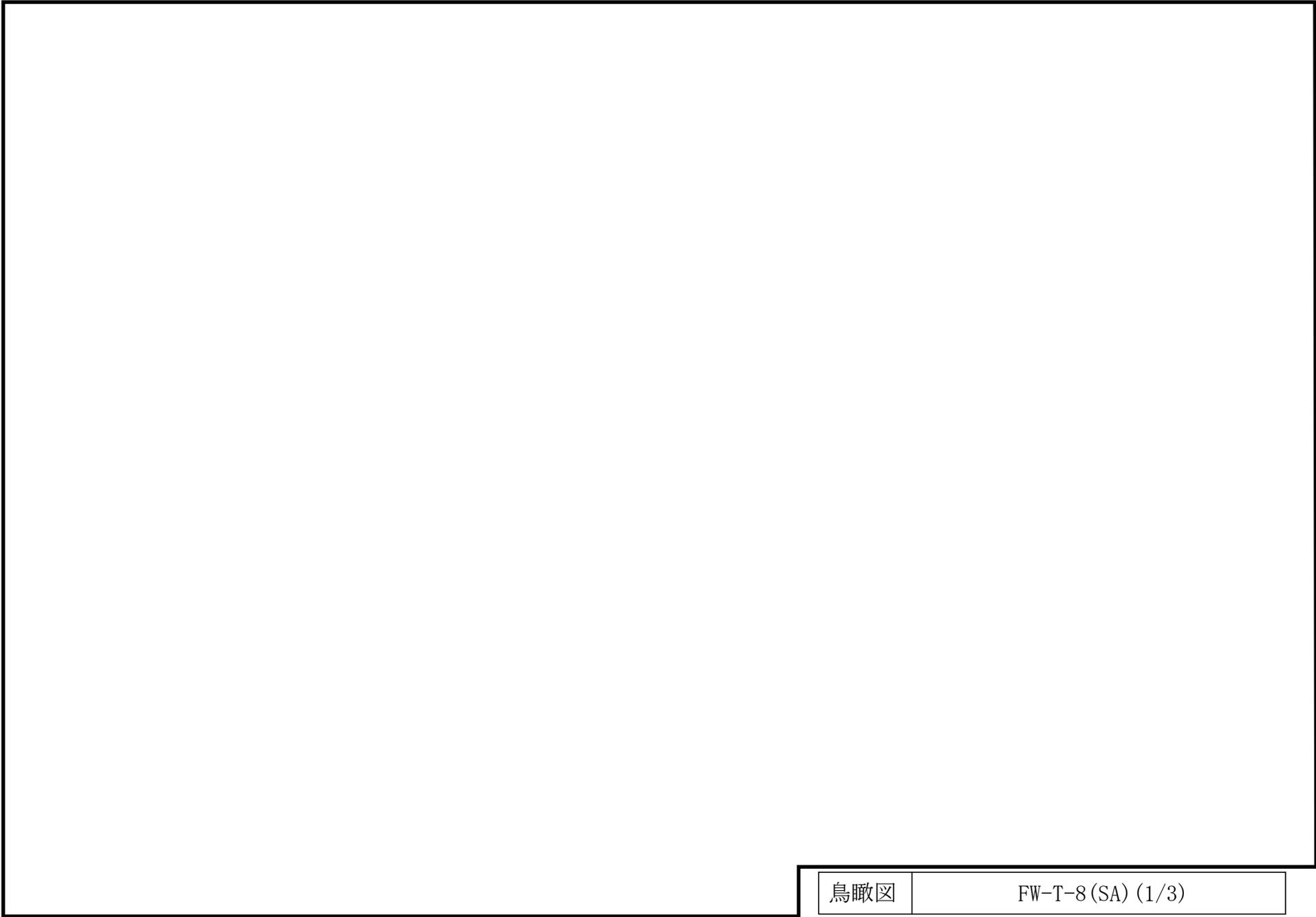
鳥瞰図	FW-PD-2 (SA) (2/2)
-----	--------------------

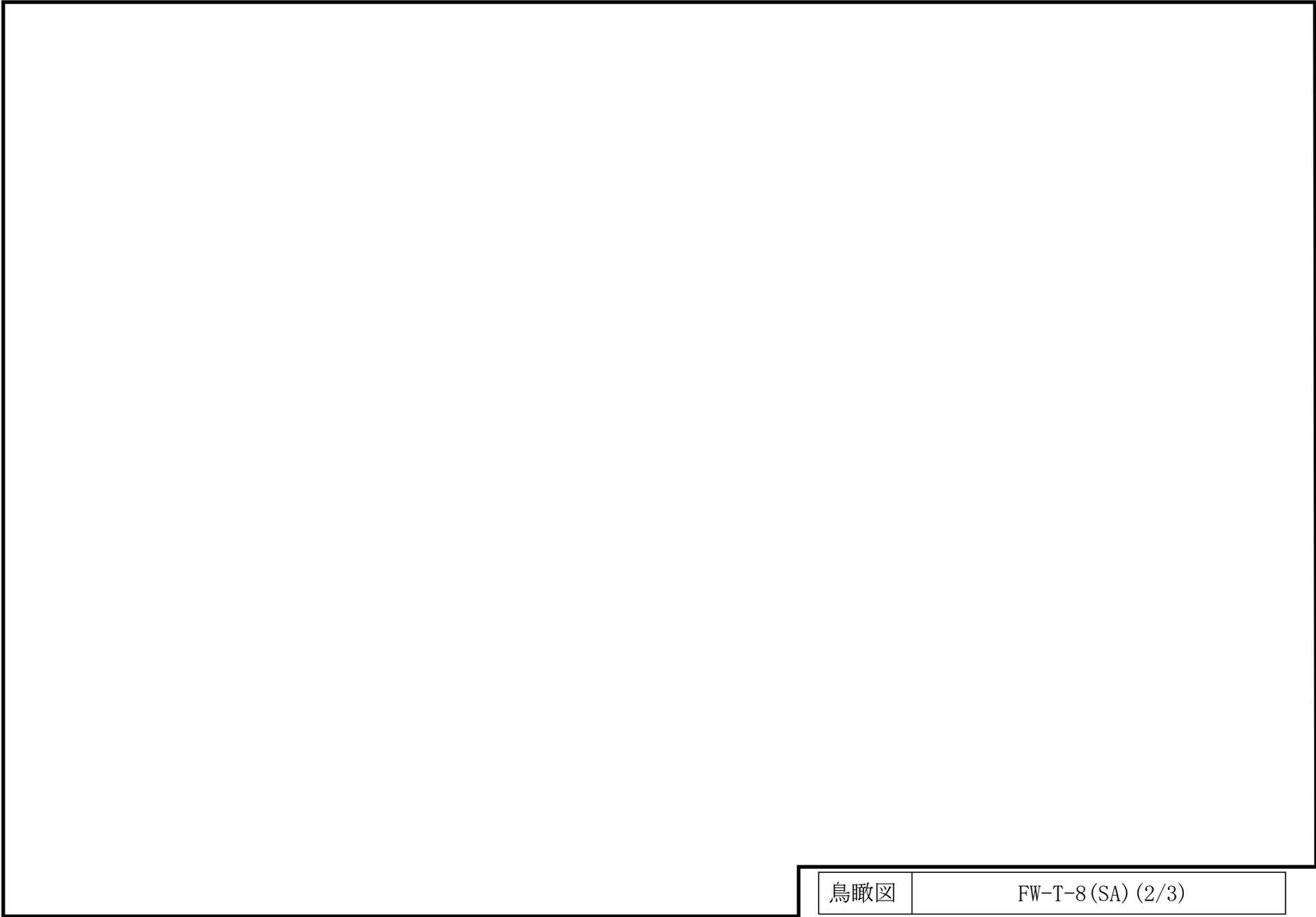


鳥瞰図	FW-T-8(DB) (1/3)
-----	------------------

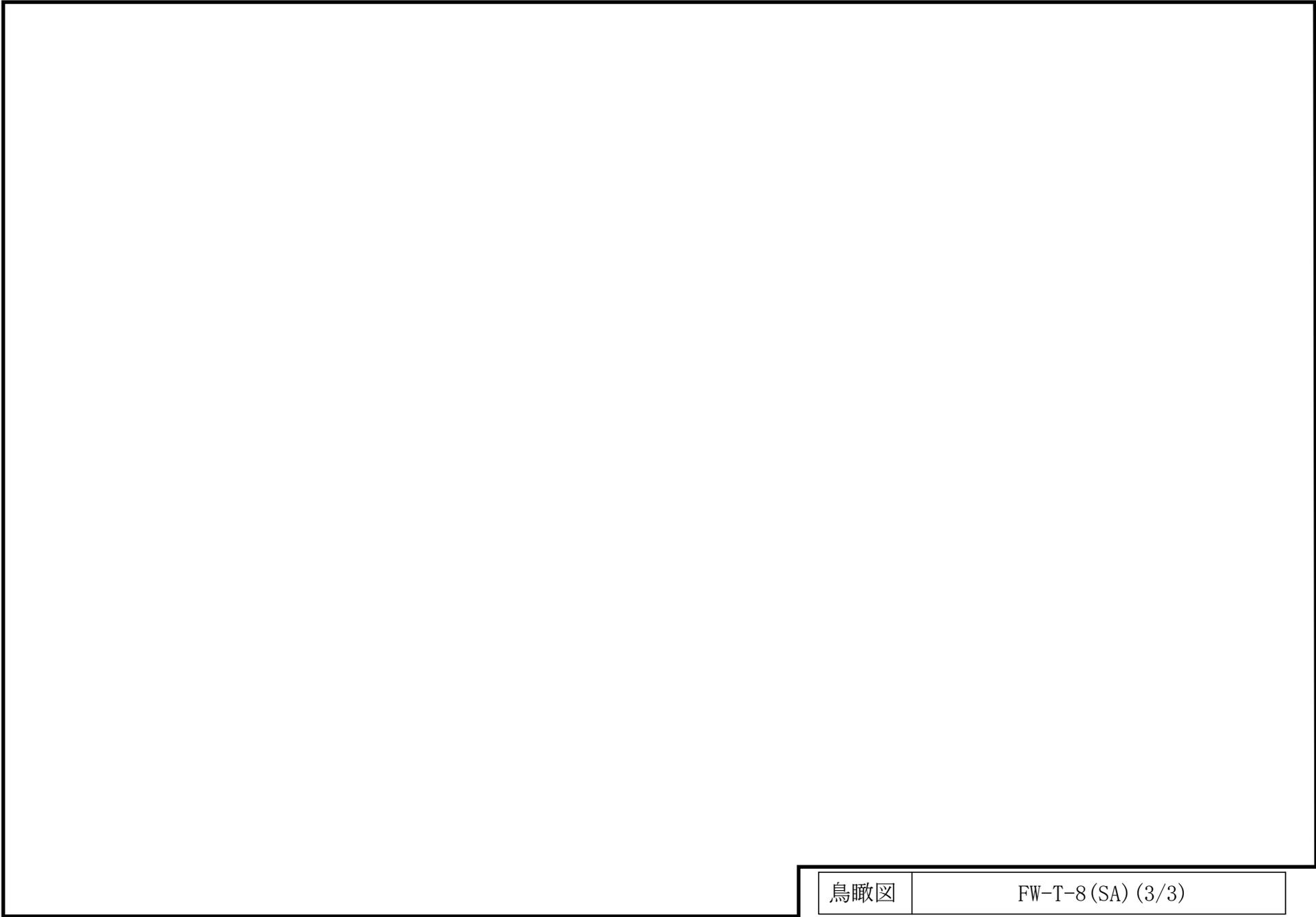








鳥瞰図	FW-T-8(SA) (2/3)
-----	------------------



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	給水系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
							Ⅳ _L (L)+S _d ^{*6}	
	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L +S _s	
	原子炉冷却材浄化設備	原子炉浄化系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L +S _d	
							I _L +S _s	Ⅳ _A S
Ⅱ _L +S _s								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$	
		$V_L + S_s^{*11}$						
		原子炉隔離時冷却系	S A	常設／防止(D B 拡張)	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	V _A S
$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$								
$V_L + S_s^{*11}$								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
V _L + S _s ^{*11}								

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止 (D B 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2, 10~12 13~17	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	17~21, 23~32 34~35	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	21~23, 32~34	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
4	22~36, 33~46	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	36~45N, 46~54N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2, 10~12 13~17	457.2	23.8	STS49	S	188720
2	17~21, 23~32 34~35	457.2	23.8	SFVC2B	S	190360
3	21~23, 32~34	489.6	40.0	SFVC2B	S	190360
4	22~36, 33~46	318.5	21.4	SFVC2B	S	190360
5	36~45N, 46~54N	318.5	21.4	STS42	S	190360

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FW-PD-1

質量	対応する評価点
	1A～2, 1401～1601, 1701～1801, 2401～2502, 2801～3101
	10～12, 13～1401, 1601～1701, 1801～21, 23～2401 2502～2801, 3101～32, 34～35
	21～23, 32～34
	22～3601, 3803～3901, 4101～4200, 4400～45N, 33～4601 4702～4801, 5011～5102, 5300～54N
	3601～3803, 3901～4101, 4601～4702, 4801～5011
	4200～4400, 5102～5300

弁部の質量

鳥 瞰 図 FW-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2~3		9~10
	12~13		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FW-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				9~10			
12~13							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
4						
** 11 **						
** 11 **						
1301						
** 16 **						
** 16 **						
** 1702 **						
** 1703 **						
** 2101 **						
2101						
** 2402 **						
** 2403 **						
** 2403 **						
** 2501 **						
** 2503 **						
** 2503 **						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 28 **						
** 30 **						
** 3102 **						
3801						
3801						
39						
N458						
** 4602 **						
** 4602 **						
4701						
48						
N548						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 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 FW-PD-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2, 10~12 13~17	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	17~21, 23~32 34~35	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	21~23, 32~34	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
4	22~36, 33~46	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	36~45N, 46~54N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-PD-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~2, 10~12 13~17	457.2	23.8	STS49	S	188720
2	17~21, 23~32 34~35	457.2	23.8	SFVC2B	S	190360
3	21~23, 32~34	489.6	40.0	SFVC2B	S	190360
4	22~36, 33~46	318.5	21.4	SFVC2B	S	190360
5	36~45N, 46~54N	318.5	21.4	STS42	S	190360

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FW-PD-2

質量	対応する評価点
	1A～2, 1501～1601, 1701～1801, 2402～2501, 2801～3101
	10～12, 13～1501, 1601～1701, 1801～21, 23～2402 2501～2801, 3101～32, 34～35
	21～23, 32～34
	22～3601, 3803～3901, 4101～4200, 4400～45N, 33～4601 4701～4801, 5011～5102, 5302～54N
	3601～3803, 3901～4101, 4601～4701, 4801～5011
	4200～4400, 5102～5302

弁部の質量

鳥 瞰 図 FW-PD-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2~3		9~10
	12~13		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FW-PD-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2~3				9~10			
12~13							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
4						
** 11 **						
** 11 **						
1301						
** 16 **						
** 16 **						
1702						
** 1703 **						
** 2101 **						
2101						
** 2401 **						
** 2403 **						
** 2404 **						
** 26 **						
** 26 **						
** 28 **						
** 30 **						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-PD-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 30 **						
** 3801 **						
** 3801 **						
39						
N18						
** 4602 **						
** 4602 **						
48						
N28						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 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 FW-T-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	160～161, 255～256	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
2	161～162, 256～257	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
3	162～163, 257～258	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
4	163～165A, 258～260A	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
5	162～301, 454～257	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
6	301～312, 451～454	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
7	313～315	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-T-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	315~317	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
9	317~318	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
10	318~319	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
11	317~401	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
12	401~403, 406~407 408~419S	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
13	403~406	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
14	419S~424A	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-T-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
15	314～451	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		V _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FW-T-8

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	160～161, 255～256	457.2	23.8	SFVAF11A	S	191280
2	161～162, 256～257	457.2	23.8	STPA23	S	191280
3	162～163, 257～258	457.2	23.8	STPA23	S	191280
4	163～165A, 258～260A	457.2	23.8	STS49	S	188560
5	162～301, 454～257	114.3	11.1	SFVAF11A	S	190440
6	301～312, 451～454	114.3	11.1	STPT42	S	188880
7	313～315	216.3	18.2	STS42	S	188880
8	315～317	216.3	18.2	STPA23	S	190440
9	317～318	216.3	18.2	STPA23	S	190440
10	318～319	216.3	18.2	SFVAF11A	S	190440
11	317～401	114.3	11.1	SFVAF11A	S	202200
12	401～403, 406～407 408～419S	114.3	11.1	STPT42	S	200600
13	403～406	114.3	11.1	STPT410	S	200600
14	419S～424A	114.3	11.1	STPT42	S	201667
15	314～451	114.3	11.1	STS42	S	188880

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FW-T-8

質量	対応する評価点
	160～165A, 255～260A
	162～312, 314～257
	313～319
	317～407, 408～424A

弁部の質量

鳥 瞰 図 FW-T-8

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	159～160, 254～255		319～320
	407～408		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FW-T-8

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
159~160				254~255			
319~320				407~408			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FW-T-8

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
165A						
260A						
** 302 **						
307						
309						
311						
318						
4081						
4081						
413						
422						
424A						
453						

S2 補 VI-2-5-3-2-1 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
STS49	302	138	209	423	—
SFVC2B	302	125	—	—	—
STS42	302	122	182	404	—
SFVAF11A	302	—	218	427	—
STPA23	302	—	163	400	—
STPT42	302	—	182	404	—
STPT410	302	—	182	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき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
FW-PD-1	ガンマ線遮蔽壁				
FW-PD-2	ガンマ線遮蔽壁				
FW-T-8	原子炉建物				
	タービン建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FW-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*2, *3							
静的震度*4							

注記*1：固有周期が0.050 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 I (弾性設計用地震動 S_d) 及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

*4： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FW-PD-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
動的震度*2, *3							
静的震度*4							

注記*1：固有周期が0.050 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 I (弾性設計用地震動 S d) 及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

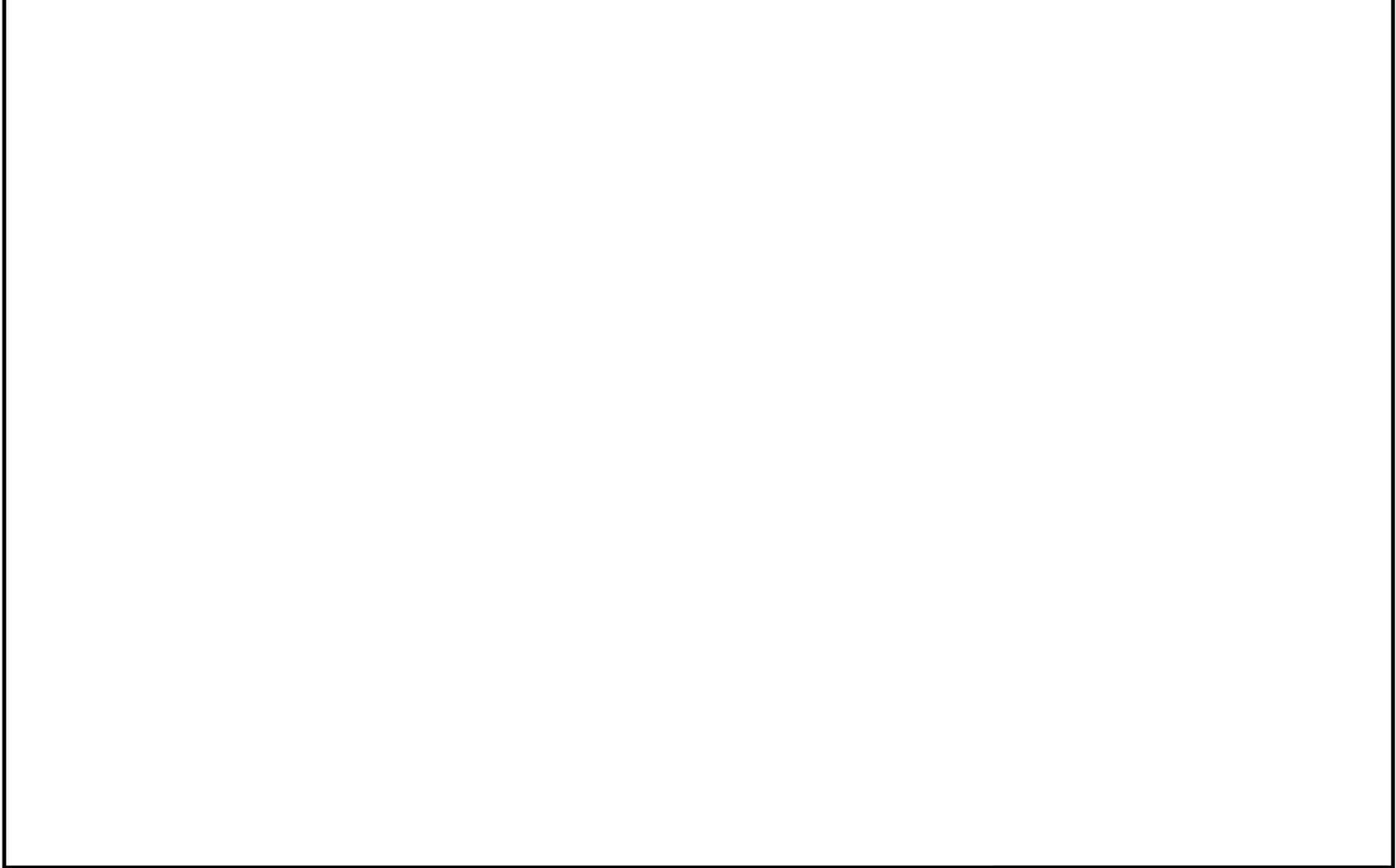
*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

*4： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FW-T-8

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
19次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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 FW-T-8

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
19次				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



58

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

60

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
Ⅲ _A S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (2.25 \cdot S m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	281	—
		ねじり $S_t (0.55 \cdot S m)$	FW-PD-2	1801	ELBOW	8	68	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (1.8 \cdot S m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		FW-PD-1	1401	ELBOW	129	414	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890
Ⅳ _A S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (3 \cdot S m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	375	—
		ねじり $S_t (0.73 \cdot S m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	10	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (2.4 \cdot S m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		FW-PD-2	14	ELBOW	237	414	—
	疲労累積係数 $U + U S s$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m} (3 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	375	—
		ねじり $S_t (0.73 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	10	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (2.4 \cdot S_m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S_m)$		FW-PD-2	14	ELBOW	237	414	—
	疲労累積係数 $U + U_{S_s}$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m} (3 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	78	375	—
		ねじり $S_t (0.73 \cdot S_m)$	FW-PD-2	19	ELBOW	10	91	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (2.4 \cdot S_m)$	FW-PD-2	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S_m)$		FW-PD-2	14	ELBOW	237	414	—
	疲労累積係数 $U + U_{S_s}$		FW-PD-1	33	TEE	—	—	0.0890

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
III _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	FW-T-8	255	76	218	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	255	59	436	—
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FW-T-8	255	101	384	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	255	108	436	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

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 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FW-T-8	260A	87	380	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	317	99	326	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FW-T-8	260A	87	380	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FW-T-8	317	99	326	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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	302	—	—	
SNO-FW-3	オイルスナッパ	SN-25			375	—	
—	ロッドレストレイント	—			—	—	
SH-FW-21	スプリングハンガ	VS4B-19×2*3			124	144	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点，同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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-FW-202	レストレイント	パイプバンド	SKTR400	302	0	151	167	—	—	—	圧縮	30	99
AN-FW-803	アンカ	ラグ	SGV480	302	939	105	74	32	78	152	組合せ	49	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり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
AV204-101A	空気作動逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
AV204-101B	空気作動逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
V204-101A	逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
V204-101B	逆止弁	α (S s)	2.7	1.4	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

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	FW-PD-1	19	77	281	3.64	—	1401	129	414	3.20	○	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	281	3.60	○	14	129	414	3.20	—	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	19	76	375	4.93	—	1401	236	414	1.75	—	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	375	4.80	○	14	237	414	1.74	○	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	19	76	375	4.93	—	1401	236	414	1.75	—	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	375	4.80	○	14	237	414	1.74	○	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FW-PD-1	19	76	375	4.93	—	1401	236	414	1.75	—	33	0.0890	○
2	FW-PD-2	19	78	375	4.80	○	14	237	414	1.74	○	33	0.0890	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	209	3.21	—	2	20	418	20.90	—	—
2	FW-PD-2	2	65	209	3.21	—	2	20	418	20.90	—	—
3	FW-T-8	255	76	218	2.86	○	255	59	436	7.38	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	380	5.84	—	2	34	418	12.29	—	—
2	FW-PD-2	2	66	380	5.75	—	2	35	418	11.94	—	—
3	FW-T-8	255	101	384	3.80	○	255	108	436	4.03	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	380	5.84	—	2	34	418	12.29	—	—
2	FW-PD-2	2	66	380	5.75	—	2	35	418	11.94	—	—
3	FW-T-8	260A	87	380	4.36	○	317	99	326	3.29	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	FW-PD-1	2	65	380	5.84	—	2	34	418	12.29	—	—
2	FW-PD-2	2	66	380	5.75	—	2	35	418	11.94	—	—
3	FW-T-8	260A	87	380	4.36	○	317	99	326	3.29	—	○

VI-2-5-4 残留熱除去設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1 残留熱除去系の耐震性についての計算書

VI-2-5-4-1-4 管の耐震性についての計算書
(残留熱除去系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	7
3. 計算条件	30
3.1 計算方法	30
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	31
3.3 設計条件	36
3.4 材料及び許容応力	79
3.5 設計用地震力	80
4. 解析結果及び評価	81
4.1 固有周期及び設計震度	81
4.2 評価結果	116
4.2.1 管の応力評価結果	116
4.2.2 支持構造物評価結果	120
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	121
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	123

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、残留熱除去系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全26モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

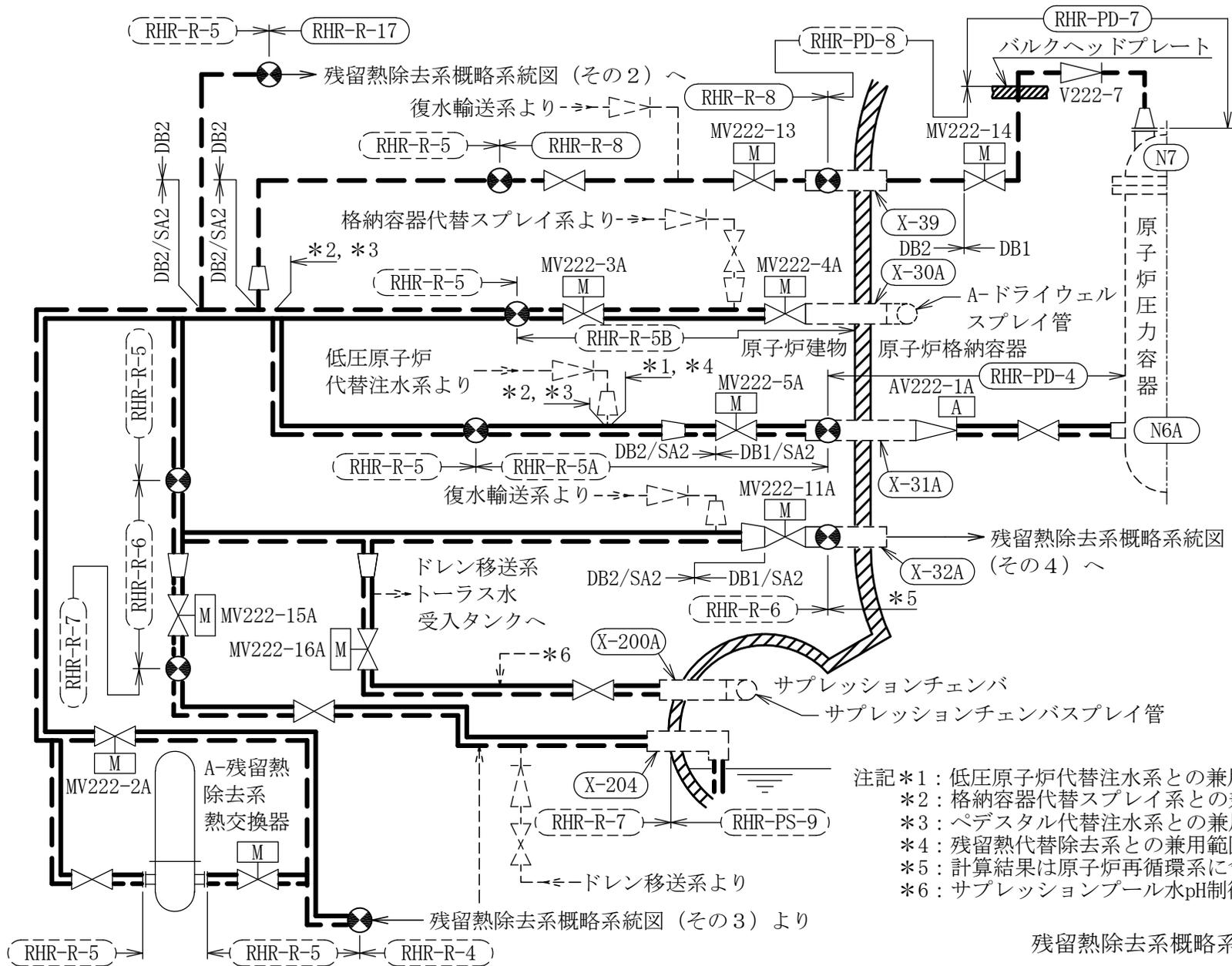
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

