

VI-2-9-4 圧力低減設備その他安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-1 真空破壊装置の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	11
4.3 固有周期の計算結果	11
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.3 設計用地震力	18
5.4 計算方法	20
5.5 計算条件	25
5.6 応力の評価	25
6. 評価結果	26
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	26
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	29
7. 引用文献	32

## 図 表 目 次

図 2-1	真空破壊装置の耐震評価フロー	3
図 3-1	真空破壊装置の形状及び主要寸法	7
図 4-1	固有周期の計算モデル（片持はり）	8
図 4-2	固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）	8
図 4-3	解析モデル（外荷重によって取付部に生じる変形を求めるモデル）	9
図 5-1	真空破壊装置の応力評価点	20
図 5-2	真空破壊装置に作用する荷重による応力の計算モデル	23
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	6
表 3-1	使用材料表	7
表 4-1	機器諸元	9
表 4-2	固有周期の計算に用いる計算条件	11
表 4-3	固有周期（設計基準対象施設）	12
表 4-4	固有周期（重大事故等対処設備）	12
表 5-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	14
表 5-2	荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）	14
表 5-3	クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 容器の許容応力	15
表 5-4	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	16
表 5-5	使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）	16
表 5-6	設計用地震力（設計基準対象施設）	18
表 5-7	設計用地震力（重大事故等対処設備）	19
表 5-8	応力評価点	20
表 5-9	応力評価点 P2 に作用する荷重	22
表 5-10	単位軸方向荷重 P により生じる応力	24
表 5-11	単位モーメント $M_C$ により生じる応力	24
表 5-12	単位モーメント $M_L$ により生じる応力	25
表 6-1	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S に対する評価結果（ $D + P_D + M_D + S d^*$ ）	27
表 6-2	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> S に対する疲労評価結果	28
表 6-3	許容応力状態Ⅴ <sub>A</sub> S に対する評価結果（ $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S s$ ）	30
表 6-4	許容応力状態Ⅴ <sub>A</sub> S に対する疲労評価結果	31

## 1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、真空破壊装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

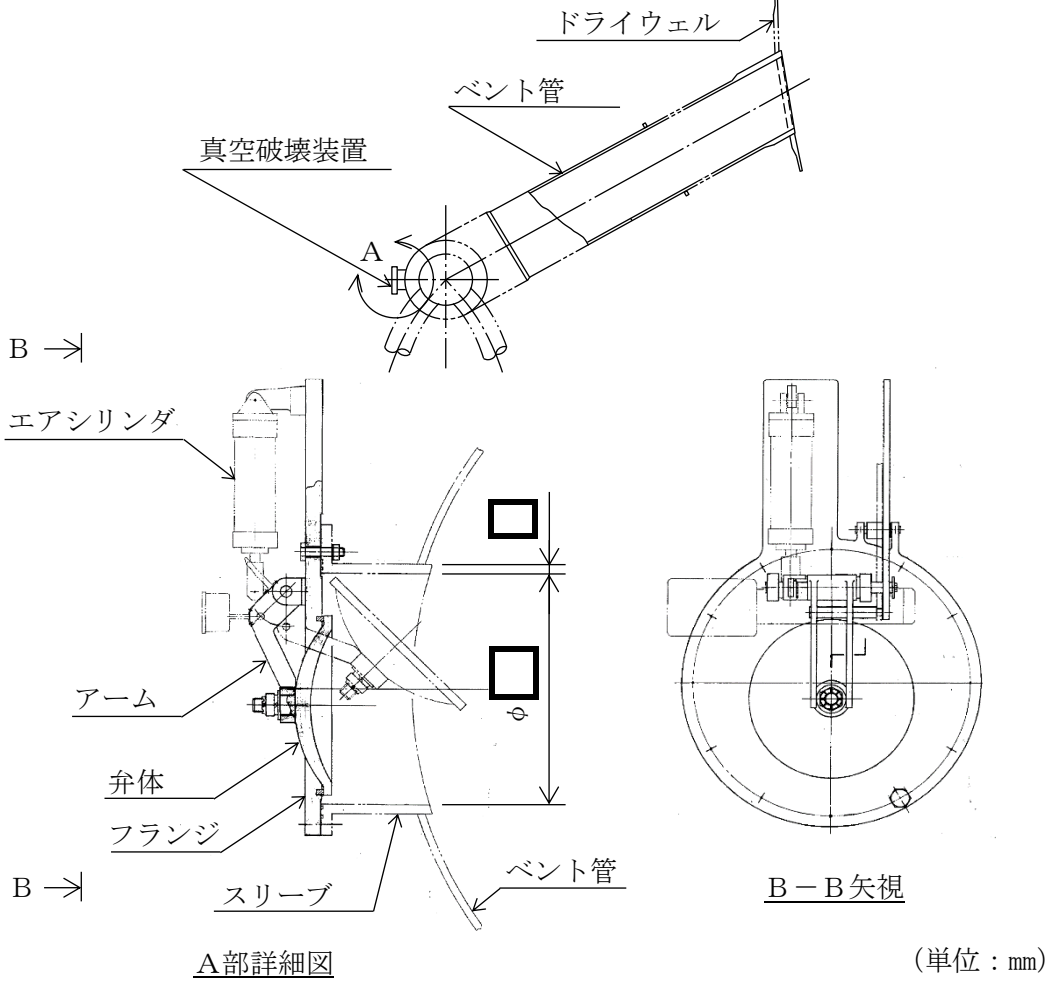
真空破壊装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

真空破壊装置の構造計画を表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>真空破壊装置は、ベント管に支持される。</p> <p>真空破壊装置の鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ベント管を介して、ドライウエルに伝達される。</p>	<p>真空破壊装置は、エアシリンダ、アーム、弁体、フランジ、及び内径 <math>\square</math> mm、板厚 <math>\square</math> mm のスリーブで構成される、逆止め弁である。</p>	 <p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

## 2.2 評価方針

真空破壊装置の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す真空破壊装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

真空破壊装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

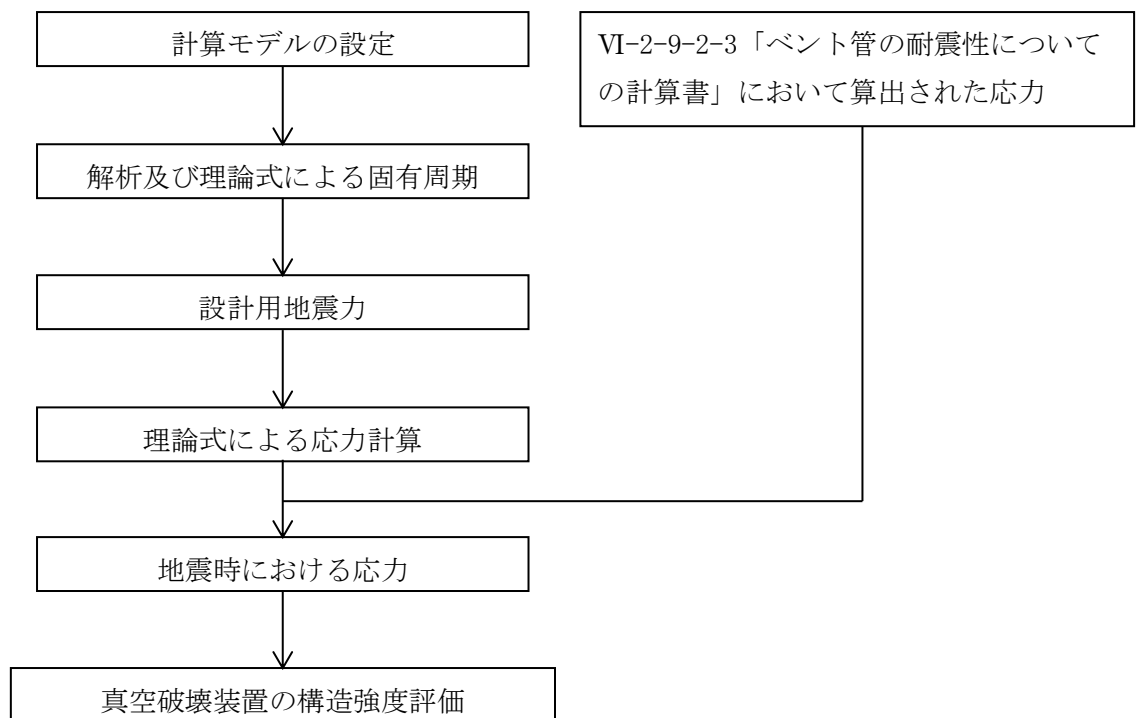


図2-1 真空破壊装置の耐震評価フロー

## 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984  
( (社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ( (社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ( (社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ( (社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>1</sub>	スリーブの内径	mm
D <sub>2</sub>	ベント管の内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
K <sub>A1</sub>	片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K <sub>A2</sub>	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K <sub>MC</sub>	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（鉛直方向）のばね定数	N/mm
K <sub>ML</sub>	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K <sub>MR</sub>	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K <sub>C</sub>	軸直角方向（鉛直方向）の合成ばね定数	N/mm
K <sub>L</sub>	軸直角方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
K <sub>R</sub>	軸方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
L	真空破壊装置の付け根からエアシリンダ中心軸までの距離	mm
ℓ	モーメントアーム	mm
M <sub>C</sub>	軸直角方向（鉛直方向）のモーメント	N・mm
M <sub>L</sub>	軸直角方向（水平方向）のモーメント	N・mm
m	機器質量	kg
P	軸力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
T	温度	℃
T <sub>C</sub>	軸直角方向の固有周期（鉛直方向）	s
T <sub>L</sub>	軸直角方向の固有周期（水平方向）	s
T <sub>R</sub>	軸方向の固有周期（水平方向）	s
T <sub>SAD</sub>	温度（SA後温度）	℃
t <sub>1</sub>	スリーブの厚さ	mm
t <sub>2</sub>	ベント管の厚さ	mm



記号	記号の説明	単位
W	荷重	N
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_l$	軸方向応力	MPa
$\sigma_t$	周方向応力	MPa
$\tau$	せん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁
ばね定数	N/mm	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

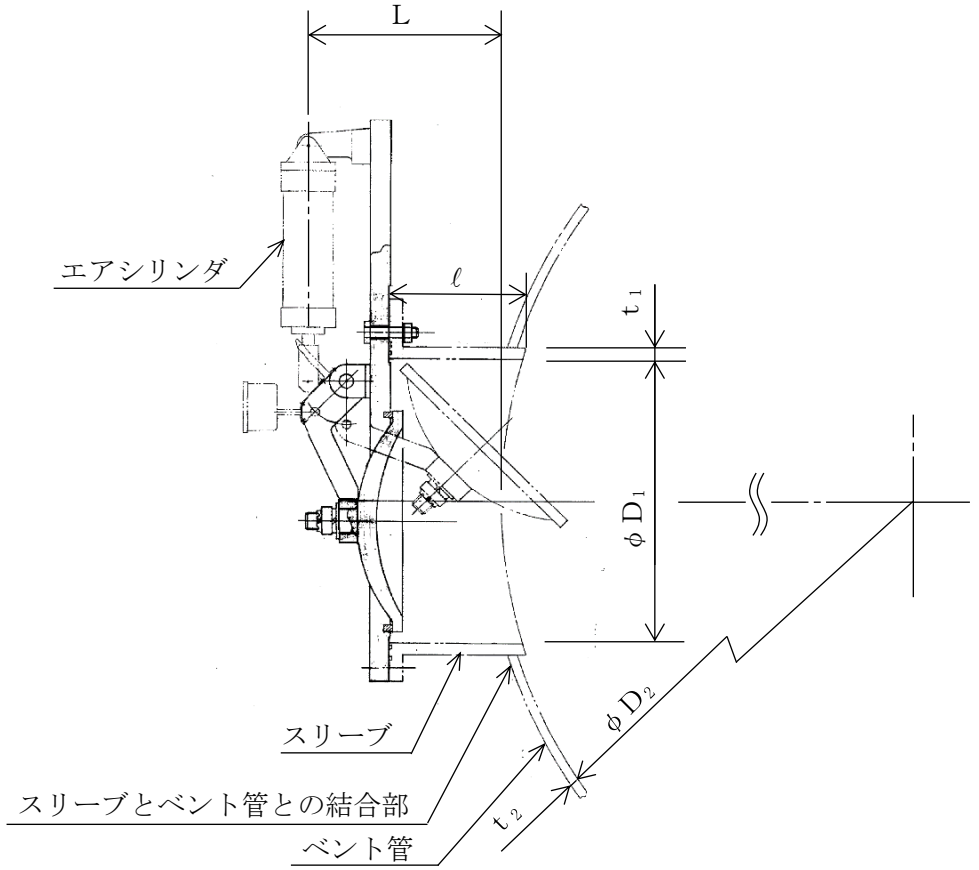
注記\*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*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

真空破壊装置の形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



$L = \square$      $l = \square$      $D_1 = \square$      $D_2 = \square$      $t_1 = \square$      $t_2 = \square$

(単位：mm)

図3-1 真空破壊装置の形状及び主要寸法

表3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
スリーブ	SGV49	SGV480 相当
スリーブとベント管との結合部	SGV49	SGV480 相当

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

真空破壊装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

##### (1) 計算モデル

- 真空破壊装置の質量は、図 3-1 に示すエアシリンダ中心軸に集中するものとする。
- 真空破壊装置は、ベント管に固定されており、一端固定、他端自由とする。また、真空破壊装置は片持はりと考え、変形モードは曲げ又は圧縮・引張を考慮する。
- 真空破壊装置より加わる荷重（以下「外荷重」という。）によってスリーブ取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張による取付部変形を考慮する。
- b 及び c による変形の両者を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

真空破壊装置は、図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと、図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。

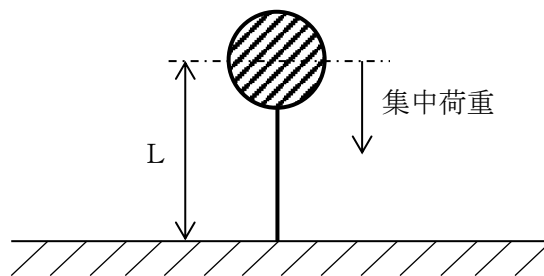


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

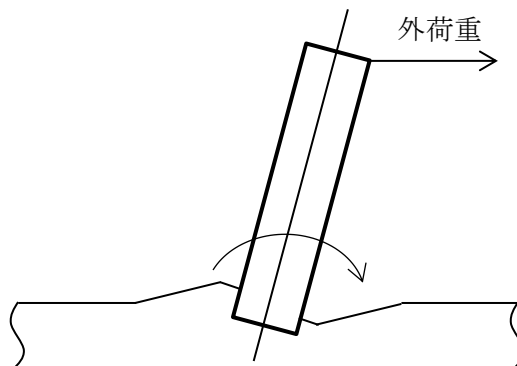


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

外荷重によってスリーブ取付部に生じる変形を精緻に評価するため、3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図4-3に、機器の諸元を表4-1に示す。



なお、解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。

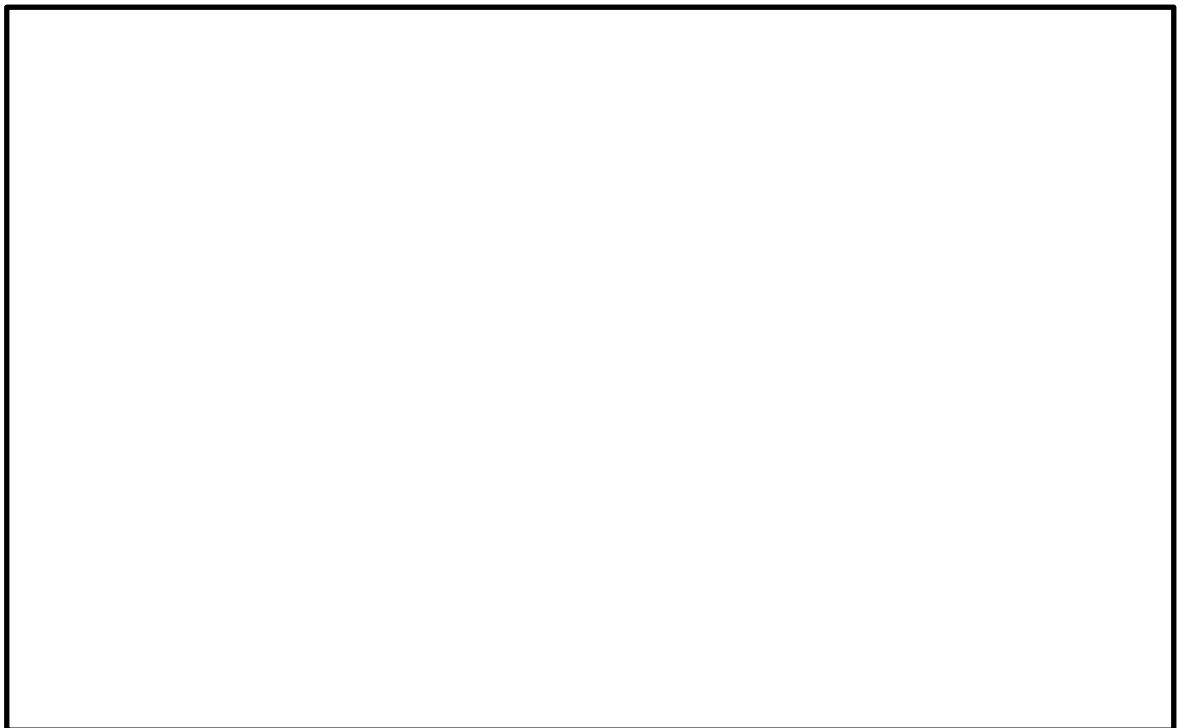


図4-3 解析モデル（外荷重によって取付部に生じる変形を求めるモデル）

表4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49*
温度条件	T	℃	57
縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

注記\*：SGV480相当

## (2) 軸直角方向ばね定数

片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A1} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{L^3} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は、図 4-3 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸直角方向（鉛直方向）ばね定数を  $K_{MC}$ 、スリーブ軸直角方向（水平方向）ばね定数を  $K_{ML}$  とし、その値を表 4-2 に示す。

## (3) 軸方向ばね定数

片持はりを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A2} = \frac{A \cdot E}{L} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は、図 4-3 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸方向（水平方向）ばね定数を  $K_{MR}$  とし、その値を表 4-2 に示す。

## (4) 合成ばね定数

片持はりを仮定したばね定数と、外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の、両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_C = \frac{1}{\frac{1}{K_{A1}} + \frac{1}{K_{MC}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_{A1}} + \frac{1}{K_{ML}}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{MR}}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

## (5) 軸直角方向の固有周期

軸直角方向の固有周期は次式で求める。

スリーブ軸直角方向（鉛直方向）

$$T_C = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_C}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

スリーブ軸直角方向（水平方向）

$$T_L = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_L}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

(6) 軸方向の固有周期

スリーブ軸方向（水平方向）の固有周期は次式で求める。

$$T_R = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_R}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に用いる計算条件

記号	単位	値
L	mm	
E	MPa	
I	mm <sup>4</sup>	
A	mm <sup>2</sup>	
K <sub>A1</sub>	N/mm	
K <sub>MC</sub>	N/mm	
K <sub>ML</sub>	N/mm	
K <sub>A2</sub>	N/mm	
K <sub>MR</sub>	N/mm	
K <sub>C</sub>	N/mm	
K <sub>L</sub>	N/mm	
K <sub>R</sub>	N/mm	
m	kg	

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期を表 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直方向*1	
水平方向*2	
水平方向*3	

注記\*1：スリーブ軸直角方向（鉛直方向）を示す。

\*2：スリーブ軸直角方向（水平方向）を示す。

\*3：スリーブ軸方向（水平方向）を示す。

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-4 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直方向*1	
水平方向*2	
水平方向*3	

注記\*1：スリーブ軸直角方向（鉛直方向）を示す。

\*2：スリーブ軸直角方向（水平方向）を示す。

\*3：スリーブ軸方向（水平方向）を示す。



## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

- (1) 真空破壊装置は、円筒形状のスリーブがベント管に支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重はベント管を介してドライウェルに伝達される。

真空破壊装置の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」において計算された応答加速度を用いて、「5.4 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

詳細な荷重の組合せは、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

#### 5.2.2 許容応力

真空破壊装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備	真空破壊装置	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_d^{**2}$	Ⅲ <sub>A</sub> S
	その他の 安全設備				$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*1：クラス2容器として評価を行う。

\*2：保守的に $S_s$ を用いて評価を行う。

\*3：「 $D + P_D + M_D + S_d^*$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の 安全設備	真空破壊装置	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S*3

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

\*2：重大事故等クラス2容器として評価を行う。

\*3：V<sub>A</sub>SとしてⅣ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

表5-3 クラス2容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力\*1

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	$S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼 及び高ニッケル合金については上記の値 と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	左欄の 1.5倍の値	*2 $S_d$ 又は $S_s$ 地震動のみによる疲労解析を行い、 疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動 値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ <sub>A</sub> S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5倍の値		
V <sub>A</sub> S*3				

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

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

\*3：V<sub>A</sub>SとしてⅣ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
スリーブ	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—
ベント管	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—

注記\* : SGV480 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
スリーブ	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—
ベント管	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—

注記\* : SGV480 相当

## 5.2.4 設計荷重

## (1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

## a. 最高使用圧力及び最高使用温度

圧力  $P_D$  427 kPa\*

温度  $T$  171 °C

注記\*：保守的に重大事故等対処設備としての評価圧力である 660kPa を用いる。

## b. 死荷重

## (a) 真空破壊装置

真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重  $W$   N

## (b) ベント系

ベント管，ベントヘッド，ダウンコマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重  N

## (2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

## a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

圧力  $P_{SAD}$  660 kPa (S A後長期)

温度  $T_{SAD}$  200 °C (S A後長期)

## b. 死荷重

## (a) 真空破壊装置

真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重  $W$   N

## (b) ベント系

ベント管，ベントヘッド，ダウンコマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重  N

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6、表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、以下のよう  
に設定する。

#### (1) 水平方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力と、  
VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント系の解析モデルによる地震  
応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく地震力の  
大きい方の地震力を設定する。

#### (2) 鉛直方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設  
定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器内 EL <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span> *1 (EL 11.900 *2)	0.009	0.014	$C_H =$ 2.99 *3, *4	$C_V =$ 0.67 *4, *5	$C_H = 3.12$ *6	$C_V = 1.12$ *7

注記\*1：VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント系の解析モデルによる  
地震応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を基に設計震度を設定す  
る。

\*2：ドライウェルのベント管据付レベルを示し、動的震度及び静的震度を求める際の基準レベ  
ルとする。

\*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）に対するベント系の地震応答解析に  
より求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく震度

\*4：「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」の応力計算に用いる震度は、保守的に「基準地  
震動 S s」の設計震度を適用する。

\*5：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

\*6：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）に対するベント系の地震応答解析により  
求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく震度

\*7：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器内 EL <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">  </span> *1 (EL 11.900 *2)	0.009	0.014	—	—	C <sub>H</sub> =3.12*3	C <sub>V</sub> =1.12*4

注記\*1：VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント系の解析モデルによる地震応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を基に設計震度を設定する。

\*2：ドライウエルのベント管据付レベルを示し、動的震度及び静的震度を求める際の基準レベルとする。

\*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S<sub>s</sub>）に対するベント系の地震応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく震度

\*4：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

真空破壊装置の応力評価点は、真空破壊装置を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-8 及び図 5-1 に示し、応力の計算方法を以下に示す。

表 5-8 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	スリーブ (P1-A, P1-B, P1-C)
P2	スリーブとベント管との結合部 (P2-A, P2-B, P2-C)

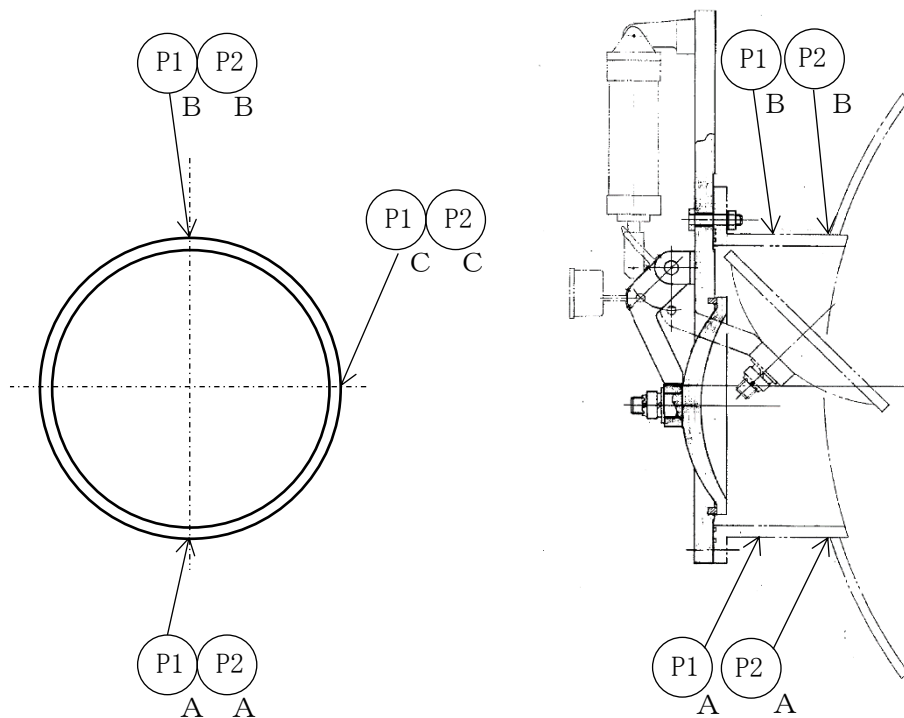


図 5-1 真空破壊装置の応力評価点

5.4.1.1 スリーブ（応力評価点 P1）の計算方法

スリーブの応力は、圧力による応力、及び真空破壊装置に作用する荷重による応力を考慮する。

(1) 圧力による応力

「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力の計算式を以下に示す。

周方向応力

$$\sigma_t = \frac{P_{SAD} \cdot D_1}{2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.1)$$