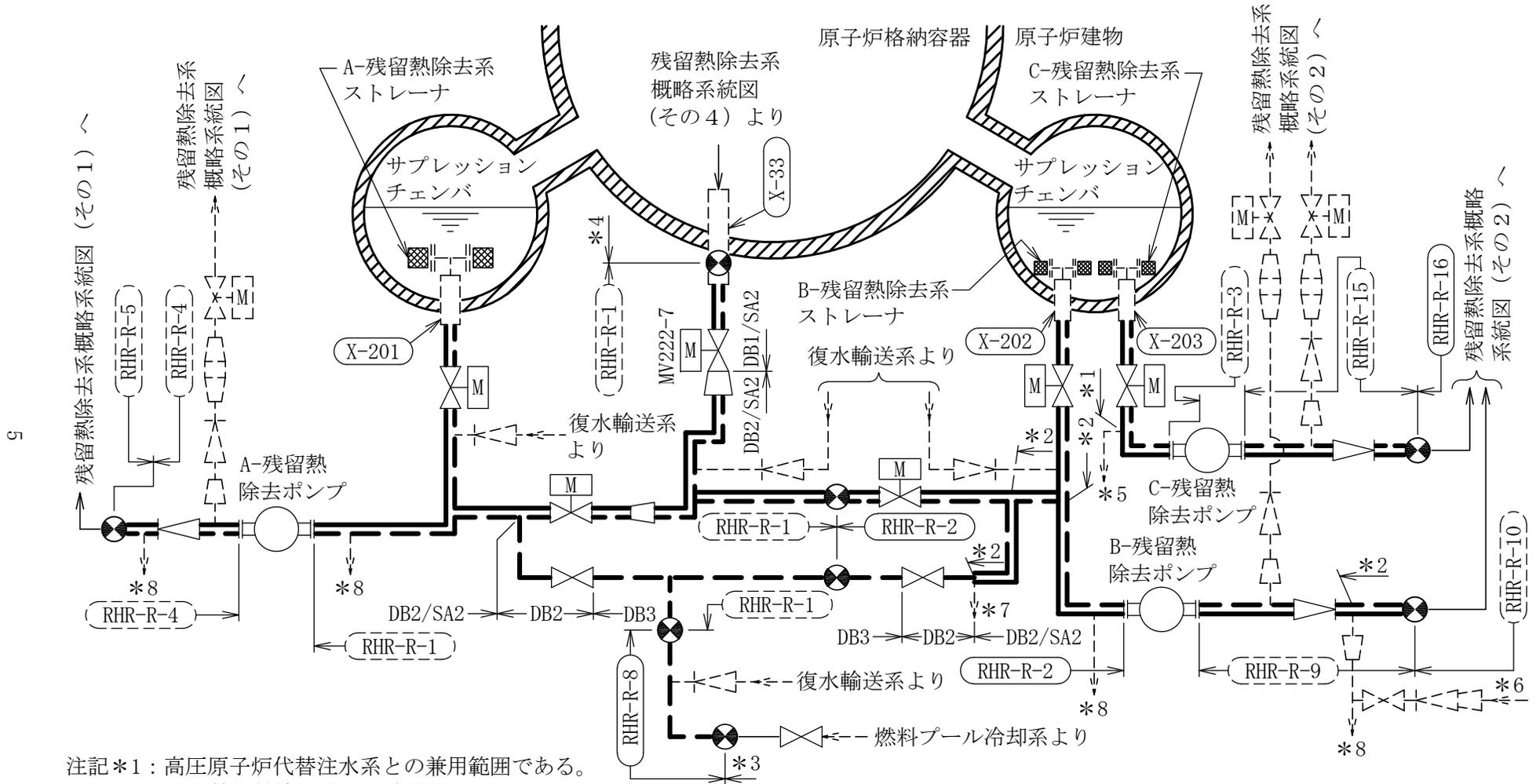
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

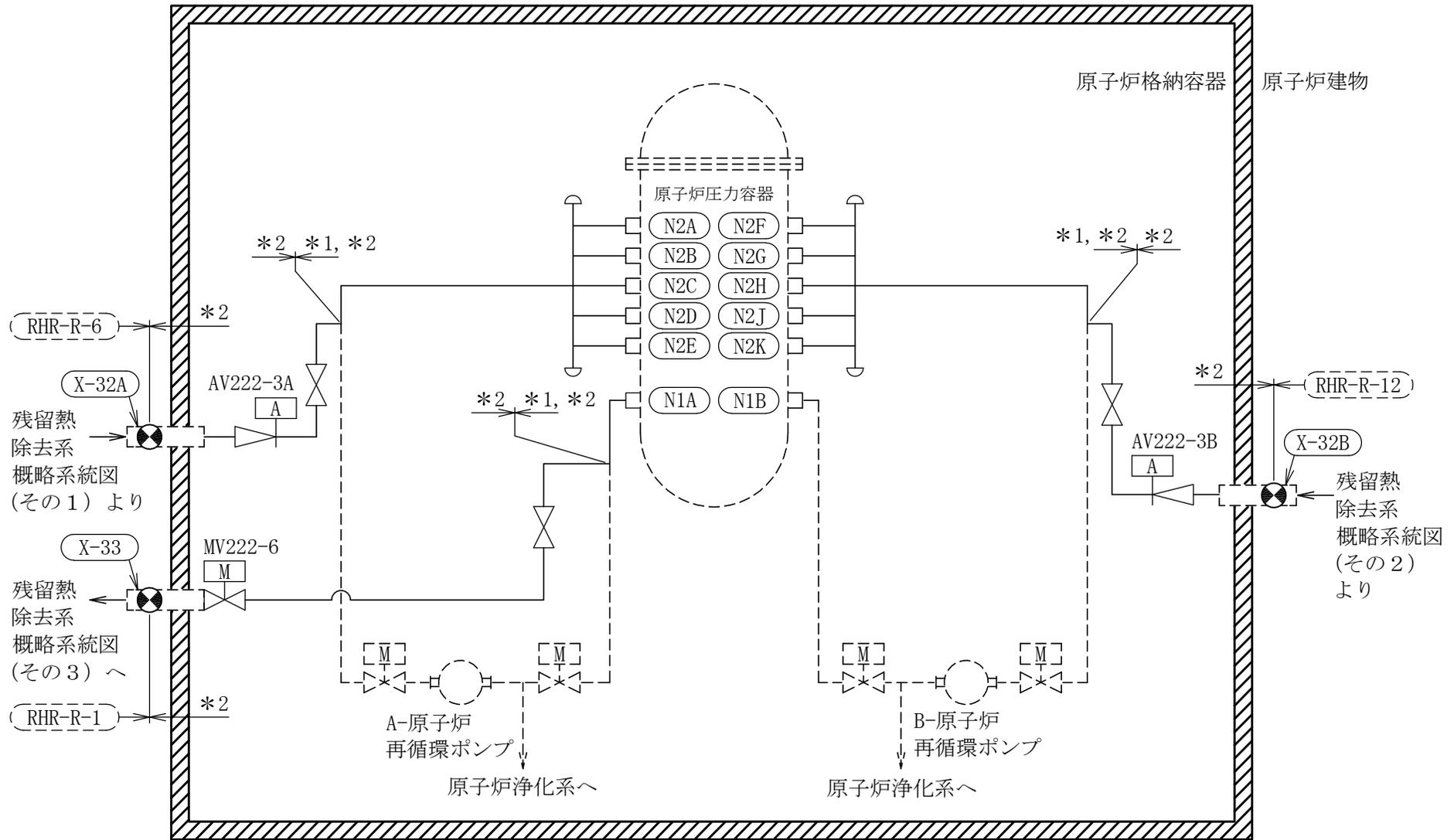
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管





- 注記 *1 : 高圧原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *2 : 残留熱代替除去系との兼用範囲である。
 *3 : 計算結果は燃料プール冷却系に含めて示す。
 *4 : 計算結果は原子炉再循環系に含めて示す。
 *5 : 高圧原子炉代替注水系へ
 *6 : 残留熱代替除去系より
 *7 : 残留熱代替除去系へ
 *8 : RHRフラッシング用サンプルタンクへ

残留熱除去系概略系統図 (その3)



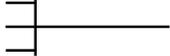
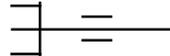
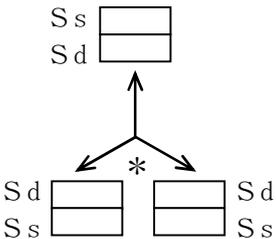
注記*1：原子炉再循環系との兼用範囲である。

*2：計算結果は原子炉再循環系に含めて示す。

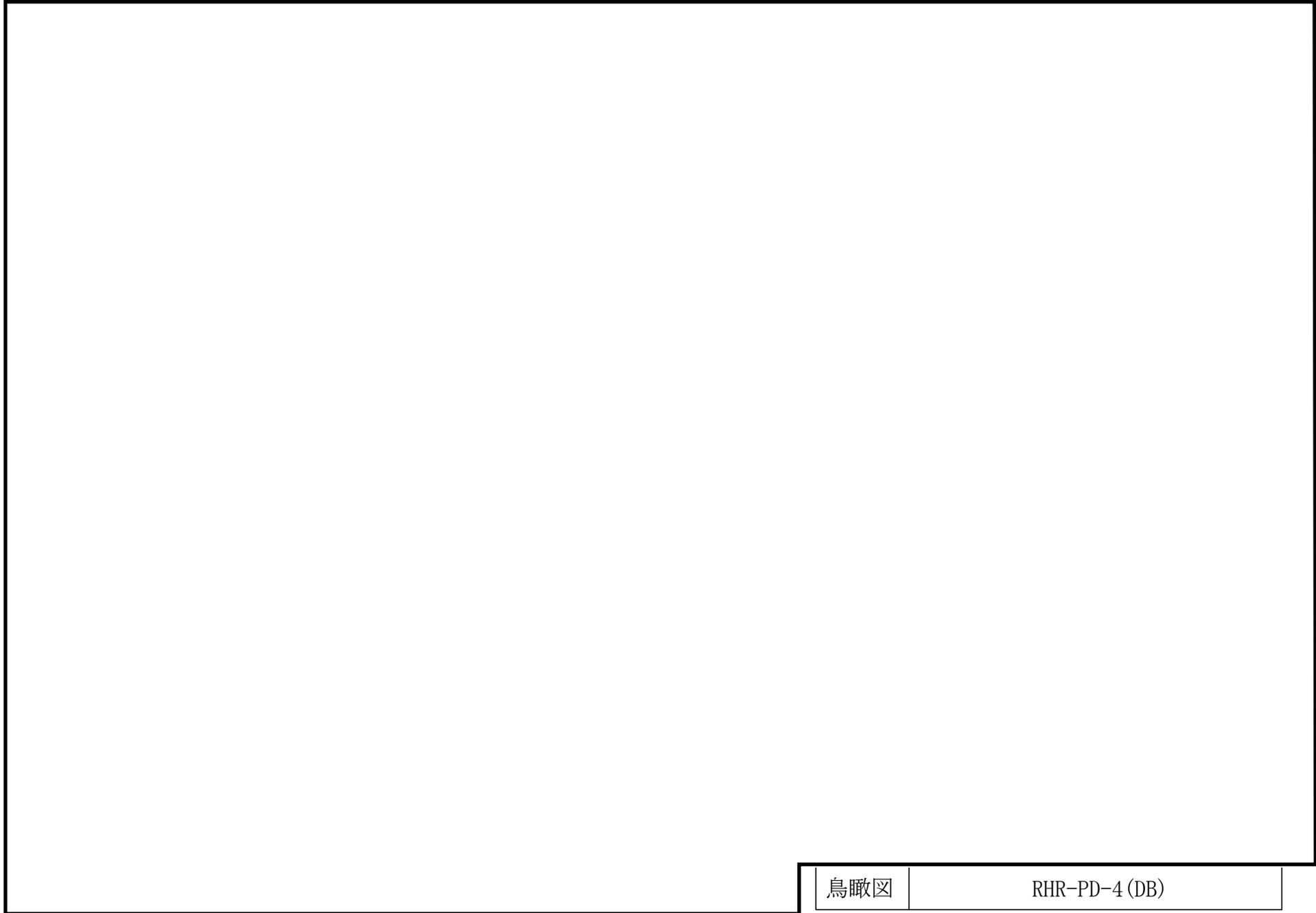
残留熱除去系概略系統図（その4）

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本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。

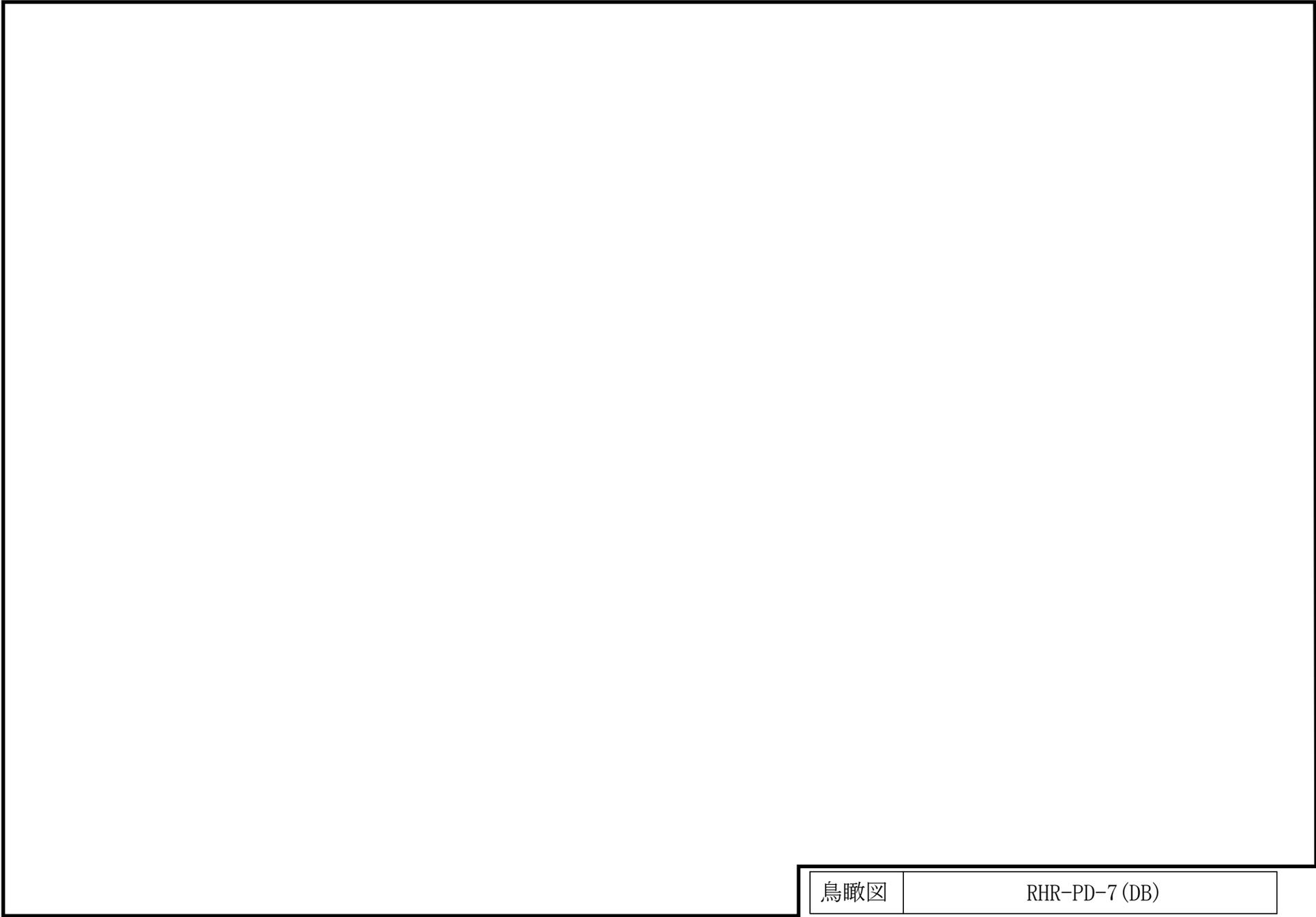
∞



鳥瞰図	RHR-PD-4 (DB)
-----	---------------



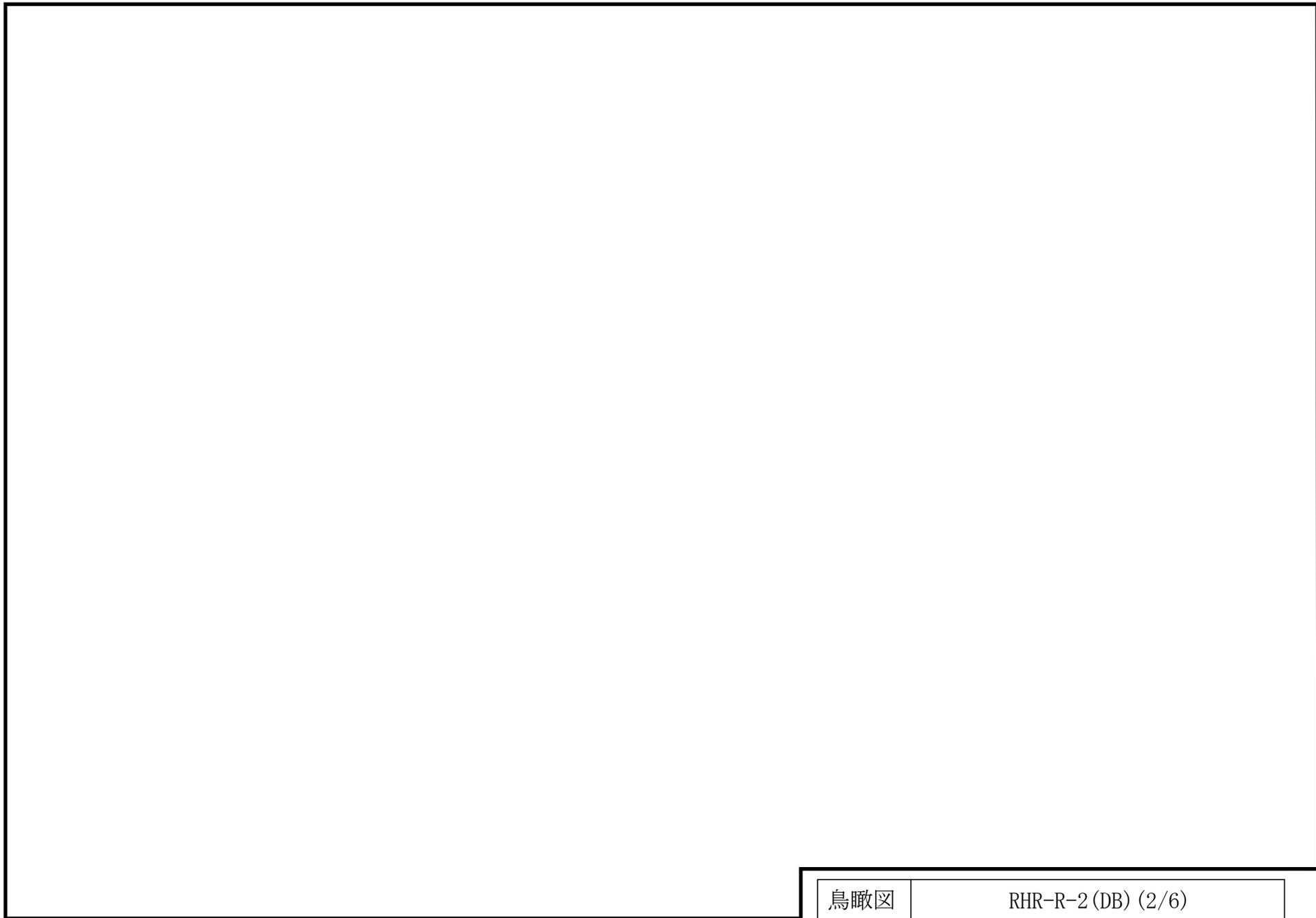
鳥瞰図	RHR-PD-4 (SA)
-----	---------------



鳥瞰図	RHR-PD-7 (DB)
-----	---------------

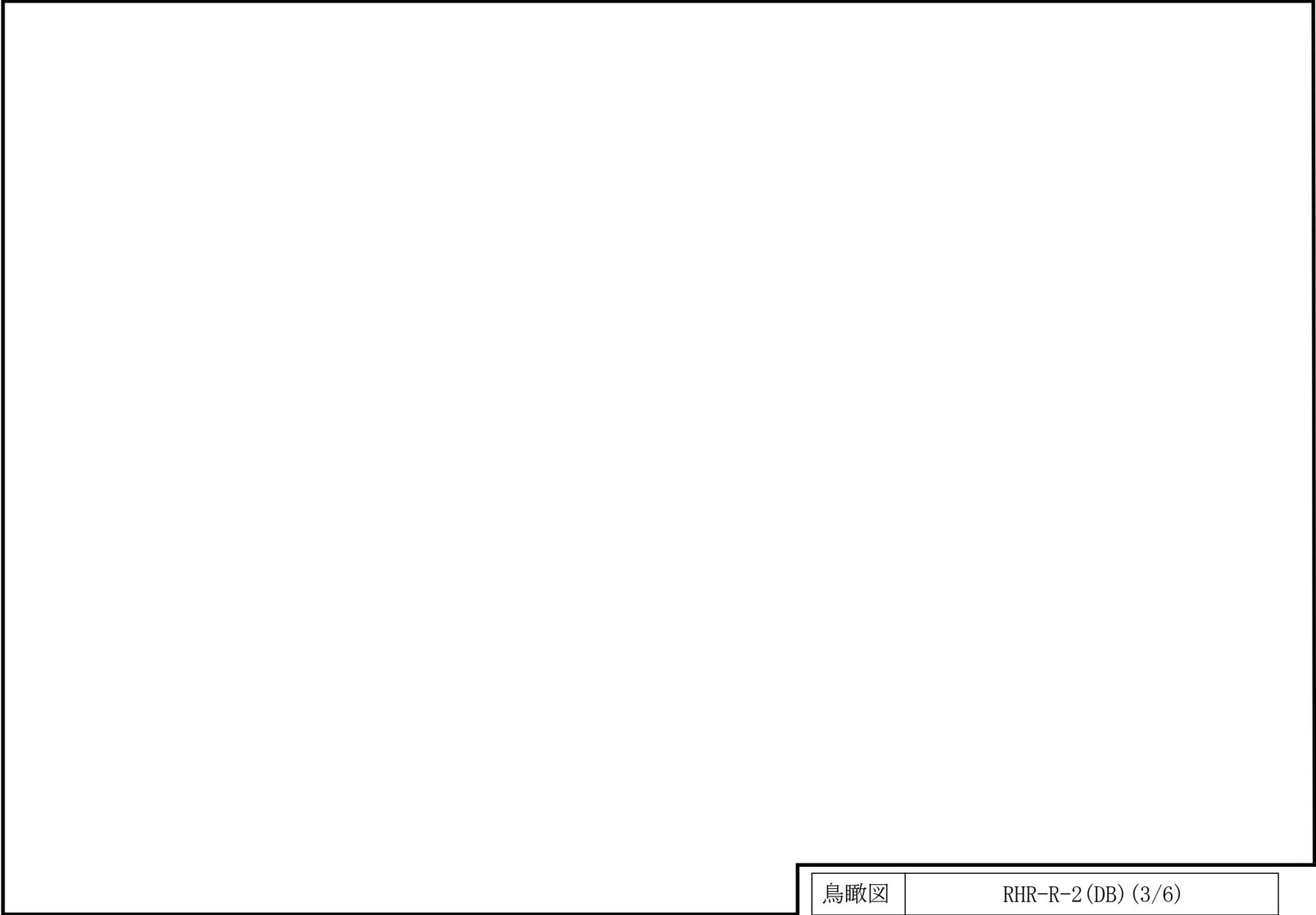


鳥瞰図	RHR-R-2(DB) (1/6)
-----	-------------------

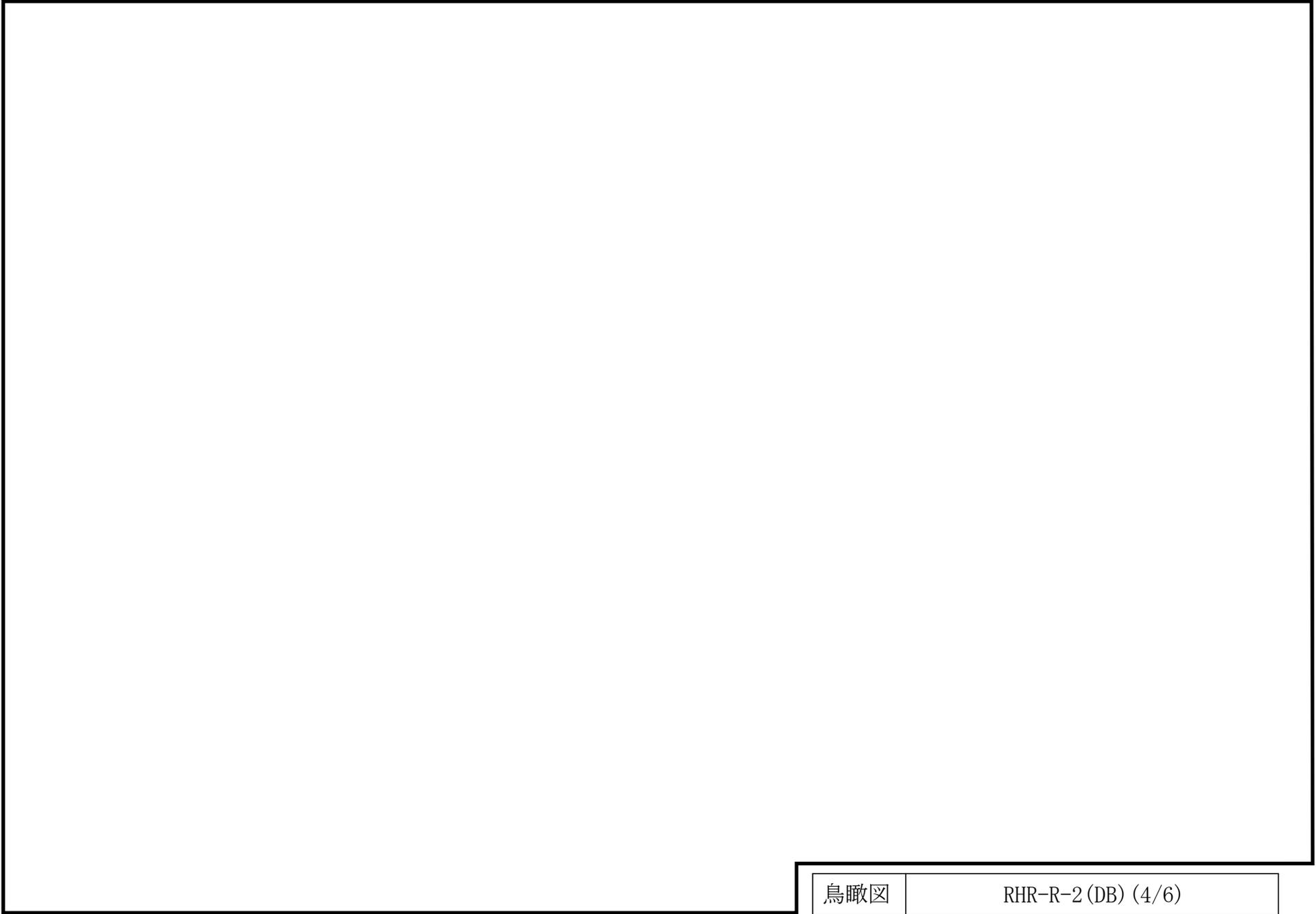


鳥瞰図

RHR-R-2 (DB) (2/6)



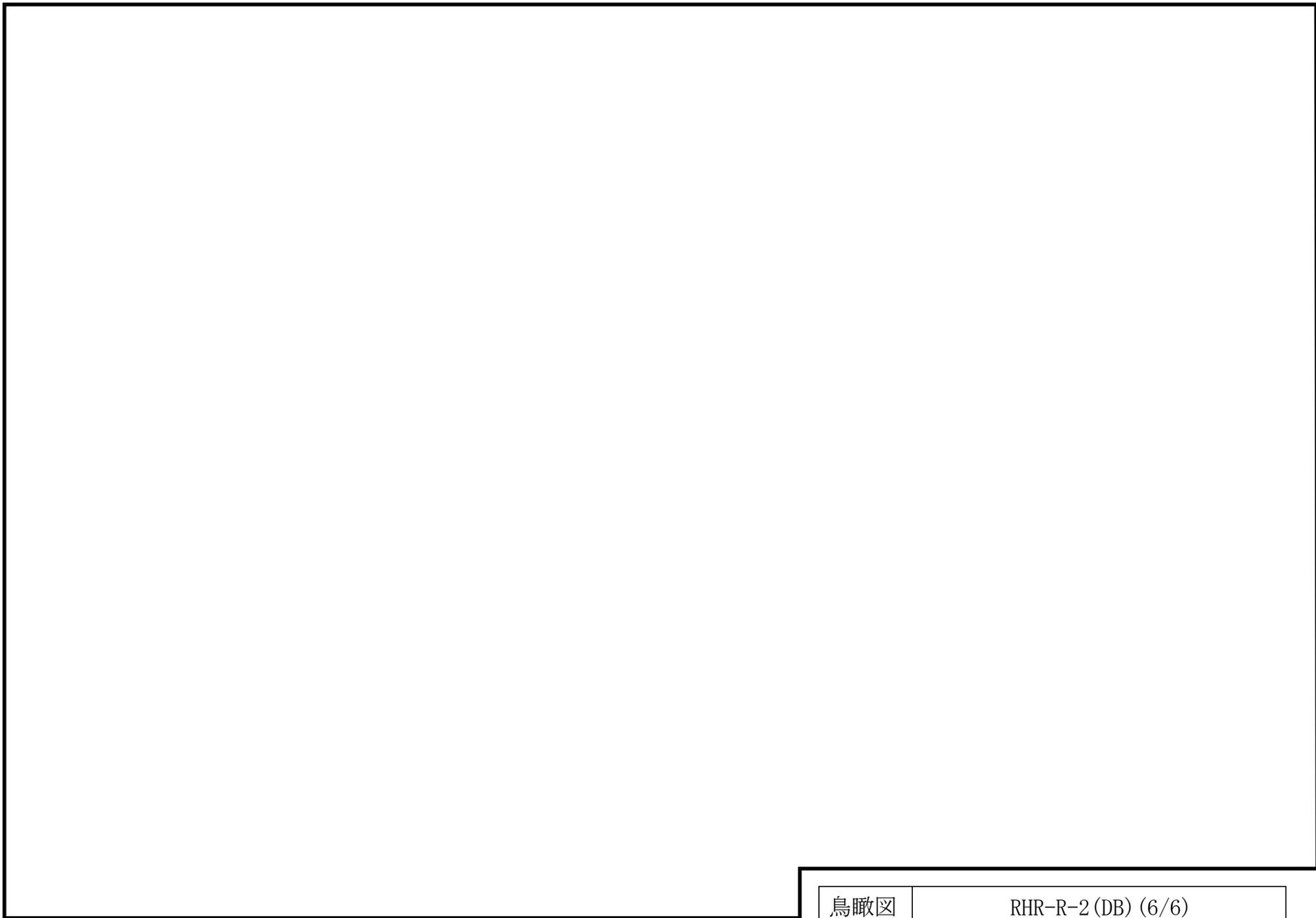
鳥瞰図	RHR-R-2 (DB) (3/6)
-----	--------------------



鳥瞰図	RHR-R-2 (DB) (4/6)
-----	--------------------

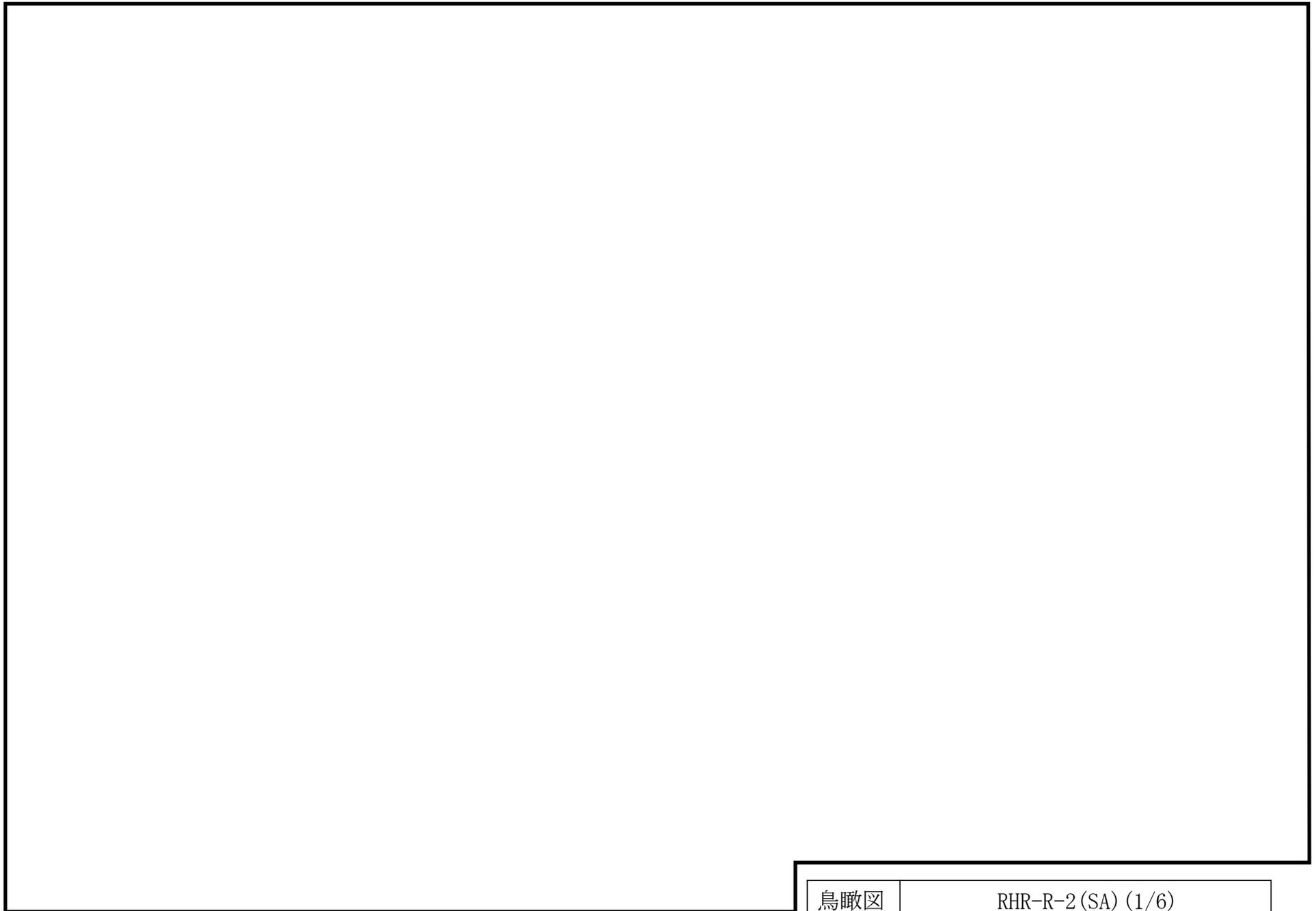
鳥瞰図

RHR-R-2 (DB) (5/6)

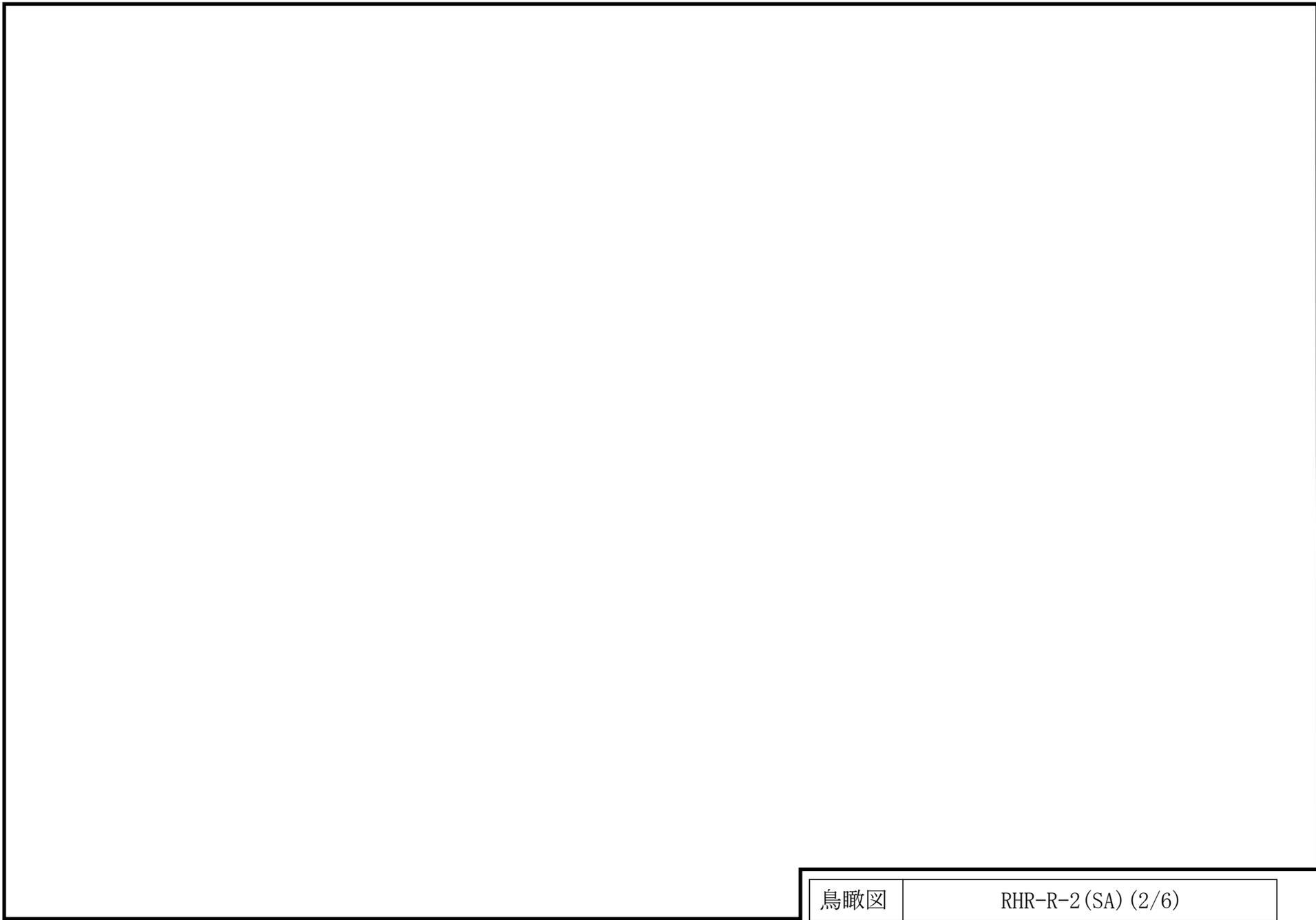


鳥瞰図

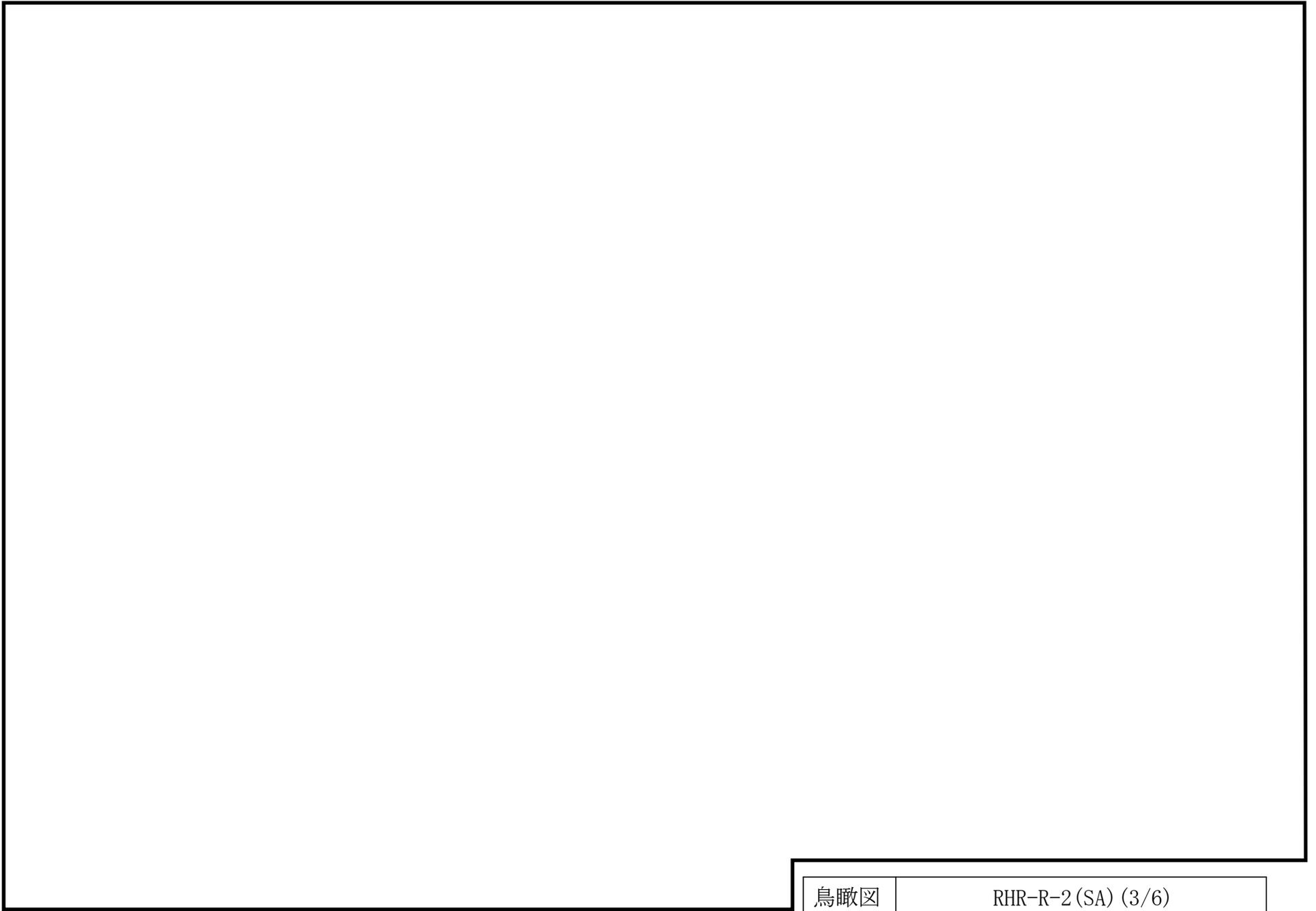
RHR-R-2 (DB) (6/6)



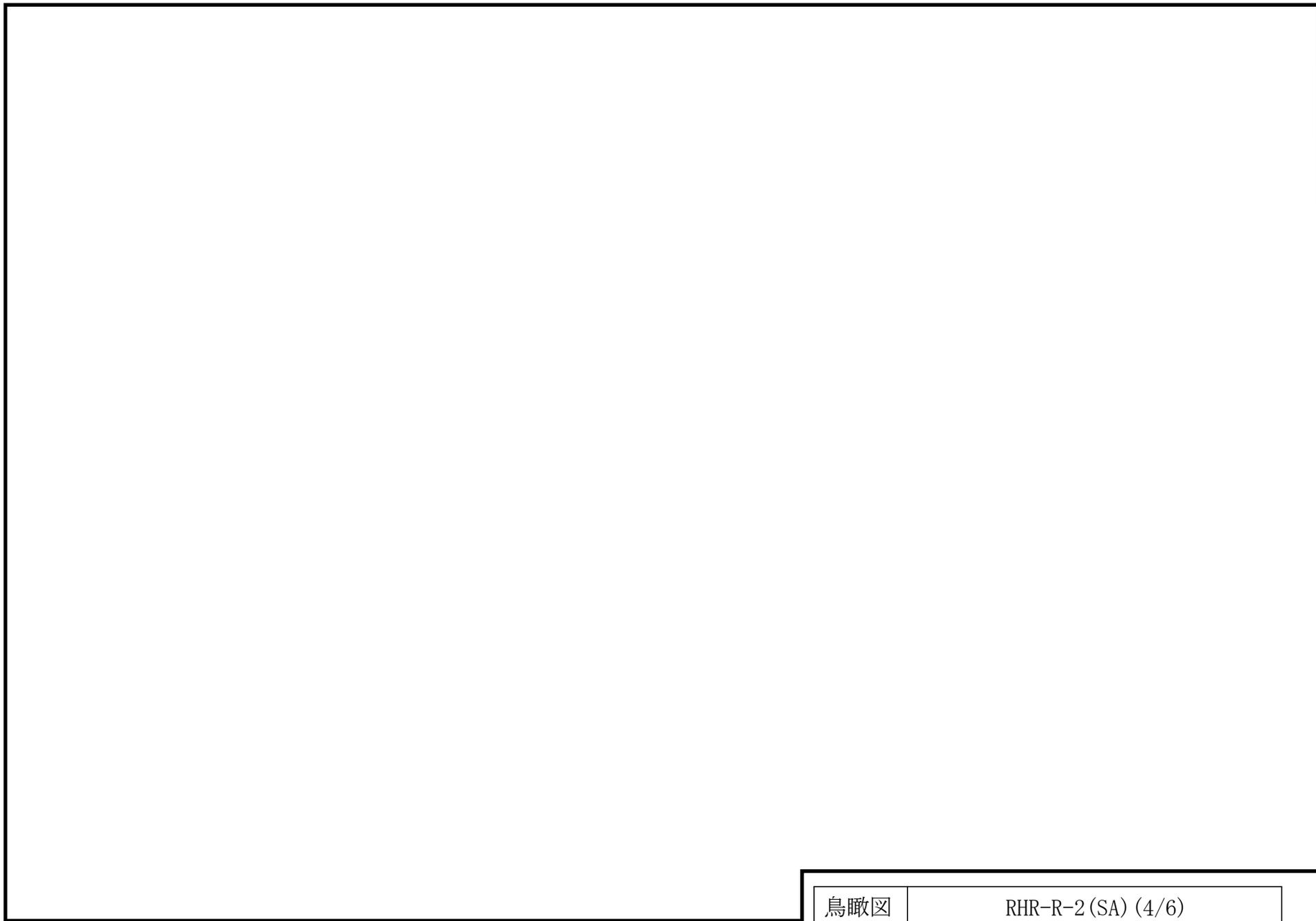
鳥瞰図	RHR-R-2(SA) (1/6)
-----	-------------------



鳥瞰図	RHR-R-2(SA) (2/6)
-----	-------------------



鳥瞰図	RHR-R-2(SA) (3/6)
-----	-------------------

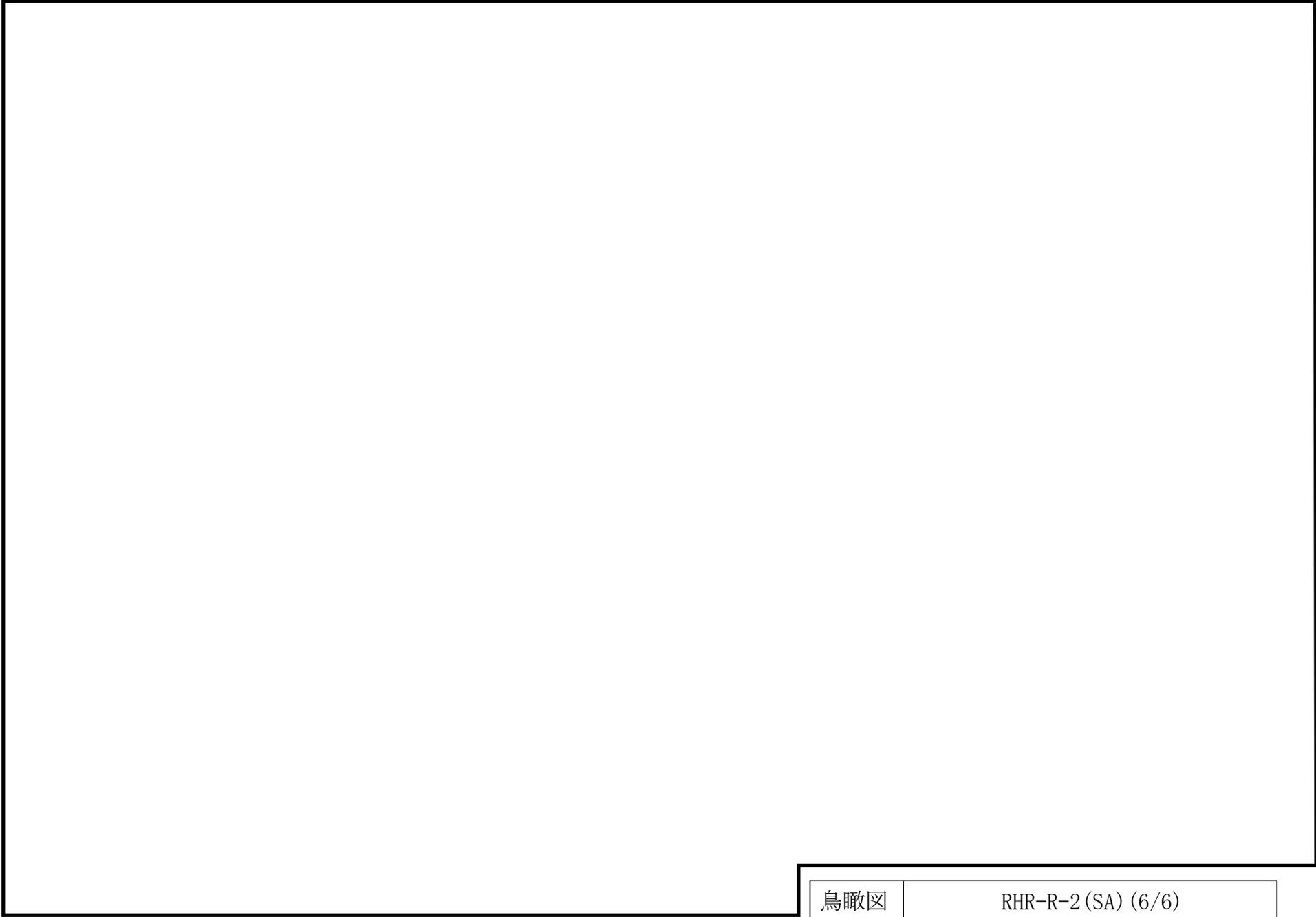


鳥瞰図

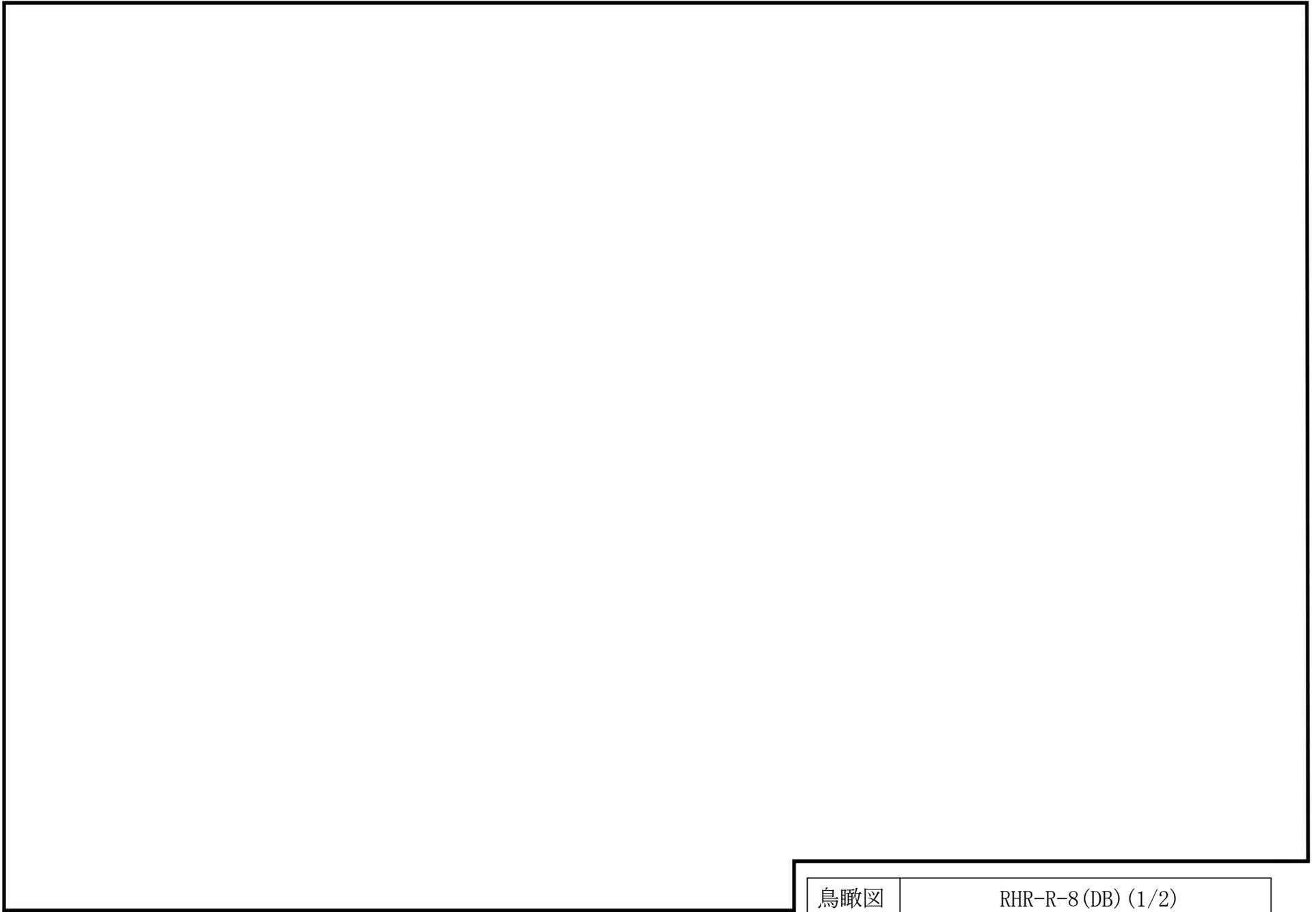
RHR-R-2(SA) (4/6)