軸方向応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{P_{SAD} \cdot D_1}{4 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.2)$$

## (2) 真空破壊装置に作用する荷重による応力

真空破壊装置に作用する荷重による応力は、「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重W及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度（ $C_H$ 、 $C_V$ ）を用いて、以下の計算式で計算する。なお、水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

## a. 死荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (5.4.3)$$

ここで、

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \{(D_1 + 2 \cdot t_1)^2 - D_1^2\} \dots\dots\dots (5.4.4)$$

曲げ応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{W \cdot \ell}{Z} \dots\dots\dots (5.4.5)$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\{(D_1 + 2 \cdot t_1)^4 - D_1^4\}}{(D_1 + 2 \cdot t_1)} \dots\dots\dots (5.4.6)$$

## b. 水平地震荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_H}{A} \dots\dots\dots (5.4.7)$$

軸方向応力

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{W \cdot C_H}{A} \dots\dots\dots (5.4.8)$$

曲げ応力

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{W \cdot \ell \cdot C_H}{Z} \dots\dots\dots (5.4.9)$$

## c. 鉛直地震荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_V}{A} \dots\dots\dots (5.4.10)$$

曲げ応力

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{W \cdot \ell \cdot C_V}{Z} \dots\dots\dots (5.4.11)$$

#### 5.4.1.2 スリーブとベント管との結合部（応力評価点 P2）の計算方法

応力評価点 P2 の応力は，評価圧力による応力，ベント管に作用する荷重による応力，及び真空破壊装置に作用する荷重による応力を考慮する。

##### (1) 圧力による応力

「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力の計算方法は，VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

##### (2) ベント管に作用する荷重による応力

応力計算方法は，VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。なお，水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は，動的地震力については S R S 法により，静的地震力については絶対値和により組み合わせる。

##### (3) 真空破壊装置に作用する荷重による応力

応力計算方法は，「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重  $W$ ，真空破壊装置の寸法及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度 ( $C_H$ ， $C_V$ ) を考慮する。応力評価点 P2 に作用する荷重を表 5-9 に示し，真空破壊装置に作用する荷重による応力の計算モデルを図 5-2 に示す。なお，水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は，絶対値和により組み合わせる。

表 5-9 応力評価点 P2 に作用する荷重

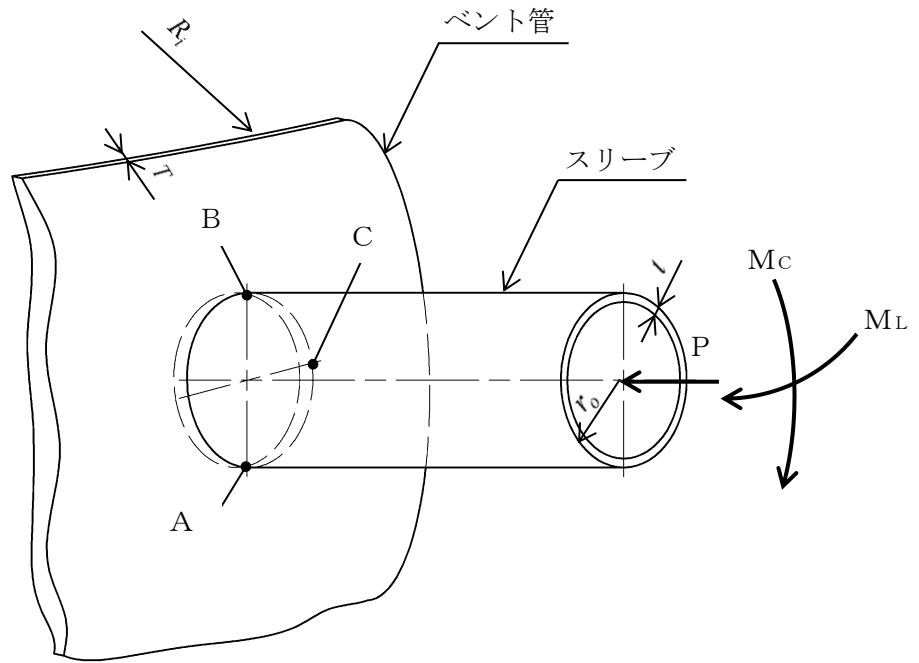
荷重の種類*	死荷重	地震荷重
P	—	$W \cdot C_H$
$M_L$	—	$W \cdot l \cdot C_H$
$M_C$	$W \cdot l$	$W \cdot l \cdot C_V$

注記\*：図 5-2 に示す荷重の記号による。

単位荷重により真空破壊装置のスリーブとベント管との結合部に生じる応力を，引用文献(1)に基づき計算するものとし，以下に計算方法を示す。

真空破壊装置に作用する荷重による応力は，表 5-9 に示す荷重と，以下に示す単位荷重による応力により算出する。

なお，ここで使用する記号はすべて引用文献(1)に従う。



項目	記号	単位	値, 計算式
ベント管内半径	$R_i$	mm	
スリーブ外半径	$r_o$	mm	
ベント管厚さ	$T$	mm	
スリーブ厚さ	$t$	mm	
シェルパラメータ	$R_m$	mm	$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \square$
	$\gamma$	—	$\gamma = \frac{R_m}{T} = \square$
アタッチメントパラメータ	$\beta$	—	$\beta = \frac{0.875 \cdot r_o}{R_m} = \square$

図 5-2 真空破壊装置に作用する荷重による応力の計算モデル

単位軸方向荷重Pによりに生じる応力を表5-10に示す。

$$P = 1.000 \times 10^4 \text{ N}$$

表5-10 単位軸方向荷重Pにより生じる応力

方向	応力評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

S2 補 VI-2-9-4-1 R0

単位モーメントMcにより生じる応力を表5-11に示す。

$$M_c = 1.000 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表5-11 単位モーメントMcにより生じる応力

方向	応力 評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

単位モーメント $M_L$ により生じる応力を表 5-12 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-12 単位モーメント $M_L$ により生じる応力

方向	応力 評価点	図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

#### 5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

#### 5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が表 5-3 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 $S_m$ は  $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

#### (2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-2 に示す。

表 6-1 許容応力状態ⅢA Sに対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S d\*) (その1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
真空破壊装置	P1-A	スリーブ	一次一般膜応力	11	229	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	344	○	
			一次+二次応力	10	458	○	
	P1-B	スリーブ	一次一般膜応力	12	229	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	344	○	
			一次+二次応力	10	458	○	
	P1-C	スリーブ	一次一般膜応力	11	229	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	344	○	
			一次+二次応力	10	458	○	

表 6-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>d</sub>\*) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
真空破壊装置	P2-A	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	310	344	○	
			一次+二次応力	600	458	×*	
			疲労評価	0.776	1.0	○	単位なし
	P2-B	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	312	344	○	
			一次+二次応力	600	458	×*	
			疲労評価	0.776	1.0	○	単位なし
	P2-C	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	315	344	○	
			一次+二次応力	584	458	×*	
			疲労評価	0.673	1.0	○	単位なし

注記\* : P2-A, P2-B, 及び P2-C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する疲労評価結果

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> '* (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P2-A	600							0.776
P2-B	600							0.776
P2-C	584							0.673

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に (2.07×10<sup>5</sup>/E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$



## 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

### (2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-4 に示す。

表 6-3 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>S</sub>) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
真空破壊装置	P1-A	スリーブ	一次一般膜応力	11	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	379	○	
			一次+二次応力	10	452	○	
	P1-B	スリーブ	一次一般膜応力	12	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	379	○	
			一次+二次応力	10	452	○	
	P1-C	スリーブ	一次一般膜応力	11	253	○	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	379	○	
			一次+二次応力	10	452	○	

表 6-3 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>S</sub>) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
真空破壊装置	P2-A	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	310	379	○	
			一次+二次応力	600	452	×*	
			疲労評価	0.410	1.0	○	単位なし
	P2-B	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	312	379	○	
			一次+二次応力	600	452	×*	
			疲労評価	0.410	1.0	○	単位なし
	P2-C	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	315	379	○	
			一次+二次応力	584	452	×*	
			疲労評価	0.358	1.0	○	単位なし

注記\* : P2-A, P2-B, 及び P2-C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-4 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> ' * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P2-A	600							0.410
P2-B	600							0.410
P2-C	584							0.358

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に (2.07×10<sup>5</sup>/E) を乗じた値である。

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$

7. 引用文献

- (1) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

## VI-2-9-4-2 ダウンカマの耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.3 固有周期	15
4.4 設計用地震力	15
4.5 計算方法	22
4.6 計算条件	23
4.7 応力の評価	23
5. 評価結果	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30
6. 参照図書	34

## 図 表 目 次

図 2-1	ダウンカマの耐震評価フロー	3
図 3-1	ダウンカマの形状及び主要寸法	6
図 4-1	ダウンカマの応力評価点	22
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	5
表 3-1	使用材料表	6
表 4-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	8
表 4-2	荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）	9
表 4-3	クラス 2 管及び重大事故等クラス 2 管の許容応力	10
表 4-4	クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 容器の許容応力	11
表 4-5	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	12
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）	12
表 4-7	ダウンカマに加わる死荷重（設計基準対象施設）	13
表 4-8	ダウンカマに加わる死荷重（重大事故等対処設備）	14
表 4-9(1)	設計用地震力（設計基準対象施設）（ベントヘッド端部対称条件）	16
表 4-9(2)	設計用地震力（設計基準対象施設）（ベントヘッド端部反対称条件）	17
表 4-10	ダウンカマに作用する地震荷重（設計基準対象施設）	18
表 4-11(1)	設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部対称条件）	19
表 4-11(2)	設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部反対称条件）	20
表 4-12	ダウンカマに作用する地震荷重（重大事故等対処設備）	21
表 4-13	応力評価点	22
表 5-1	許容応力状態Ⅲ <sub>A S</sub> に対する評価結果（ $D + P_D + M_D + S_{d^*}$ ）	25
表 5-2	許容応力状態Ⅳ <sub>A S</sub> に対する評価結果（ $D + P_D + M_D + S_s$ ）	27
表 5-3	許容応力状態Ⅲ <sub>A S</sub> に対する疲労評価結果	29
表 5-4	許容応力状態Ⅳ <sub>A S</sub> に対する疲労評価結果	29
表 5-5	許容応力状態Ⅴ <sub>A S</sub> に対する評価結果（ $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ ）	31
表 5-6	許容応力状態Ⅴ <sub>A S</sub> に対する疲労評価結果	33

## 1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ダウンカマが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

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

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるダウンカマの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

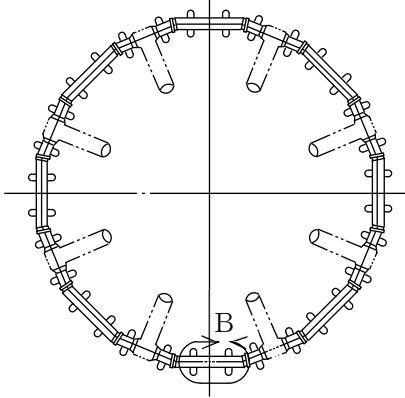
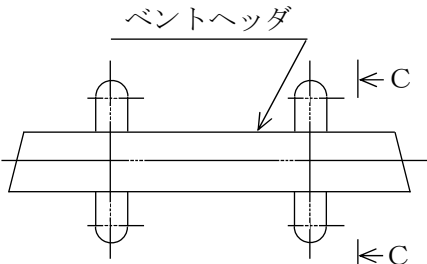
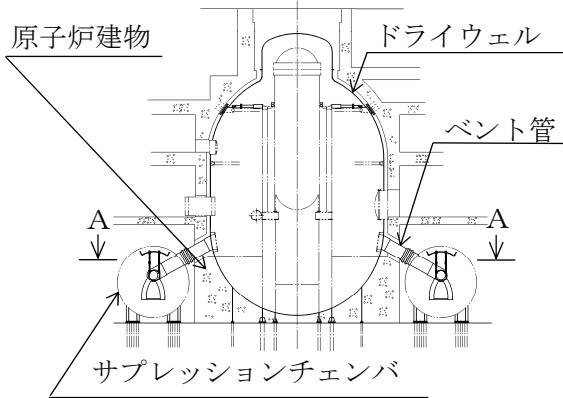
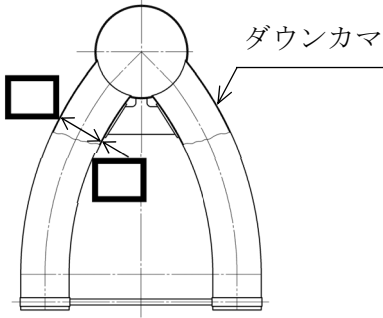
## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ダウンカマの構造計画を表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>ダウンカマは、サプレッションチェンバ内に設置され、ベントヘッド及びベント管を介してドライウエルに支持される。</p> <p>ダウンカマの水平方向荷重及び鉛直方向荷重は、ベントヘッド、ベント管及びドライウエルを介して原子炉建物に伝達される。</p>	<p>ダウンカマは内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm の管形の鋼製構造物であり、ベントヘッドに接続する。</p>	 <p>A-A矢視</p>  <p>B部詳細図</p>  <p>原子炉建物 ドライウエル ベント管 サプレッションチェンバ</p>  <p>ダウンカマ</p> <p>C-C矢視</p> <p>(単位: mm)</p>	

## 2.2 評価方針

ダウンカマの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すダウンカマの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ダウンカマの耐震評価フローを図2-1に示す。

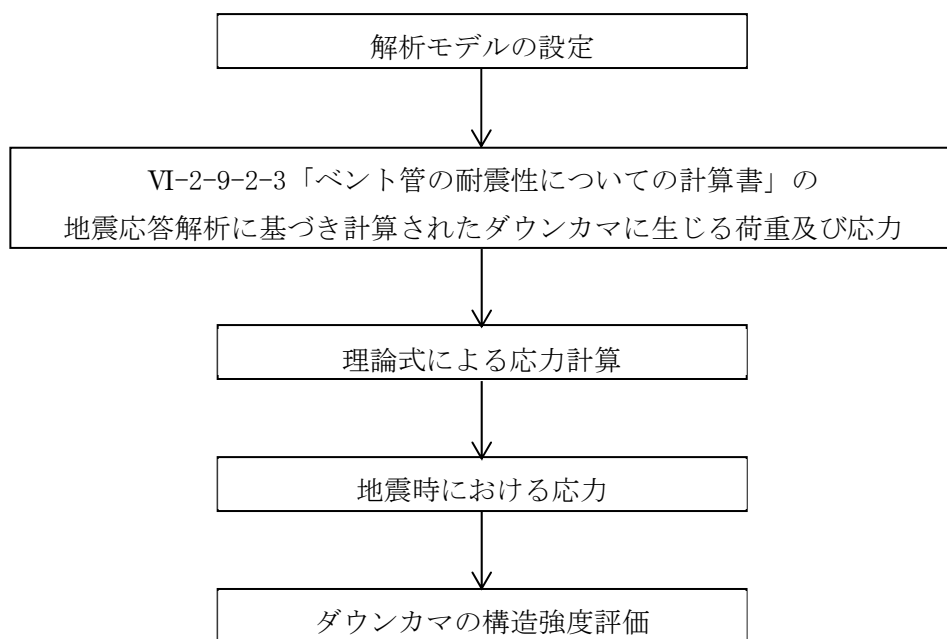


図2-1 ダウンカマの耐震評価フロー

## 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

## 2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C <sub>i</sub>	地震層せん断力係数	—
C <sub>v</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>i</sub>	ダウンカマの内径	mm
D <sub>o</sub>	ダウンカマの外径	mm
d <sub>i</sub>	ベントヘッドの内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K <sub>e</sub>	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
M	モーメント	N・mm
M <sub>c</sub>	モーメント (ベントヘッド周方向)	—
M <sub>L</sub>	モーメント (ベントヘッド軸方向)	—
N <sub>a</sub>	地震時の許容繰返し回数	—
N <sub>c</sub>	地震時の実際の繰返し回数	—
P	軸方向荷重	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S <sub>ℓ</sub>	繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>ℓ'</sub>	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S <sub>m</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S <sub>n</sub>	地震動による応力振幅	MPa
S <sub>p</sub>	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (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 <sub>SAL</sub>	温度 (SA後長期温度)	°C
T <sub>SALL</sub>	温度 (SA後長々期温度)	°C
t <sub>1</sub>	ダウンカマの厚さ	mm
t <sub>2</sub>	ベントヘッドの厚さ	mm

## 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
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁	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 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
疲労累積係数	—	小数点以下第4位	切上げ	小数点以下第3位

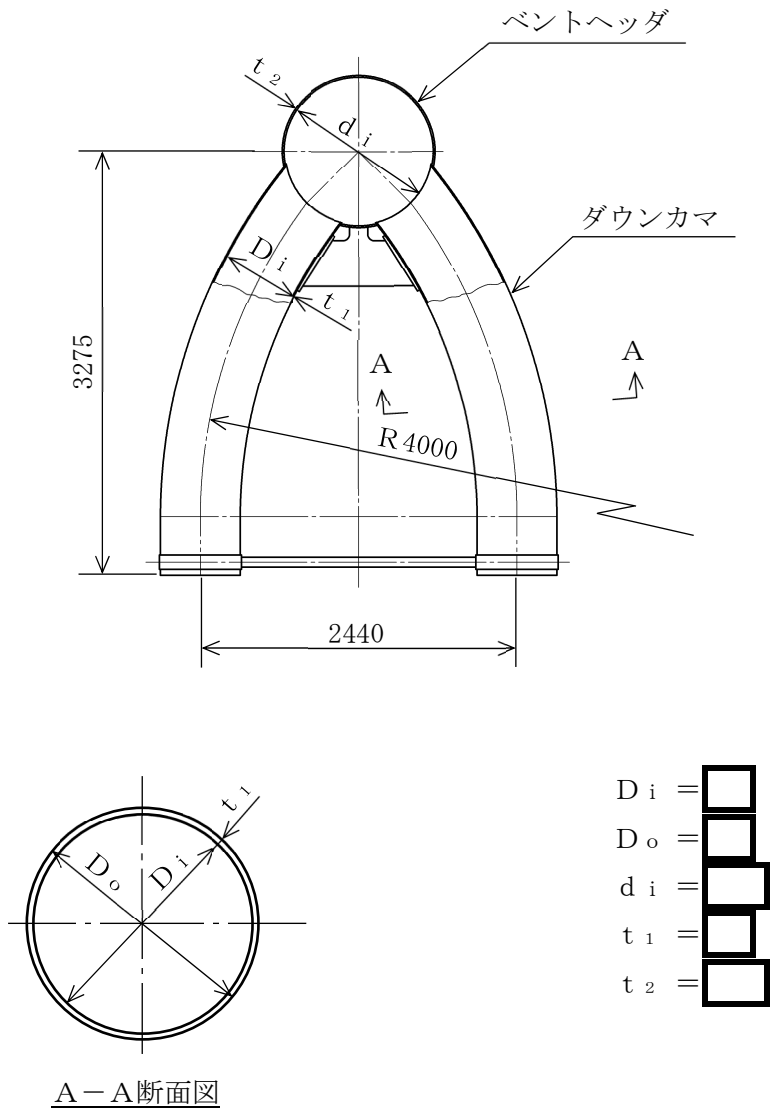
注記\*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

\*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

ダウンカマの形状及び主要寸法を図3-1に、評価部位及び使用材料を表3-1に示す。



(単位：mm)

図3-1 ダウンカマの形状及び主要寸法

表3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ダウンカマ	SGV49	SGV480 相当
ベントヘッド	SGV49	SGV480 相当

#### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

##### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ダウンカマは、ベントヘッド及びベント管を介してドライウエルに支持された構造であり、ダウンカマの水平方向荷重及び鉛直方向荷重は、ベントヘッド、ベント管及びドライウエルを介して原子炉建物に伝達される。

ダウンカマの耐震評価として、VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの地震応答解析で計算された、ダウンカマに作用する荷重及び応力を用いて、「4.5 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

ダウンカマの耐震評価は、「4.5.1 応力評価点」に示すように、ダウンカマ（応力評価点 P 1）及びベントヘッドとダウンカマの結合部（応力評価点 P 2）を評価部位とすることから、ダウンカマ及びベントヘッドの荷重の組合せ及び許容応力について以下に示す。

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ダウンカマ及びベントヘッドの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

###### 4.2.2 許容応力

ダウンカマ及びベントヘッドの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ダウンカマ及びベントヘッドの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ダウンカマ*2	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	(10)	Ⅲ <sub>A</sub> S
						(11) *3	
						(14)	
						(16)	
						(17)	
					$D + P_D + M_D + S_s$	(12)	Ⅳ <sub>A</sub> S
						(13) *3	
						(15)	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベントヘッド*4	S	クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_d^*$	(10)	Ⅲ <sub>A</sub> S
						(11) *3	
						(14)	
						(16)	
						(17)	
					$D + P_D + M_D + S_s$	(12)	Ⅳ <sub>A</sub> S
						(13) *3	
						(15)	

注記\*1：( ) 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

\*2：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P1の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。

\*3：運転状態Iによる燃料交換時の活荷重は、ダウンカマに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

\*4：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P2の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2, *3		許容応力状態*4
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ダウンコマ*5	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *6	(V (L) -1)	V <sub>AS</sub>
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ *7	(V (LL) -1)	V <sub>AS</sub>
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベントヘッダ*8	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *6	(V (L) -1)	V <sub>AS</sub>
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ *7	(V (LL) -1)	V <sub>AS</sub>

- 6 注記\*1：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
- \*2：( ) 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。
- \*3：ダウンコマは重大事故等クラス2管（クラス2管）及びベントヘッダは重大事故等クラス2容器（クラス2容器）であるが，重大事故等時の原子炉格納容器に生じる水力的動荷重を考慮した原子炉格納容器の機能維持を確認する目的で，重大事故等クラス2容器（クラスMC容器）に準じた荷重の組合せを適用する。
- \*4：V<sub>AS</sub>としてIV<sub>AS</sub>の許容限界を用いる。
- \*5：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P1の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。
- \*6：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。
- \*7：ダウンコマ及びベントヘッダに対しては，表4-1の荷重の組合せ $D + P_D + M_D + S_s$ に包絡されるため，評価しない。
- \*8：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P2の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。



表4-3 クラス2管及び重大事故等クラス2管の許容応力\*1

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	*2 S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2・Sのうち大きい方とする。	S <sub>y</sub> ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2・Sのうち大きい方とする。	*3 S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の1.5倍の値		
V <sub>A</sub> S*4				

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

\*2：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sの一次一般膜応力の許容値の0.8倍の値とする。

\*3：2・S<sub>y</sub>を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5)（ただし、S<sub>m</sub>は2/3・S<sub>y</sub>と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

\*4：V<sub>A</sub>SとしてⅣ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

表4-4 クラス2容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力\*1

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の1.5倍の値		
V <sub>A</sub> S*3				

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

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

\*3：V<sub>A</sub>SとしてⅣ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ダウンコマ	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—
ベントヘッダ	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—

注記\* : SGV480 相当

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ダウンコマ	SGV49* <sup>1</sup>	周囲環境温度	200* <sup>2</sup>	—	226	422	—
		周囲環境温度	70* <sup>3</sup>	—	248	453	—
ベントヘッダ	SGV49* <sup>1</sup>	周囲環境温度	200* <sup>2</sup>	—	226	422	—
		周囲環境温度	70* <sup>3</sup>	—	248	453	—

注記\*1 : SGV480 相当

\*2 : S A後長期温度

\*3 : S A後長々期温度

## 4.2.4 設計荷重

## (1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

## a. 圧力及び最高使用温度

内圧	427kPa
温度（最高使用温度）	171℃

## b. 死荷重

ダウンカメラ及びベントヘッダの自重を死荷重とする。ダウンカメラに加わる死荷重を表4-7に示す。

表4-7 ダウンカメラに加わる死荷重（設計基準対象施設）

軸方向荷重 P* (N)	モーメント M* (N・mm)
□	□

注記\*：作用方向は，図4-1参照のこと。なお，モーメントMについては，Mc方向及びML方向を二乗和平方根としている。

## c. サプレッションチェンバ水位

設計基準対象施設の評価における水位は，H. W. L. (EL □ mm) に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位 EL □ mm

## (2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度，死荷重及び水力学の動荷重は，以下のとおりとする。

## a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」により，以下のとおりとする。

内圧 $P_{SAL}$	660kPa (SA後長期)
内圧 $P_{SALL}$	380kPa (SA後長々期)
温度 $T_{SAL}$	200°C (SA後長期)
温度 $T_{SALL}$	70°C (SA後長々期)

## b. 死荷重

ダウンカマ及びベントヘッダの自重を死荷重とする。ダウンカマに加わる死荷重を表4-8に示す。

表4-8 ダウンカマに加わる死荷重 (重大事故等対処設備)

軸方向荷重 $P^*$ (N)	モーメント $M^*$ (N・mm)
□	□

注記\*：作用方向は，図4-1参照のこと。なお，モーメント  $M$  については， $M_C$  方向及び  $M_L$  方向を二乗和平方根としている。

## c. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備の評価における水位は，以下のとおりとする。

水位 EL □ mm

## d. 水力学の動荷重 (チャギング荷重)

ダウンカマに対して，低流量蒸気が凝縮する際には，参照図書(1)に示すチャギング荷重 (横方向荷重) が作用する。荷重は下記のとおりとする。

最大値 □ N

#### 4.3 固有周期

ダウンカマは、VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの固有周期に基づく地震応答解析で計算した荷重及び応力を用いて評価をするため、本計算書ではダウンカマの固有周期の計算は実施しない。

#### 4.4 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9～表 4-12 に示す。

「弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度」及び「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

##### (1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

設計基準対象施設としてダウンカマの応力計算に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。また、ダウンカマに作用する地震荷重を表 4-10 に示す。

##### (2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

重大事故等対処設備としてダウンカマの応力計算に用いる設計用地震力を表 4-11 に示す。また、ダウンカマに作用する地震荷重を表 4-12 に示す。

表 4-9(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>					
減衰定数(%)		水平 : 1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次			—	—		—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的地震力* <sup>4</sup>		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	—	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	—	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>
静的地震力* <sup>5</sup>		<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	—	<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>	—	—	—

注記\*1 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

\*5 : 静的震度 (3.6・C<sub>i</sub>及び1.2・C<sub>v</sub>) を上回る設計震度を示す。

表 4-9(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>					
減衰定数(%)		水平 : 1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次		—		—	—		—
6次		—		—	—		—
12次		—		—	—		—
13次		—		—	—		—
19次		—		—	—		—
20次		—		—	—		—
22次		—		—	—		—
24次		—		—	—		—
25次		—		—	—		—
33次		—		—	—		—
35次		—		—	—		—
38次		—		—	—		—
44次		—		—	—		—
47次		—		—	—		—
51次		—		—	—		—
動的地震力* <sup>4</sup>		—		—	—		—
静的地震力* <sup>5</sup>		—		—	—	—	—

注記\*1 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

\*5 : 静的震度 (3.6・C<sub>i</sub>及び1.2・C<sub>v</sub>) を上回る設計震度を示す。



表 4-10 ダウンカムに作用する地震荷重（設計基準対象施設）

方向	地震荷重	軸方向荷重 P* (N)	モーメント M* (N・mm)
水平方向	地震荷重 S <sub>d</sub> * 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S <sub>s</sub> 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
鉛直方向	地震荷重 S <sub>d</sub> * 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S <sub>s</sub> 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：作用方向は、図 4-1 参照のこと。なお、モーメント M については、M<sub>c</sub> 方向及び M<sub>L</sub> 方向を二乗和平方根としている。

表 4-11(1) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部対称条件）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/>					
減衰定数(%)		水平：1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
8次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
12次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
14次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
20次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
23次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
26次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
27次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
29次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
35次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
36次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
37次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
43次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
47次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
52次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
動的地震力* <sup>4</sup>		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注記\*1：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 4-11(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部反対称条件）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span>					
減衰定数(%)		水平：1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次		—		—	—		—
6次		—		—	—		—
12次		—		—	—		—
13次		—		—	—		—
19次		—		—	—		—
20次		—		—	—		—
22次		—		—	—		—
24次		—		—	—		—
25次		—		—	—		—
33次		—		—	—		—
35次		—		—	—		—
38次		—		—	—		—
44次		—		—	—		—
47次		—		—	—		—
51次		—		—	—		—
動的地震力* <sup>4</sup>		—	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span>	—	—	<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 20px; height: 10px;"></span>	—

注記\*1：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 4-12 ダウンカメラに作用する地震荷重（重大事故等対処設備）

方向	地震荷重	軸方向荷重 P* (N)	モーメント M* (N・mm)
水平方向	地震荷重 S <sub>d</sub> 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S <sub>s</sub> 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
鉛直方向	地震荷重 S <sub>d</sub> 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S <sub>s</sub> 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：作用方向は、図 4-1 参照のこと。なお、モーメント M については、M<sub>c</sub> 方向及び M<sub>L</sub> 方向を二乗和平方根としている。

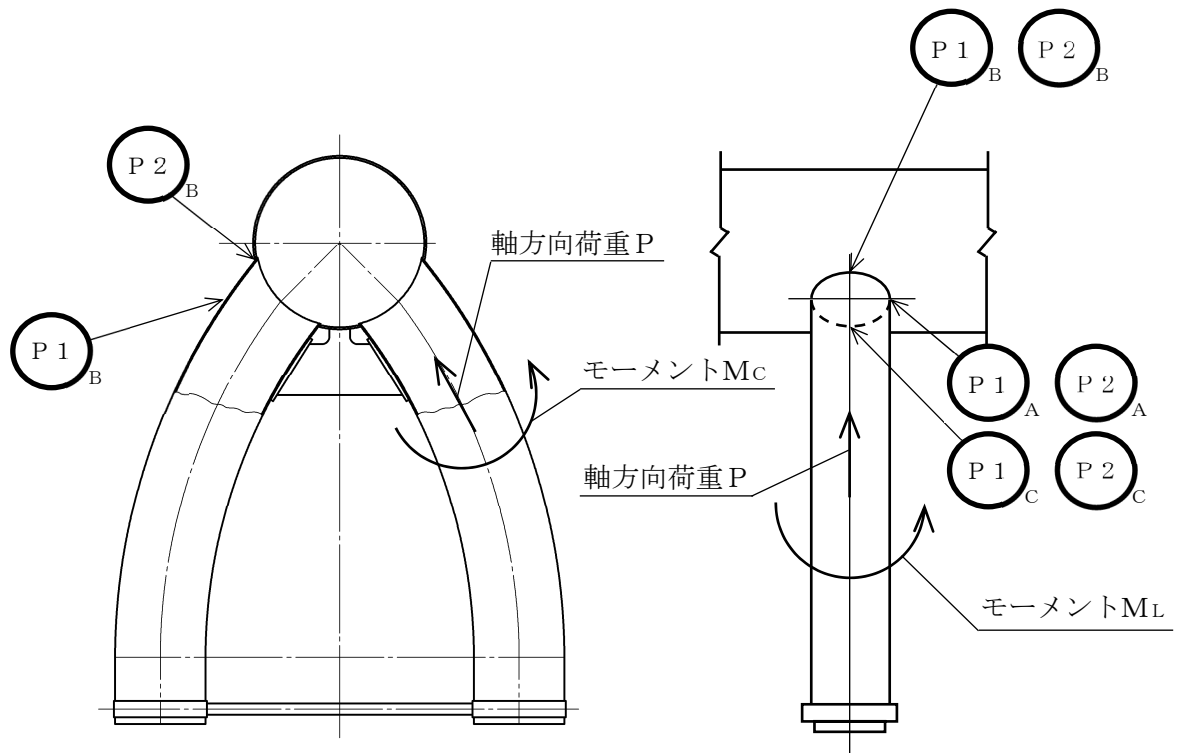
#### 4.5 計算方法

##### 4.5.1 応力評価点

ダウンカマの応力評価点は、ダウンカマを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-13 及び図 4-1 に示す。

表 4-13 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ダウンカマ (P 1-A~P 1-C)
P 2	ベントヘッダとダウンカマの結合部 (P 2-A~P 2-C)



P 2 は、ベントヘッダ側を示す。

図 4-1 ダウンカマの応力評価点

#### 4.5.2 応力の計算方法

ダウンカマの応力計算方法について、以下に示す。

##### (1) 設計基準対象施設としての応力計算

###### a. ダウンカマ（応力評価点P 1）に生じる応力

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

###### b. ベントヘッダとダウンカマの結合部（応力評価点P 2）に生じる応力

各荷重による応力は、VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにてベントヘッダとダウンカマの結合部に生じる応力を算出する。また、水力学的動荷重による応力は、参照図書(1)に示す応力を用いる。

##### (2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

#### 4.6 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4 設計用地震力」に示す。

#### 4.7 応力の評価

「4.5 計算方法」で求めた応力が表 4-3 及び表 4-4 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5)（ただし、 $S_m$ は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）、又はPVB-3300（PVB-3313を除く。 $S_m$ は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

#### (2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>d</sub>\*) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 1 - A	ダウンカマ	一次一般膜応力	94	229	○	(10)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	94	229	○	(10)	
			一次+二次応力	168	458	○	(10)	
	P 1 - B	ダウンカマ	一次一般膜応力	94	229	○	(10)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	94	229	○	(10)	
			一次+二次応力	168	458	○	(10)	
	P 1 - C	ダウンカマ	一次一般膜応力	91	229	○	(10)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	91	229	○	(10)	
			一次+二次応力	164	458	○	(10)	



表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>d</sub>\*) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 2 - A	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	254	344	○	(10)	
			一次＋二次応力	626	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.364	1.0	○		単位なし
	P 2 - B	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	285	344	○	(10)	
			一次＋二次応力	790	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.993	1.0	○		単位なし
	P 2 - C	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	267	344	○	(10)	
			一次＋二次応力	728	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.709	1.0	○		単位なし

注記\* : P 2 - A, P 2 - B及びP 2 - Cの一次＋二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>s</sub>) (その1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P1-A	ダウンカマ	一次一般膜応力	101	253	○	(12)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	101	380	○	(12)	
			一次+二次応力	182	458	○	(12)	
	P1-B	ダウンカマ	一次一般膜応力	101	253	○	(12)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	101	380	○	(12)	
			一次+二次応力	182	458	○	(12)	
	P1-C	ダウンカマ	一次一般膜応力	98	253	○	(12)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	98	380	○	(12)	
			一次+二次応力	178	458	○	(12)	

表 5-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>s</sub>) (その2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P2-A	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	255	380	○	(12)	
			一次+二次応力	748	458	×*	(12)	
			疲労評価	0.397	1.0	○		単位なし
	P2-B	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	291	380	○	(12)	
			一次+二次応力	884	458	×*	(12)	
			疲労評価	0.771	1.0	○		単位なし
	P2-C	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	268	380	○	(12)	
			一次+二次応力	742	458	×*	(12)	
			疲労評価	0.383	1.0	○		単位なし

注記\* : P2-A, P2-B及びP2-Cの一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-3 許容応力状態ⅢA Sに対する疲労評価結果

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ'</sub> * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P 2 - A	626							0.364
P 2 - B	790							0.993
P 2 - C	728							0.709

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に (2.07×10<sup>5</sup>/E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-4 許容応力状態ⅣA Sに対する疲労評価結果

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ'</sub> * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P 2 - A	748							0.397
P 2 - B	884							0.771
P 2 - C	742							0.383

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に (2.07×10<sup>5</sup>/E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

## 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-5 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

### (2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-6 に示す。

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P<sub>SAL</sub> + M<sub>SAL</sub> + S<sub>d</sub>) (その 1)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 1 - A	ダウンカマ	一次一般膜応力	117	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	117	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	168	452	○	V (L) -1	
	P 1 - B	ダウンカマ	一次一般膜応力	105	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	105	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	168	452	○	V (L) -1	
	P 1 - C	ダウンカマ	一次一般膜応力	103	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	103	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	164	452	○	V (L) -1	

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P<sub>SAL</sub> + M<sub>SAL</sub> + S<sub>d</sub>) (その 2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 2 - A	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力 + 一次曲げ応力	356	379	○	V (L) -1	
			一次 + 二次応力	626	452	×*	V (L) -1	
			疲労評価	0.192	1.0	○		単位なし
	P 2 - B	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力 + 一次曲げ応力	372	379	○	V (L) -1	
			一次 + 二次応力	790	452	×*	V (L) -1	
			疲労評価	0.524	1.0	○		単位なし
	P 2 - C	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力 + 一次曲げ応力	369	379	○	V (L) -1	
			一次 + 二次応力	728	452	×*	V (L) -1	
			疲労評価	0.375	1.0	○		単位なし

注記\* : P 2 - A, P 2 - B 及び P 2 - C の一次 + 二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-6 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ'</sub> * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
P 2 - A	626							0.192
P 2 - B	790							0.524
P 2 - C	728							0.375

注記\* : S<sub>ℓ</sub>に  $(2.07 \times 10^5 / E)$  を乗じた値である。

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$



6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書  
IV-3-5-17 「ダウンカマの強度計算書」

### VI-2-9-4-3 ベントヘッドの耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.3 解析モデル及び諸元	19
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	25
4.7 計算条件	27
4.8 応力の評価	27
5. 評価結果	28
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	31
6. 参照図書	34

## 図 表 目 次

図 2-1	ベントヘッダの耐震評価フロー	3
図 3-1	ベントヘッダの形状及び主要寸法	7
図 3-2	ベントヘッダサポートの形状及び主要寸法	8
図 4-1	ベントヘッダの応力評価点	26
表 2-1	構造計画	2
表 2-2	表示する数値の丸め方	6
表 3-1	使用材料表	9
表 4-1	荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）	11
表 4-2	荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）	12
表 4-3	許容応力（クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 容器）	13
表 4-4	許容応力（ベントヘッダサポート，ボルト及びサプレッションチェンバ 補強リング）	14
表 4-5	使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）	15
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）	16
表 4-7	ベントヘッダサポート反力（設計基準対象施設）	18
表 4-8	ベントヘッダサポート反力（重大事故等対処設備）	18
表 4-9(1)	設計用地震力（設計基準対象施設）（ベントヘッダ端部対称条件）	21
表 4-9(2)	設計用地震力（設計基準対象施設）（ベントヘッダ端部反対称条件）	22
表 4-10(1)	設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッダ端部対称条件）	23
表 4-10(2)	設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッダ端部反対称条件）	24
表 4-11	応力評価点	25
表 5-1	許容応力状態Ⅲ <sub>A S</sub> に対する評価結果（ $D + P_D + M_D + S_d^*$ ）	29
表 5-2	許容応力状態Ⅴ <sub>A S</sub> に対する評価結果（ $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ ）	32

## 1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ベントヘッドが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

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

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるベントヘッドの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ベントヘッドの構造計画を表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>ベントヘッダは、サプレッションチェンバ内に設置され、ベント管を介してドライウエルに支持される。ベントヘッダサポートは、ピン接合によりサプレッションチェンバ補強リングに支持される。</p> <p>ベントヘッダの水平方向及び鉛直方向地震荷重はドライウエルを介して原子炉建物に伝達される。</p>	<p>ベントヘッダは、内径 <input type="text"/> mm、板厚 <input type="text"/> mm の鋼製円筒構造物を円環形に 16 本接合した構造物である。各接合部近傍にベントヘッダサポートを備える。</p>	<p style="text-align: right;">(単位: mm)</p>

## 2.2 評価方針

ベントヘッダの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すベントヘッダの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ベントヘッダの耐震評価フローを図2-1に示す。

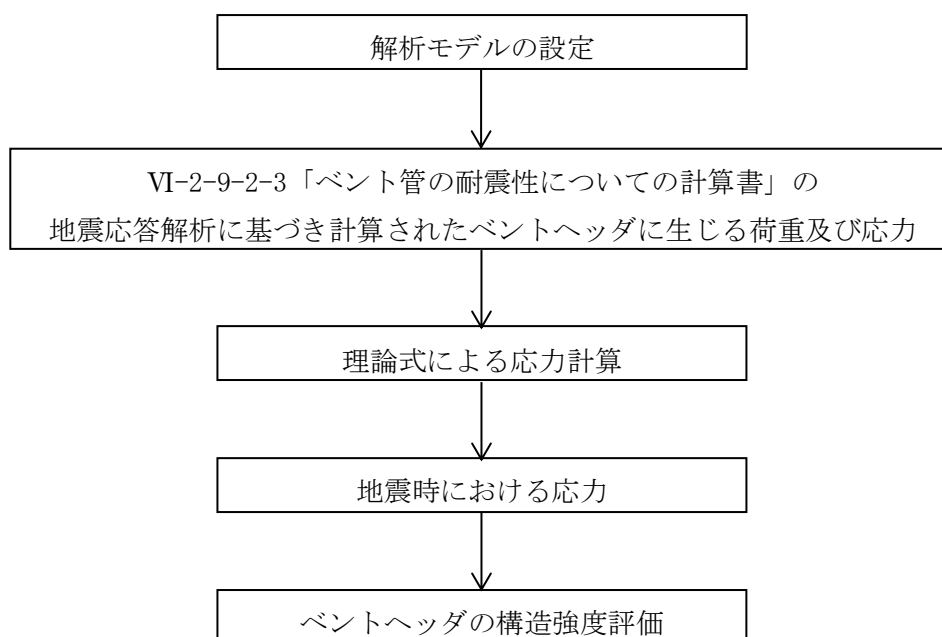


図2-1 ベントヘッダの耐震評価フロー

### 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
$b_1$	ベントヘッドサポート上部取り合い部の長さ	mm
$b_2$	ベントヘッドサポートの幅	mm
$b_3$	ボルト中心からベントヘッドサポート上端までの長さ	mm
$b_4$	ボルト中心からサプレッションチェンバ補強リング下端までの長さ	mm
$C_i$	地震層せん断力係数	—
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$d_1$	ベントヘッドサポート管部の外径	mm
$d_2$	ボルトの直径	mm
$d_3$	ボルト穴の直径	mm
$D_i$	ベントヘッドの内径	mm
$D_o$	ベントヘッドの外径	mm
$l$	ベントヘッドサポートの長さ	mm
$L$	ベントヘッド円環形の直径	mm
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
$S_m$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
$t_1$	ベントヘッドの厚さ	mm
$t_2$	ベントヘッドサポートの厚さ	mm
$t_3$	ベントヘッドサポート管部の厚さ	mm
$t_4$	サプレッションチェンバ補強リングの厚さ	mm
$t_5$	サプレッションチェンバ補強リングに取り付く補強パッドの厚さ	mm
$T_{SAD}$	温度 (SA後温度)	°C

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

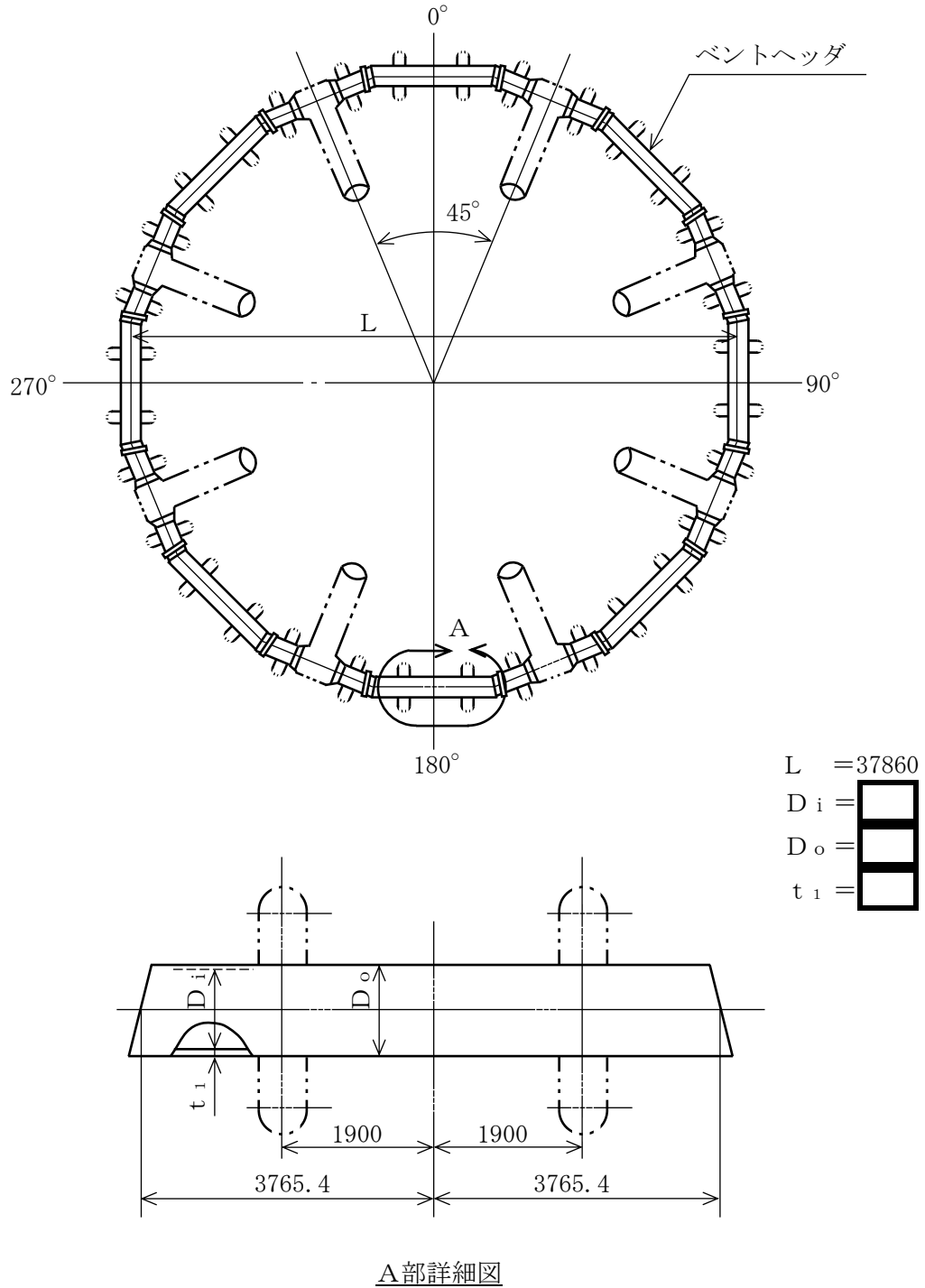
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*2</sup>	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

\*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

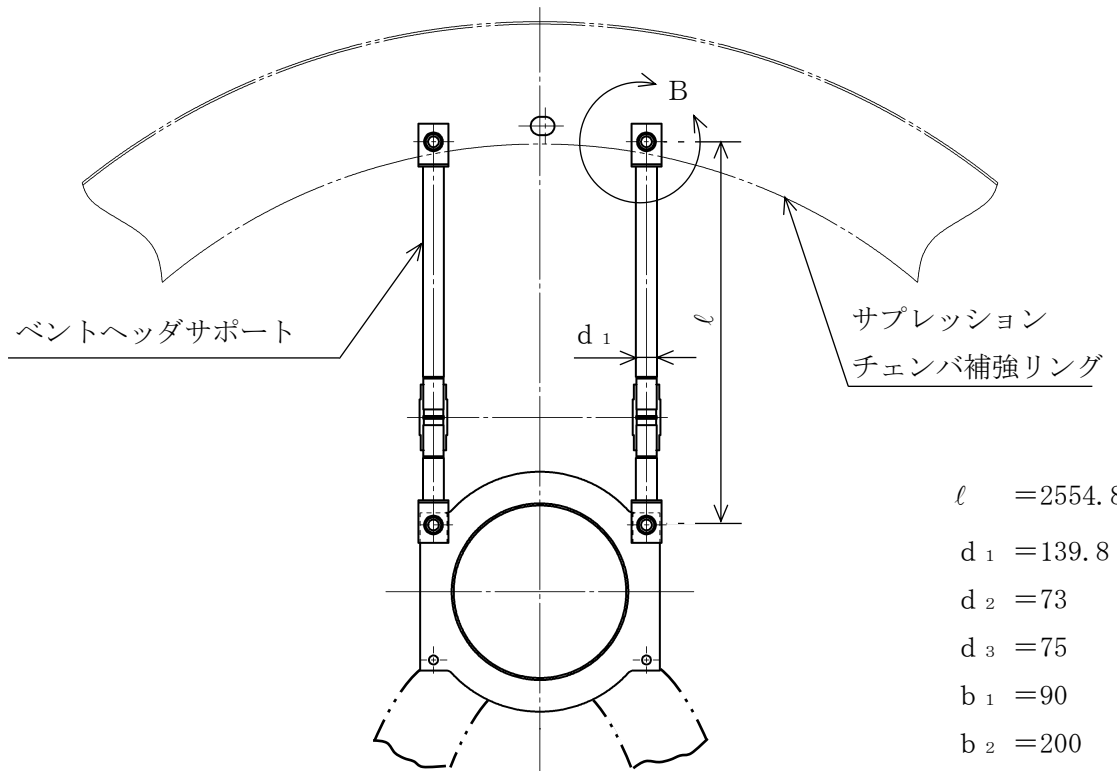
3. 評価部位

ベントヘッド及びベントヘッドサポートの形状及び主要寸法を図 3-1 及び図 3-2 に，使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。



(単位：mm)

図 3-1 ベントヘッドの形状及び主要寸法



$$l = 2554.8$$

$$d_1 = 139.8$$

$$d_2 = 73$$

$$d_3 = 75$$

$$b_1 = 90$$

$$b_2 = 200$$

$$b_3 = 120$$

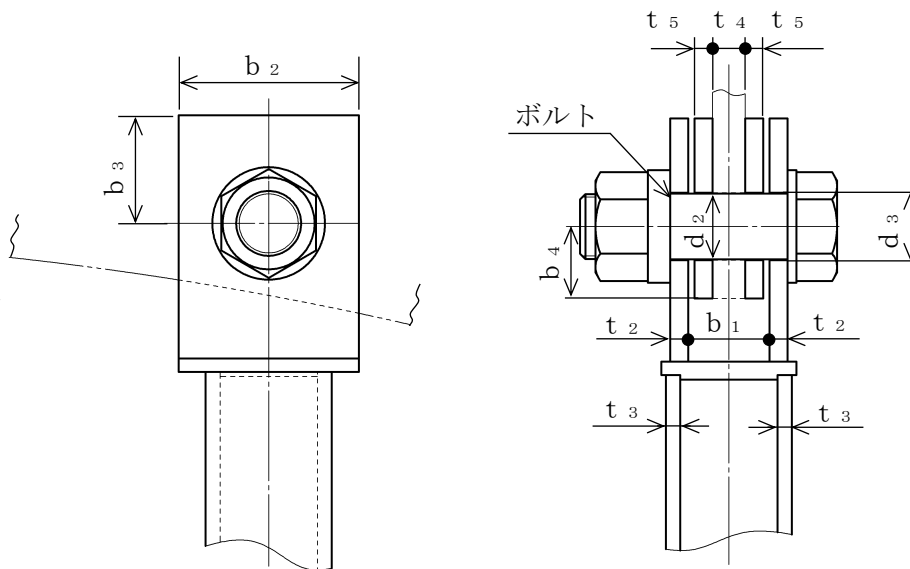
$$b_4 = 80$$

$$t_2 = 20$$

$$t_3 = 15.9$$

$$t_4 = 36$$

$$t_5 = 20$$



B部詳細図

(単位：mm)

図 3-2 ベントヘッドサポートの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ベントヘッド	SGV49	SGV480 相当
ベントヘッドサポート	STS480	
ボルト	SNCM439	
サプレッションチェンバ補強リング	SGV49	SGV480 相当

#### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

##### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ベントヘッダは、サブプレッションチェンバ内に設置され、ベント管を介してドライウェルに支持される構造である。ベントヘッダの水平方向及び鉛直方向地震荷重はドライウェルを介して原子炉建物に伝達される。

ベントヘッダの耐震評価として、VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッダ及びダウンカマの地震応答解析で計算された、ベントヘッダに作用する荷重及び応力を用いて、「4.6 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、S R S S法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

###### 4.2.2 許容応力

ベントヘッダの許容応力はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3及び表4-4に示すとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ベントヘッダの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分 <sup>*1</sup>	荷重の組合せ <sup>*2</sup>		許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベントヘッダ	S	クラス2 容器	D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>d</sub> <sup>*</sup>	(10)	Ⅲ <sub>A</sub> S
						(11) <sup>*3</sup>	
					D + P <sub>D</sub> + M <sub>D</sub> + S <sub>s</sub> <sup>*4</sup>	(12)	Ⅳ <sub>A</sub> S
						(13) <sup>*3</sup>	
						(14)	
						(16)	
						(17)	
						(15)	

注記\*1：ベントヘッダサポート，ボルト及びサプレッションチェンバ補強リングに対しては，クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

\*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

\*3：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は，ベントヘッダに作用しないことから，荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

\*4：ベントヘッダに対しては，表4-2に記載の荷重の組合せD + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>s</sub>に包絡されるため，評価しない。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分*2	荷重の組合せ*3		許容応力状態*4
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	ベントヘッダ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *5	(V (LL) -1)	V <sub>AS</sub>

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

\*2：ベントヘッダサポート，ボルト及びサプレッションチェンバ補強リングに対しては，重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物）の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

\*3：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

\*4：V<sub>AS</sub>としてIV<sub>AS</sub>の許容限界を用いる。

\*5：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。



表4-3 許容応力\*1 (クラス2容器及び重大事故等クラス2容器)

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2・S <sub>y</sub> のうち大きい方とする。	左欄の 1.5倍の値	*2 S <sub>d</sub> 又はS <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ <sub>A</sub> S		左欄の 1.5倍の値		
V <sub>A</sub> S*3		0.6・S <sub>u</sub>		

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

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

\*3：V<sub>A</sub>SとしてⅣ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

表4-4 許容応力 (ベントヘッドサポート, ボルト及びサプレッションチェンバ補強リング)

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)					許容限界*2 (ボルト等)
	一次応力					一次応力
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>A</sub> S*4						

注記\*1: 鋼構造設計規準 (日本建築学会2005改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

\*2: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

\*3: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

\*4: V<sub>A</sub>SとしてⅣ<sub>A</sub>Sの許容限界を用いる。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ベントヘッド	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—
ベントヘッドサポート	STS480	周囲環境温度	104	—	250	448	—
ボルト	SNCM439	周囲環境温度	104	—	824	902	—
サプレッションチェンバ 補強リング	SGV49*	周囲環境温度	104	—	237	430	—

注記\* : SGV480 相当

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
ベントヘッド	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—
ベントヘッドサポート	STS480	周囲環境温度	200	—	237	423	—
ボルト	SNCM439	周囲環境温度	200	—	754	865	—
サプレッションチェンバ 補強リング	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—

注記\* : SGV480 相当

## 4.2.4 設計荷重

## (1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である、圧力、最高使用温度及び死荷重は、以下のとおりとする。

また、設計基準対象施設としてのベントヘッダサポート反力を表 4-7 に示す。

## a. 圧力及び最高使用温度

内圧 427 kPa

温度（最高使用温度）

ベント系 171 °C

サプレッションチェンバ 104 °C

## b. 死荷重

ベント管、ベントヘッダ、ダウンカマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重  N

## c. サプレッションチェンバ水位

設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバ水位は、H. W. L. (EL  mm) に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位 EL  mm

## (2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である、評価圧力、評価温度及び死荷重は、以下のとおりとする。

また、重大事故等対処設備としてのベントヘッダサポート反力を表 4-8 に示す。

## a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

内圧  $P_{SAD}$  660 kPa

温度  $T_{SAD}$  200 °C

## b. 死荷重

ベント管、ベントヘッダ、ダウンカマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重  N

## c. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備の評価におけるサプレッションチェンバ水位は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

水位 EL  mm

表 4-7 ベントヘッドサポート反力\*<sup>1</sup> (設計基準対象施設)

応力 * <sup>2</sup> 評価点	荷重名称	軸力 (N)	曲げモーメント (N・mm)
P 3	死荷重		
	S d* 地震荷重		
P 4	死荷重		
	S d* 地震荷重		
P 5	死荷重		
	S d* 地震荷重		

注記\*<sup>1</sup>: 各ベントヘッドサポートに生じる反力のうち、組合せ応力が最大となるベントヘッドサポートの反力を示す。

\*<sup>2</sup>: 「4.6.1 応力評価点」に示す表 4-11 及び図 4-1 参照

\*<sup>3</sup>: ベントヘッドサポート軸力により、ベントヘッドサポートとサプレッションチェンバ補強リングとの間に生じる曲げモーメント

表 4-8 ベントヘッドサポート反力\*<sup>1</sup> (重大事故等対処設備)

応力 * <sup>2</sup> 評価点	荷重名称	軸力 (N)	曲げモーメント (N・mm)
P 3	死荷重		
	S s 地震荷重		
P 4	死荷重		
	S s 地震荷重		
P 5	死荷重		
	S s 地震荷重		

注記\*<sup>1</sup>: 各ベントヘッドサポートに生じる反力のうち、組合せ応力が最大となるベントヘッドサポートの反力を示す。

\*<sup>2</sup>: 「4.6.1 応力評価点」に示す表 4-11 及び図 4-1 参照

\*<sup>3</sup>: ベントヘッドサポート軸力により、ベントヘッドサポートとサプレッションチェンバ補強リングとの間に生じる曲げモーメント

#### 4.3 解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価は、VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの解析モデルにより応力解析を行う。

#### 4.4 固有周期

固有周期は、VI-2-9-2-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 及び表 4-10 に示す。

「弾性設計用地震動  $S_d$  又は静的震度」及び「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

##### (1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

設計基準対象施設としてベントヘッドの応力計算に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。

##### (2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

重大事故等対処設備としてベントヘッドの応力計算に用いる設計用地震力を表 4-10 に示す。



表 4-9(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 40px; height: 15px;"></span>					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次			—	—		—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的地震力* <sup>4</sup>			—			—	
静的地震力* <sup>5</sup>			—		—	—	—

注記\*1: ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

\*5: 静的震度 (3.6・C<sub>i</sub>及び1.2・C<sub>v</sub>) を上回る設計震度を示す。

表 4-9(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部反対称条件)

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> </span>					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次		—		—	—		—
6次		—		—	—		—
12次		—		—	—		—
13次		—		—	—		—
19次		—		—	—		—
20次		—		—	—		—
22次		—		—	—		—
24次		—		—	—		—
25次		—		—	—		—
33次		—		—	—		—
35次		—		—	—		—
38次		—		—	—		—
44次		—		—	—		—
47次		—		—	—		—
51次		—		—	—		—
動的地震力* <sup>4</sup>		—		—	—		—
静的地震力* <sup>5</sup>		—		—	—	—	—

注記\*1: ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

\*5: 静的震度 (3.6・C<sub>i</sub>及び1.2・C<sub>v</sub>) を上回る設計震度を示す。

表 4-10(1) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部対称条件）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/>					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub>			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
8次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
12次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
14次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
20次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
23次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
26次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
27次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
29次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
35次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
36次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
37次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
43次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
47次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
52次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
動的地震力* <sup>4</sup>		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注記\*1：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

表 4-10(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部反対称条件）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/>					
減衰定数(%)		水平：1.0* <sup>1</sup>					
地震力		弾性設計用地震動 S d			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* <sup>2</sup>		応答鉛直 震度* <sup>2</sup>	応答水平震度* <sup>3</sup>		応答鉛直 震度* <sup>3</sup>
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
6次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
12次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
13次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
19次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
20次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
22次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
24次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
25次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
33次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
35次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
38次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
44次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
47次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
51次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
動的地震力* <sup>4</sup>		—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—

注記\*1：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

\*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

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

\*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

## 4.6 計算方法

### 4.6.1 応力評価点

ベントヘッドの応力評価点は、ベントヘッドを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-11 及び図 4-1 に示す。

表 4-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ベントヘッド
P 2	ベントヘッド補強リング取付部
P 3	ベントヘッドサポート
P 4	ボルト
P 5	サプレッションチェンバ補強リング

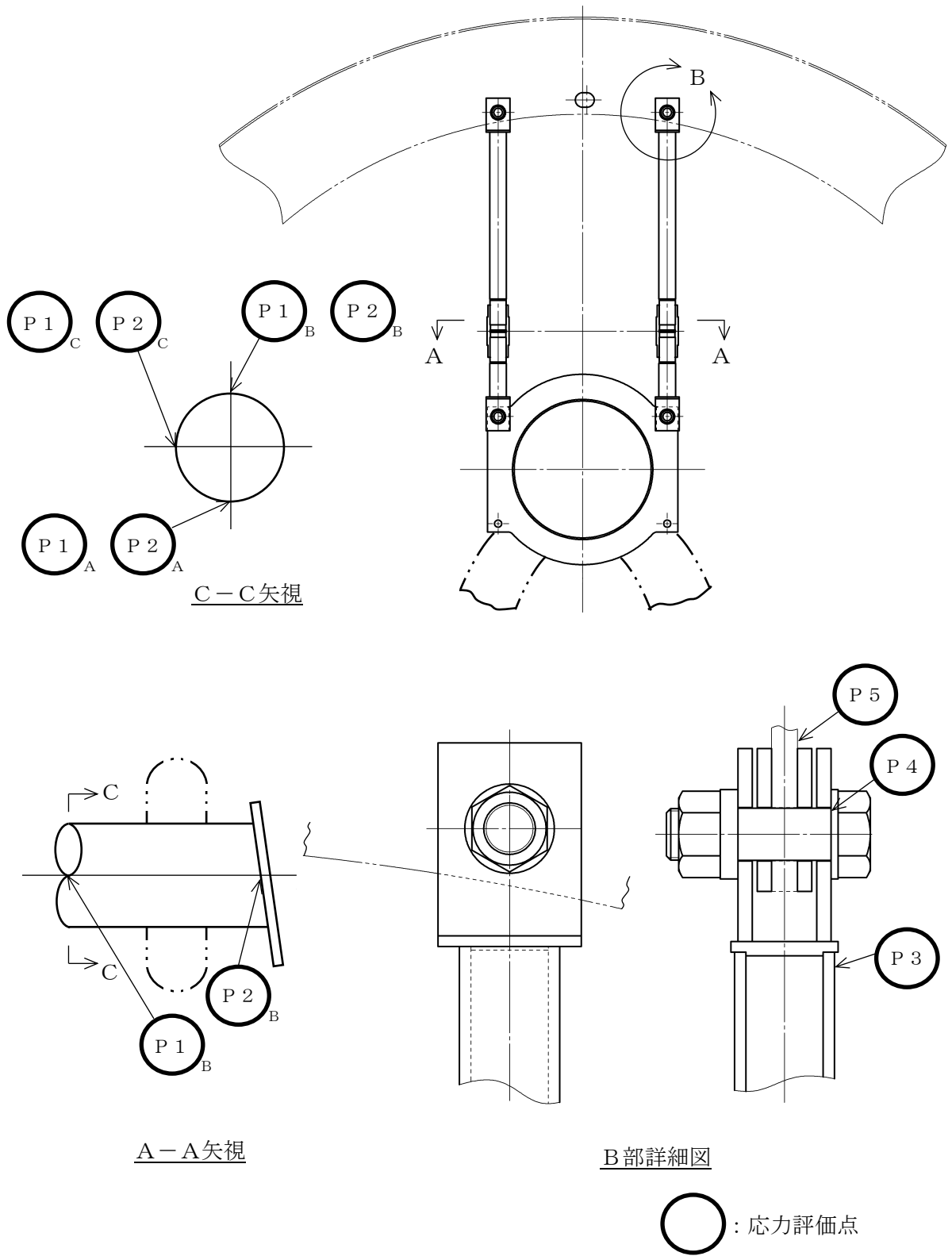


図 4-1 ベントヘッダの応力評価点

#### 4.6.2 応力計算方法

ベントヘッダの応力計算方法について、以下に示す。

##### (1) 設計基準対象施設としての応力計算

###### a. 応力評価点 P 1, P 2

応力評価点 P 1, P 2 の応力は、VI-2-9-2-3 「ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにより算出する。

###### b. 応力評価点 P 3～P 5

応力評価点 P 3～P 5 の応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。各荷重による応力はベントヘッダサポート、ボルト、サプレッションチェンバ補強リングの断面性能より評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-1 及び図 3-2 に示す寸法とする。

##### (2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

#### 4.7 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

#### 4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-3 及び表 4-4 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 $S_m$ は  $2/3 \cdot S_y$  と読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。また、組合せ応力は許容引張応力以下であること。

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。



表 5-1 許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>S に対する評価結果 (D + P<sub>D</sub> + M<sub>D</sub> + S<sub>d</sub>\*) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ <sub>A</sub> S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 1 - A	ベントヘッド	一次一般膜応力	51	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	51	344	○	(10)	
			一次+二次応力	166	458	○	(10)	
	P 1 - B	ベントヘッド	一次一般膜応力	152	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	152	344	○	(10)	
			一次+二次応力	354	458	○	(10)	
	P 1 - C	ベントヘッド	一次一般膜応力	154	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	154	344	○	(10)	
			一次+二次応力	362	458	○	(10)	
	P 2 - A	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	344	○	(10)	
			一次+二次応力	272	458	○	(10)	
	P 2 - B	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	105	344	○	(10)	
			一次+二次応力	248	458	○	(10)	
	P 2 - C	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	344	○	(10)	
			一次+二次応力	274	458	○	(10)	

表 5-1 許容応力状態ⅢA Sに対する評価結果 (D+P<sub>D</sub>+M<sub>D</sub>+S d\*) (その2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 3	ベントヘッドサポート	引張応力	100	250	○	(10)	
			圧縮応力	87	201	○	(10)	
			曲げ応力	133	250	○	(10)	
			組合せ応力	192	250	○	(10)	
	P 4	ボルト	曲げ応力	444	861	○	(10)	
			せん断応力	74	364	○	(10)	
			支圧応力	212	323	○	(10)	
			組合せ応力	463	631	○	(10)	
	P 5	サプレッションチェンバ補強リング	引張応力	66	237	○	(10)	
			圧縮応力	56	237	○	(10)	
			曲げ応力	192	273	○	(10)	
			せん断応力	97	137	○	(10)	
			組合せ応力	227	237	○	(10)	

## 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 5-2 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>s</sub>) (その 1)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 1 - A	ベントヘッド	一次一般膜応力	72	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	72	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	188	452	○	V (L L) -1	
	P 1 - B	ベントヘッド	一次一般膜応力	179	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	179	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	394	452	○	V (L L) -1	
	P 1 - C	ベントヘッド	一次一般膜応力	180	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	180	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	400	452	○	V (L L) -1	
	P 2 - A	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	160	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	292	452	○	V (L L) -1	
	P 2 - B	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	122	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	268	452	○	V (L L) -1	
	P 2 - C	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	151	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	294	452	○	V (L L) -1	

表 5-2 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P<sub>SAD</sub> + M<sub>SAD</sub> + S<sub>s</sub>) (その 2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 3	ベントヘッドサポート	引張応力	108	284	○	V (L L) -1	
			圧縮応力	95	219	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	144	284	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	215	284	○	V (L L) -1	
	P 4	ボルト	曲げ応力	477	825	○	V (L L) -1	
			せん断応力	80	349	○	V (L L) -1	
			支圧応力	227	369	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	497	605	○	V (L L) -1	
	P 5	サプレッションチェンバ補強リング	引張応力	71	271	○	V (L L) -1	
			圧縮応力	61	271	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	207	312	○	V (L L) -1	
			せん断応力	104	156	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	250	271	○	V (L L) -1	

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書  
IV-3-5-16 「ベントヘッドの強度計算書」

#### VI-2-9-4-4 原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書

## VI-2-9-4-4-2 格納容器代替スプレイ系の耐震性についての計算書



VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書  
(格納容器代替スプレイ系)

## 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	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	17
3.5 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、格納容器代替スプレイ系の管，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6モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。




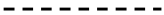
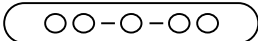
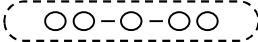

### (3) 弁

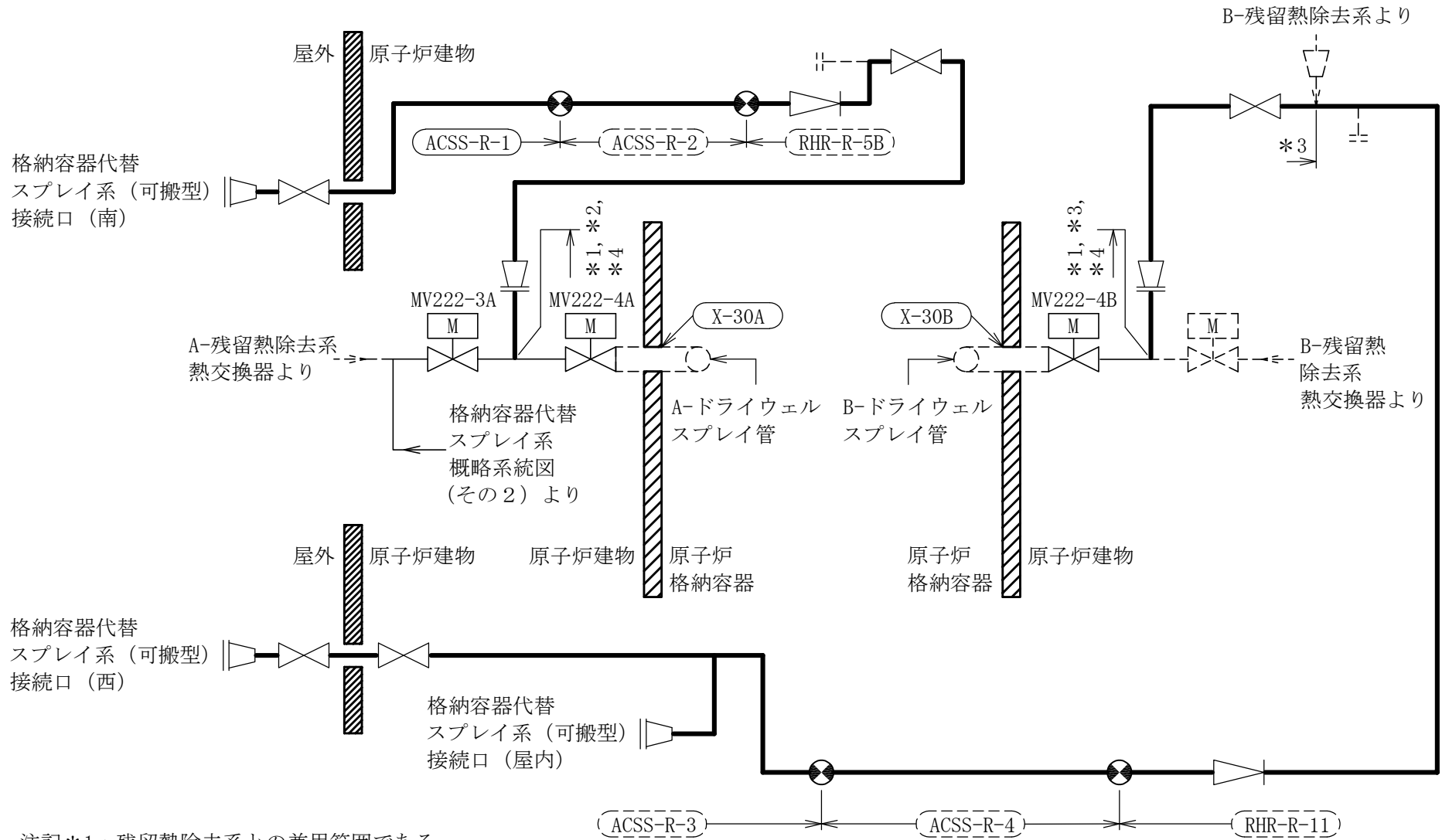
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

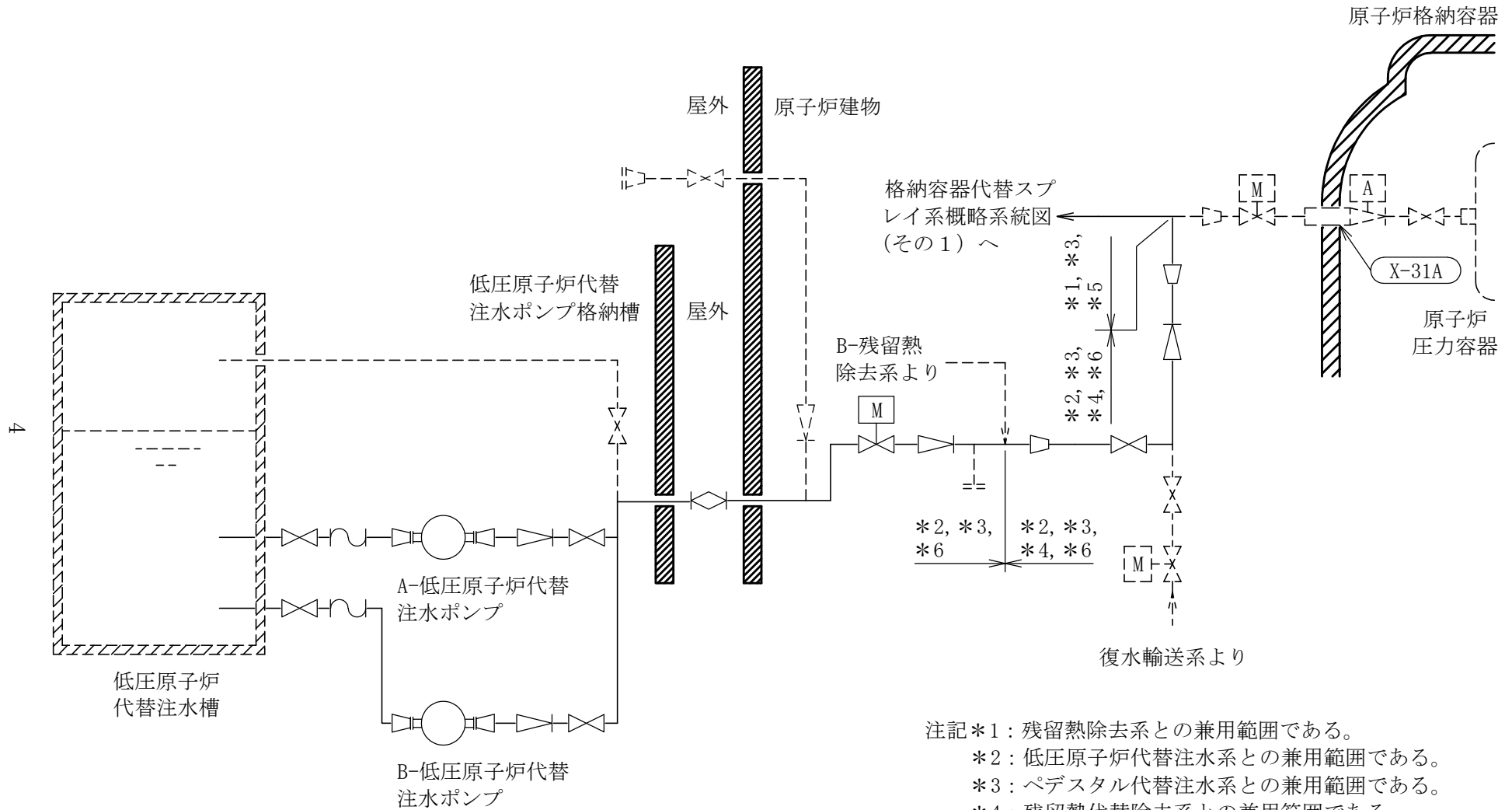
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 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



3

- 注記\*1: 残留熱除去系との兼用範囲である。
- \*2: ペDESTAL代替注水系との兼用範囲である。
- \*3: 残留熱代替除去系との兼用範囲である。
- \*4: 計算結果は残留熱除去系に含めて示す。



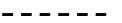


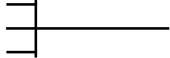
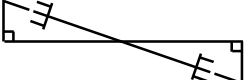
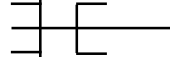
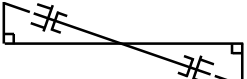

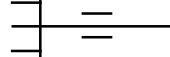
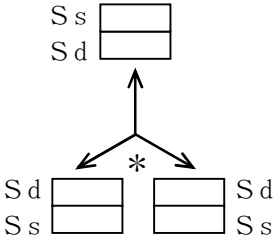
[注] 太線範囲の管クラス: SA2  
格納容器代替スプレイ系概略系統図 (その1)