鳥瞰図	RHR-R-2(SA) (5/6)
-----	-------------------



鳥瞰図	RHR-R-2(SA) (6/6)
-----	-------------------

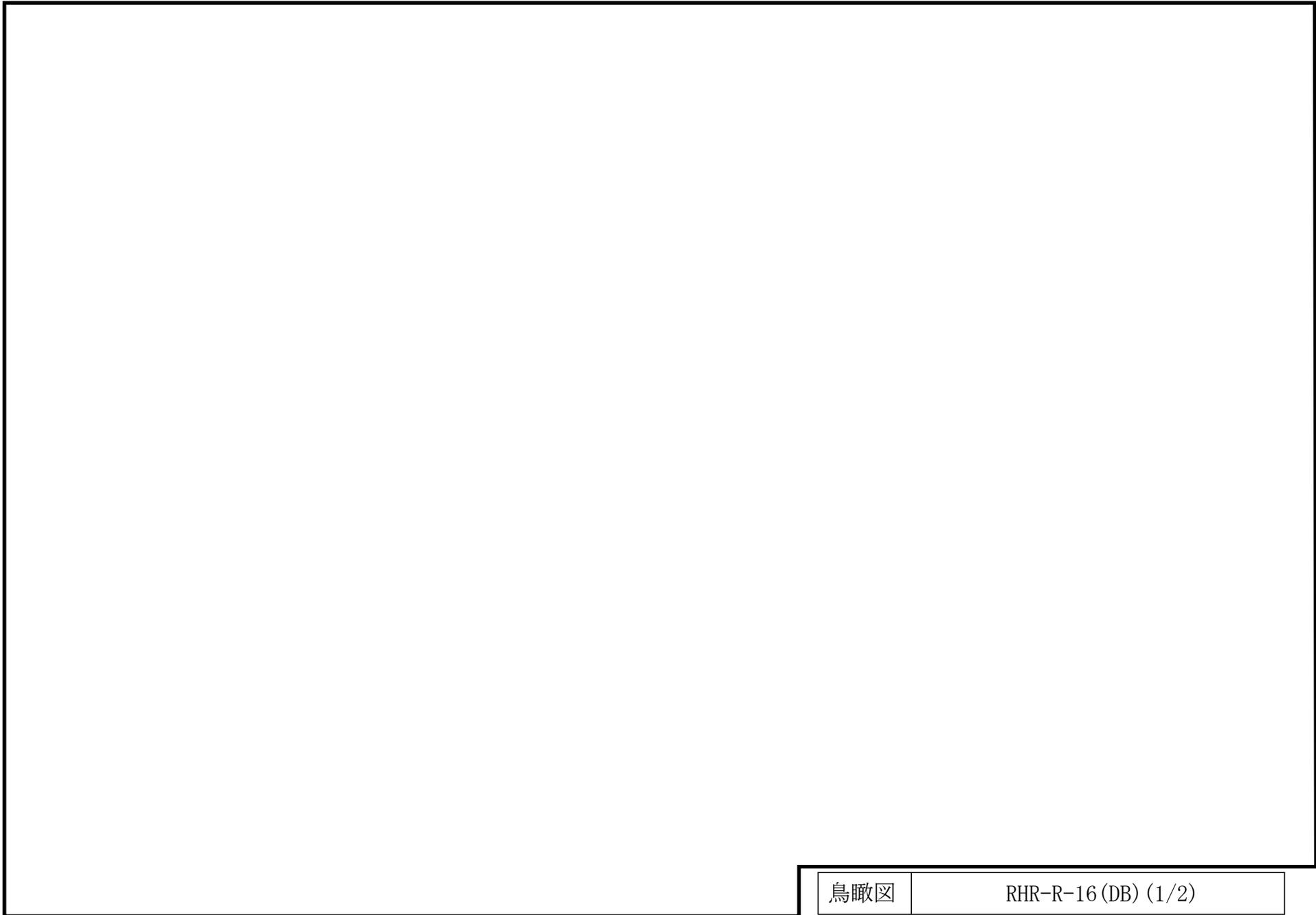


鳥瞰図

RHR-R-8 (DB) (1/2)

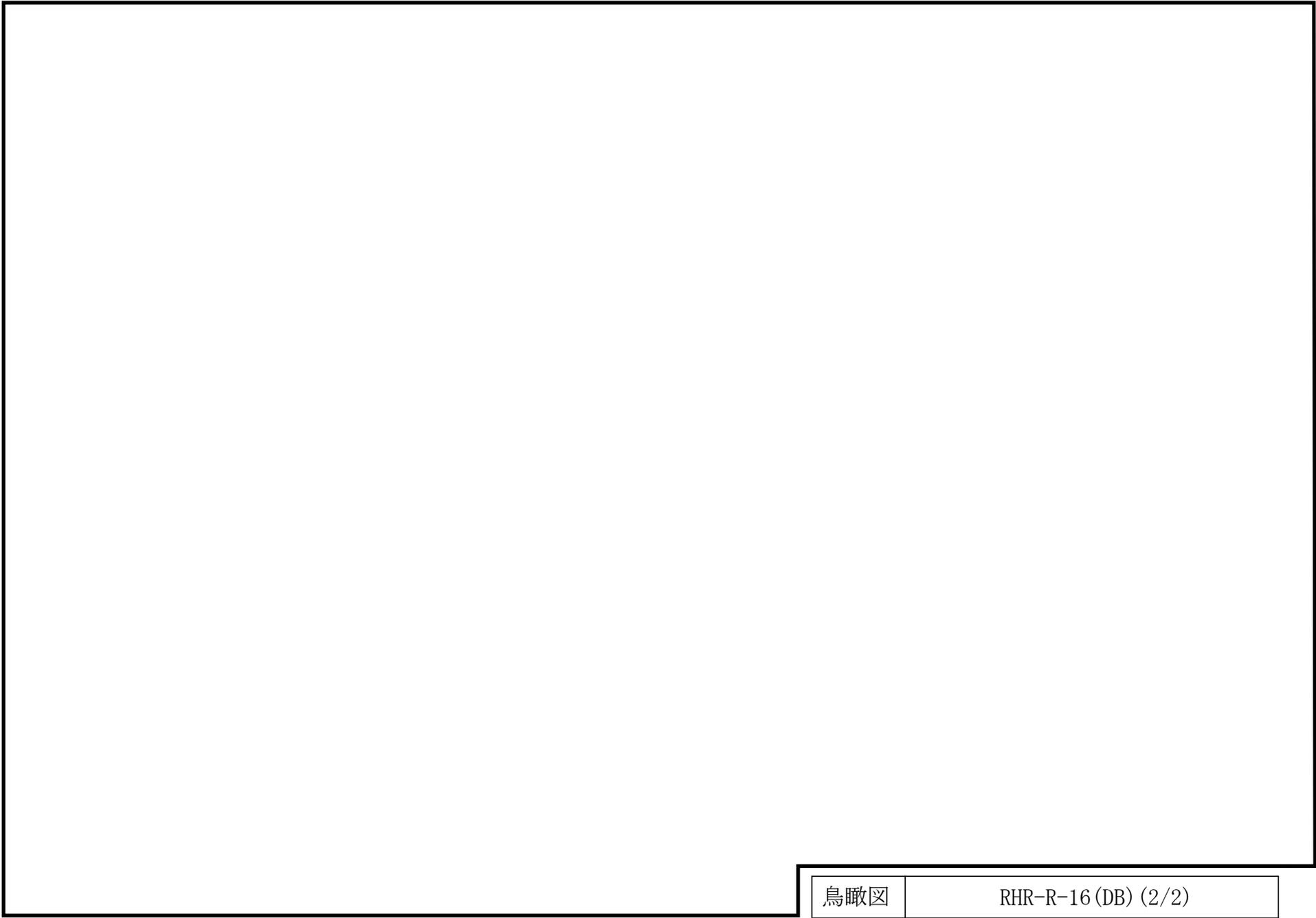


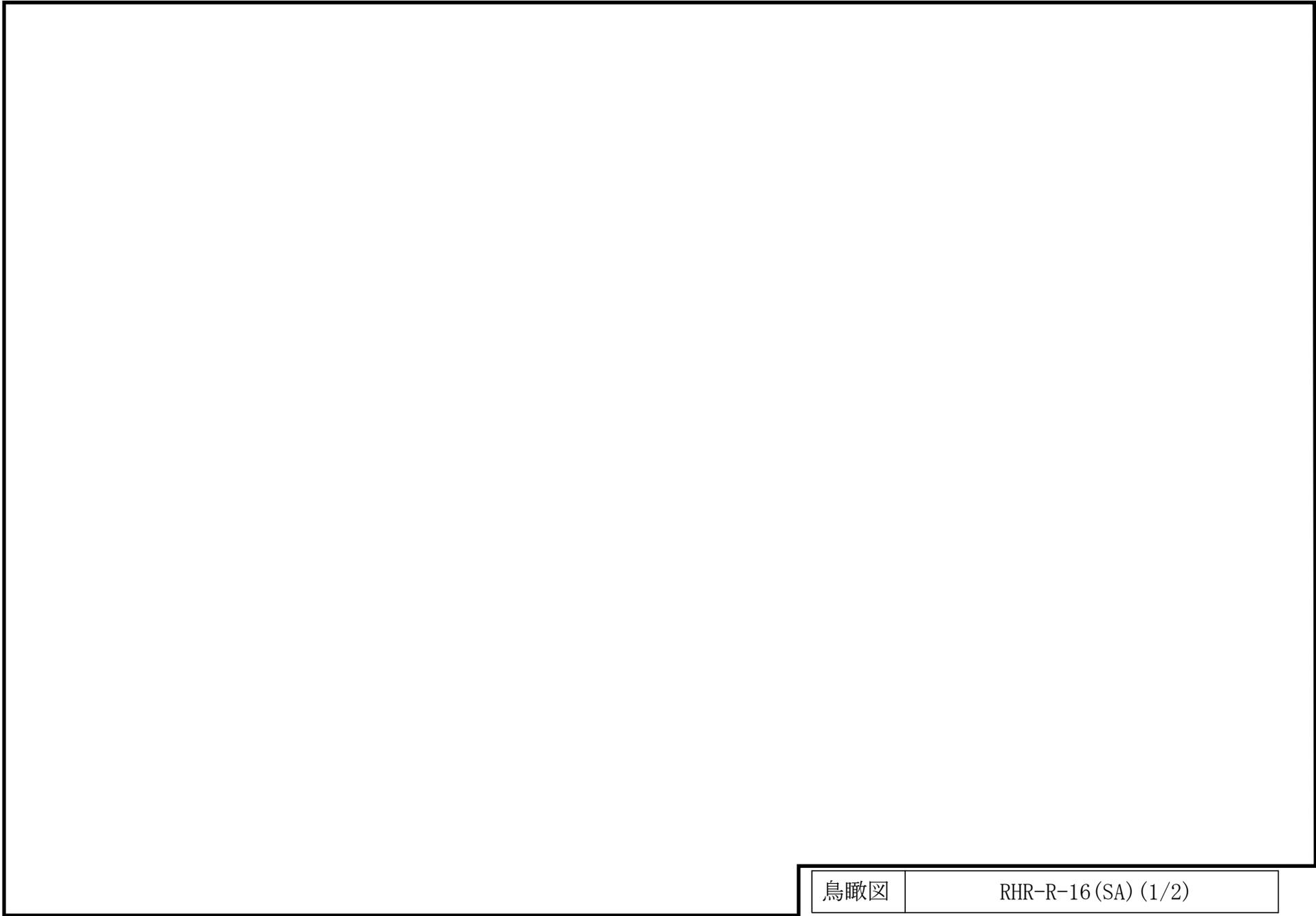
鳥瞰図	RHR-R-8 (DB) (2/2)
-----	--------------------



鳥瞰図

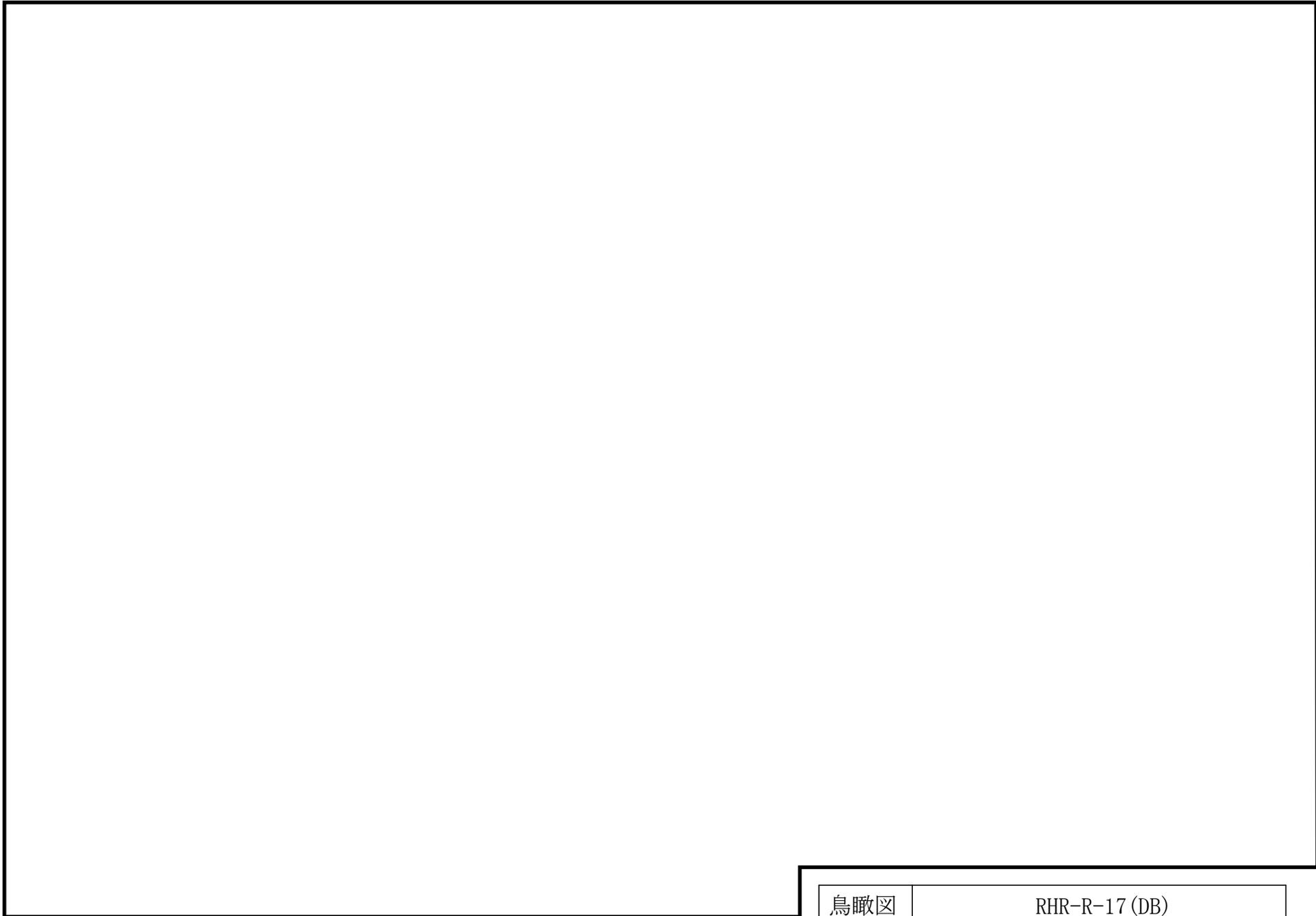
RHR-R-16 (DB) (1/2)





鳥瞰図	RHR-R-16(SA) (1/2)
-----	--------------------





鳥瞰図	RHR-R-17 (DB)
-----	---------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	DB	—	クラス1管 クラス2管 クラス3管	S	I _L + S _d	III _A S
							II _L + S _d	
							IV _{L(L)} + S _d	
							I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
			SA	常設/防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
V _L + S _s ^{*11}								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	残留熱除去系	S A	常設/防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d ^{*6}	
							V _L (L) + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _L (LL) + S _s ^{*6, *7, *10}	
		V _L + S _s ^{*11}						
		高圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震/防止	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L (L) + S _d ^{*7, *8, *9}	V _A S
							V _L (LL) + S _s ^{*7, *10}	
							V _L + S _s ^{*11}	
		低圧原子炉代替注水系	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _L (L) + S _d ^{*6}	
							V _L (L) + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
V _L (LL) + S _s ^{*6, *7, *10}								
V _L + S _s ^{*11}								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	燃料プール冷却系	DB	—	クラス3管	S	$I_L + S_d$	III _A S
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	残留熱除去系	SA	常設/防止(DB拡張)	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$	
							$V_L + S_s^{*11}$	
	高圧原子炉代替注水系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S	
						$II_L + S_s$		
						$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S	
						$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$		
						$V_L + S_s^{*11}$		

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	低圧原子炉代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d^{*6}$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *7, *10}$	
		$V_L + S_s^{*11}$						
		格納容器代替スプレイ系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$	
							$V_L + S_s^{*11}$	
		ペDESTAL代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$	
$V_L + S_s^{*11}$								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	残留熱代替除去系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
V _L + S _s ^{*11}								

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／防止 (D B 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	7~27, 28~29	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	29~31N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	7～27, 28～29	267.4	18.2	STS42	S	200400
2	29～31N	267.4	18.2	STS42	S	186920

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

質量	対応する評価点
	7～901, 13～15, 17～1901, 24～2502, 26～27 28～3101, 3102～31N
	901～13, 15～17, 1901～24, 2502～26
	3101～3102

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	6~7	<input type="text"/>	27~28

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
6~7				27~28			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-PD-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
** 9 **						
** 1201 **						
14						
19						
** 23 **						
29						
N1						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 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 RHR-PD-7

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1～21	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
2	22～27	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—
3	28～29N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～21	114.3	11.1	STS42	S	200400
2	22～27	114.3	11.1	STS42	S	185880
3	28～29N	165.2	14.3	STS42	S	185880

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

質量	対応する評価点
	1～101, 302～801, 901～121, 141～171
	101～302, 801～901, 121～141, 171～21
	22～27
	28～29N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	3F, 24F
<input type="checkbox"/>	29N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

質量	対応する評価点
	21～22

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
21~22			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
6						
13						
15						
** 15 **						
18						
N1						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	2~14	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	0.853	178
2	18~2601, 2701~35N	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
3	2601~2701	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
4	27~3601	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
5	3601~37	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
6	37~39, 43~67A	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
7	38~7001	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	7001~7002	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	1.37	185
9	7002~7102	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	—	—
10	7102~72	Ⅲ _A S	1.37	185
		Ⅳ _A S	1.37	185
		Ⅴ _A S	—	—
11	73~92A	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2～14	508.0	9.5	SM41C	S	201667
2	18～2601, 2701～35N	508.0	9.5	SM41C	S	201667
3	2601～2701	517.6	14.3	SM41C	S	201667
4	27～3601	416.0	14.3	SM41C	S	201667
5	3601～37	406.4	9.5	SM41C	S	201667
6	37～39, 43～67A	406.4	9.5	STPT42	S	201667
7	38～7001	216.3	8.2	STPT42	S	201667
8	7001～7002	216.3	8.2	STPT410	S	201667
9	7002～7102	216.3	8.2	STPT410	S	201667
10	7102～72	216.3	8.2	STPT42	S	201667
11	73～92A	216.3	8.2	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-2

質量	対応する評価点
	18～23
	23～2601, 2701～341, 342～35N
	2601～2701
	341～342
	27～39, 43～4401, 4601～491, 521～53, 551～571 600～611, 621～631, 661～67A
	4401～4601, 491～521, 53～551, 571～600, 611～621 631～661
	38～72

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-2

質量	対応する評価点
	34F
	35N

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14, 18		15
	16		17
	39~40, 40~43		39, 43
	40		41
	42		72~73

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14~15				15~16			
16~1601				1601~17			
15~18				39~40			
40~41				41~4101			
4101~42				40~43			
72~73							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
9						
** 12 **						
1601						
1601						
19						
** 1901 **						
25						
35N						
4101						
4301						
49						
52						
56						
57						
5901						
** 610 **						
622						
63						
6501						
67A						
71						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 7101 **						
83						
** 83 **						
** 83 **						
88						
92A						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 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 RHR-R-8

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~6S, 22S~560	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
2	6S~22S	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
3	560~60A	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
4	109~111, 113~136A 109~139	Ⅲ _A S	3.92	185
		Ⅳ _A S	3.92	185
		Ⅴ _A S	—	—
5	141~144	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-8

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～6S, 22S～560	216.3	8.2	STPT42	S	201667
2	6S～22S	216.3	8.2	STPT42	S	200800
3	560～60A	216.3	8.2	STPT410	S	201667
4	109～111, 113～136A 109～139	114.3	8.6	STPT42	S	201667
5	141～144	114.3	11.1	STPT42	S	200400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-8

質量	対応する評価点
	109～111, 113～136A, 109～139
	141～142
	142～144

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-8

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	111, 113		112
	1120		1121
	139, 141		140
	1400		1402

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-8

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
111~112				112~1120			
1120~1121				112~113			
139~140				140~1400			
1400~1401				1401~1402			
140~141							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-8

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
12						
17						
25						
33						
43						
52						
5601						
60A						
118						
** 128 **						
128						
** 128 **						
136A						
** 1401 **						
** 1401 **						
145A						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 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 RHR-R-16

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~40	Ⅲ _A S	3.92	100
		Ⅳ _A S	3.92	100
		Ⅴ _A S	3.92	116
2	46~50	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	75~97A, 75~99A	Ⅲ _A S	3.92	104
		Ⅳ _A S	3.92	104
		Ⅴ _A S	3.92	178

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-16

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~40	355.6	15.1	STS42	S	201667
2	46~50	267.4	18.2	STS42	S	200400
3	75~97A, 75~99A	267.4	12.7	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-16

質量	対応する評価点
	46～47
	47～50

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-16

質量	対応する評価点
	26
	93

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-16

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	41, 46		42
	43		45

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-16

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
41~42				42~43			
43~44				44~45			
42~46							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-16

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
4001						
8						
11						
13						
20						
2401						
** 27 **						
27						
** 31 **						
** 35 **						
35						
** 35 **						
** 44 **						
** 44 **						
51A						
7601						
7801						
81						
** 87 **						
87						
** 91 **						
91						

S2 補 VI-2-5-4-1-4 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-16

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
97A						
99A						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-17

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~14, 15~25 17~101, 102~121A	Ⅲ _A S	3.92	185
		Ⅳ _A S	3.92	185
		Ⅴ _A S	—	—
2	26~28	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—
3	29~54A	Ⅲ _A S	1.37	66
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-17

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～14, 15～25 17～101, 102～121A	216.3	10.3	STPT42	S	201667
2	26～28	216.3	8.2	STPT42	S	201667
3	29～54A	216.3	8.2	SUS304TP	S	193400

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-17

質量	対応する評価点
	1A～2, 13S～14
	2～13S, 102～121A
	15～25, 17～101

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-17

質量	対応する評価点
	115F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RHR-R-17

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14~15		25~26
	28~29		101~102

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RHR-R-17

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14~15				25~26			
28~29				101~102			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-17

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
5						
10						
19						
27						
37						
39						
48						
54A						
103						
104						
112						
121A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STS42	302	122	—	—	—
SM41C	104	—	219	373	—
SM41C	178	—	199	373	—
SM41C	185	—	197	373	—
STPT42	185	—	209	404	—
STPT410	185	—	209	404	—
STPT42	66	—	231	407	—
STPT410	66	—	231	407	—
STPT42	302	—	182	404	—
STS42	100	—	220	405	—
STS42	116	—	218	404	—
STPT42	104	—	219	404	—
STPT42	178	—	210	404	—
SUS304TP	66	—	188	479	126

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき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
RHR-PD-4	ガンマ線遮蔽壁				
RHR-PD-7	原子炉格納容器				
RHR-R-2	原子炉建物				
RHR-R-8	原子炉建物				
RHR-R-16	原子炉建物				
RHR-R-17	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 RHR-PD-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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 RHR-PD-4

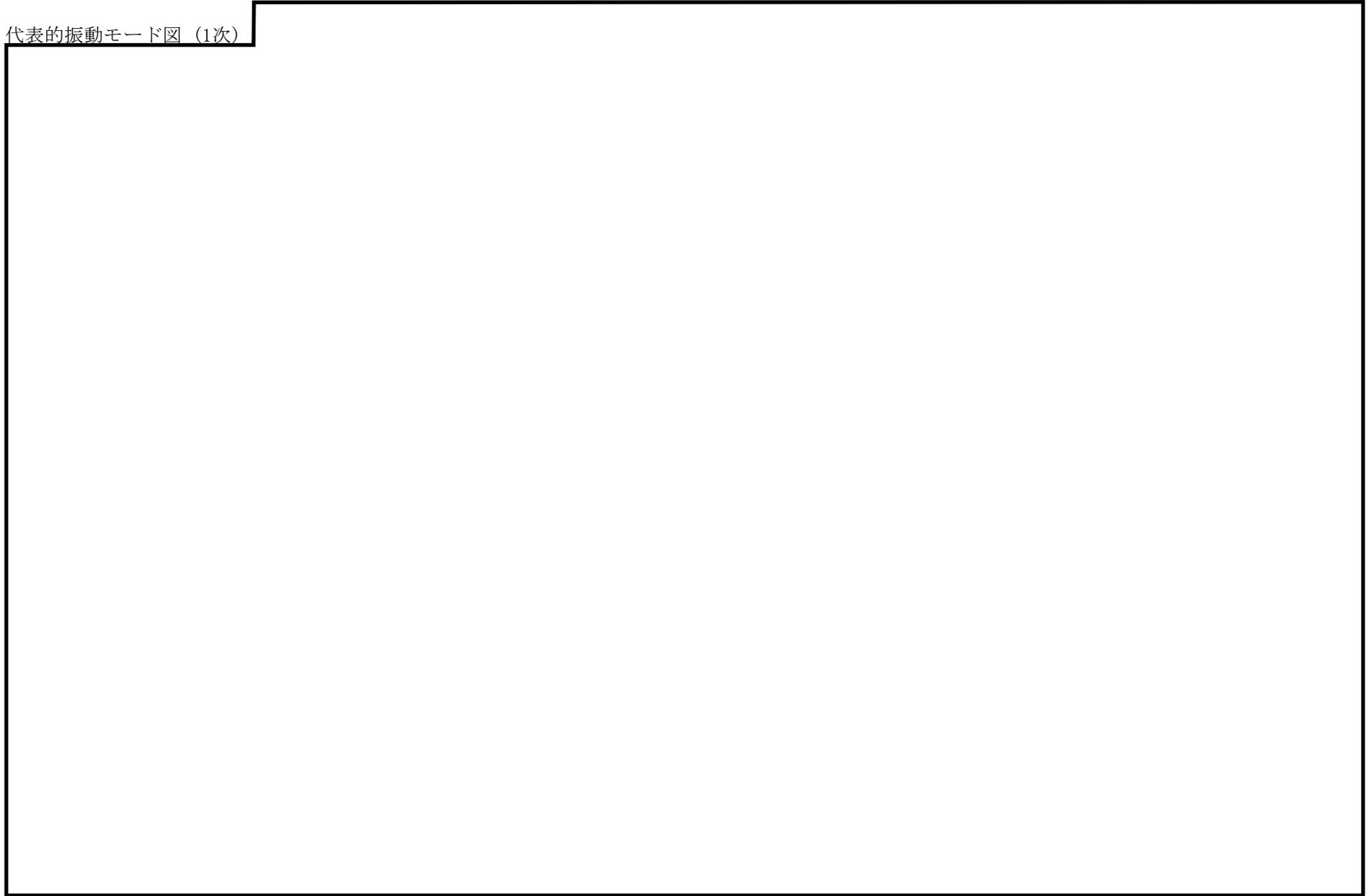
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

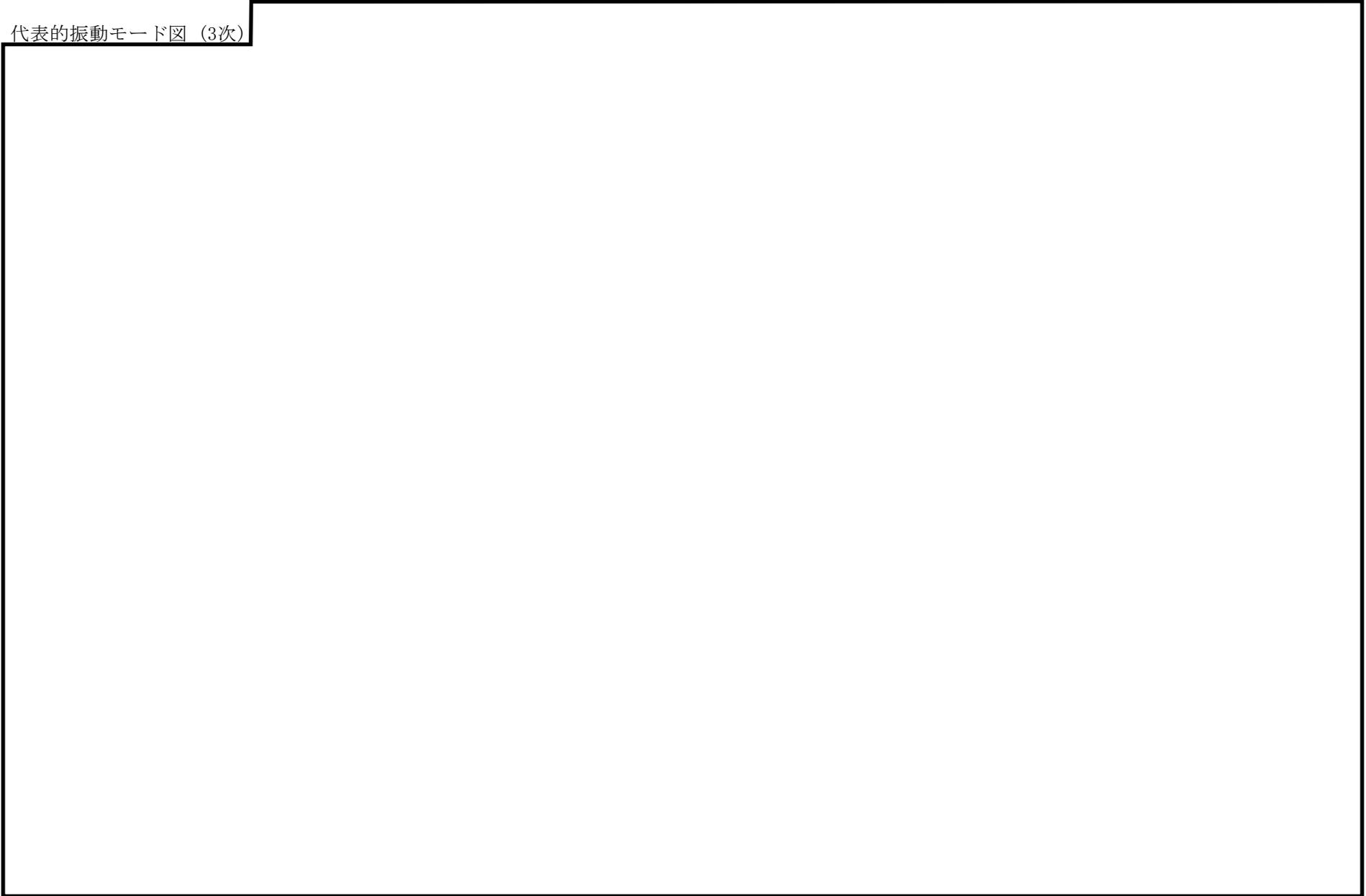
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)