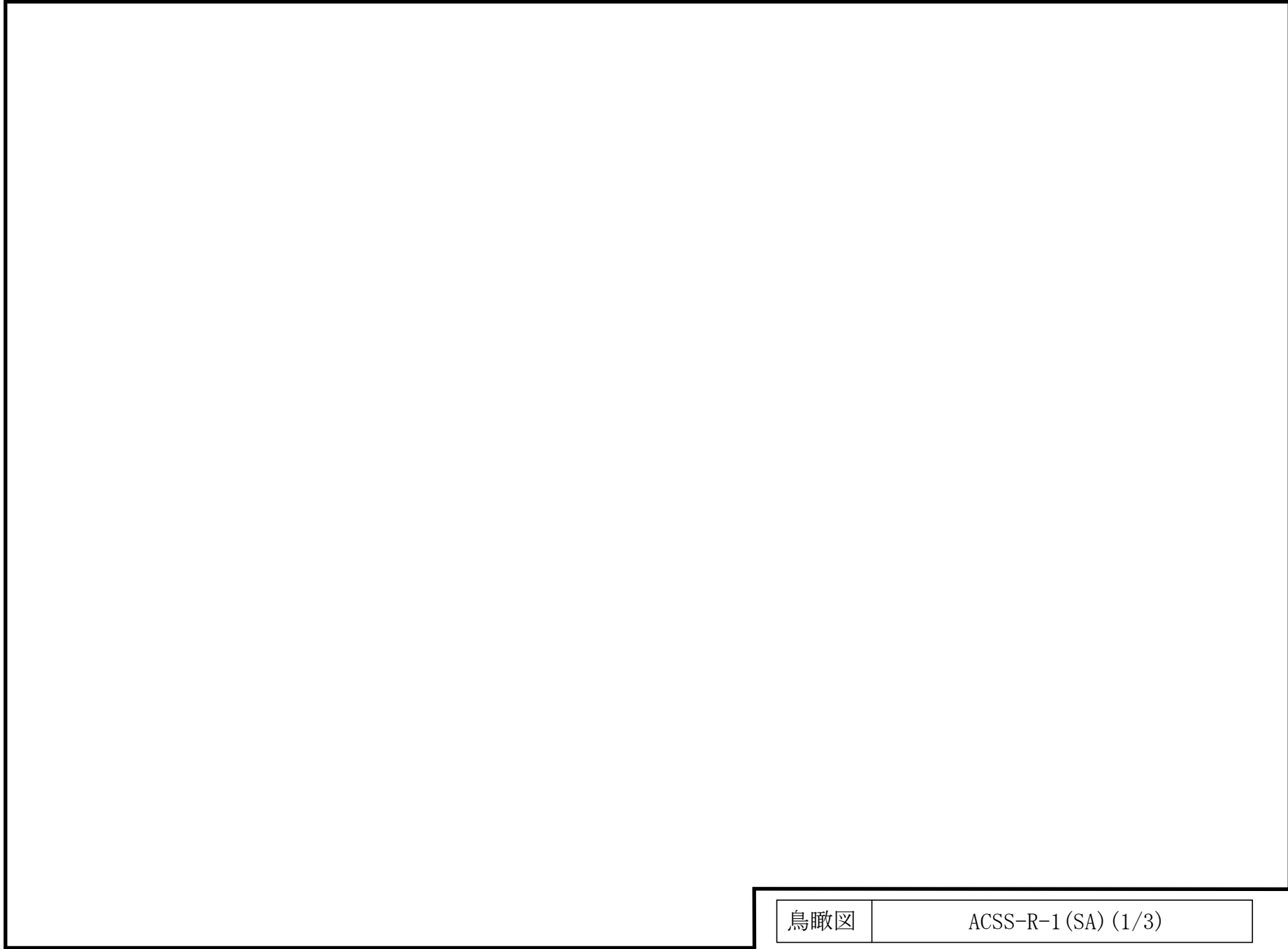


格納容器代替スプレイ系概略系統図 (その2)

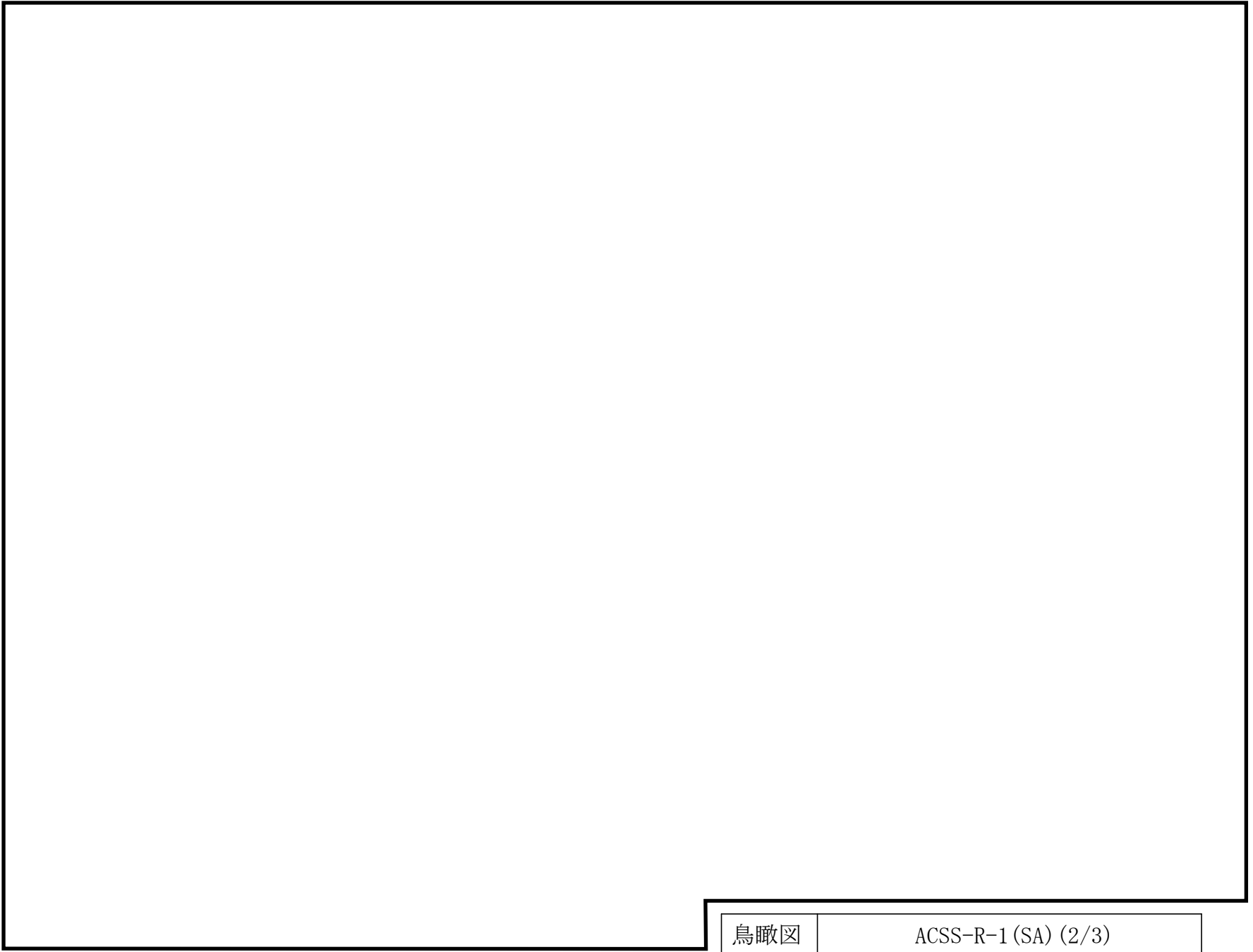
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> 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

ACSS-R-1 (SA) (3/3)

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## 3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 <sup>*1</sup>	設備分類 <sup>*2</sup>	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*3, *4</sup>	許容応力状態 <sup>*5</sup>
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	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 <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	IV <sub>A</sub> S
							II <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	
							V <sub>L</sub> + S <sub>s</sub> <sup>*6</sup>	V <sub>A</sub> S
		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 <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	IV <sub>A</sub> S
							II <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	
							V <sub>L</sub> + S <sub>s</sub> <sup>*6</sup>	V <sub>A</sub> S

注記\*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

\*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*5：許容応力状態V<sub>A</sub>Sは許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV<sub>A</sub>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<sub>s</sub>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 ACSS-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	1F~2	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	2.45	66
		Ⅴ <sub>A</sub> S	2.45	66
2	3~6, 7~14S	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	2.45	66
		Ⅴ <sub>A</sub> S	2.45	66
3	14S~98A	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	2.45	66
		Ⅴ <sub>A</sub> S	2.45	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ACSS-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	1F~2	165.2	7.1	SUS304TP	—	193867
2	3~6, 7~14S	114.3	6.0	SUS304TP	—	193867
3	14S~98A	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

質量	対応する評価点
□	1F
□	651F

弁部の質量

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

質量	対応する評価点
	6~7



弁部の寸法

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
6~7			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ACSS-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
5						
13						
21						
25						
31						
40						
44						
47						
50						
53						
63						
68						
72						
79						
83						
89						
91						
95						
98A						

S2 補 VI-2-9-4-4-2-1 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
SUS304TP	66	—	188	479	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき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 <sub>d</sub>	S <sub>s</sub>
ACSS-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 ACSS-R-1

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
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 ACSS-R-1

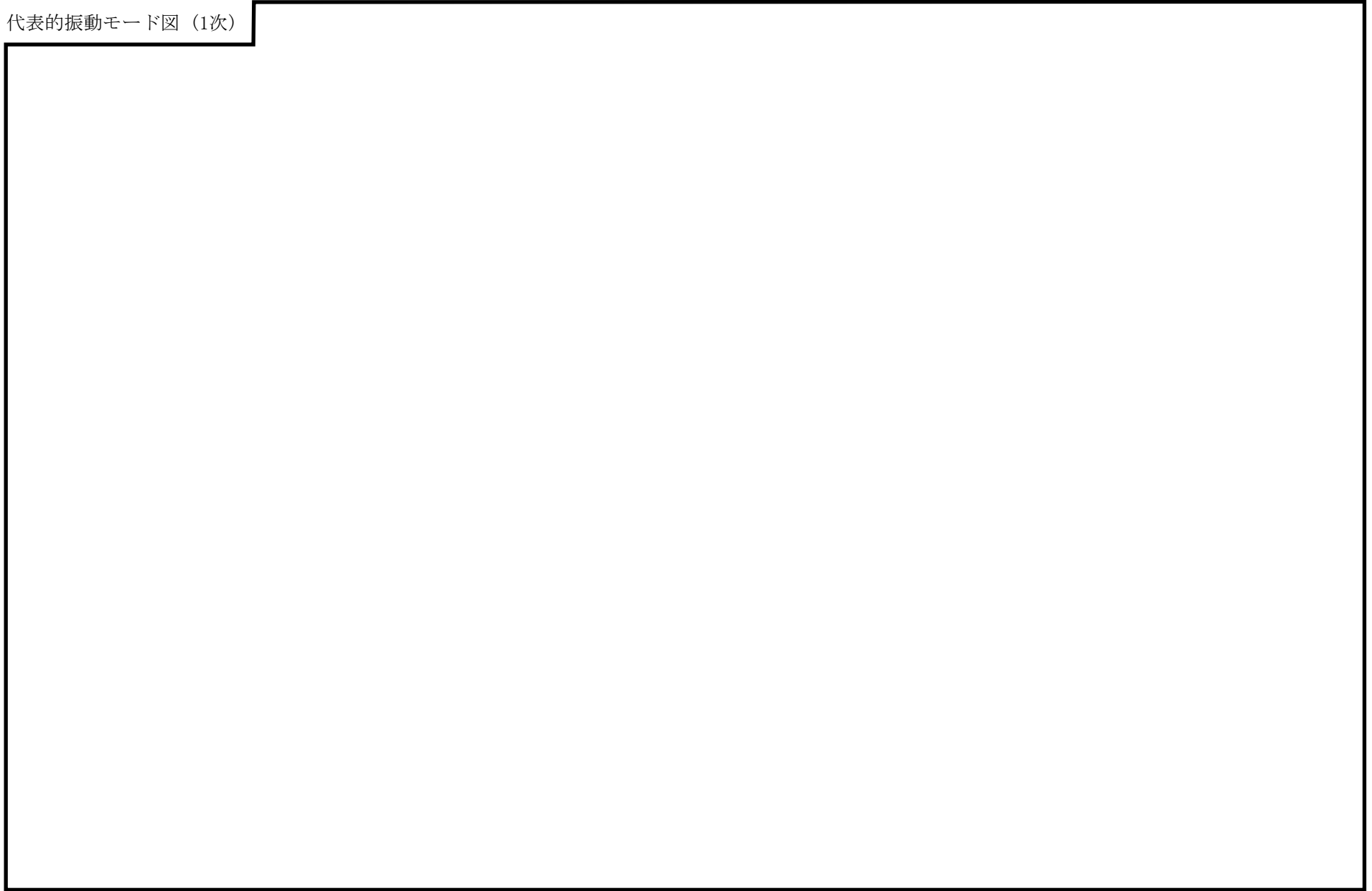
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

## 代表的振動モード図

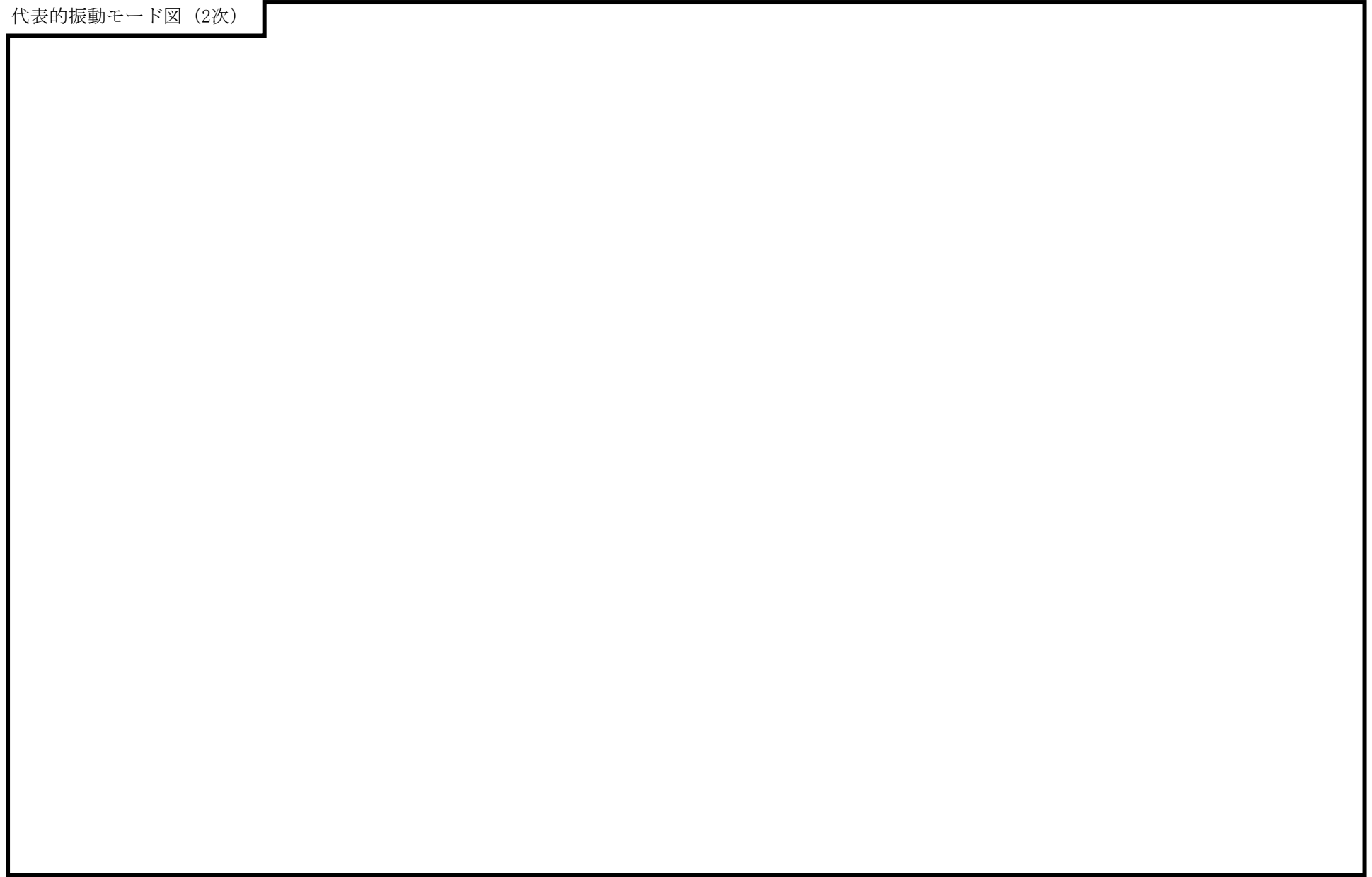
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

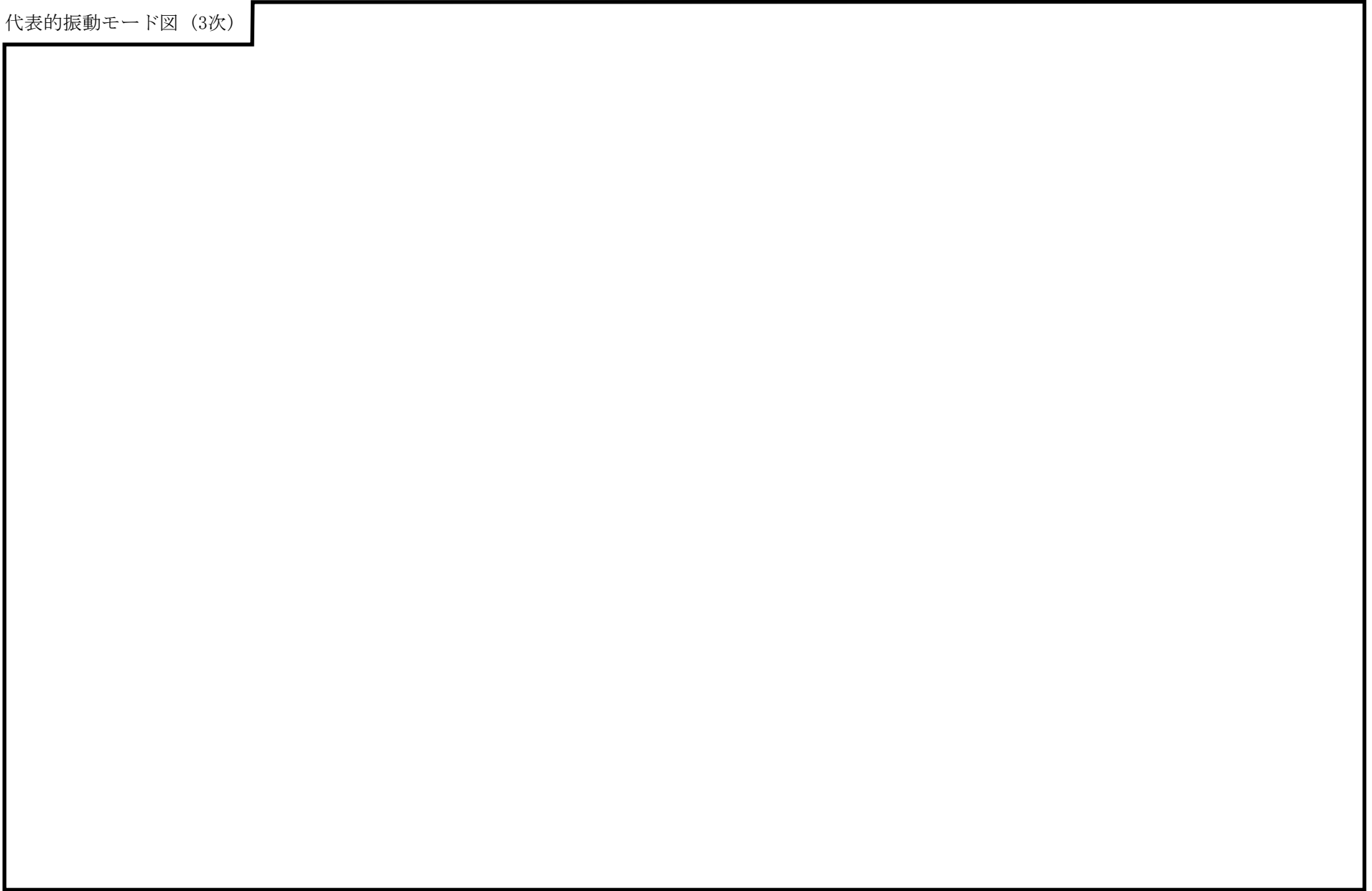




代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



## 4.2 評価結果

## 4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

## 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 <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ACSS-R-1	9	155	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ACSS-R-1	9	251	376	—
V <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ACSS-R-1	9	155	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ACSS-R-1	9	251	376	—

## 4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重(kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-RHR-532	オイルスナッパ	SN-3		16	45	—	
—	ロッドレストレイント	—		—	—	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—	—	

注記\*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

\*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント(kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RE-ACSS-2	レストレイント	Uボルト	SUS304	66	0	16	3	—	—	—	引張	65	153
AN-ACSS-54	アンカ	ラグ	SUS304	100	8	3	7	3	2	3	引張	35	132

## 4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり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 <sup>*1</sup>	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 <sup>*2</sup> ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 <sup>*2</sup> (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。

$\alpha$  (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

$\alpha$  (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

$\beta$  (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

$\beta$  (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

\*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

## 4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

## 重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV <sub>A</sub> 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	ACSS-R-1	9	155	431	2.78	○	9	251	376	1.49	—	○
2	ACSS-R-2	44	131	431	3.29	—	44	231	376	1.62	—	—
3	ACSS-R-3	34	117	431	3.68	—	34	201	376	1.87	—	—
4	ACSS-R-4	65	149	431	2.89	—	65	246	376	1.52	—	—
5	RHR-R-5B	114	60	367	6.11	—	107	195	294	1.50	—	—
6	RHR-R-11	700	118	365	3.09	—	700	261	442	1.69	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

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	ACSS-R-1	9	155	431	2.78	○	9	251	376	1.49	—	○
2	ACSS-R-2	44	131	431	3.29	—	44	231	376	1.62	—	—
3	ACSS-R-3	34	117	431	3.68	—	34	201	376	1.87	—	—
4	ACSS-R-4	65	149	431	2.89	—	65	246	376	1.52	—	—
5	RHR-R-5B	114	60	367	6.11	—	107	195	294	1.50	—	—
6	RHR-R-11	700	118	365	3.09	—	700	261	442	1.69	—	—

## VI-2-9-4-4-4 残留熱代替除去系の耐震性についての計算書



VI-2-9-4-4-4-2 管の耐震性についての計算書  
(残留熱代替除去系)

## 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	6
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

## 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、残留熱代替除去系の管、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8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。





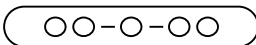
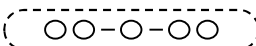

### (3) 弁

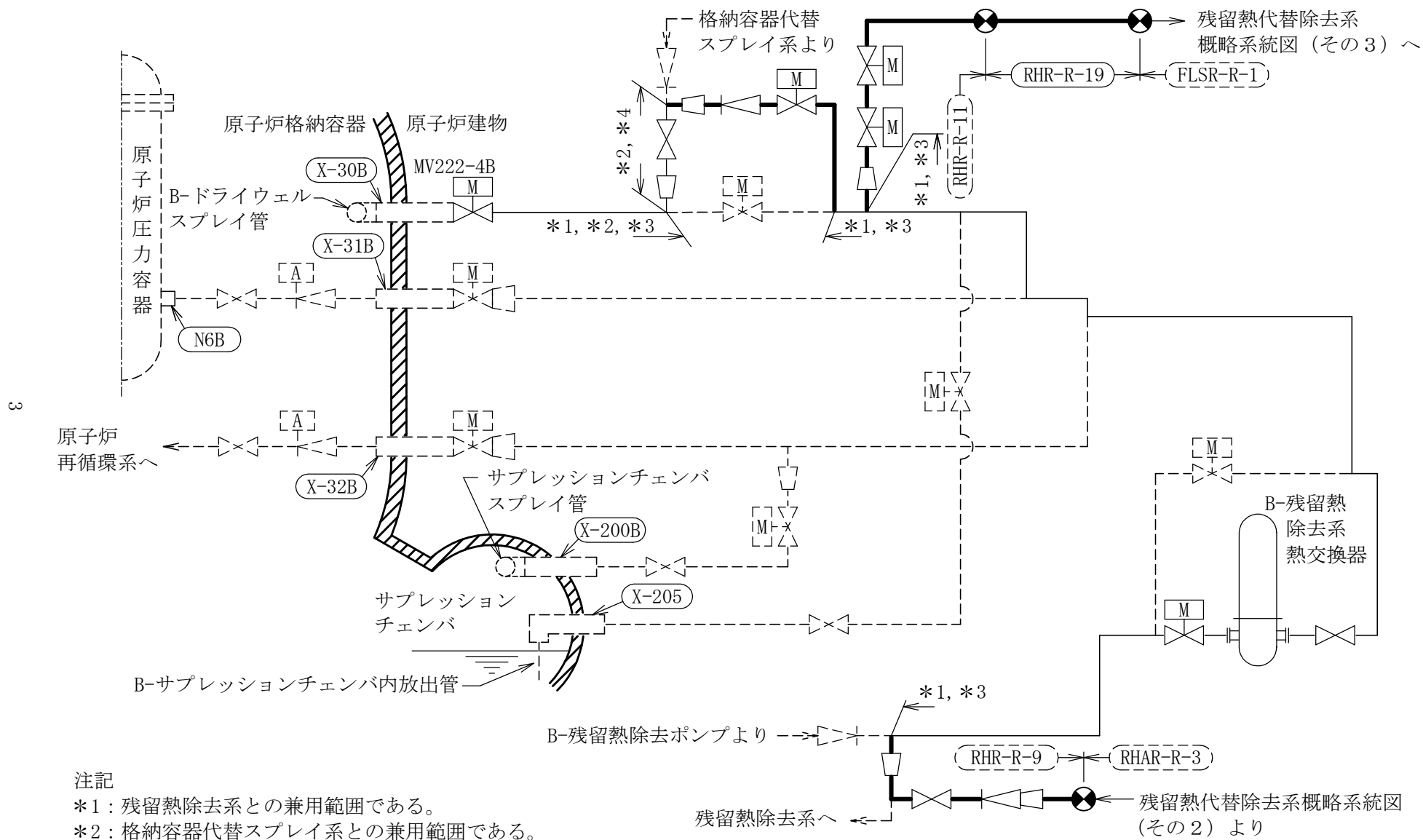
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