85

代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-PD-7

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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 RHR-PD-7

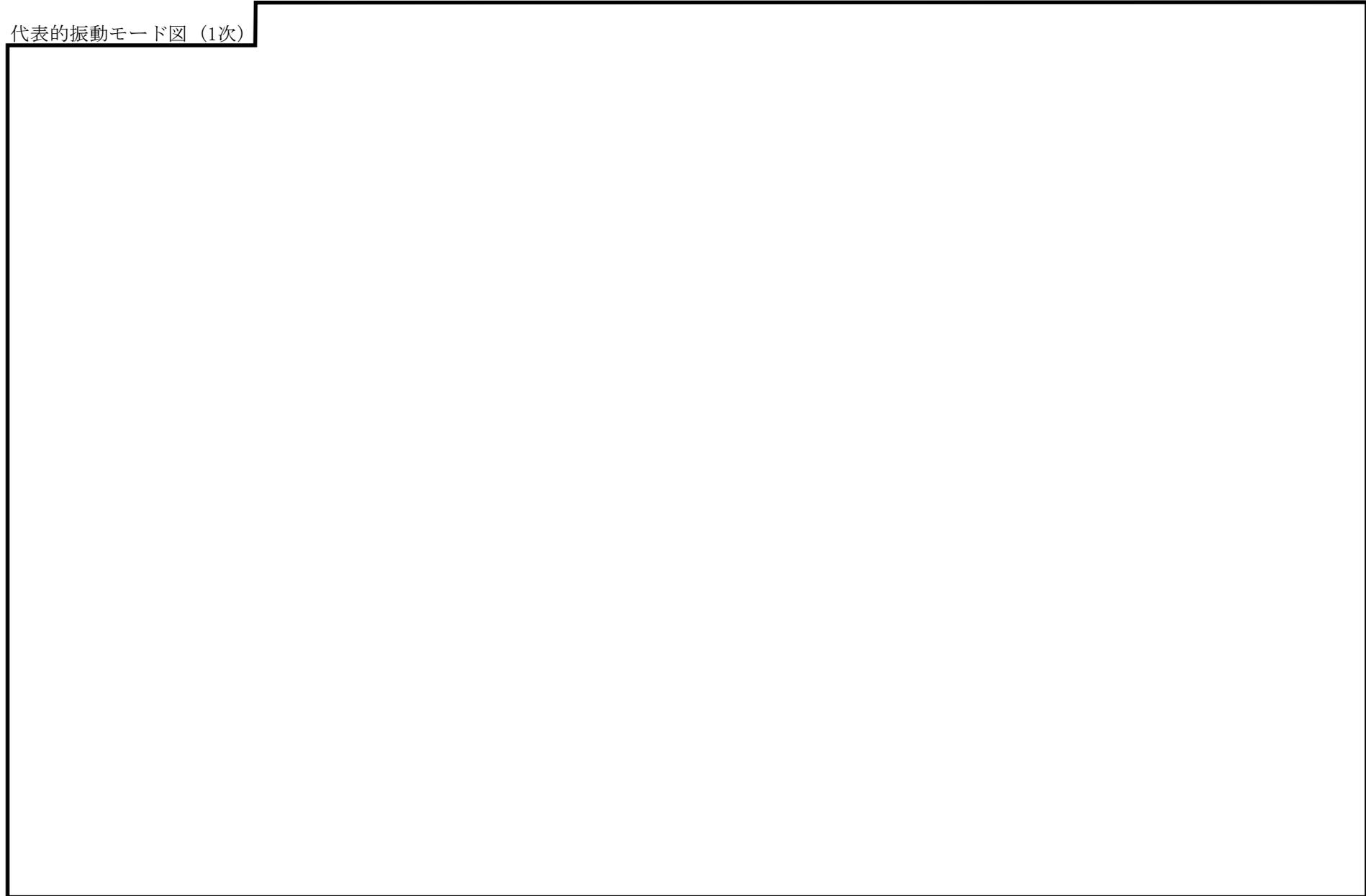
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

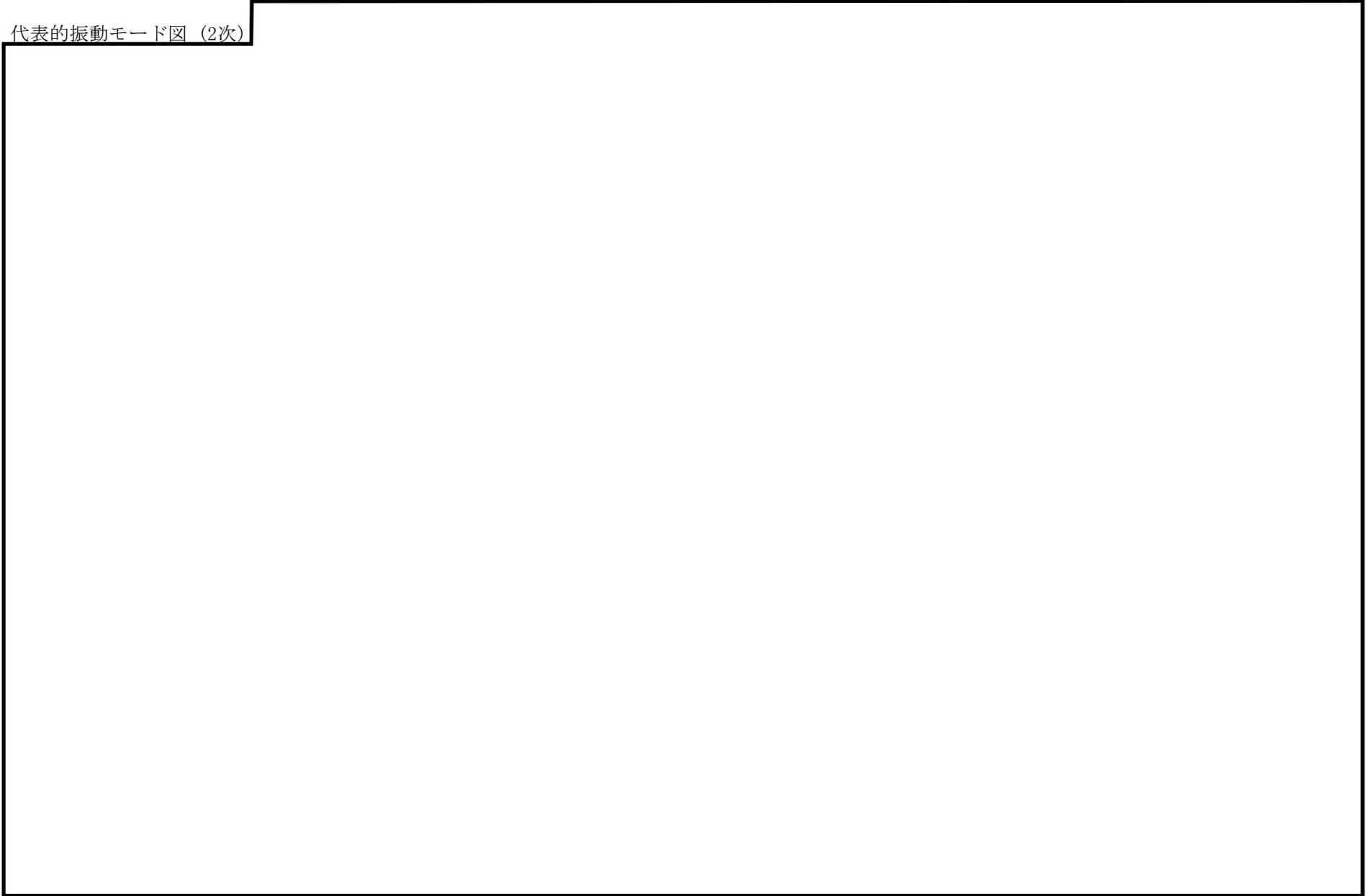
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
16次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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 RHR-R-2

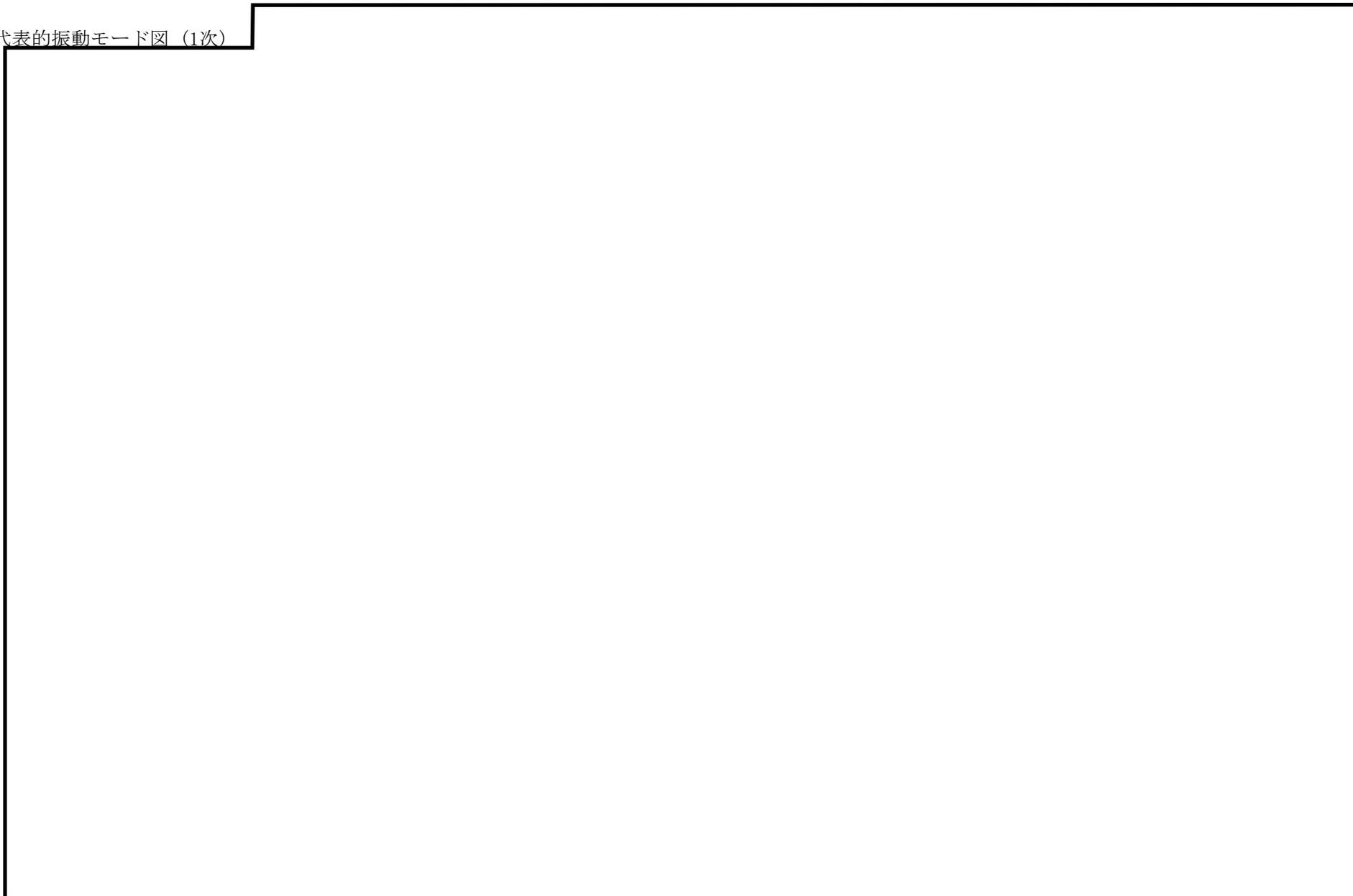
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
16次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

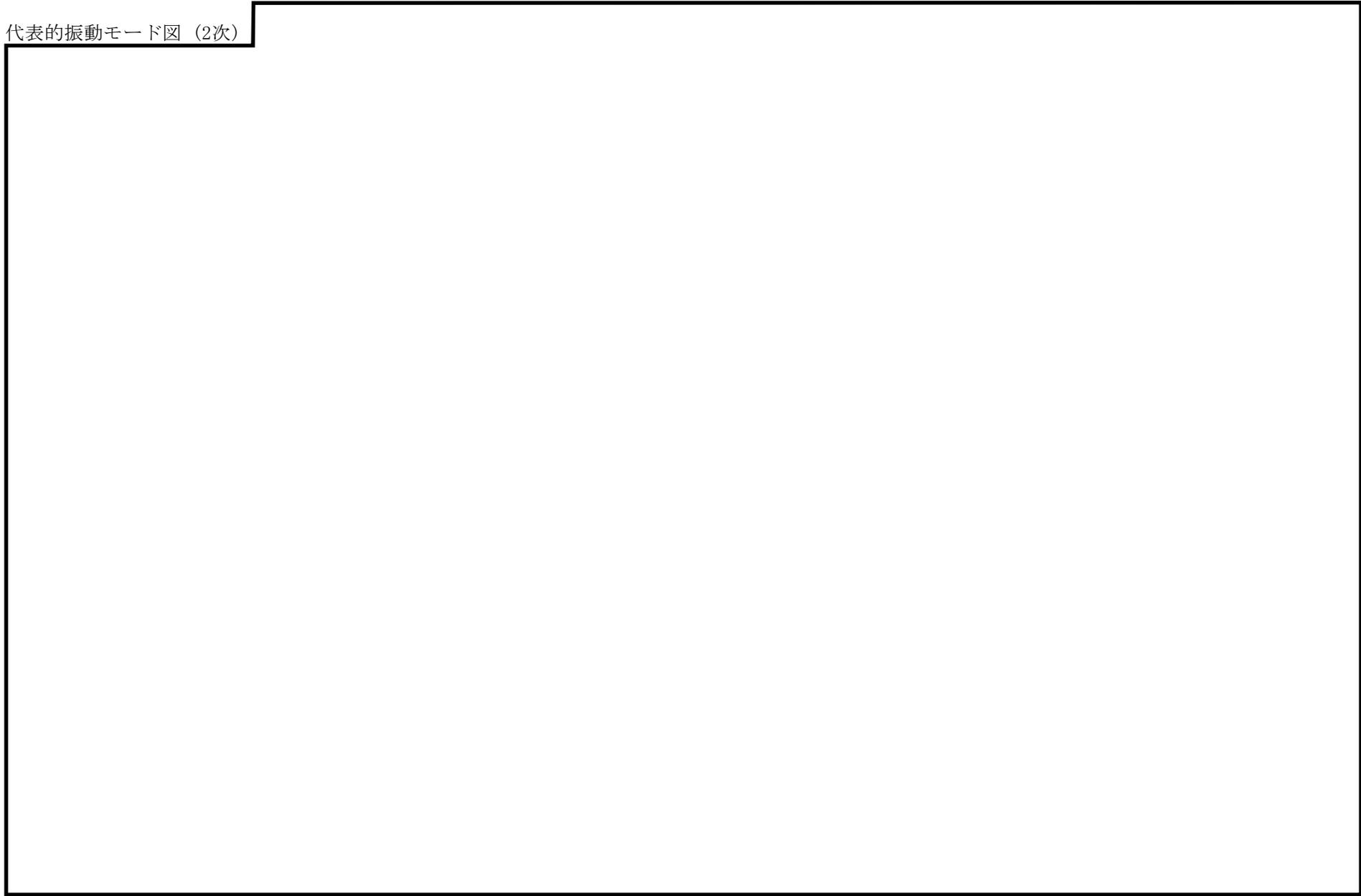
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

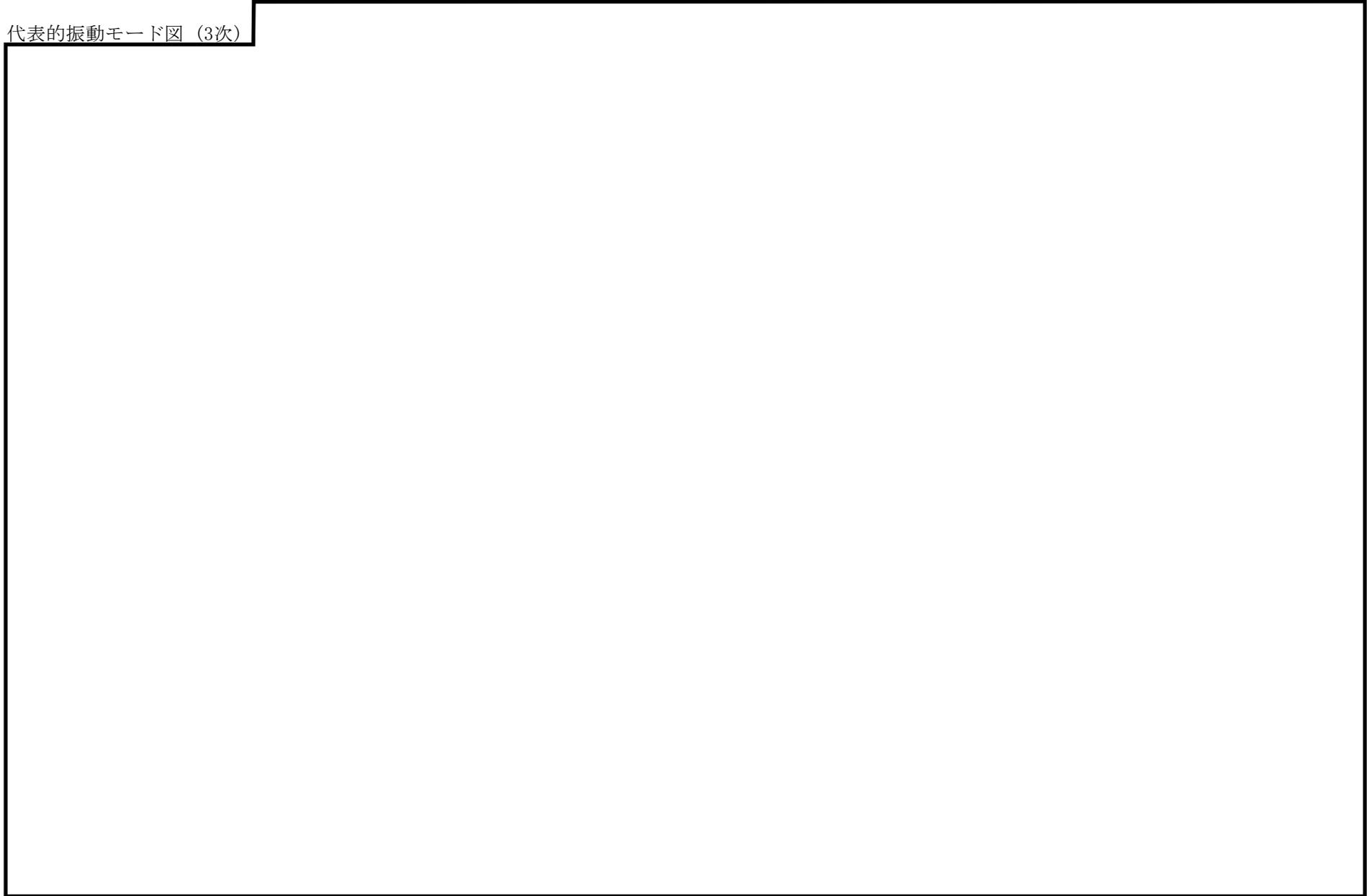
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-8

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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(弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6：3.6・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 RHR-R-8

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

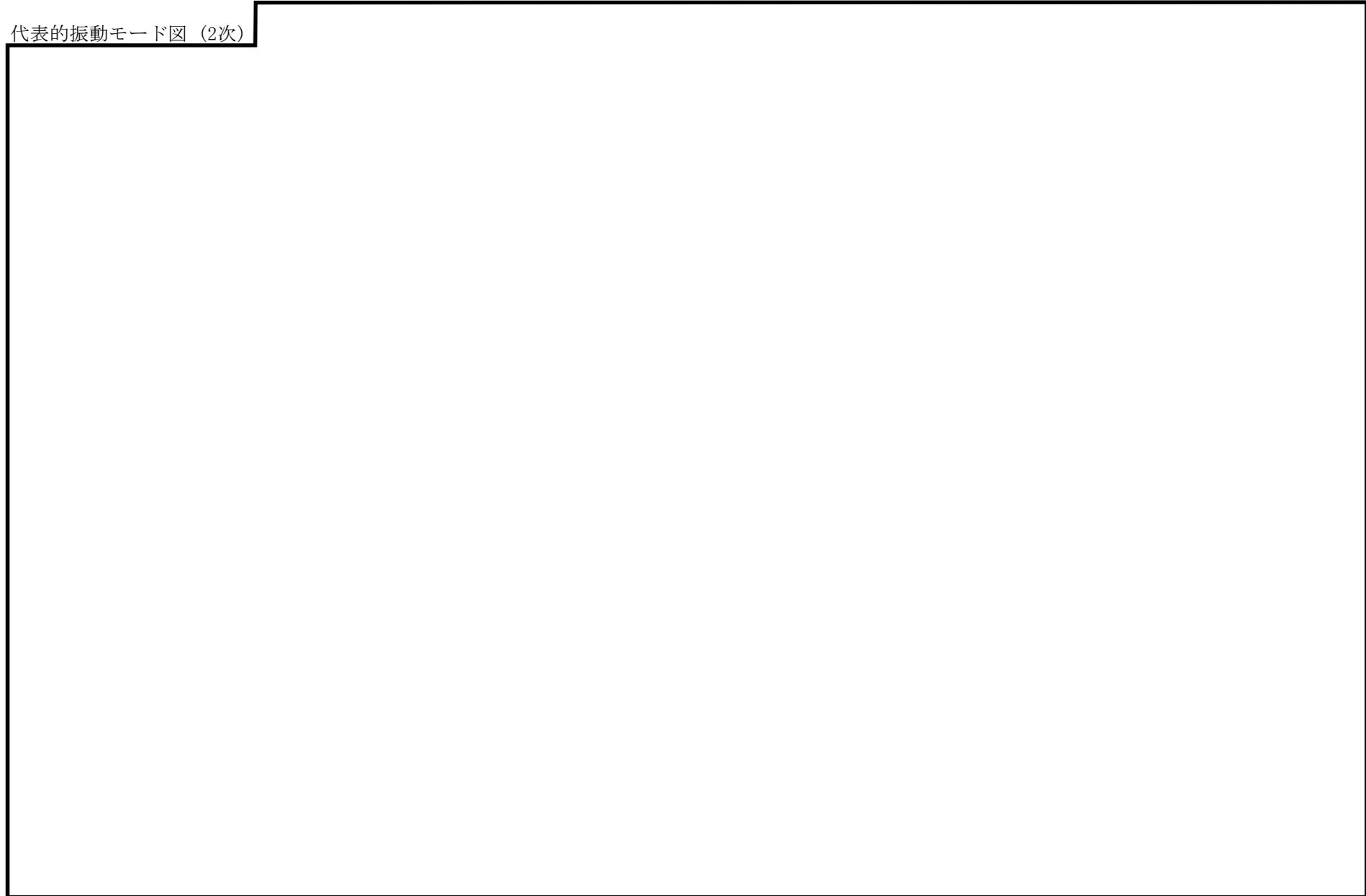
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

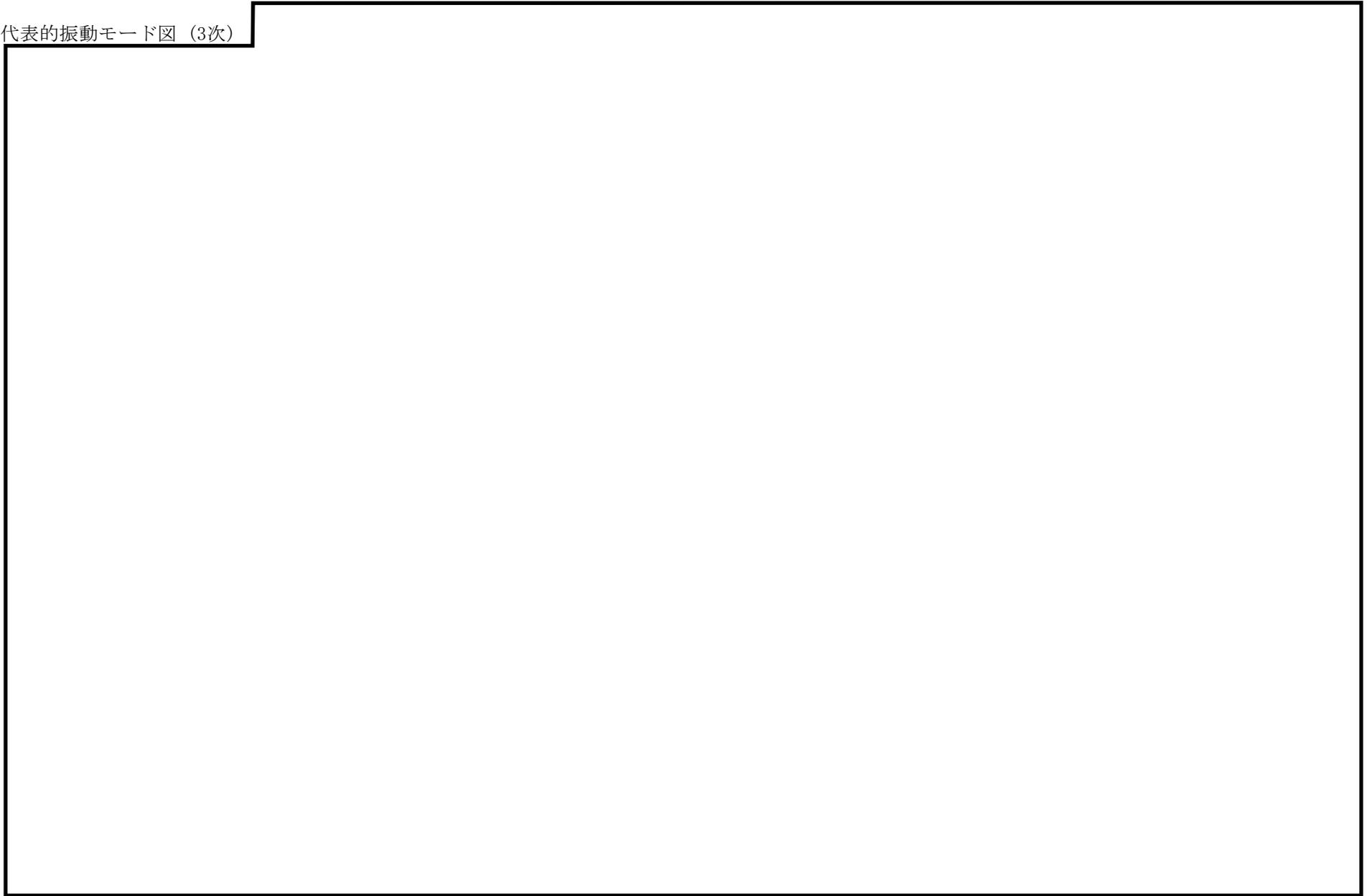
代表的振動モード図 (1次)

101

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-16

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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 RHR-R-16

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

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

107

代表的振動モード図 (2次)

108

代表的振動モード図 (3次)

109

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-17

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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(弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度Ⅱ(弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-R-17

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
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。