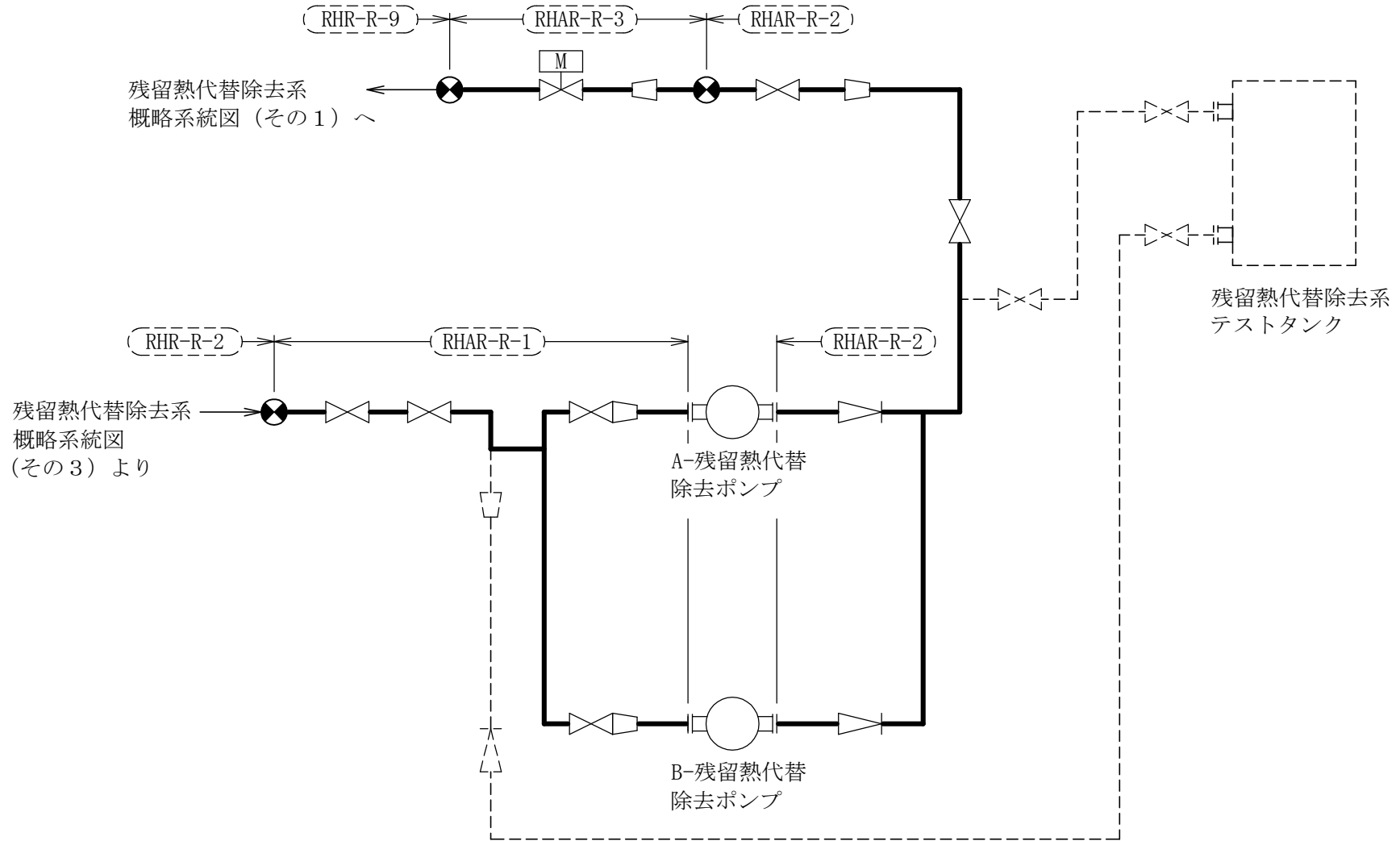
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



注記

- \*1: 残留熱除去系との兼用範囲である。
- \*2: 格納容器代替スプレイ系との兼用範囲である。
- \*3: 計算結果は残留熱除去系に含めて示す。
- \*4: 計算結果は格納容器代替スプレイ系に含めて示す。

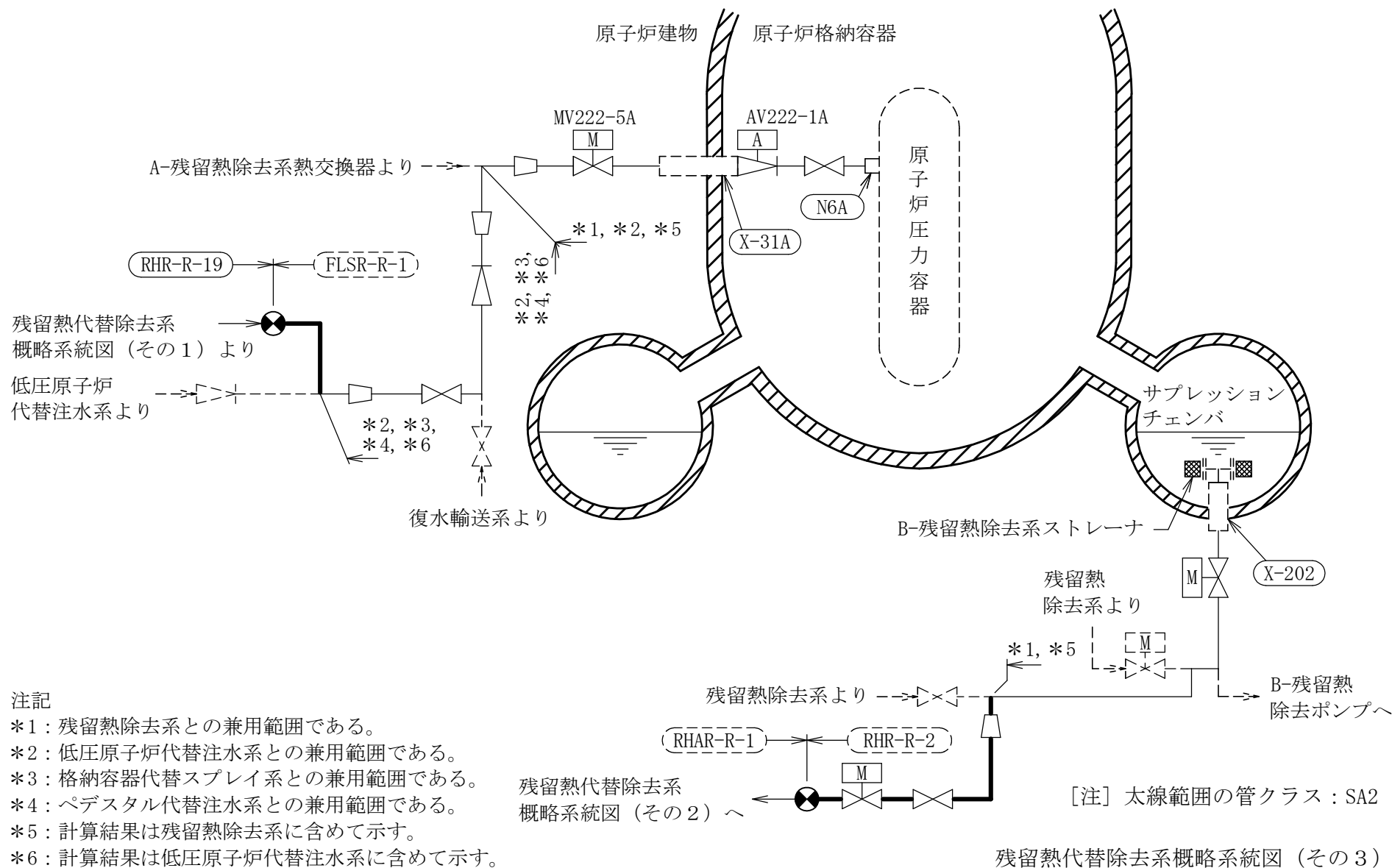
[注] 太線範囲の管クラス: SA2 残留熱代替除去系概略系統図 (その1)



[注] 太線範囲の管クラス : SA2


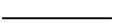
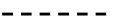


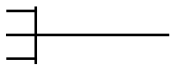
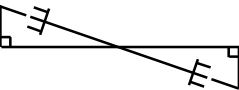
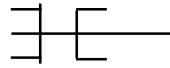
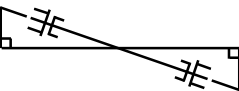

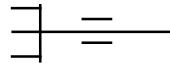
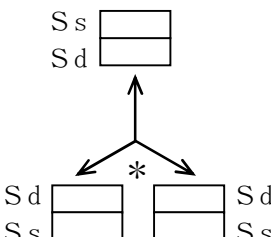

残留熱代替除去系概略系統図 (その2)

5



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-R-19(SA) (1/2)

∞

鳥瞰図

RHR-R-19(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 <sup>*1</sup>	設備分類 <sup>*2</sup>	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*3, *4</sup>	許容応力状態 <sup>*5</sup>
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 <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	IV <sub>A</sub> S
							II <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	
							V <sub>L</sub> + S <sub>s</sub> <sup>*6</sup>	V <sub>A</sub> S

注記\*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

\*2：「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<sub>A</sub> Sは許容応力状態IV<sub>A</sub> Sの許容限界を使用し、許容応力状態IV<sub>A</sub> 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<sub>s</sub>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-R-19

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~135A	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	3.92	185
		Ⅴ <sub>A</sub> S	3.92	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-19

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～135A	114.3	8.6	STS410	—	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-19

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1A~135A

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-19

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						
7						
15						
18						
32						
36						
44						
52						
64						
78						
80						
83						
95						
103						
110						
123						
126						
131						
135A						

S2 補 VI-2-9-4-4-2 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
STS410	185	—	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 <sub>d</sub>	S <sub>s</sub>
RHR-R-19	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-R-19

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9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 RHR-R-19

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



20

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)





## 4.2 評価結果

## 4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

## 重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-19	123	128	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-19	116	208	418	—
V <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-19	123	128	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-19	116	208	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)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-RHR-691	オイルスナッパ	SN-6		49	90	—	
RE-RHAR-4	ロッドレストレイント	RTS-6		18	108	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記\*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

\*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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 <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RE-RHAR-10	レストレイント	ラグ	SM400B	185	12	20	39	—	—	—	せん断	37	119
AN-RHAR-6	アンカ	ラグ	SGV410	185	26	13	17	9	19	14	組合せ	61	131

## 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 <sup>*1</sup>	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 <sup>*2</sup> ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 <sup>*2</sup> (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。

$\alpha$  (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

$\alpha$  (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

$\beta$  (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

$\beta$  (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

\*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

## 4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

## 重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV <sub>A</sub> 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	RHAR-R-1	26	123	363	2.95	—	26	198	418	2.11	—	—
2	RHAR-R-2	41	104	363	3.49	—	41	165	418	2.53	—	—
3	RHAR-R-3	34	70	363	5.18	—	34	78	418	5.35	—	—
4	FLSR-R-1	409	52	363	6.98	—	409	69	418	6.05	—	—
5	RHR-R-2	721	69	363	5.26	—	707	113	418	3.69	—	—
6	RHR-R-9	102	75	363	4.84	—	102	88	418	4.75	—	—
7	RHR-R-11	921	93	363	3.90	—	800	147	418	2.84	—	—
8	RHR-R-19	123	128	363	2.83	○	116	208	418	2.00	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RHAR-R-1	26	123	363	2.95	—	26	198	418	2.11	—	—
2	RHAR-R-2	41	104	363	3.49	—	41	165	418	2.53	—	—
3	RHAR-R-3	34	70	363	5.18	—	34	78	418	5.35	—	—
4	FLSR-R-1	409	52	363	6.98	—	409	69	418	6.05	—	—
5	RHR-R-2	721	69	363	5.26	—	707	113	418	3.69	—	—
6	RHR-R-9	102	75	363	4.84	—	102	88	418	4.75	—	—
7	RHR-R-11	921	93	363	3.90	—	800	147	418	2.84	—	—
8	RHR-R-19	123	128	363	2.83	○	116	208	418	2.00	—	○

VI-2-9-4-5 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の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1 非常用ガス処理系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1-2 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	5
3.1 構造強度評価方法	5
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 計算条件	5
4. 機能維持評価	10
4.1 基本方針	10
4.2 ファンの動的機能維持評価	11
4.3 原動機の動的機能維持評価	19
5. 評価結果	28
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	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、非常用ガス処理系排風機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。

非常用ガス処理系排風機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故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動的機能維持評価を示す。

なお、非常用ガス処理系排風機は、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と類似の構造であるため、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行う。また、非常用ガス処理系排風機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直結型ファンであり、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

非常用ガス処理系排風機の構造計画を表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>ファン等はベースにケーシング取付ボルト及び原動機取付ボルトで固定され、ベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>遠心式 (遠心直結型ファン)</p>	<p>(背面図) (全体図)</p>
		(単位：mm)

表2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ファンのケーシング内のインペラは軸に支持され、軸は軸受に支持される。</p>	<p>遠心式 (遠心直結型ファン)</p>	<p>(ファン構造図)</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>遠心式 (遠心直結型ファン)</p>	<p>(正面図) (A-A断面図)</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

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

#### 3.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### 3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ガス処理系排風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

##### 3.2.2 許容応力

非常用ガス処理系排風機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-3のとおりとする。

##### 3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ガス処理系排風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

#### 3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 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 排風機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> 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3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	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 排風機	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記\*1：「常設／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3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)		

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

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

表3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

注記\* : SS400相当

表3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—

注記\* : SS400相当

#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 基本方針

非常用ガス処理系排風機及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直結型ファン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 ファンの動的機能維持評価

非常用ガス処理系排風機は、地震後機能維持が要求される設備であるが、ファン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 に記載のファン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. 軸受
- c. インペラとファンケーシング間のクリアランス
- d. 電動機との軸継手
- e. ファンケーシング
- f. メカニカルシール
- g. 軸系架台
- h. ファンケーシング固定ボルト
- i. 電動機固定ボルト
- j. 基礎ボルト

このうち「h. ファンケーシング固定ボルト」、「i. 電動機固定ボルト」及び「j. 基礎ボルト」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. ファンケーシング」は、共通架台上にケーシング取付ボルトを用いて固定されており、地震時にケーシング取付ボルトに最も荷重が生じることから、ファンケーシングの評価は対象外とする。

「g. 軸系架台」は、軸受の耐力を超えるように設計されており、軸受の評価を代表とし、軸受固定ボルトの評価は対象外とする。「f. メカニカルシール」は、構造上存在しないことから、評価項目から除外する。「d. 電動機との軸継手」は、高い剛性を有しており、軸継手部では有意な変位は生じない設計としていることから評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受、インペラとファンケーシング間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、その他の支持構造物の許容応力状態ⅢASに準拠し設定する。また、軸受についてはメーカ規定の許容値を、インペラとファンケーシング間のクリアランスについては、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

表4-1 評価基準値（設計基準対象施設）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
軸			MPa	
軸受	負荷側	—	N	
	反負荷側	—	N	
インペラとファンケーシング間のクリアランス		—	mm	

表4-2 評価基準値（重大事故等対処設備）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
軸			MPa	
軸受	負荷側	—	N	
	反負荷側	—	N	
インペラとファンケーシング間のクリアランス		—	mm	

#### 4.2.3 記号の説明

非常用ガス処理系排風機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-3に示す。

表 4-3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{Sf}$	軸の断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_P$	ファン振動による震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D_{Sf}$	軸の直径	mm
$E_{Sf}$	軸の縦弾性係数	MPa
$F_{Sf}$	軸に生じるラジアル荷重	N
$F_{BA}$	負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
$F_{BB}$	反負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_1$	インペラ中心からインペラでケーシングに最も近い位置までの距離	mm
$h_2$	ケーシング重心からケーシングでインペラに最も近い位置までの距離	mm
$h_3$	ケーシング取付面からのケーシング重心までの高さ	mm
$I_{Sf}$	軸の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$k_{\theta r}$	軸直角方向回転バネ剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
$k_{\theta t}$	軸方向回転バネ剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
$\ell_{Sf}$	インペラ重心から負荷側軸受までの距離	mm
$M_P$	ファンの回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$Q_{Sf}$	軸に生じるスラスト荷重	N
$Q_1$	インペラ回転によるスラスト荷重	N
$W_{11}$	インペラの質量	kg
$W_{12}$	軸の質量	kg
$W_{13}$	軸継手の片側の質量	kg
$W_{14}$	ケーシングの質量	kg
$X_{0A}$	負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
$X_{0B}$	反負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
$Y_{0A}$	負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—
$Y_{0B}$	反負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—

記号	記号の説明	単位
$Z_{Pf}$	軸の極断面係数	$\text{mm}^3$
$Z_{Sf}$	軸の断面係数	$\text{mm}^3$
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bf}$	軸に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
$\sigma_{Sf}$	軸に生じる組合せ応力	MPa
$\tau_{Sf}$	軸に生じるねじり応力	MPa
$\beta_1$	軸のたわみ角	rad
$\beta_2$	ケーシングの軸方向の傾き角	rad
$\beta_3$	ケーシングの軸直角方向の傾き角	rad
$\delta$	インペラとケーシングの合計変位量	mm
$\delta_1$	軸のたわみ量	mm
$\delta_2$	軸のたわみによるインペラの変位量	mm
$\delta_3$	ケーシングの傾きによる軸方向の変位量	mm
$\delta_4$	ケーシングの傾きによる軸直角方向の変位量	mm

#### 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。

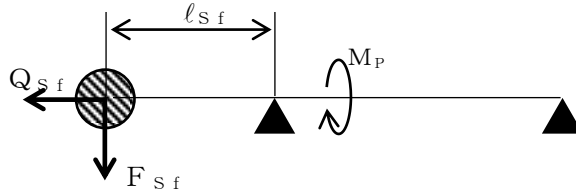


図 4-1 軸の計算モデル

軸に生じる組合せ応力  $\sigma_{Sf}$  は次式で求める。

$$\sigma_{Sf} = \sqrt{\sigma_{bf}^2 + 3 \cdot \tau_{Sf}^2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1)$$

ここで、軸に生じる引張応力及び曲げ応力  $\sigma_{bf}$  は

$$\sigma_{bf} = \frac{F_{Sf} \cdot l_{Sf}}{Z_{Sf}} + \frac{Q_{Sf}}{A_{Sf}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.2)$$

軸に生じるねじり応力  $\tau_{Sf}$  は

$$\tau_{Sf} = \frac{M_P}{Z_{Pf}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.3)$$

軸の断面係数  $Z_{Sf}$  は

$$Z_{Sf} = \frac{\pi \cdot D_{Sf}^3}{32} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.4)$$

軸の極断面係数  $Z_{Pf}$  は

$$Z_{Pf} = \frac{\pi \cdot D_{Sf}^3}{16} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.5)$$

軸に生じる荷重は、

ラジアル荷重

$$F_{Sf} = (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot (W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g \quad \dots (4.2.4.6)$$

スラスト荷重

$$Q_{Sf} = (C_H + C_P) \cdot (W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g + Q_1 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$



(2) 軸受

図 4-2 に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重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。

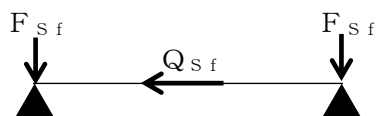


図 4-2 軸受の計算モデル

軸受に生じる静等価荷重は次式で求める。

負荷側軸受に生じる静等価荷重  $F_{BA}$

$$F_{BA} = \max (X_{0A} \cdot F_{Sf} + Y_{0A} \cdot Q_{Sf}, F_{Sf}) \quad \dots \quad (4.2.4.8)$$

反負荷側軸受に生じる静等価荷重  $F_{BB}$

$$F_{BB} = \max (X_{0B} \cdot F_{Sf} + Y_{0B} \cdot Q_{Sf}, F_{Sf}) \quad \dots \quad (4.2.4.9)$$

(3) インペラとファンケーシング間のクリアランス

図 4-3 に示す計算モデルにて、軸及びケーシングに地震力が作用することにより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。

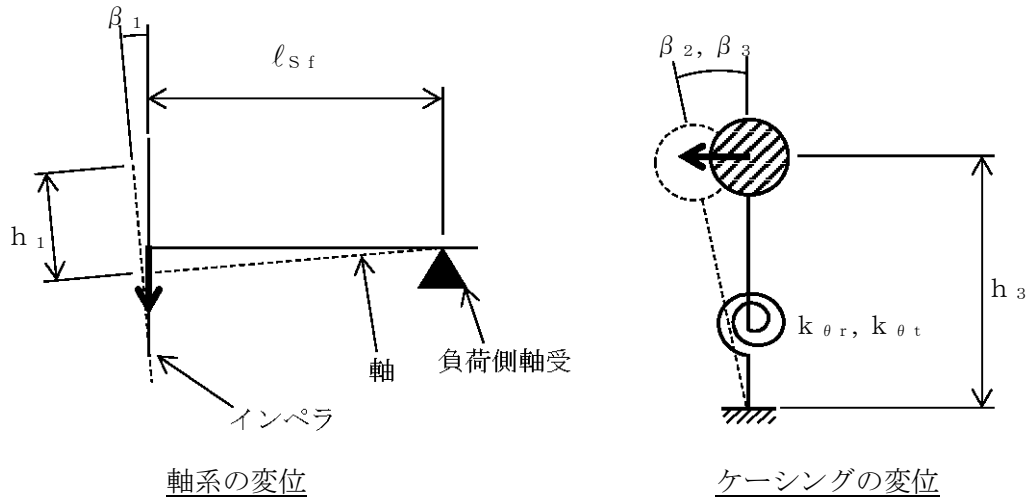


図 4-3 インペラとファンケーシング間のクリアランスの計算モデル

インペラとケーシングの合計変位量  $\delta$  は次式で求める。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \sqrt{\delta_3^2 + \delta_4^2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

ここで、軸のたわみ量  $\delta_1$  は

$$\delta_1 = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot l_{sf}^3}{3 \cdot E_{sf} \cdot I_{sf}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

軸の断面二次モーメント  $I_{sf}$  は

$$I_{sf} = \frac{\pi \cdot D_{sf}^4}{64} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

軸のたわみによるインペラの変位量  $\delta_2$  は

$$\delta_2 = h_1 \cdot \beta_1 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.13)$$

軸のたわみ角  $\beta_1$  は

$$\beta_1 = \frac{l_{sf}^2}{2 \cdot E_{sf} \cdot I_{sf}} \cdot (W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.14)$$

ケーシングの傾きによる変位量は

軸方向の変位量  $\delta_3$

$$\delta_3 = h_2 \cdot \beta_2 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.15)$$

軸直角方向の変位量  $\delta_4$

$$\delta_4 = h_2 \cdot \beta_3 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.16)$$

ケーシングの傾き角は

軸方向の傾き角  $\beta_2$

$$\beta_2 = \frac{W_{14} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_3}{k_{\theta t}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.17)$$

軸直角方向の傾き角  $\beta_3$

$$\beta_3 = \frac{W_{14} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_3}{k_{\theta r}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.18)$$

#### 4.3 原動機の動的機能維持評価

非常用ガス処理系排風機は、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. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 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。

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、モータフレーム及び軸継手を評価対象部位とする。なお、軸継手においては、ファンの動的機能維持評価に含まれている。

#### 4.3.2 評価基準値

固定子及び軸（回転子）の許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに準拠し設定し、端子箱及びモータフレームの許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに準拠し設定する。また、軸受についてはメーカ規定の許容値を、固定子と回転子間のクリアランスについては、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表4-4 評価基準値（設計基準対象施設）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子		SS41*	MPa	
軸（回転子）			MPa	
端子箱	引張	SS41*	MPa	
	せん断	SS41*	MPa	
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム		SS41*	MPa	

注記\*：SS400相当

表4-5 評価基準値（重大事故等対処設備）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子		SS41*	MPa	
軸（回転子）			MPa	
端子箱	引張	SS41*	MPa	
	せん断	SS41*	MPa	
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム		SS41*	MPa	

注記\*：SS400相当

### 4.3.3 記号の説明

非常用ガス処理系排風機用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-6に示す。

表 4-6 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{bt}$	端子箱取付ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A_F$	モータフレーム（脚部）の断面積	$\text{mm}^2$
$A_S$	軸（回転子）の断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_P$	ファン振動による震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D_S$	軸（回転子）の直径	mm
$E$	軸（回転子）の縦弾性係数	MPa
$F_{B1}$	軸継手側軸受に生じる静等価荷重	N
$F_{B2}$	反軸継手側軸受に生じる静等価荷重	N
$F_{bt}$	端子箱取付ボルトに生じる引張力（1本当たり）	N
$F_H$	水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力	N
$F_K$	キーに生じるせん断力	N
$F_M$	原動機の回転によりキーに生じるせん断力	N
$F_R$	軸（回転子）に生じるラジアル荷重	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$h_F$	原動機取付面から原動機重心までの高さ	mm
$h_t$	端子箱取付面から端子箱重心までの高さ	mm
$I$	軸（回転子）の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$l_b$	モータフレームの脚部の長さ	mm
$l_{b,L}$	軸受間の距離	mm
$l_{h1}$	モータフレームの脚部間の距離（内側）	mm
$l_{h2}$	モータフレームの脚部間の距離（外側）	mm
$l_K$	キーと固定子の接触長さ	mm
$l_{r,C}$	軸受間の距離の1/2	mm
$l_{t1}$	端子箱重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
$l_{t2}$	端子箱重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
$M_P$	原動機の回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
$n_{bt}$	端子箱取付ボルトの本数	—
$n_{ft}$	評価上引張力を受けるとして期待する端子箱取付ボルトの本数	—
$Q_B$	軸（回転子）に生じるスラスト荷重	N
$Q_{bt}$	端子箱取付ボルトに生じるせん断力	N
$r$	固定子の半径	mm
$t_K$	キーの厚さ	mm
$W_{21}$	固定子の質量	kg
$W_{22}$	軸（回転子）の質量	kg
$W_{23}$	軸継手の片側の質量	kg
$W_{24}$	端子箱の質量	kg
$W_{25}$	原動機の質量	kg
$X_{01}$	軸継手側軸受の静ラジアル荷重係数	—
$X_{02}$	反軸継手側軸受の静ラジアル荷重係数	—
$y$	軸（回転子）の変位量	mm
$Y_{01}$	軸継手側軸受の静アキシアル荷重係数	—
$Y_{02}$	反軸継手側軸受の静アキシアル荷重係数	—
$Z_F$	モータフレーム（脚部）の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_P$	軸（回転子）の極断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_S$	軸（回転子）の断面係数	mm <sup>3</sup>
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
$\sigma_{bt}$	端子箱取付ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_F$	モータフレームに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{F1}$	モータフレームに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{F2}$	モータフレームに生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{F3}$	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
$\sigma_S$	軸（回転子）に生じる組合せ応力	MPa
$\tau_{bt}$	端子箱取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_K$	キーに生じるせん断応力	MPa
$\tau_F$	モータフレームに生じるせん断応力	MPa
$\tau_t$	軸（回転子）に生じるねじり応力	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。

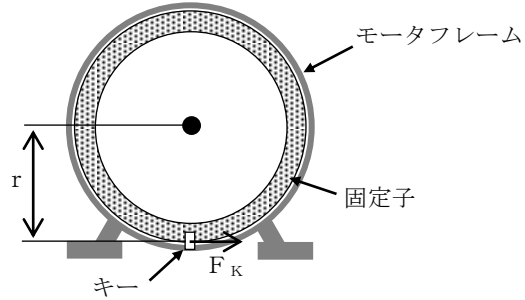


図 4-3 固定子の計算モデル

キーに生じるせん断応力  $\tau_K$  は次式で求める。

$$\tau_K = F_K / (t_K \cdot l_K) \quad \dots \quad (4.3.4.1)$$

ここで、キーに生じるせん断力  $F_K$  は

$$F_K = F_H + F_M \quad \dots \quad (4.3.4.2)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力  $F_H$  は

$$F_H = W_{21} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \quad (4.3.4.3)$$

原動機の回転によりキーに生じるせん断力  $F_M$  は

$$F_M = M_P / r \quad \dots \quad (4.3.4.4)$$



(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。

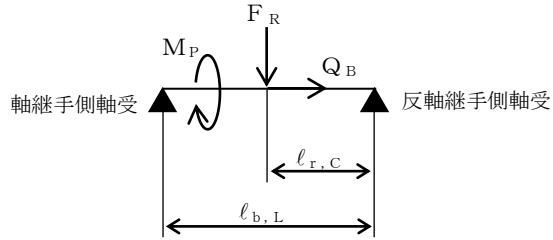


図 4-4 軸（回転子）の計算モデル

軸（回転子）に生じる組合せ応力  $\sigma_s$  は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.5)$$

ここで，軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力  $\sigma_b$  は

$$\sigma_b = \frac{(\ell_{b,L} - \ell_{r,C}) \cdot \ell_{r,C}}{Z_s \cdot \ell_{b,L}} \cdot F_R + \frac{Q_B}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.6)$$

軸（回転子）に生じるねじり応力  $\tau_t$  は

$$\tau_t = \frac{M_P}{Z_P} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.7)$$

軸（回転子）の断面係数  $Z_s$  は

$$Z_s = \frac{\pi \cdot D_s^3}{32} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.8)$$

軸（回転子）の極断面係数  $Z_P$  は

$$Z_P = \frac{\pi \cdot D_s^3}{16} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.9)$$

軸（回転子）に生じる荷重は

ラジアル荷重  $F_R$

$$F_R = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.10)$$

スラスト荷重  $Q_B$

$$Q_B = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.11)$$

(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。

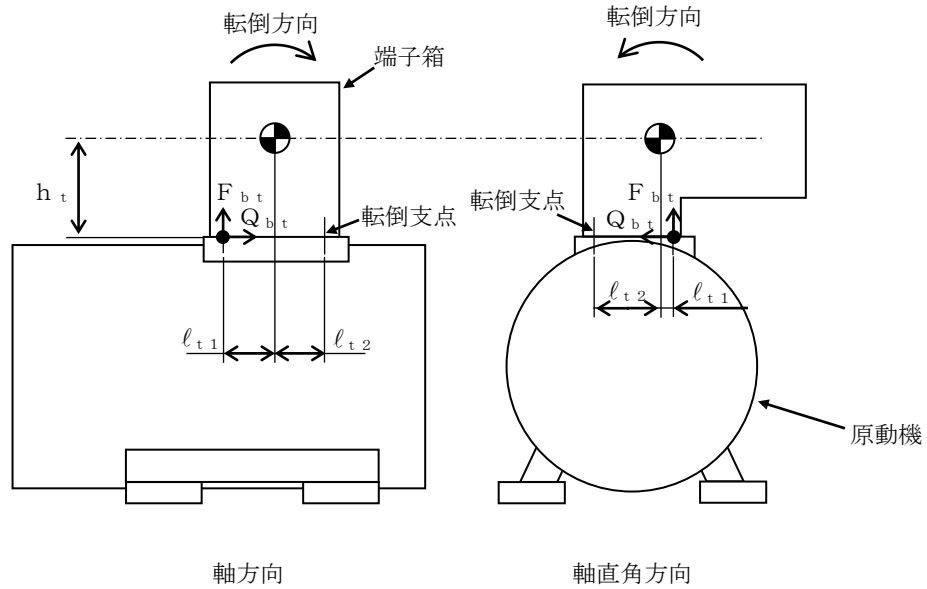


図 4-5 端子箱の計算モデル

端子箱取付ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{bt}$  は次式で求める。

$$\sigma_{bt} = F_{bt} / A_{bt} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.12)$$

ここで，端子箱取付ボルト 1 本当たりに生じる引張力  $F_{bt}$  は

軸方向

$$F_{bt} = \frac{W_{24} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t + W_{24} \cdot g \cdot (C_V + C_P - 1) \cdot l_{t2}}{n_{ft} \cdot (l_{t1} + l_{t2})} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.13)$$

軸直角方向

$$F_{bt} = \frac{W_{24} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t - W_{24} \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \cdot l_{t2}}{n_{ft} \cdot (l_{t1} + l_{t2})} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.14)$$

端子箱取付ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{bt}$  は次式で求める。

$$\tau_{bt} = Q_{bt} / (n_{bt} \cdot A_{bt}) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.15)$$

ここで，端子箱取付ボルトに生じるせん断力  $Q_{bt}$  は

$$Q_{bt} = W_{24} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.16)$$

(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。

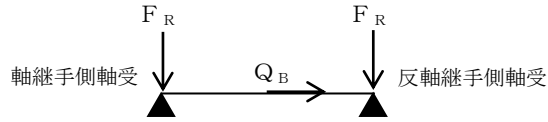


図 4-6 軸受の計算モデル

軸受に生じる静等価荷重は次式で求める。

軸継手側軸受に生じる静等価荷重  $F_{B1}$

$$F_{B1} = \max (X_{01} \cdot F_R + Y_{01} \cdot Q_B, F_R) \dots\dots\dots (4.3.4.17)$$

反軸継手側軸受に生じる静等価荷重  $F_{B2}$

$$F_{B2} = \max (X_{02} \cdot F_R + Y_{02} \cdot Q_B, F_R) \dots\dots\dots (4.3.4.18)$$

(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。

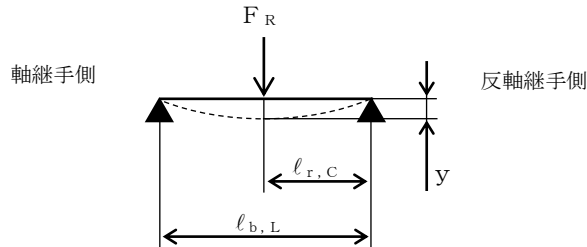


図 4-7 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

軸（回転子）の変位量  $y$  は次式で求める。

$$y = \frac{F_R \cdot l_{r,C} \cdot (l_{b,L}^2 - l_{r,C}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot l_{b,L}} \dots\dots\dots (4.3.4.19)$$

ここで、軸（回転子）の断面二次モーメント  $I$  は

$$I = \frac{\pi \cdot D_s^4}{64} \dots\dots\dots (4.3.4.20)$$

(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。

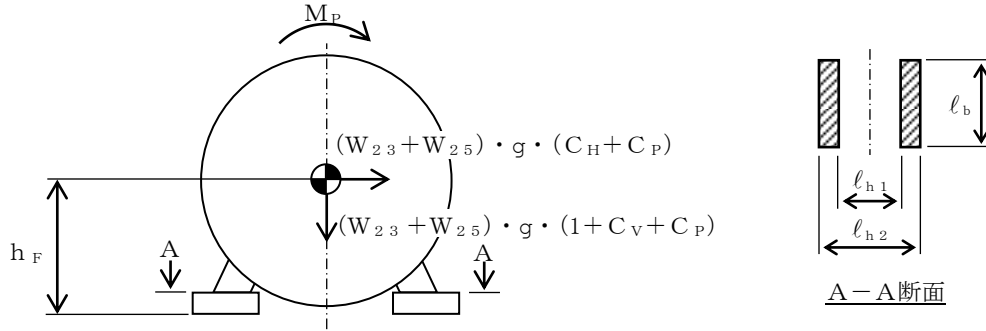


図 4-8 モータフレームの計算モデル

モータフレームに生じる組合せ応力  $\sigma_F$  は次式で求める。

$$\sigma_F = \sqrt{(\sigma_{F1} + \sigma_{F2} + \sigma_{F3})^2 + 3 \cdot \tau_F^2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.21)$$

ここで、水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレームに生じる曲げ応力  $\sigma_{F1}$  は

$$\sigma_{F1} = (W_{23} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_F / Z_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.22)$$

鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる圧縮応力  $\sigma_{F2}$  は

$$\sigma_{F2} = (W_{23} + W_{25}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.23)$$

原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力  $\sigma_{F3}$  は

$$\sigma_{F3} = M_P / Z_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.24)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレームに生じるせん断応力  $\tau_F$  は

$$\tau_F = (W_{23} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.25)$$

フレームの断面係数  $Z_F$  は

$$Z_F = \frac{1}{6} \cdot \frac{l_b \cdot (l_{h2}^3 - l_{h1}^3)}{l_{h2}} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.26)$$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系排風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ガス処理系排風機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。

【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		排風機振動 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			
非常用ガス処理系排風機	S	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =1.56*3	C <sub>V</sub> =1.31*3	C <sub>H</sub> =3.73*4	C <sub>V</sub> =2.32*4		—	66

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

\*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）又は静的震度

\*4：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f i</sub> *1
基礎ボルト (i=1)							10	5
								2
ケーシング取付ボルト (i=2)							4	1
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>P</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)	206*2 (40mm<径≤100mm)	385*2 (40mm<径≤100mm)	206	247	軸	軸	—
ケーシング取付ボルト (i=2)	206*2 (40mm<径≤100mm)	385*2 (40mm<径≤100mm)	206	247	軸	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	206*2 (40mm<径≤100mm)	385*2 (40mm<径≤100mm)	206	247	軸直角	軸	

H <sub>P</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，  
下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：周囲環境温度で算出

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 <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)				
ケーシング取付ボルト (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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=154^*$	$\sigma_{b1}=112$	$f_{ts1}=185^*$
		せん断	$\tau_{b1}=18$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=40$	$f_{sb1}=142$
ケーシング取付ボルト (i=2)	SS41	引張	$\sigma_{b2}=58$	$f_{ts2}=154^*$	$\sigma_{b2}=128$	$f_{ts2}=185^*$
		せん断	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=24$	$f_{sb2}=142$
原動機取付ボルト (i=3)	SS41	引張	$\sigma_{b3}=9$	$f_{ts3}=154^*$	$\sigma_{b3}=21$	$f_{ts3}=185^*$
		せん断	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=118$	$\tau_{b3}=12$	$f_{sb3}=142$

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 <sup>3</sup> /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ファン振動 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			
非常用ガス処理系 排風機	遠心直結型 ファン	4400	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =2.26*3	C <sub>V</sub> =2.51*3		66	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		排風機振動 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			
非常用ガス処理系 排風機用原動機	横形ころがり 軸受電動機	22	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =2.26*3	C <sub>V</sub> =2.51*3			66

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

\*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

1.2.2.1 ファン

A <sub>Sf</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>Sf</sub> (mm)	E <sub>Sf</sub> (MPa)	F <sub>Sf</sub> (N)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	h <sub>3</sub> (mm)	I <sub>Sf</sub> (mm <sup>4</sup> )	k <sub>θr</sub> (N・mm/rad)	k <sub>θt</sub> (N・mm/rad)	ℓ <sub>Sf</sub> (mm)	M <sub>P</sub> (N・mm)	Q <sub>Sf</sub> (N)

Q <sub>1</sub> (N)	W <sub>11</sub> (kg)	W <sub>12</sub> (kg)	W <sub>13</sub> (kg)	W <sub>14</sub> (kg)	X <sub>0A</sub>	X <sub>0B</sub>	Y <sub>0A</sub>	Y <sub>0B</sub>	Z <sub>Pf</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>Sf</sub> (mm <sup>3</sup> )	σ <sub>bf</sub> (MPa)	τ <sub>Sf</sub> (MPa)

β <sub>1</sub> (rad)	β <sub>2</sub> (rad)	β <sub>3</sub> (rad)	δ <sub>1</sub> (mm)	δ <sub>2</sub> (mm)	δ <sub>3</sub> (mm)	δ <sub>4</sub> (mm)



1.2.2.2 原動機

$A_{bt}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_F$ (mm <sup>2</sup> )	$A_S$ (mm <sup>2</sup> )	$D_S$ (mm)	$E$ (MPa)	$F_{bt}$ (N)	$F_H$ (N)	$F_K$ (N)	$F_M$ (N)	$F_R$ (N)	$h_F$ (mm)	$h_t$ (mm)	$I$ (mm <sup>4</sup> )

$l_b$ (mm)	$l_{h1}$ (mm)	$l_{h2}$ (mm)	$l_K$ (mm)	$l_{r,C}$ (mm)	$l_{b,L}$ (mm)	$l_{t1}^*$ (mm)	$l_{t2}^*$ (mm)	$M_P$ (N·mm)	$n_{bt}$	$n_{ft}$	$Q_B$ (N)	$Q_{bt}$ (N)

$r$ (mm)	$t_K$ (mm)	$W_{21}$ (kg)	$W_{22}$ (kg)	$W_{23}$ (kg)	$W_{24}$ (kg)	$W_{25}$ (kg)	$X_{01}$	$X_{02}$	$Y_{01}$	$Y_{02}$	$Z_F$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_P$ (mm <sup>3</sup> )

$Z_S$ (mm <sup>3</sup> )	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_{F1}$ (MPa)	$\sigma_{F2}$ (MPa)	$\sigma_{F3}$ (MPa)	$\tau_F$ (MPa)	$\tau_t$ (MPa)

注記\*：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。

## 1.2.3 結論

## 1.2.3.1 機能確認済加速度との比較

(単位： $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	2.26	2.3
	鉛直方向	2.51	1.0
原動機	水平方向	2.26	4.7
	鉛直方向	2.51	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  
 ファンは、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。  
 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 ファン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、ケーシング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	67	

すべて許容応力以下である。

## 1.2.3.2.2.2 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
負荷側軸受	$5.082 \times 10^3$	
反負荷側軸受	$5.082 \times 10^3$	

すべて許容荷重以下である。

## 1.2.3.2.2.3 インペラとファンケーシング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
インペラとファンケーシング間のクリアランス	1.32	

すべて許容変位量以下である。

## 1.2.3.3 原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	2	

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）	18	

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		
	せん断	1	

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
軸継手側軸受	$2.851 \times 10^3$	
反軸継手側軸受	$2.851 \times 10^3$	

すべて許容荷重以下である。

## 1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.06	

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	6	

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ファン振動 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			
非常用ガス処理 系排風機	常設/緩和	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	—	—	C <sub>H</sub> =3.73*3	C <sub>V</sub> =2.32*3		—	100

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

\*3：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

2.1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *1
基礎ボルト (i=1)							10	5
								2
ケーシング取付ボルト (i=2)							4	1
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>P</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)	194*2 (40mm<径≤100mm)	373*2 (40mm<径≤100mm)	—	232	—	軸	—
ケーシング取付ボルト (i=2)	194*2 (40mm<径≤100mm)	373*2 (40mm<径≤100mm)	—	232	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	194*2 (40mm<径≤100mm)	373*2 (40mm<径≤100mm)	—	232	—	軸	—

H <sub>P</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し，

下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2：周囲環境温度で算出

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ケーシング取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.1.4 結論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b1}=112$	$f_{ts1}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=40$	$f_{sb1}=134$
ケーシング取付ボルト (i=2)	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b2}=128$	$f_{ts2}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=24$	$f_{sb2}=134$
原動機取付ボルト (i=3)	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b3}=21$	$f_{ts3}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=12$	$f_{sb3}=134$

すべて許容応力以下である。

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

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m <sup>3</sup> /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ファン振動 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			
非常用ガス処理系 排風機	遠心直結型 ファン	4400	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =2.26*3	C <sub>V</sub> =2.51*3		66	100

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

\*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）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		ファン振動 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			
非常用ガス処理系 排風機用原動機	横形ころがり 軸受電動機	22	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =2.26*3	C <sub>V</sub> =2.51*3			100

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

\*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

2.2.2 機器要目

2.2.2.1 ファン

A <sub>Sf</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>Sf</sub> (mm)	E <sub>Sf</sub> (MPa)	F <sub>Sf</sub> (N)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	h <sub>3</sub> (mm)	I <sub>Sf</sub> (mm <sup>4</sup> )	k <sub>θr</sub> (N・mm/rad)	k <sub>θt</sub> (N・mm/rad)	ℓ <sub>Sf</sub> (mm)	M <sub>P</sub> (N・mm)	Q <sub>Sf</sub> (N)

Q <sub>1</sub> (N)	W <sub>11</sub> (kg)	W <sub>12</sub> (kg)	W <sub>13</sub> (kg)	W <sub>14</sub> (kg)	X <sub>0A</sub>	X <sub>0B</sub>	Y <sub>0A</sub>	Y <sub>0B</sub>	Z <sub>Pf</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>Sf</sub> (mm <sup>3</sup> )	σ <sub>bf</sub> (MPa)	τ <sub>Sf</sub> (MPa)

β <sub>1</sub> (rad)	β <sub>2</sub> (rad)	β <sub>3</sub> (rad)	δ <sub>1</sub> (mm)	δ <sub>2</sub> (mm)	δ <sub>3</sub> (mm)	δ <sub>4</sub> (mm)

2.2.2.2 原動機

$A_{bt}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_F$ (mm <sup>2</sup> )	$A_S$ (mm <sup>2</sup> )	$D_S$ (mm)	$E$ (MPa)	$F_{bt}$ (N)	$F_H$ (N)	$F_K$ (N)	$F_M$ (N)	$F_R$ (N)	$h_F$ (mm)	$h_t$ (mm)	$I$ (mm <sup>4</sup> )

$l_b$ (mm)	$l_{h1}$ (mm)	$l_{h2}$ (mm)	$l_K$ (mm)	$l_{r,c}$ (mm)	$l_{b,L}$ (mm)	$l_{t1}^*$ (mm)	$l_{t2}^*$ (mm)	$M_P$ (N・mm)	$n_{bt}$	$n_{ft}$	$Q_B$ (N)	$Q_{bt}$ (N)

$r$ (mm)	$t_K$ (mm)	$W_{21}$ (kg)	$W_{22}$ (kg)	$W_{23}$ (kg)	$W_{24}$ (kg)	$W_{25}$ (kg)	$X_{01}$	$X_{02}$	$Y_{01}$	$Y_{02}$	$Z_F$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_P$ (mm <sup>3</sup> )

$Z_S$ (mm <sup>3</sup> )	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_{F1}$ (MPa)	$\sigma_{F2}$ (MPa)	$\sigma_{F3}$ (MPa)	$\tau_F$ (MPa)	$\tau_t$ (MPa)

注記\*：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。

## 2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (単位:  $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	2.26	2.3
	鉛直方向	2.51	1.0
原動機	水平方向	2.26	4.7
	鉛直方向	2.51	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

ファンは、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。

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。

## 2.2.3.2 ファンの動的機能維持評価

## 2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト、ケーシング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。

## 2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

## 2.2.3.2.2.1 軸の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸	67	

すべて許容応力以下である。

## 2.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位: N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
インペラ側軸受	$5.082 \times 10^3$	
電動機側軸受	$5.082 \times 10^3$	

すべて許容荷重以下である。

## 2.2.3.2.2.3 インペラとファンケーシング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
インペラとファンケーシング間のクリアランス	1.32	

すべて許容変位量以下である。



## 2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

## 2.2.3.3.1 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。

## 2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

## 2.2.3.3.2.1 固定子の評価 (単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	2	

すべて許容応力以下である。

## 2.2.3.3.2.2 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）	18	

すべて許容応力以下である。

## 2.2.3.3.2.3 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		
	せん断	1	

すべて許容応力以下である。

## 2.2.3.3.2.4 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側軸受	$2.851 \times 10^3$	
反軸継手側軸受	$2.851 \times 10^3$	

## 2.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位：mm)

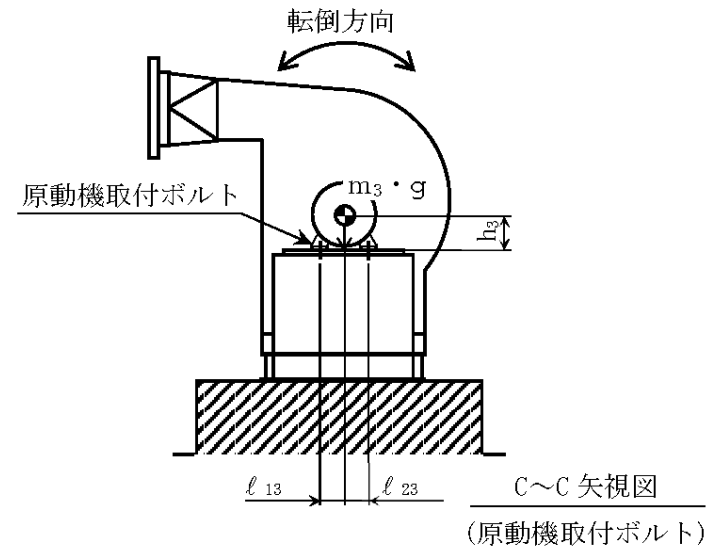
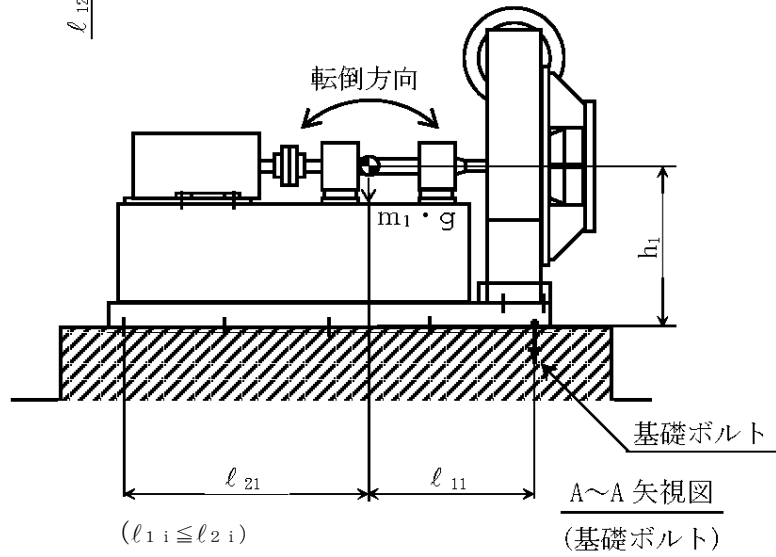
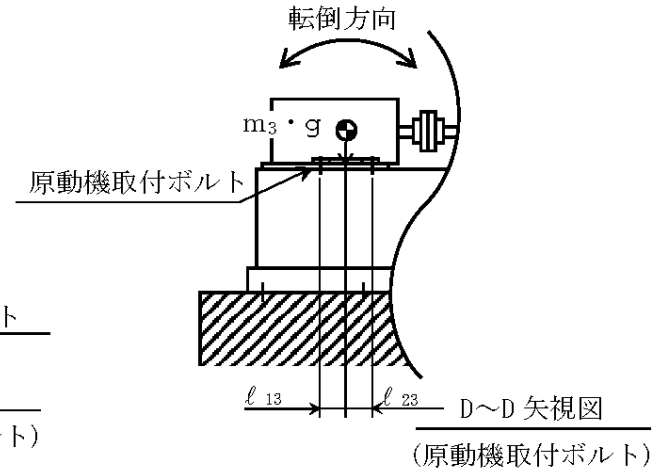
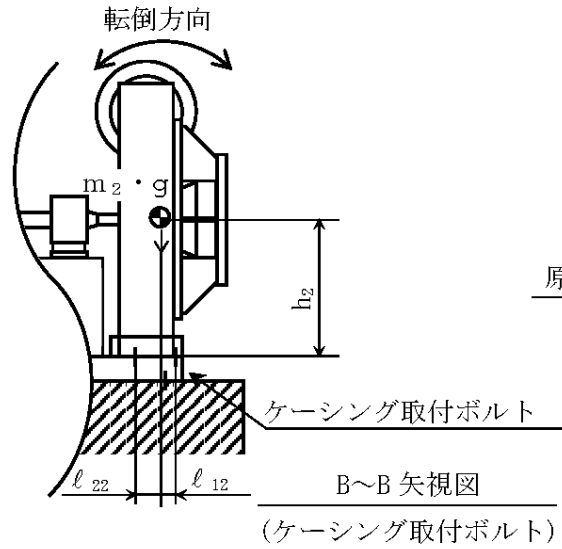
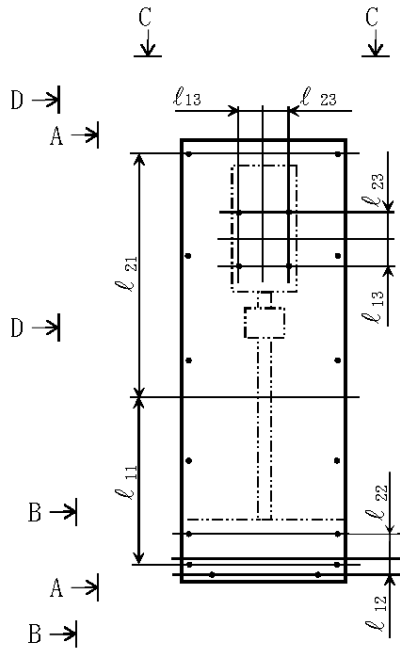
評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.06	