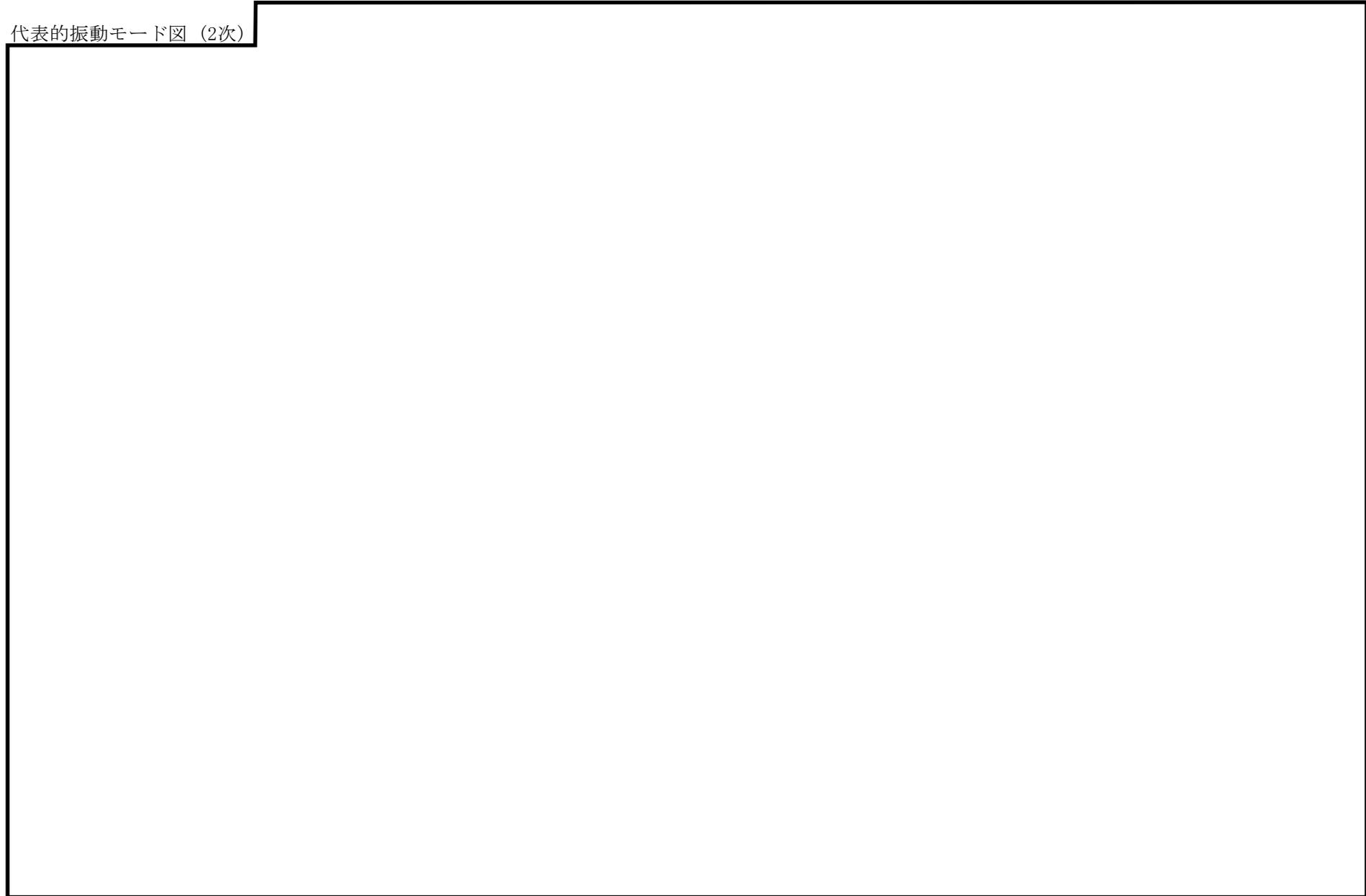
代表的振動モード図

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。

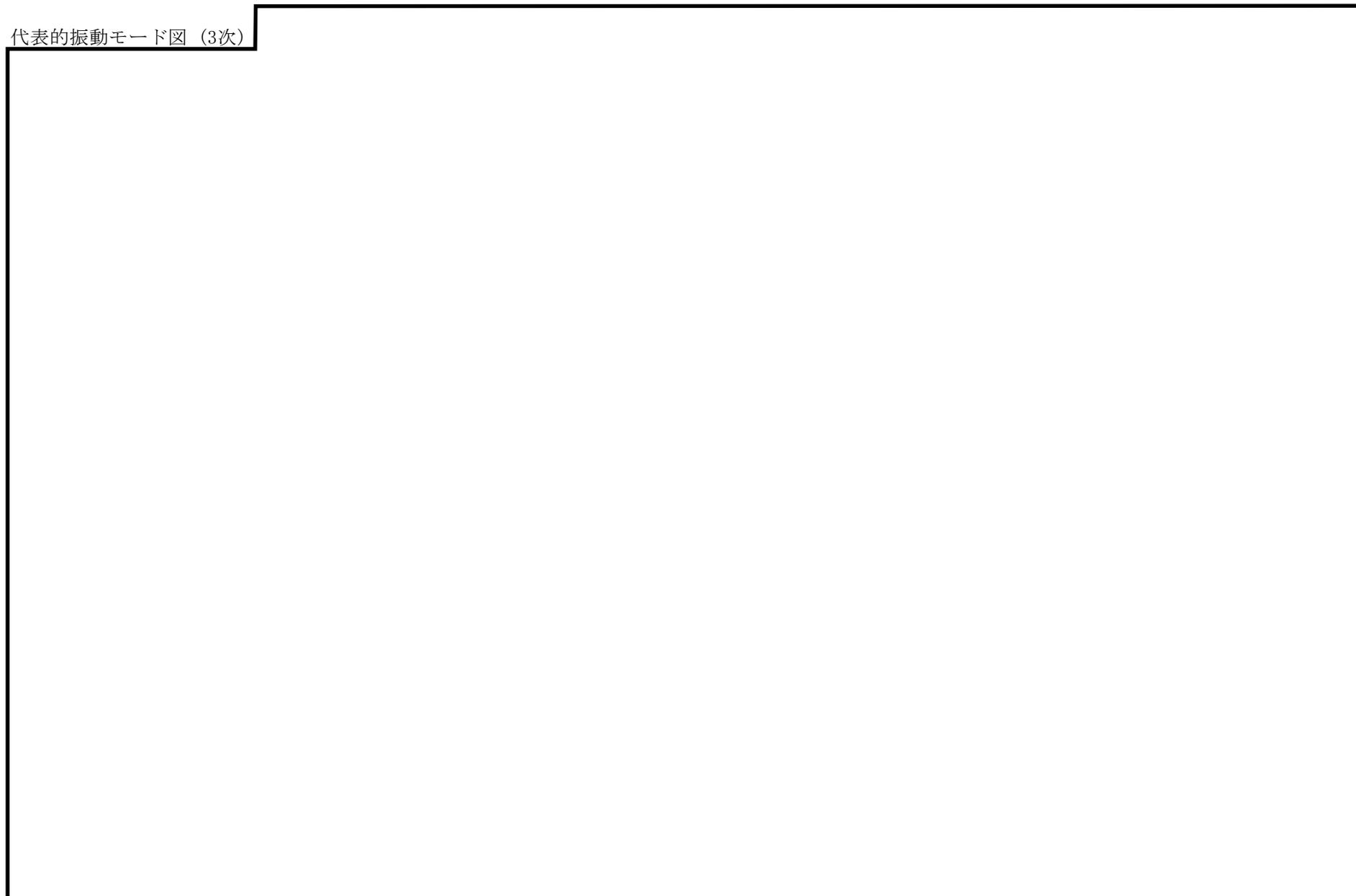
代表的振動モード図 (1次)

113

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



115

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (2.25 \cdot S m)$	RHR-R-16	49	BUTT WELD	95	274	—
		ねじり $S_t (0.55 \cdot S m)$	RHR-R-16	50	ELBOW	32	67	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (1.8 \cdot S m)$	RHR-R-16	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		RHR-PD-7	27	REDUCER	336	366	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		RHR-PD-7	27	REDUCER	—	—	0.0196
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (3 \cdot S m)$	RHR-PD-4	31N	NOZZLE	138	366	—
		ねじり $S_t (0.73 \cdot S m)$	RHR-PD-4	29	SUP. PT	70	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (2.4 \cdot S m)$	RHR-PD-4	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		RHR-PD-7	27	REDUCER	558	366	0.1770
	疲労累積係数 $U + U S s$		RHR-PD-7	27	REDUCER	—	—	0.1770

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	31N	NOZZLE	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	29	SUP. PT	70	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	379	366	0.0161
	疲労累積係数 $U + U_{S s}$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	—	—	0.0161
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	31N	NOZZLE	138	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	29	SUP. PT	70	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S_m)$	RHR-PD-4	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S_m)$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	379	366	0.0161
	疲労累積係数 $U + U_{S s}$		RHR-PD-4	31N	NOZZLE	—	—	0.0161

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	RHR-R-17	54A	162	188	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-17	54A	268	376	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-8	141	253	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-8	141	414	364	0.1594

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-2	27	141	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-2	21	294	394	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-2	27	141	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-2	21	294	394	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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-RHR-30	メカニカルスナッパ	SMS-3	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	185	22	45	—
SNO-RHR-48	オイルスナッパ	SN-25			287	375	—
RE-RHR-50	ロッドレストレイント	RSA-25			198	450	—
SH-RHR-209	スプリングハンガ	VS1B-19			70	72	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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-RHR-384	レストレイント	パイプバンド	SM400B	185	59	137	0	—	—	—	圧縮	41	119
AN-RHR-221	アンカ	ラグ	SGV480	302	114	164	312	239	218	145	組合せ	107	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり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
AV222-3B	空気作動逆止弁	β (S s)	8.6	3.9	6.0	6.0	—	—	操作部本体 取付ボルト部	組合せ	36	886
AV222-1A	空気作動逆止弁	β (S s)	6.0	4.8	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
MV222-2B	電動グローブ弁	β (S s)	3.1	3.7	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
MV222-6	電動ゲート弁	β (S s)	3.7	2.5	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

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。

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
MV222-5C	電動ゲート弁	β (S s)	2.3	3.5	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

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ⅢA S												
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-4	31N	91	274	3.01	—	31N	202	366	1.81	—	31N	0.0041	—
2	RHR-PD-5	11	81	274	3.38	—	8	188	366	1.94	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	89	274	3.07	—	32N	187	366	1.95	—	32N	0.0035	—
4	RHR-PD-7	27	61	274	4.49	—	27	336	366	1.08	○	27	0.0196	○
5	RHR-PD-8	17	69	274	3.97	—	18	245	366	1.49	—	37	0.0046	—
6	RHR-R-1	109	70	274	3.91	—	109	27	366	13.55	—	110	0.0010	—
7	RHR-R-5A	18	74	274	3.70	—	18	62	366	5.90	—	18	0.0000	—
8	RHR-R-16	49	95	274	2.88	○	50	111	366	3.29	—	46	0.0000	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-4	31N	138	366	2.65	○	31N	379	366	0.96	—	31N	0.0161	—
2	RHR-PD-5	11	106	366	3.45	—	8	351	366	1.04	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	129	366	2.83	—	32N	350	366	1.04	—	32N	0.0097	—
4	RHR-PD-7	27	75	366	4.88	—	27	558	366	0.65	○	27	0.1770	○
5	RHR-PD-8	17	89	366	4.11	—	18	435	366	0.84	—	18	0.0089	—
6	RHR-R-1	109	77	366	4.75	—	109	51	366	7.17	—	110	0.0010	—
7	RHR-R-5A	18	86	366	4.25	—	18	106	366	3.45	—	18	0.0000	—
8	RHR-R-16	49	132	366	2.77	—	50	232	366	1.57	—	50	0.0008	—

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	RHR-PD-4	31N	138	366	2.65	○	31N	379	366	0.96	○	31N	0.0161	○
2	RHR-PD-5	11	106	366	3.45	—	8	351	366	1.04	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	129	366	2.83	—	32N	350	366	1.04	—	32N	0.0097	—
4	RHR-R-1	109	77	366	4.75	—	109	51	366	7.17	—	110	0.0010	—
5	RHR-R-5A	18	86	366	4.25	—	18	106	366	3.45	—	18	0.0000	—
6	RHR-R-16	49	132	366	2.77	—	50	232	366	1.57	—	50	0.0008	—

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	RHR-PD-4	31N	138	366	2.65	○	31N	379	366	0.96	○	31N	0.0161	○
2	RHR-PD-5	11	106	366	3.45	—	8	351	366	1.04	—	41	0.0040	—
3	RHR-PD-6	32N	129	366	2.83	—	32N	350	366	1.04	—	32N	0.0097	—
4	RHR-R-1	109	77	366	4.75	—	109	51	366	7.17	—	110	0.0010	—
5	RHR-R-5A	18	86	366	4.25	—	18	106	366	3.45	—	18	0.0000	—
6	RHR-R-16	49	132	366	2.77	—	50	232	366	1.57	—	50	0.0008	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RHR-PD-8	11	69	182	2.63	—	8	165	364	2.20	—	—
2	RHR-PS-9	7	8	219	27.37	—	7	4	438	109.50	—	—
3	RHR-PS-10	9	10	219	21.90	—	9	8	438	54.75	—	—
4	RHR-R-1	29	102	197	1.93	—	29	124	394	3.17	—	—
5	RHR-R-2	27	95	197	2.07	—	21	179	394	2.20	—	—
6	RHR-R-3	27	69	221	3.20	—	3	93	438	4.70	—	—
7	RHR-R-4	34	78	209	2.67	—	340	71	418	5.88	—	—
8	RHR-R-5	312	136	209	1.53	—	315	185	418	2.25	—	—
9	RHR-R-5A	10	48	209	4.35	—	10	27	418	15.48	—	—
10	RHR-R-5B	25	48	209	4.35	—	24	246	418	1.69	—	—
11	RHR-R-6	24	66	209	3.16	—	80	106	438	4.13	—	—
12	RHR-R-7	43	146	219	1.50	—	44	300	438	1.46	—	—
13	RHR-R-8	141	151	182	1.20	—	141	210	364	1.73	—	—
14	RHR-R-9	35	66	209	3.16	—	35	51	418	8.19	—	—
15	RHR-R-10	30	82	209	2.54	—	30	77	418	5.42	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
16	RHR-R-11	122	90	209	2.32	—	249	136	418	3.07	—	—
17	RHR-R-12	1302	59	209	3.54	—	67	123	438	3.56	—	—
18	RHR-R-13	10	75	219	2.92	—	10	123	438	3.56	—	—
19	RHR-R-14	34	46	219	4.76	—	40	148	438	2.95	—	—
20	RHR-R-15	22	87	220	2.52	—	22	75	440	5.86	—	—
21	RHR-R-16	6	94	220	2.34	—	6	98	440	4.48	—	—
22	RHR-R-17	54A	162	188	1.16	○	54A	268	376	1.40	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PD-8	11	98	363	3.70	—	8	298	364	1.22	—	—
2	RHR-PS-9	7	9	363	40.33	—	7	6	438	73.00	—	—
3	RHR-PS-10	9	12	363	30.25	—	9	15	438	29.20	—	—
4	RHR-R-1	29	155	335	2.16	—	29	238	394	1.65	—	—
5	RHR-R-2	27	170	335	1.97	—	21	353	394	1.11	—	—
6	RHR-R-3	27	110	335	3.04	—	3	183	438	2.39	—	—
7	RHR-R-4	34	111	363	3.27	—	34	136	418	3.07	—	—
8	RHR-R-5	315	220	363	1.65	—	315	353	418	1.18	—	—
9	RHR-R-5A	10	58	363	6.25	—	10	46	418	9.08	—	—
10	RHR-R-5B	25	56	363	6.48	—	24	359	418	1.16	—	—
11	RHR-R-6	21	108	363	3.36	—	80	225	438	1.94	—	—
12	RHR-R-7	43	131	363	2.77	—	44	302	438	1.45	—	—
13	RHR-R-8	141	253	363	1.43	○	141	414	364	0.87	0.1594	○
14	RHR-R-9	35	90	363	4.03	—	35	98	418	4.26	—	—
15	RHR-R-10	30	117	363	3.10	—	30	149	418	2.80	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RHR-R-11	122	131	363	2.77	—	249	264	418	1.58	—	—
17	RHR-R-12	50	89	363	4.07	—	67	257	438	1.70	—	—
18	RHR-R-13	10	126	363	2.88	—	10	225	438	1.94	—	—
19	RHR-R-14	40	69	363	5.26	—	40	304	438	1.44	—	—
20	RHR-R-15	22	125	364	2.91	—	22	150	440	2.93	—	—
21	RHR-R-16	6	142	364	2.56	—	6	195	440	2.25	—	—
22	RHR-R-17	54A	293	431	1.47	—	54A	530	376	0.70	0.0176	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RHR-PS-9	7	9	363	40.33	—	7	6	438	73.00	—	—
2	RHR-PS-10	9	12	363	30.25	—	9	15	438	29.20	—	—
3	RHR-R-1	29	129	335	2.59	—	29	198	394	1.98	—	—
4	RHR-R-2	27	141	335	2.37	○	21	294	394	1.34	—	○
5	RHR-R-3	27	110	335	3.04	—	3	183	438	2.39	—	—
6	RHR-R-4	34	111	363	3.27	—	34	136	418	3.07	—	—
7	RHR-R-5	85	132	363	2.75	—	85	189	418	2.21	—	—
8	RHR-R-5A	10	58	363	6.25	—	10	46	418	9.08	—	—
9	RHR-R-5B	25	56	363	6.48	—	24	299	418	1.39	—	—
10	RHR-R-6	21	108	363	3.36	—	80	225	438	1.94	—	—
11	RHR-R-7	43	131	363	2.77	—	44	302	438	1.45	—	—
12	RHR-R-9	35	90	363	4.03	—	35	98	418	4.26	—	—
13	RHR-R-10	30	117	363	3.10	—	30	149	418	2.80	—	—
14	RHR-R-11	122	131	363	2.77	—	249	264	418	1.58	—	—
15	RHR-R-12	50	89	363	4.07	—	67	257	438	1.70	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RHR-R-13	10	126	363	2.88	—	10	225	438	1.94	—	—
17	RHR-R-14	40	69	363	5.26	—	40	304	438	1.44	—	—
18	RHR-R-15	22	125	364	2.91	—	22	150	440	2.93	—	—
19	RHR-R-16	6	142	364	2.56	—	6	195	440	2.25	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RHR-PS-9	7	12	363	30.25	—	7	6	420	70.00	—	—
2	RHR-PS-10	9	16	363	22.68	—	9	15	420	28.00	—	—
3	RHR-R-1	29	129	335	2.59	—	29	198	394	1.98	—	—
4	RHR-R-2	27	141	335	2.37	○	21	294	394	1.34	—	○
5	RHR-R-3	27	110	335	3.04	—	3	183	398	2.17	—	—
6	RHR-R-4	34	111	363	3.27	—	34	136	418	3.07	—	—
7	RHR-R-5	85	132	363	2.75	—	85	189	418	2.21	—	—
8	RHR-R-5A	10	58	363	6.25	—	10	46	418	9.08	—	—
9	RHR-R-5B	25	56	363	6.48	—	24	299	418	1.39	—	—
10	RHR-R-6	21	108	363	3.36	—	80	225	414	1.84	—	—
11	RHR-R-7	43	135	363	2.68	—	44	302	420	1.39	—	—
12	RHR-R-9	35	90	363	4.03	—	35	98	418	4.26	—	—
13	RHR-R-10	30	117	363	3.10	—	30	149	418	2.80	—	—
14	RHR-R-11	122	131	363	2.77	—	249	264	418	1.58	—	—
15	RHR-R-12	50	89	363	4.07	—	67	257	414	1.61	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	RHR-R-13	10	130	363	2.79	—	10	225	420	1.86	—	—
17	RHR-R-14	40	72	363	5.04	—	40	304	420	1.38	—	—
18	RHR-R-15	22	125	363	2.90	—	22	150	436	2.90	—	—
19	RHR-R-16	6	142	363	2.55	—	6	195	436	2.23	—	—

VI-2-5-5 非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の
耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1 高圧炉心スプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書
(高圧炉心スプレイ系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力	26
3.5 設計用地震力	27
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	39
4.2.1 管の応力評価結果	39
4.2.2 支持構造物評価結果	43
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	44
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	45

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧炉心スプレイ系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

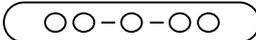
(3) 弁

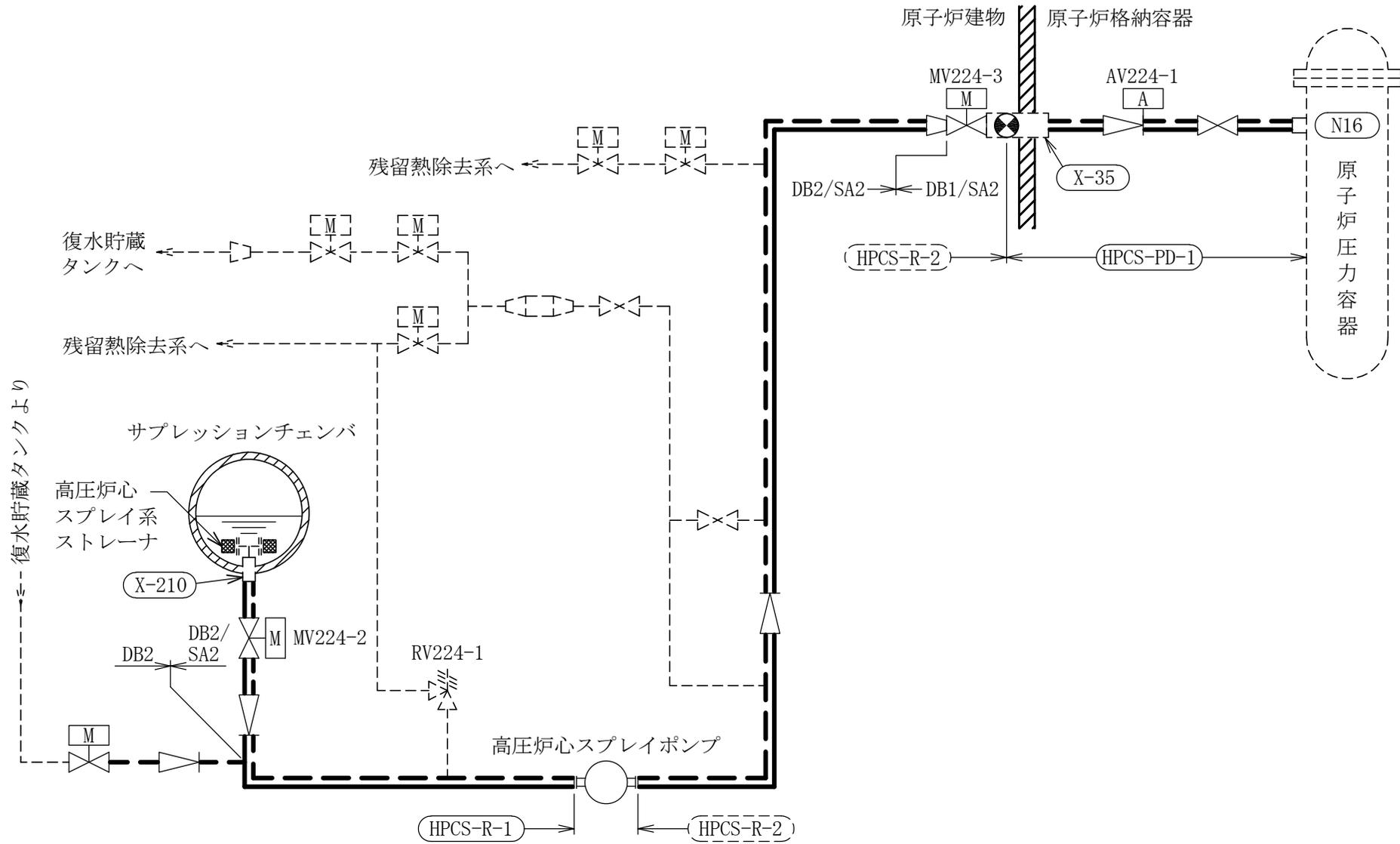
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

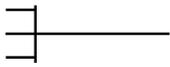
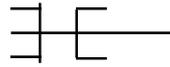
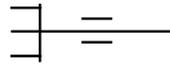
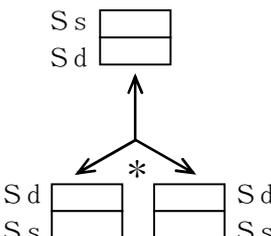
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



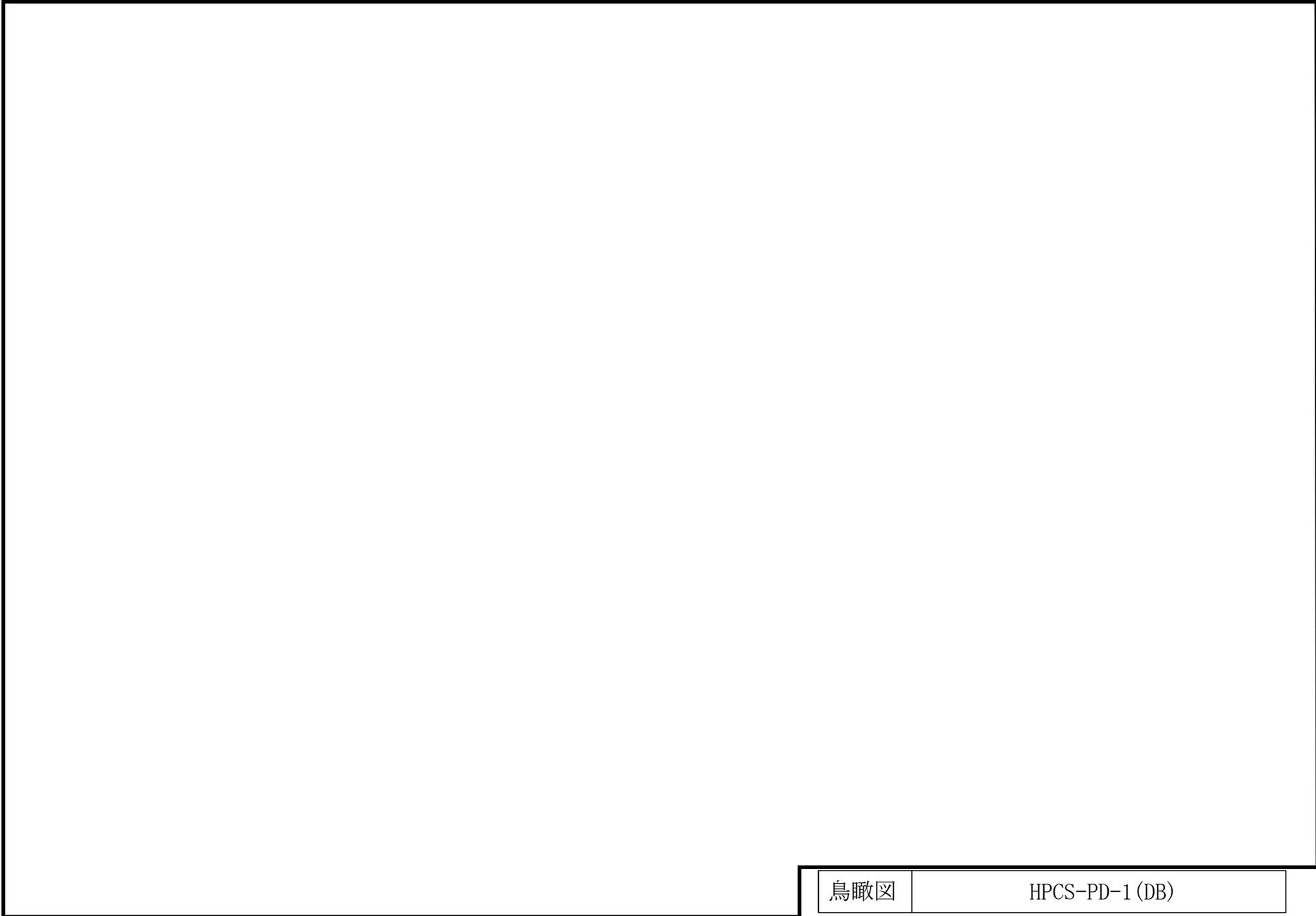
高圧炉心スプレー系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また,  内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

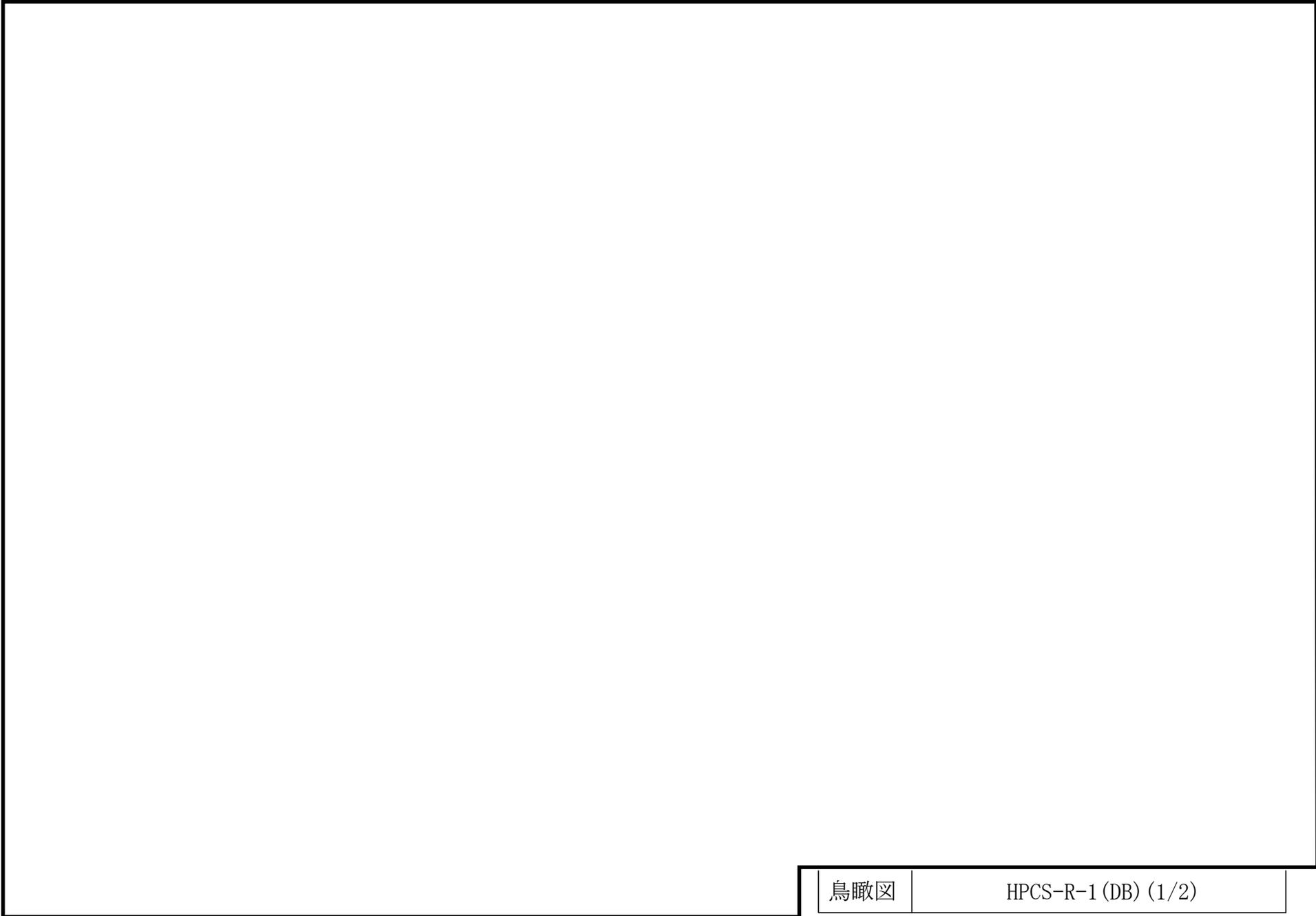
S2 補 VI-2-5-5-1-3 R0



鳥瞰図	HPCS-PD-1 (DB)
-----	----------------



鳥瞰図	HPCS-PD-1 (SA)
-----	----------------

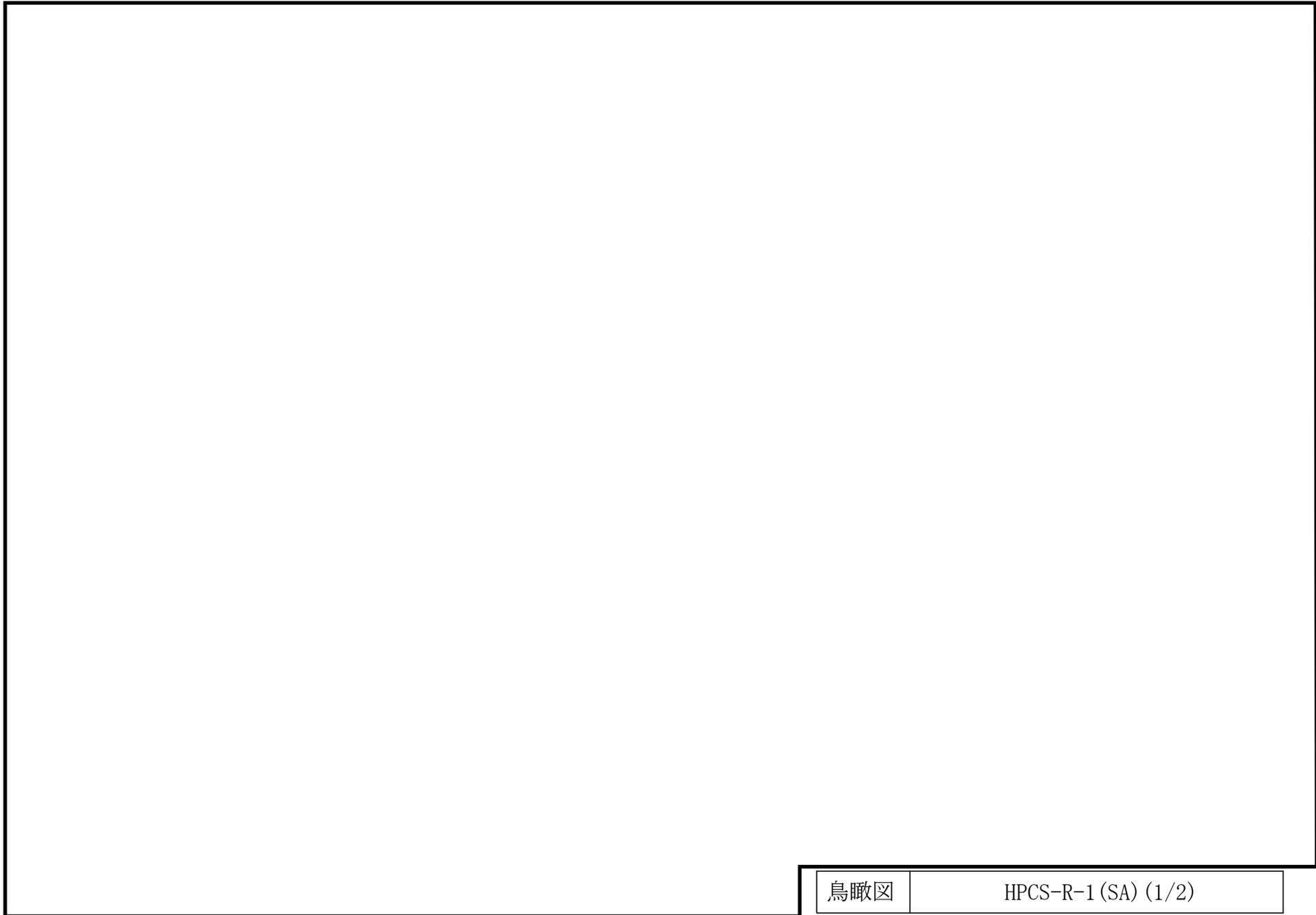


鳥瞰図	HPCS-R-1 (DB) (1/2)
-----	---------------------

∞

鳥瞰図

HPCS-R-1 (DB) (2/2)



鳥瞰図	HPCS-R-1 (SA) (1/2)
-----	---------------------

10



鳥瞰図

HPCS-R-1 (SA) (2/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L + S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _d	
							Ⅳ _{L(L)} + S _d	
							I _L + S _s	Ⅳ _A S
							Ⅱ _L + S _s	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系	S A	常設/防止(D B 拡張)	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							IV _{L(L)} + S _d ^{*6}	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8, *9}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *7, *10}	
V _L + S _s ^{*11}								

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設/防止 (D B 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用しない場合) における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器バウンダリにおいては, 原子炉格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合) における荷重条件を適用する。

*11 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	5~19, 20~24 25~33	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	33~36N	Ⅲ _A S	8.62	302
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	5～19, 20～24 25～33	267.4	18.2	STS42	S	200400
2	33～36N	267.4	18.2	STS42	S	186920

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

質量	対応する評価点
	5～5001, 1201～1301, 1401～1601, 1701～19, 20～24 25～2701, 3001～3101, 35～3501
	5001～1201, 1301～1401, 1601～1701, 2701～3001, 3101～33
	33～35, 3501～36N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	19~20		24~25

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
19~20				24~25			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
6						
** 16 **						
16						
** 16 **						
21						
** 26 **						
** 27 **						
2702						
28						
3102						
32						
N7						

S2 補 VI-2-5-5-1-3 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 HPCS-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	2～10	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	0.853	178
2	14～16, 17～27N	Ⅲ _A S	1.37	100
		Ⅳ _A S	1.37	100
		Ⅴ _A S	1.37	110
3	20～29, 30～31	Ⅲ _A S	1.37	100
		Ⅳ _A S	1.37	100
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	2~10	508.0	9.5	SM41C	S	201667
2	14~16, 17~27N	508.0	9.5	SM41C	S	201667
3	20~29, 30~31	457.2	9.5	SM41C	S	201667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

質量	対応する評価点
	26F
	27N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	10, 14		11
	12		13
	16~17		29~30
	31, 35		32
	33		34

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
10~11				11~12			
12~1200				1200~1201			
1201~13				11~14			
16~17				29~30			
31~32				32~33			
33~3301				3301~34			
32~35							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
7						
** 7 **						
1200						
** 1201 **						
** 1400 **						
1401						
18						
22						
27N						
3301						
3301						

S2 補 VI-2-5-5-1-3 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
STS42	302	122	—	—	—
SM41C	104	—	219	373	—
SM41C	178	—	199	373	—
SM41C	110	—	218	373	—
SM41C	100	—	221	373	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき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
HPCS-PD-1	ガンマ線遮蔽壁				
HPCS-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 HPCS-PD-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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 HPCS-PD-1

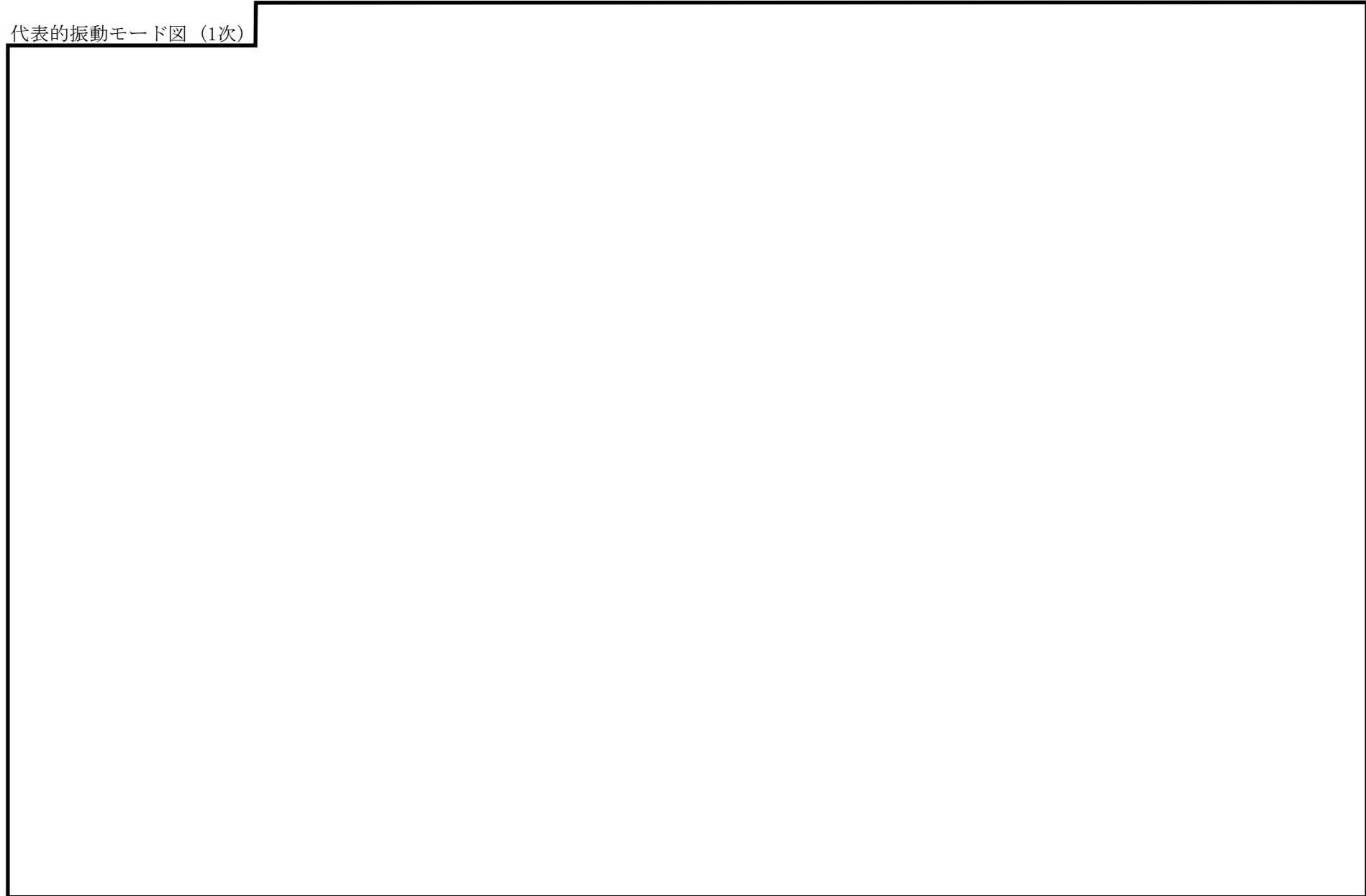
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

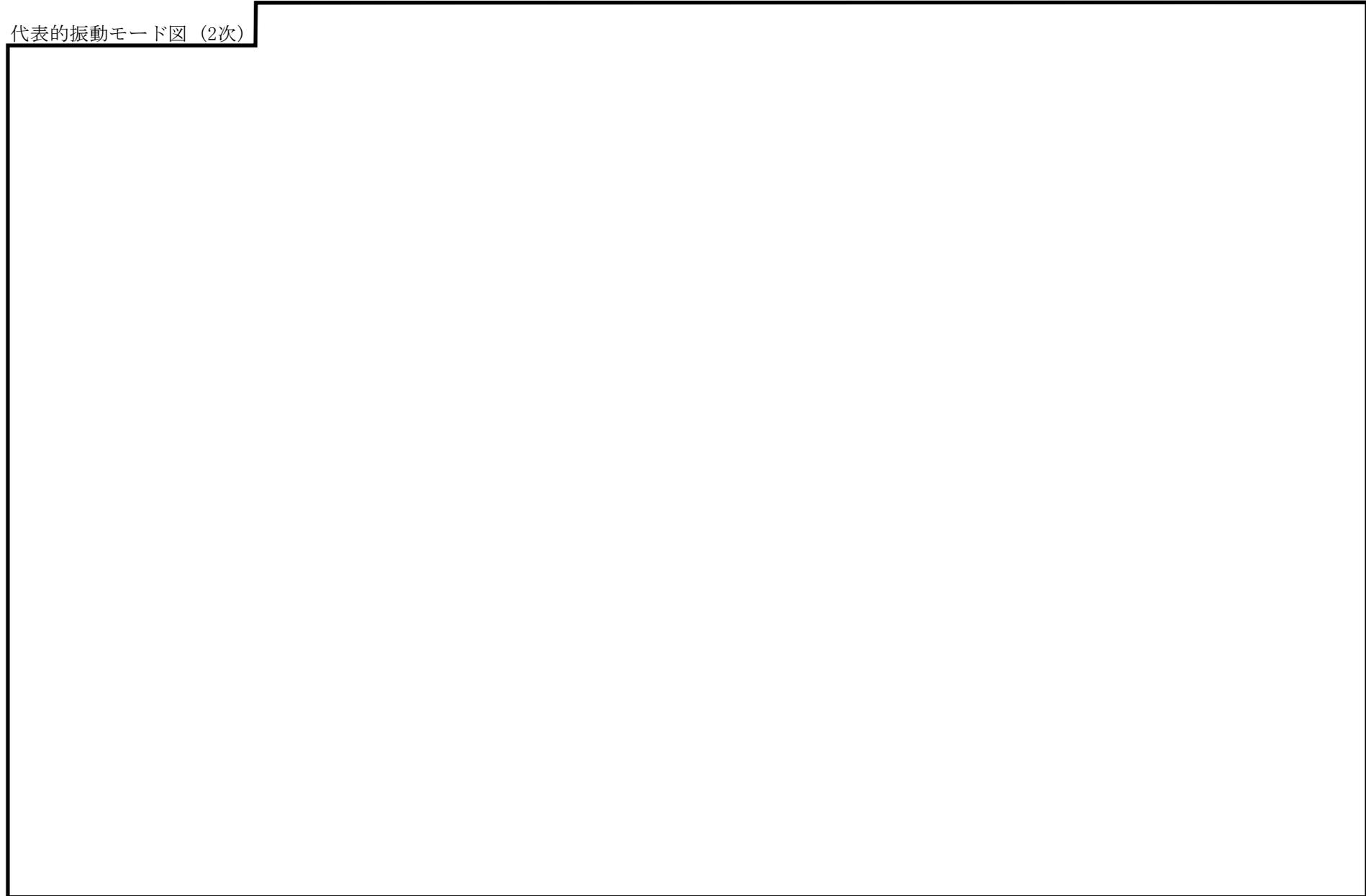
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCS-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 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 HPCS-R-1

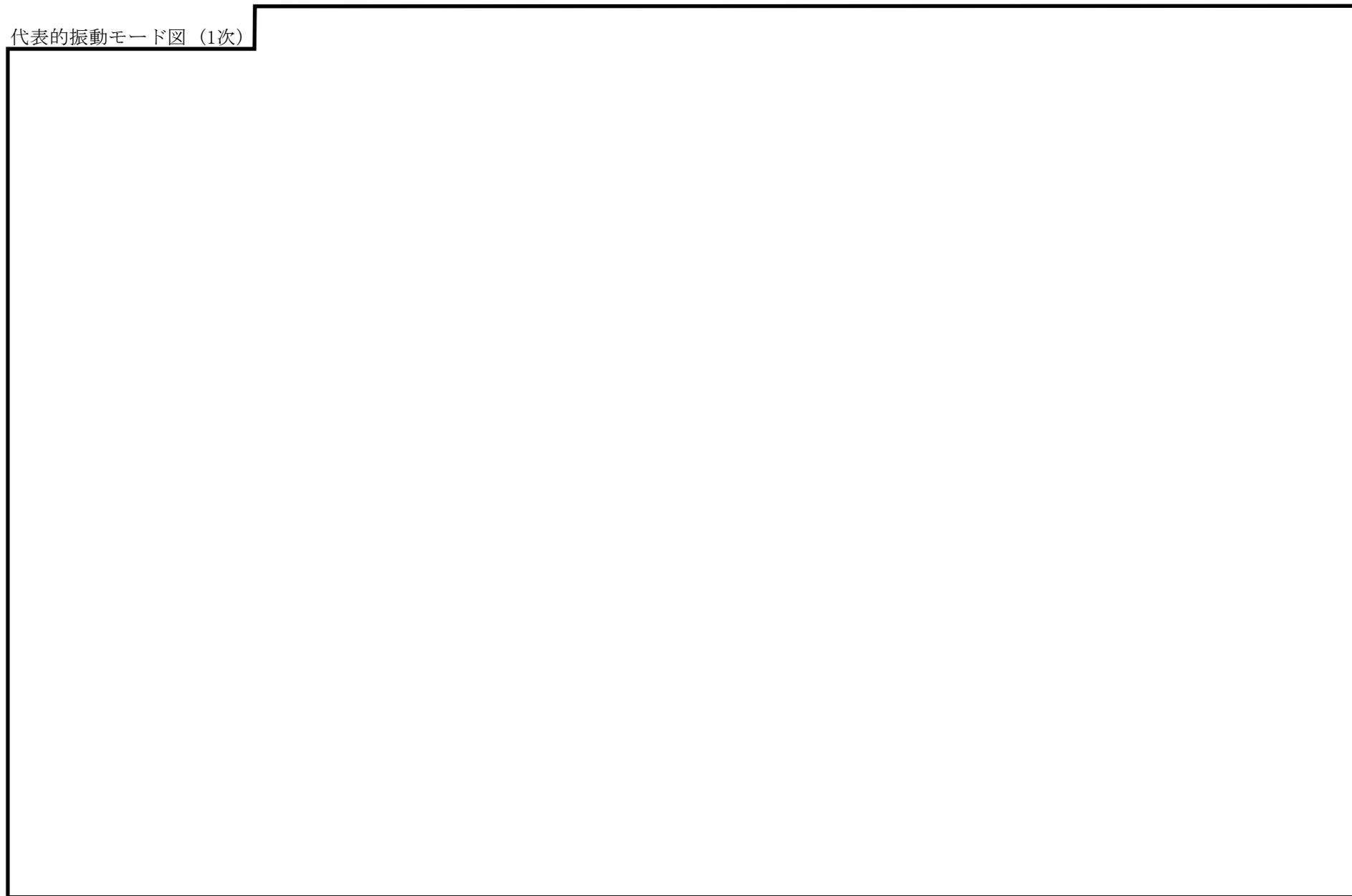
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

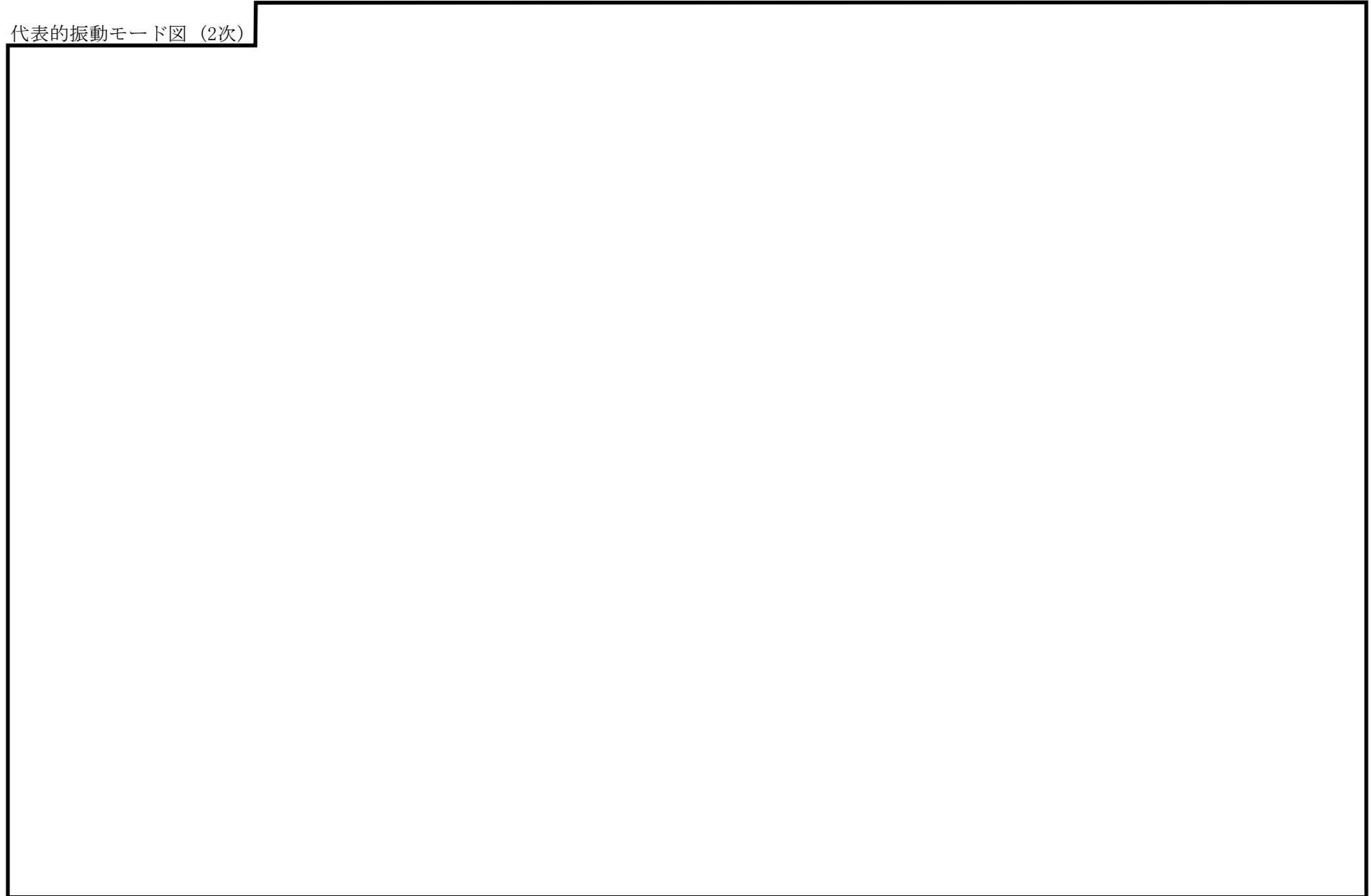
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

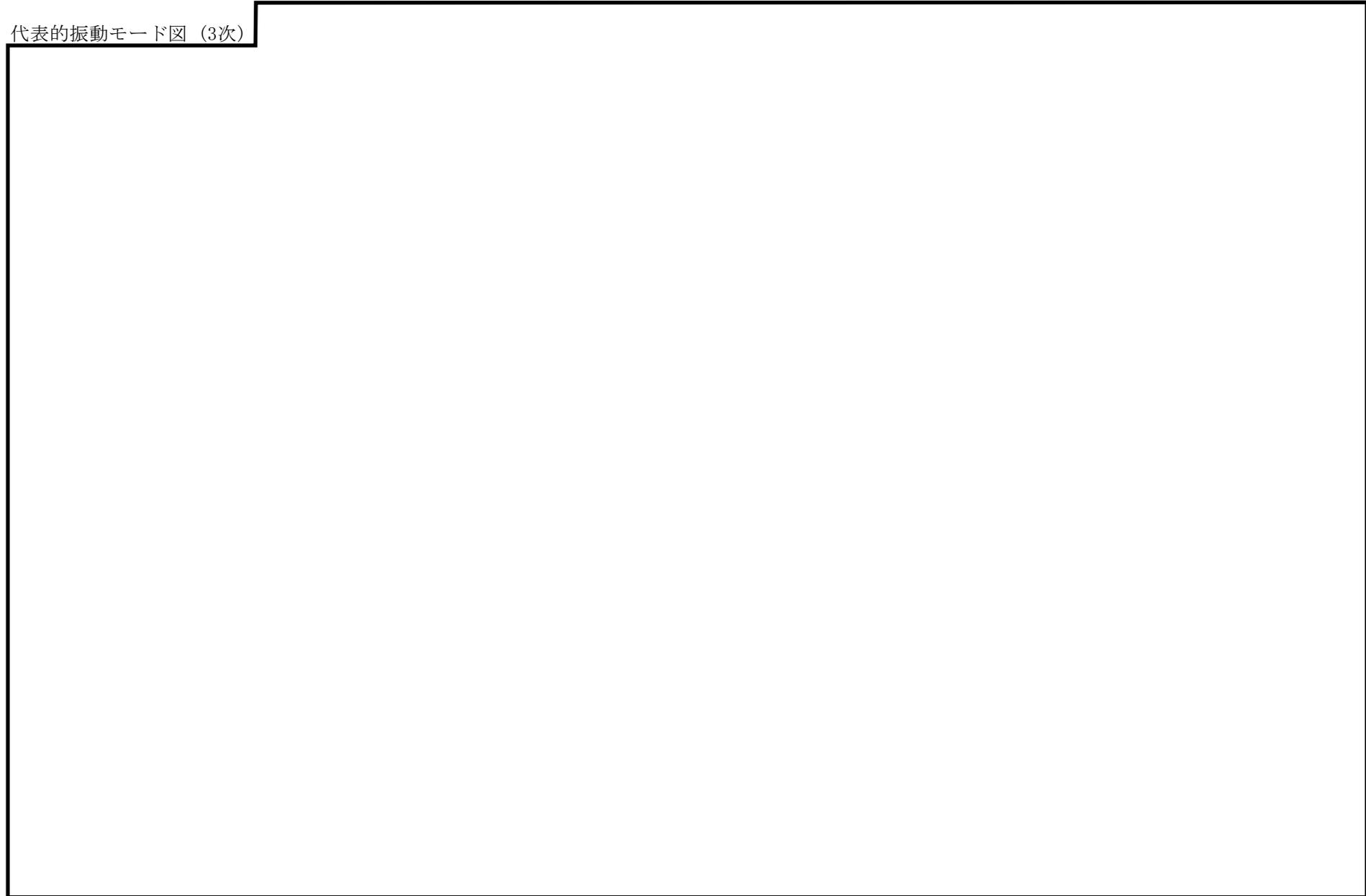
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



38

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス1管

許容応力 状態	最大応力区分 (許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅢA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (2.25 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	79	274	—
		ねじり $S_t (0.55 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	36	67	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (1.8 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	155	366	—
	疲労累積係数 $U + U S d$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041
ⅣA S	一次 応力	膜+曲げ $S_{p r m} (3 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1701	ELBOW	112	366	—
		ねじり $S_t (0.73 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	64	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b (2.4 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n (3 \cdot S m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	286	366	—
	疲労累積係数 $U + U S s$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)		鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	配管要素 名称	応力評価		疲労評価
						計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
IVAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1701	ELBOW	112	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	64	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	286	366	—
	疲労累積係数 $U + U S_s$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041
VAS	一次 応力	膜+曲げ $S_{pr m}(3 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1701	ELBOW	112	366	—
		ねじり $S_t(0.73 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	1401	ELBOW	64	89	—
		ねじり+曲げ $S_t + S_b(2.4 \cdot S m)$	HPCS-PD-1	—	—	—	—	—
	一次+二次応力 $S_n(3 \cdot S m)$		HPCS-PD-1	11	ELBOW	286	366	—
	疲労累積係数 $U + U S_s$		HPCS-PD-1	36N	NOZZLE	—	—	0.0041

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	HPCS-R-1	20	67	219	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	125	438	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCS-R-1	20	90	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	267	438	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

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 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCS-R-1	20	90	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	267	438	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	HPCS-R-1	20	90	335	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	HPCS-R-1	2	267	398	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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	—	—	—	
SN0-HPCS-293	オイルスナッパ	SN-10		58	150	—	
RE-HPCS-5	ロッドレストレイント	RSA-10		85	180	—	
SH-HPCS-225	スプリングハンガ	VS1F-14		15	17		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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-HPCS-201	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	172	0	—	—	—	組合せ	56	135
AN-HPCS-231	アンカ	ラグ	SGV480	302	124	71	74	28	103	51	組合せ	58	137

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり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
AV224-1	空気作動逆止弁	β (S s)	4.7	1.6	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
MV224-3	電動ゲート弁	β (S s)	1.8	1.4	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- 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	HPCS-PD-1	1401	79	274	3.46	○	11	155	366	2.36	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス1管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-PD-1	1701	112	366	3.26	○	11	286	366	1.27	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-PD-1	1701	112	366	3.26	○	11	286	366	1.27	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V _A S												
		一次応力評価					一次+二次応力評価					疲労評価		
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-PD-1	1701	112	366	3.26	○	11	286	366	1.27	○	36N	0.0041	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-R-1	20	67	219	3.26	○	2	125	438	3.50	—	○
2	HPCS-R-2	42	58	220	3.79	—	42	47	440	9.36	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-R-1	20	90	335	3.72	○	2	267	438	1.64	—	○
2	HPCS-R-2	36	96	364	3.79	—	42	108	440	4.07	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	HPCS-R-1	20	90	335	3.72	○	2	267	438	1.64	—	○
2	HPCS-R-2	36	96	364	3.79	—	42	108	440	4.07	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	HPCS-R-1	20	90	335	3.72	○	2	267	398	1.49	—	○
2	HPCS-R-2	36	96	363	3.78	—	42	108	436	4.03	—	—

VI-2-5-5-3 高圧原子炉代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-5-5-3-2 管の耐震性についての計算書
(高压原子炉代替注水系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	35
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	36
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	37

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、高圧原子炉代替注水系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全9モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

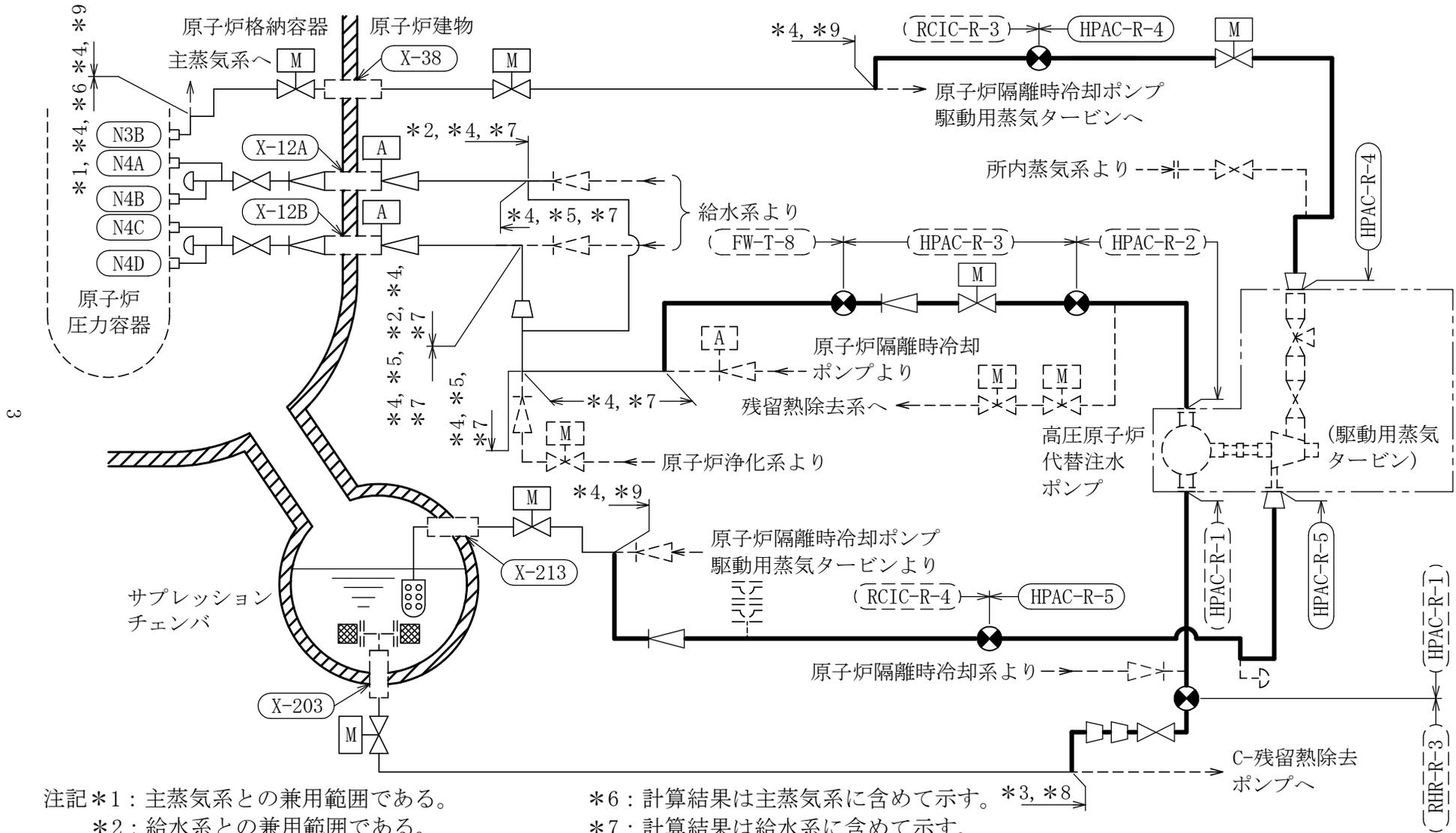
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



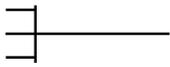
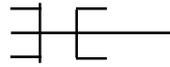
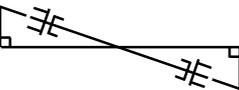
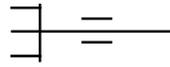
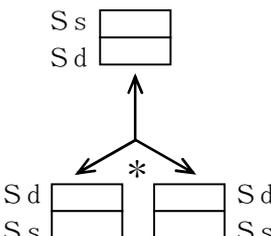
注記*1：主蒸気系との兼用範囲である。
 *2：給水系との兼用範囲である。
 *3：残留熱除去系との兼用範囲である。
 *4：原子炉隔離時冷却系との兼用範囲である。
 *5：原子炉浄化系との兼用範囲である。

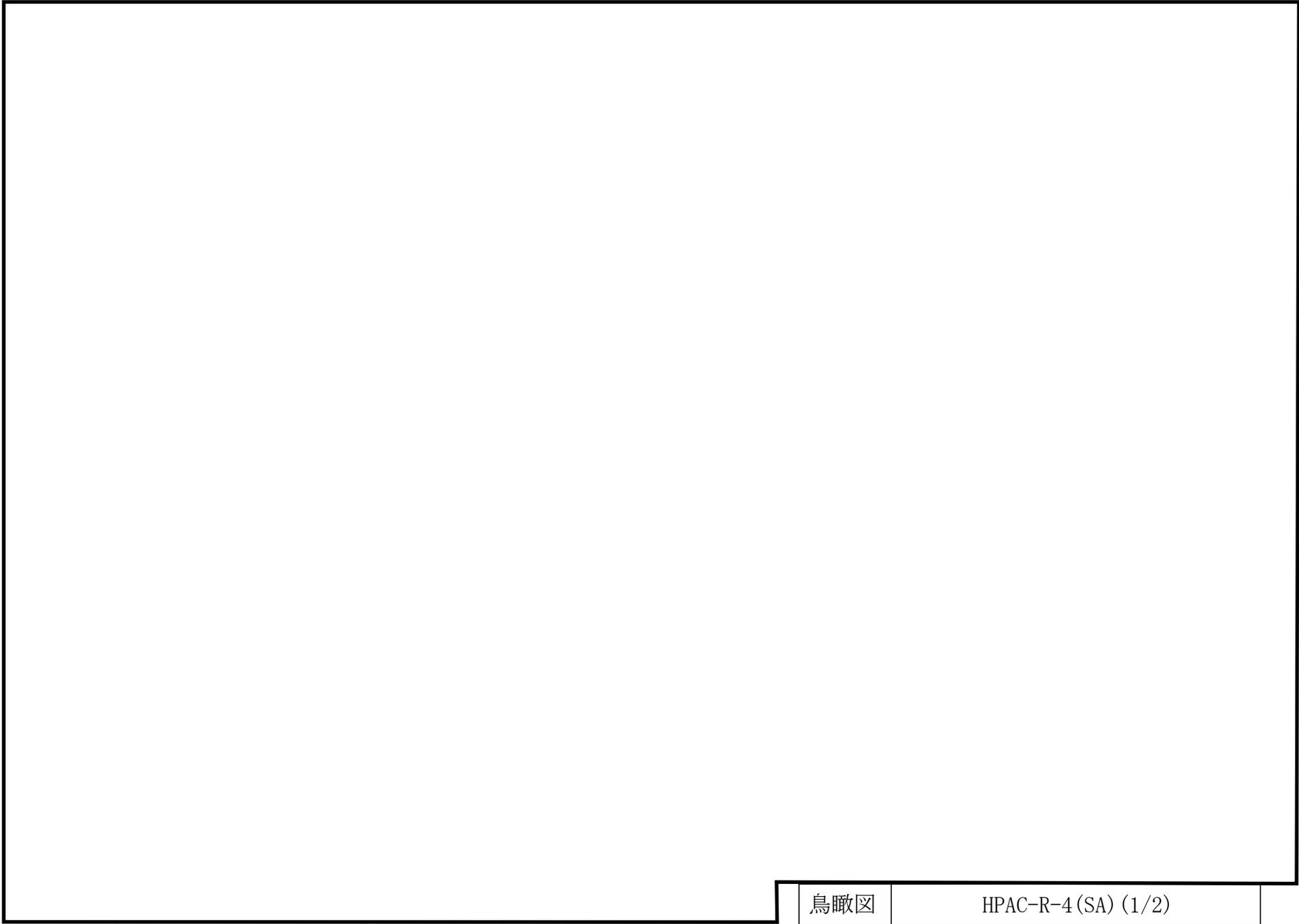
*6：計算結果は主蒸気系に含めて示す。
 *7：計算結果は給水系に含めて示す。
 *8：計算結果は残留熱除去系に含めて示す。
 *9：計算結果は原子炉隔離時冷却系に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス:SA2
 高圧原子炉代替注水系概略系統図

2.2 鳥瞰図

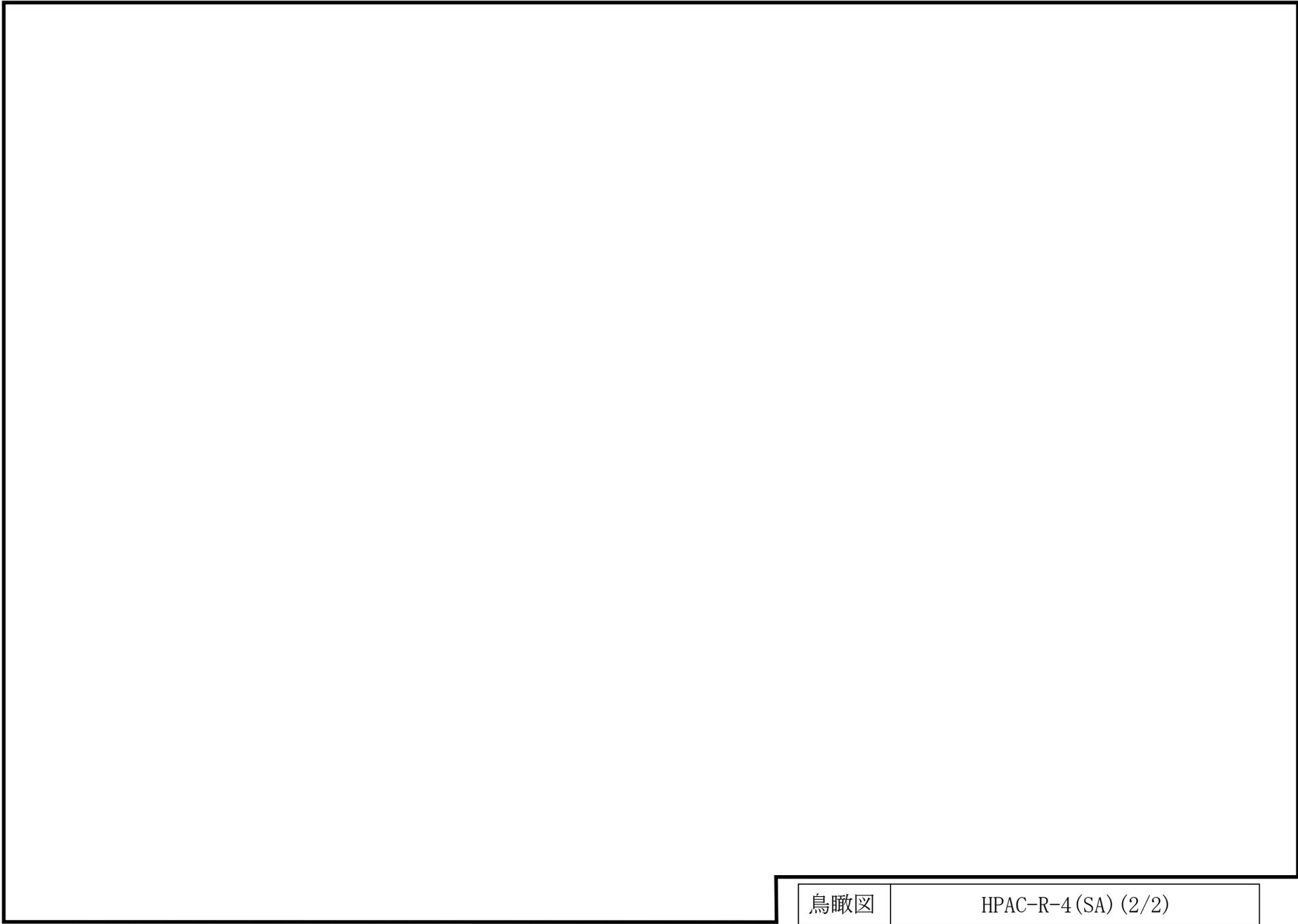
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本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。



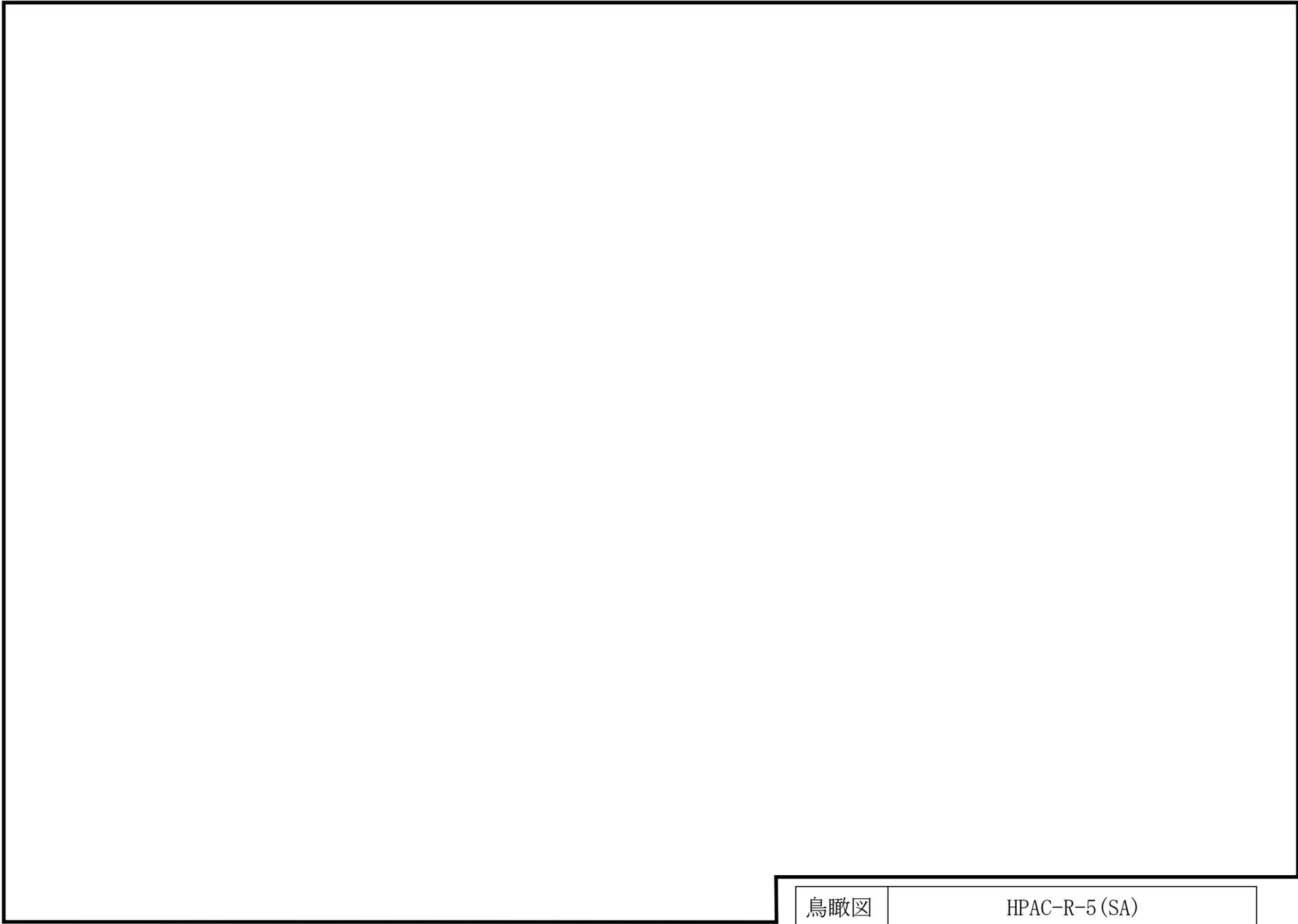
鳥瞰図

HPAC-R-4(SA) (1/2)



鳥瞰図

HPAC-R-4(SA) (2/2)



鳥瞰図

HPAC-R-5 (SA)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却システム施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高压原子炉代替注水系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	I L + S S	IV A S
							II L + S S	
							V L + S S ^{*6}	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	高压原子炉代替注水系	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}	

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 HPAC-R-4

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~2201	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
2	2206~52	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302
3	53~54N	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	8.62	302
		Ⅴ _A S	8.62	302

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～2201	114.3	11.1	STPT410	—	186040
2	2206～52	114.3	11.1	STPT410	—	201667
3	53～54N	89.1	11.1	STPT410	—	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～2201, 2206～52
<input type="checkbox"/>	53～54N

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	50F
<input type="checkbox"/>	54N

弁部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	2201, 2206	<input type="checkbox"/>	2202
<input type="checkbox"/>	2203	<input type="checkbox"/>	2205

弁部の寸法

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2201～2202				2202～2203			
2203～2204				2204～2205			
2202～2206							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
5						
12						
21						
2204						
2207						
26						
31						
36						
43						
54N						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~2	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184
2	3~36A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.98	184
		Ⅴ _A S	0.98	184

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	216.3	8.2	STPT410	—	201667
2	3~36A	267.4	9.3	STPT410	—	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N~2
<input type="checkbox"/>	3~36A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

質量	対応する評価点
	1N
	6F

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
8						
15						
22						
25						
29						
36A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	302	—	182	404	—
STPT410	184	—	209	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき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
HPAC-R-4	原子炉建物				
HPAC-R-5	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 HPAC-R-4

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050 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）より得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPAC-R-4

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

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次	0.111	4.89	5.11	4.66
動的震度*3, *4		1.49	1.56	1.16

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)より得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 HPAC-R-5

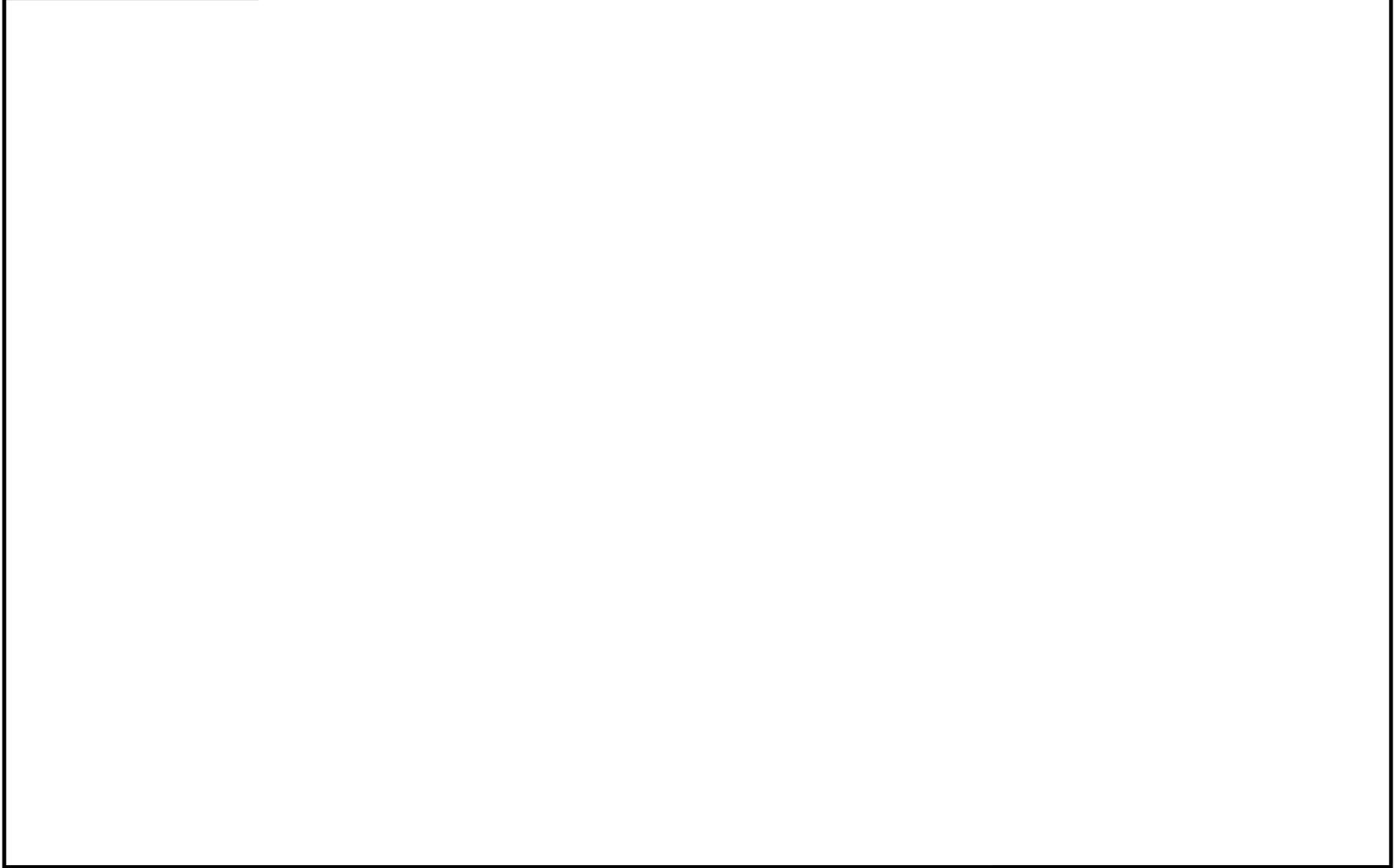
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	0.111	0.253	0.004	0.004

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
IVAS	一次応力 Sprm(0.9・Su)	HPAC-R-4	17	132	363	—
	一次+二次応力 Sn(2・Sy)	HPAC-R-5	35	222	418	—
VAS	一次応力 Sprm(0.9・Su)	HPAC-R-4	17	132	363	—
	一次+二次応力 Sn(2・Sy)	HPAC-R-5	35	222	418	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	一次評価*1	許容荷重(kN) 二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SN0-HPAC-69	オイルスナッパ	SN-3EA			14	45	—
RE-RCIC-276	ロッドレストレイント	RTS-10			47	180	—
SH-HPAC-49	スプリングハンガ	VSAIB-9			4	4	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジッドハンガ	—			—	—	

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-HPAC-43	レストレイント	パイプバンド	STKR400	184	0	9	22	—	—	—	—	9	119	
AN-HPAC-45	アンカ	ラグ	SGV410	184	27	7	14	4	41	14	組合せ	54	132	

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり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 (Ss)：基準地震動 Ss，弾性設計用地震動 Sd 時に動的機能が要求されるもの
- α (Sd)：弾性設計用地震動 Sd 時に動的機能が要求されるもの
- β (Ss)：基準地震動 Ss，弾性設計用地震動 Sd 後に動的機能が要求されるもの
- β (Sd)：弾性設計用地震動 Sd 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ⅣAS											
		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	許容応力 (MPa)	疲労累積 係数	代表
1	HPAC-R-1	54	62	363	5.85	—	54	90	434	4.82	—	—	
2	HPAC-R-2	1N	131	363	2.77	—	1N	183	434	2.37	—	—	
3	HPAC-R-3	37	117	363	3.10	—	37	158	434	2.74	—	—	
4	HPAC-R-4	17	132	363	2.75	○	17	181	364	2.01	—	—	
5	HPAC-R-5	35	120	363	3.02	—	35	222	418	1.88	—	○	
6	RCIC-R-3	156A	86	363	4.22	—	156A	102	364	3.56	—	—	
7	RCIC-R-4	102	28	363	12.96	—	111	105	418	3.98	—	—	
8	RHR-R-3	44	71	363	5.11	—	44	95	434	4.56	—	—	
9	FW-T-8	506	57	363	6.36	—	506	52	364	7.00	—	—	

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 VAS											
		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	許容応力 (MPa)	疲労累積係数	代表
1	HPAC-R-1	54	62	363	5.85	—	54	90	434	4.82	—	—	
2	HPAC-R-2	1N	131	363	2.77	—	1N	183	434	2.37	—	—	
3	HPAC-R-3	37	117	363	3.10	—	37	158	434	2.74	—	—	
4	HPAC-R-4	17	132	363	2.75	○	17	181	364	2.01	—	—	
5	HPAC-R-5	35	120	363	3.02	—	35	222	418	1.88	—	○	
6	RCIC-R-3	156A	86	363	4.22	—	156A	102	364	3.56	—	—	
7	RCIC-R-4	102	28	363	12.96	—	111	105	418	3.98	—	—	
8	RHR-R-3	44	71	363	5.11	—	44	95	434	4.56	—	—	
9	FW-T-8	506	57	363	6.36	—	506	52	364	7.00	—	—	