すべて許容変位量以下である。

## 2.2.3.3.2.6 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	6	

すべて許容応力以下である。



VI-2-9-4-5-1-4 ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要 .....	1
2.	一般事項 .....	1
2.1	構造計画 .....	1
2.2	評価方針 .....	4
2.3	適用規格・基準等.....	5
2.4	記号の説明.....	6
2.5	計算精度と数値の丸め方.....	8
3.	評価部位 .....	9
4.	固有周期 .....	10
4.1	固有値解析方法.....	10
4.2	解析モデル及び諸元.....	10
4.3	固有値解析結果.....	12
5.	構造強度評価 .....	13
5.1	構造強度評価方法.....	13
5.2	荷重の組合せ及び許容応力.....	14
5.3	設計用地震力.....	18
5.4	計算方法 .....	19
5.5	計算条件 .....	30
5.6	応力の評価.....	30
6.	機能維持評価 .....	32
6.1	動的機能維持評価方法.....	32
7.	評価結果 .....	33
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果.....	33

## 1. 概要

本計算書は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）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。

BOP閉止装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

BOP閉止装置の全体構造を図2-1に、構造計画を表2-1に示す。

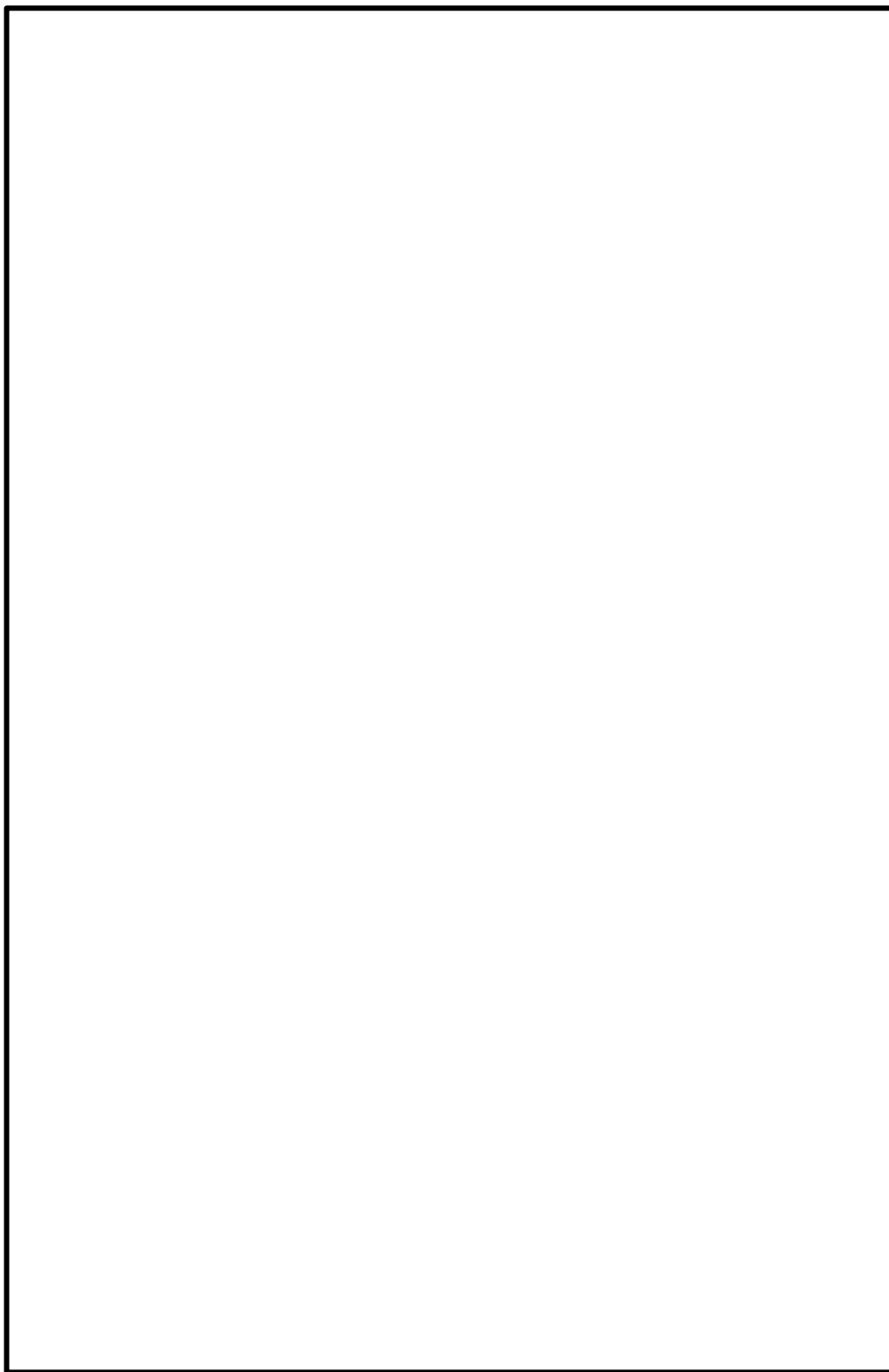
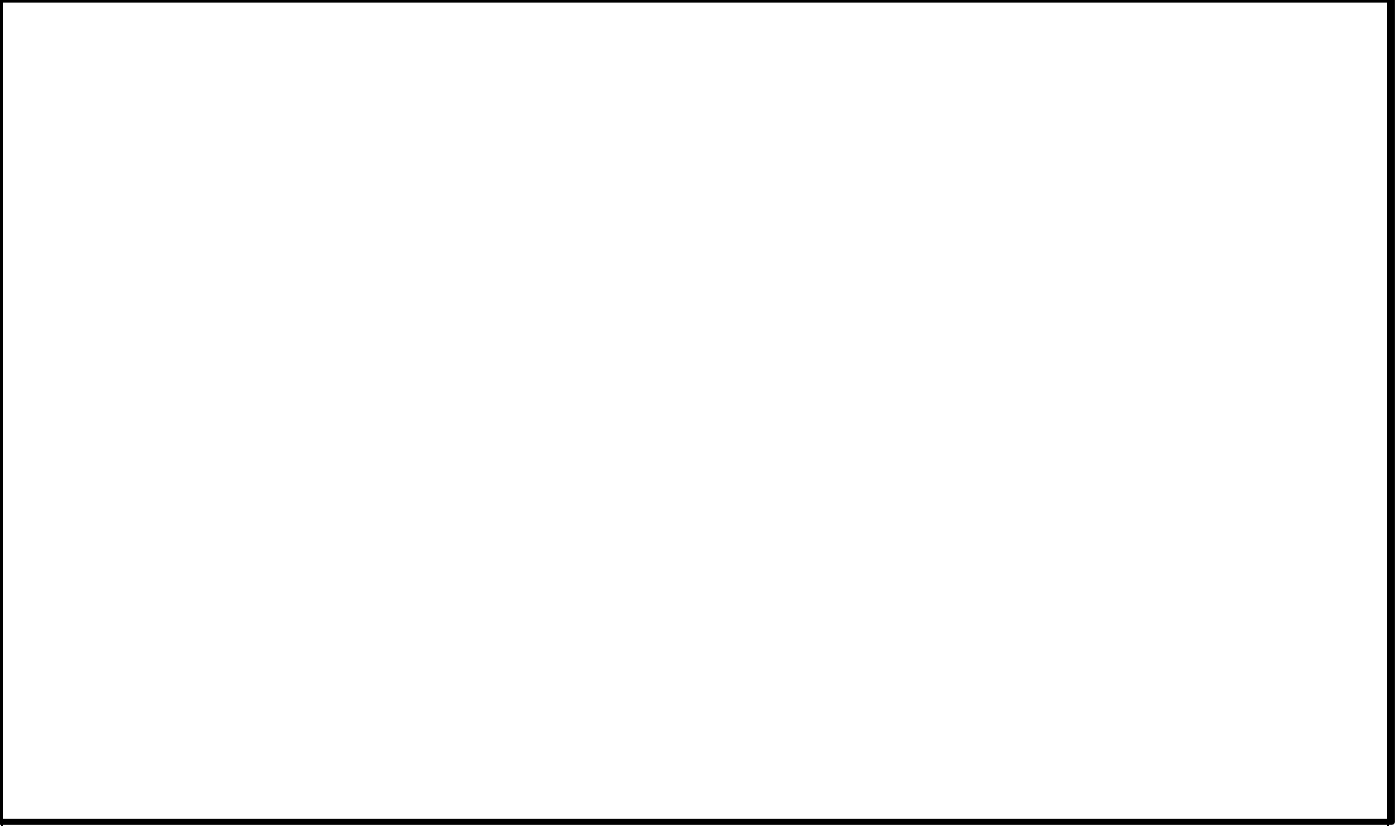


図2-1 BOP閉止装置の全体構造

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図 (2連ユニットを示す)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>BOP閉止装置は、同一形状のものを、原子炉建物原子炉棟4階内壁面に2連ユニット（ダンパ12個）、3連ユニット（ダンパ12個）、計24個設置しており、ケーシングは、取付ボルトにより取付架台に取り付けられ、取付架台は基礎ボルトにより壁面（原子炉建物）に設置する。</p>	<p>BOP閉止装置は、羽根、ケーシング、羽根を駆動する駆動部、シャフト等から構成される。</p>	

## 2.2 評価方針

BOP閉止装置の応力評価は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、「2.1 構造計画」にて示すBOP閉止装置の部位を踏まえ「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、BOP閉止装置の動的機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 動的機能維持評価」にて示す方法により確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

BOP閉止装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

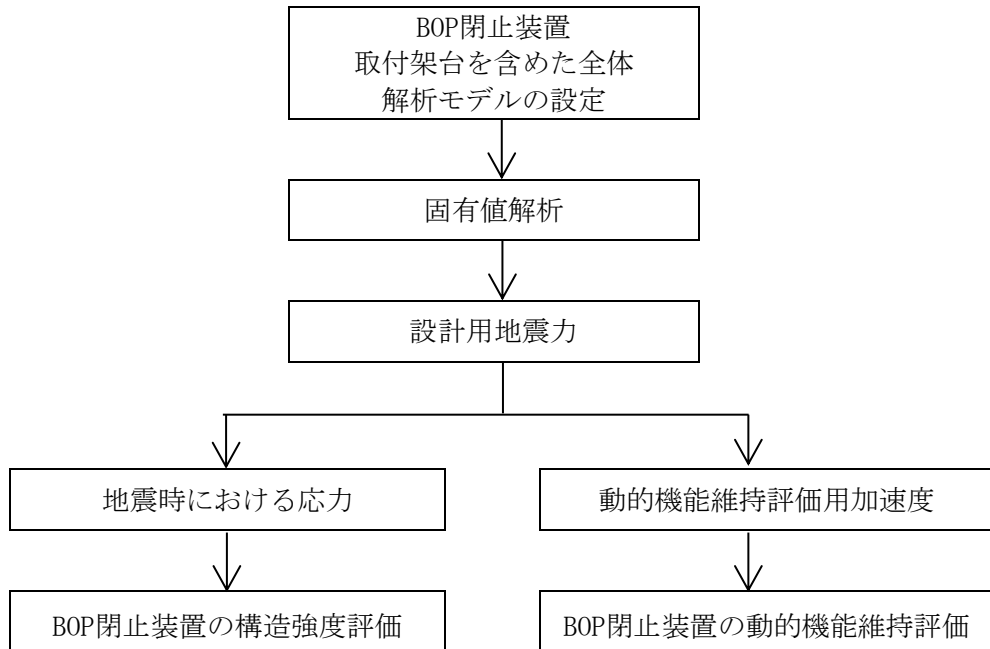


図2-1 BOP閉止装置の耐震評価フロー



### 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
$A_{bi}$	ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A_{co}$	コネクタの断面積	$\text{mm}^2$
$A_s$	シャフトの断面積	$\text{mm}^2$
$B_b$	羽根の幅	mm
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d_{co}$	コネクタの内径	mm
$D_{co}$	コネクタの外径	mm
$d_i$	ボルトの呼び径	mm
$D_s$	シャフトの径	mm
$E$	縦弾性係数	MPa
$F^*, F_{i}^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3 又はSSB-3133 に定める値	MPa
$F_b$	差圧による荷重	N
$F_{bi}$	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
$f_{sm}$	許容せん断応力（ $f_s$ を1.5倍した値又は $f_{s}^*$ を1.5倍した値）	MPa
$f_{sbi}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{tm}$	許容引張応力（ $f_t$ を1.5倍した値又は $f_t^*$ を1.5倍した値）	MPa
$f_{toi}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	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）	MPa
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$H_b$	羽根の高さ	mm
$L_s$	シャフトの長さ	mm
$\ell_{H1i}, \ell_{H2i}, \ell_{H3i}$	重心とボルトの水平方向距離	mm
$\ell_{V1i}, \ell_{V2i}$	重心とボルトの鉛直方向距離	mm
$M_s$	シャフトに作用する曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
$m_{BOS}$	BOP閉止装置の質量	kg
$m_{BOS2}$	BOP閉止装置（2連ユニット）の質量	kg
$m_{BOS3}$	BOP閉止装置（3連ユニット）の質量	kg
$m_{SP}$	取付架台の質量	kg
$m_{act}$	駆動部の質量	kg
$m_i$	ボルトに加わる質量	kg
$m_s$	シャフトの質量	kg
$m_{SP}$	取付架台の質量	kg
$n_{Hi}$	水平方向の引張力を受けるボルトの本数	—
$n_i$	ボルトの本数	—
$n_{ti}$	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
$n_{vi}$	鉛直方向の引張力を受けるボルトの本数	—
$P$	差圧による圧力	Pa
$P_w$	風圧力	Pa
$P_{CD}$	軸受取付ボルトのピッチ直径	mm
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力	N
$Q_{CO}$	コネクタに作用するせん断力	N

記号	記号の説明	単位
$Q_s$	シャフトに作用するせん断力	N
$S_u, S_{ui}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9定める値	MPa
$S_y, S_{yi}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT), S_{yi} (RT)$	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	MPa
$W_s$	羽根の質量	kg/m
$W_b$	差圧による単位荷重	kg/m
$W_w$	風による単位荷重	kg/m
$\pi$	円周率	—
$\nu$	ポアソン比	—
$\sigma_{bi}$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_s$	シャフトに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{sc}$	シャフトに生じる組合せ応力	MPa
$\tau_{bi}$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_s$	シャフトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{co}$	コネクタに生じるせん断応力	MPa
$T$	温度条件	°C
$Z_s$	シャフトの断面係数	mm <sup>3</sup>

注記\*1:  $A_{bi}, d_i, F_i^*, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, \ell_{H1i}, \ell_{H2i}, \ell_{Vi}, n_i, n_{fi}, Q_{bi}, S_{ui}, S_{yi}, S_{yi} (RT), \sigma_{bi}$ 及び $\tau_{bi}$ の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$ : 軸受取付ボルト

$i = 2$ : 駆動部取付ボルト

$i = 3$ : 取付ボルト

## 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 <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
断面係数	mm <sup>3</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

\*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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

BOP閉止装置の耐震評価は、「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部位について実施する。評価部位は、BOP閉止装置の構造が空調ダンパと同様であることからJ E A C 4 6 0 1の空調ダンパの評価部位のうちBOP閉止装置において相当する部位を評価部位とする。加えて耐震評価上厳しくなるボルト類についても評価部位とする。

以上より評価部位はシャフト、コネクタ、軸受取付ボルト、駆動部取付ボルト及び取付ボルトとし表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

取付架台を含めたBOP閉止装置全体の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) BOP閉止装置は、「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

BOP閉止装置の解析モデルを図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【BOP閉止装置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) 2連及び3連ユニットの質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 2連及び3連ユニットの重心位置は、公称位置とする。
- (3) 拘束条件は、BOP閉止装置取付ボルト部をピン拘束とする。なお、基礎ボルト部は完全拘束として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX Nastran」を使用し、固有値を求める。

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

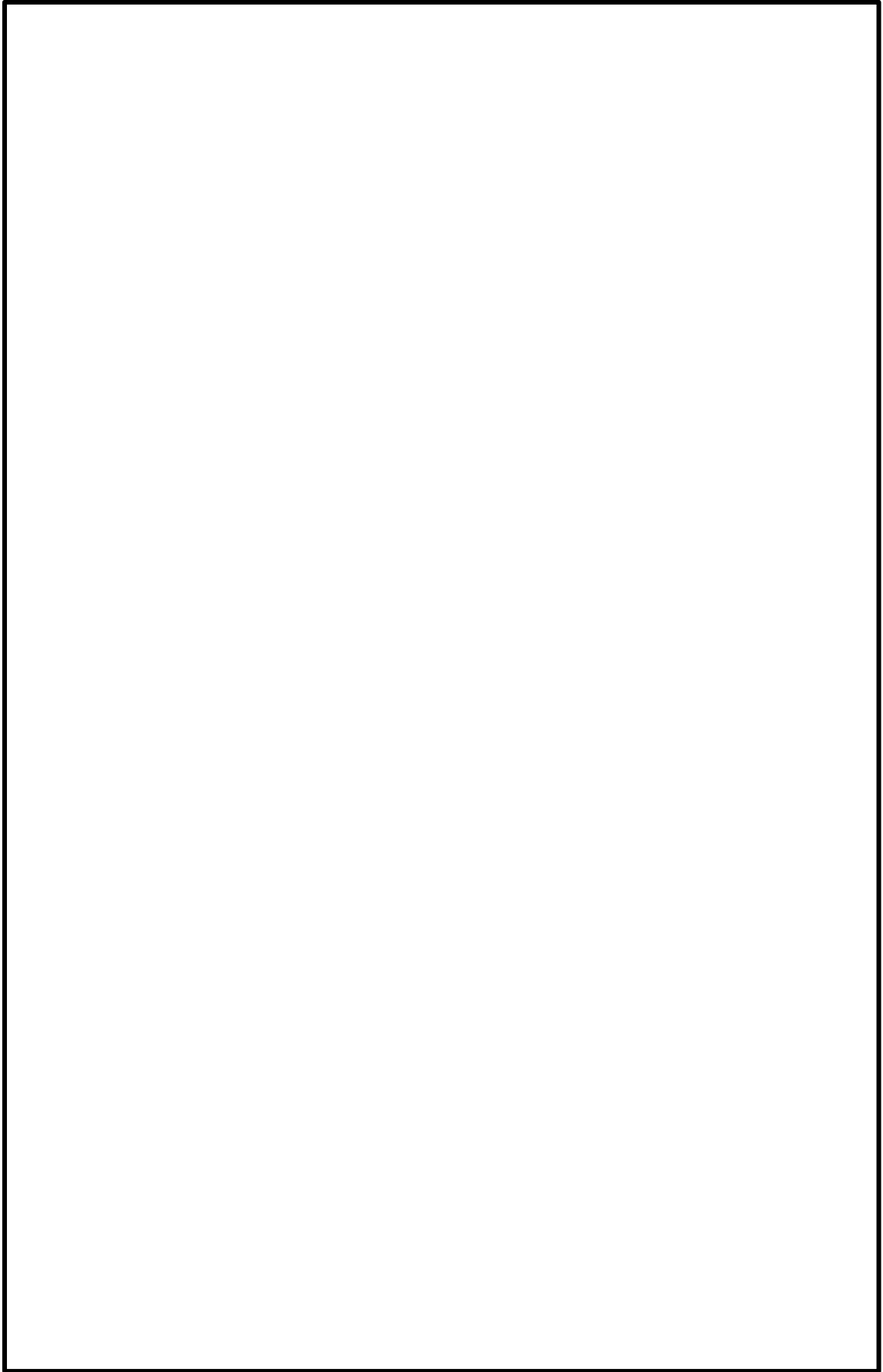


図4-1 解析モデル

### 4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表4-1，振動モード図を図4-2に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表4-1 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.019	—	—	—

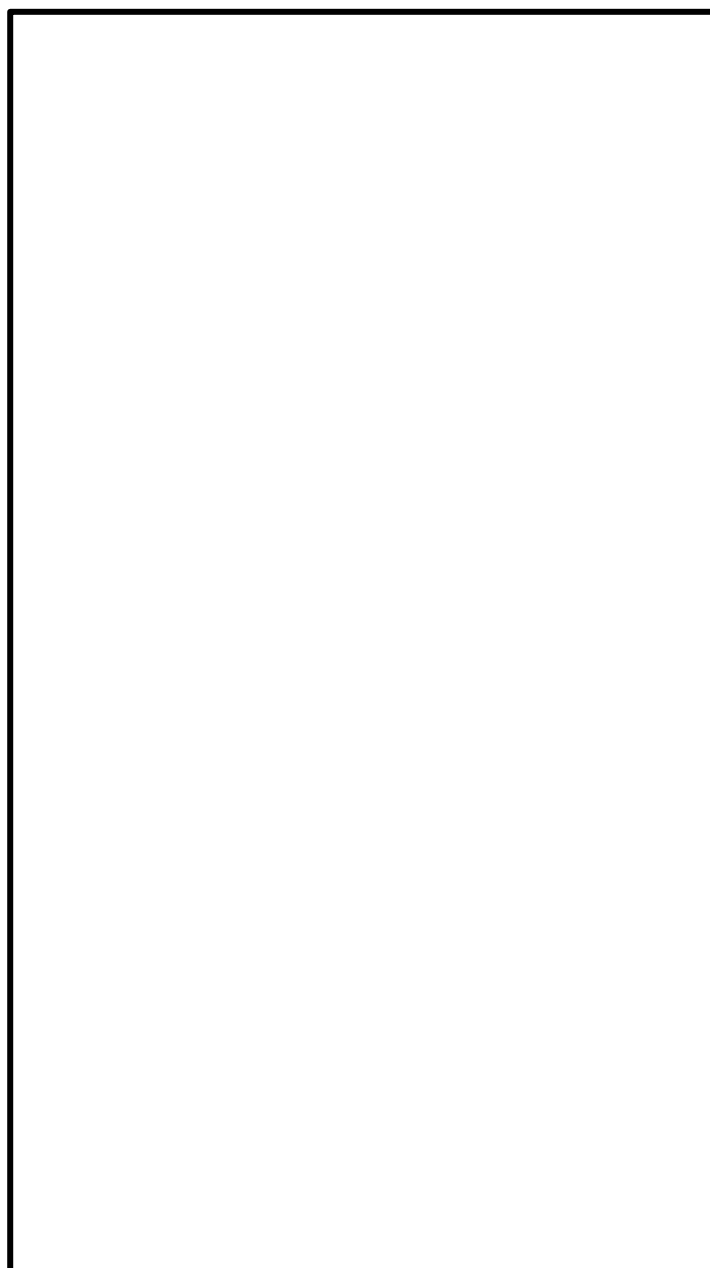


図4-2 振動モード図 (1次)



## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

「3. 評価部位」にて設定した各評価部材の構造強度評価方法を以下に示す。なお、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を適用する。

#### 5.1.1 シャフトの構造強度評価方法

- (1) シャフトは羽根と一体となって軸受により支持される構造である。
- (2) 地震力はシャフトに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、強度評価において地震力を組み合わせるものとする。
- (3) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、羽根に対して等分布に作用するものとする。また、強度評価において地震力と組み合わせるものとする。

#### 5.1.2 コネクタの構造強度評価方法

- (1) コネクタは隣接するシャフト同士を結合する構造である。
- (2) 地震力はコネクタに対して水平及び鉛直方向から作用するものとするが、シャフト軸方向の荷重はキー結合で軸方向を拘束しないため作用しないものとする。
- (3) コネクタには地震力によりせん断力のみが作用するものとする。

#### 5.1.3 軸受取付ボルト

- (1) シャフトからの地震荷重は、両端の軸受を介して軸受取付ボルトに対して水平及び鉛直方向に作用するものとする。
- (2) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、軸受取付ボルト全数に対して作用するものとする。

#### 5.1.4 駆動部取付ボルト

- (1) 駆動部からの地震荷重は、駆動部取付ボルトに対して水平及び鉛直方向に作用するものとする。

#### 5.1.5 取付ボルト

- (1) BOP閉止装置からの地震荷重は、取付ボルトに対して水平及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 地震荷重による転倒方向は水平及び鉛直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。
- (3) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、取付ボルト全数に対して作用するものとする。

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

BOP閉止装置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

BOP閉止装置の許容応力は、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

BOP閉止装置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
原子炉格納施設	—	BOP閉止装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$	VAS (VASとして、IVASの許容限界を用いる。)

注記\*1：「常設／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 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張	せん断	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして、IV <sub>A</sub> 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
シャフト	<input type="text"/> *1	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
コネクタ	<input type="text"/> *1	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
軸受取付ボルト	<input type="text"/> *2	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
駆動部取付ボルト	<input type="text"/> *3	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
取付ボルト	<input type="text"/> *3	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

注記\*1 : 相当

\*2 : 相当

\*3 : 相当

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-4に示す。

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

表5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL42.800 (EL63.500* <sup>1</sup> )	0.019	0.05以下	—	—	$C_H=4.97^{*2}$	$C_V=2.66^{*2}$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 $S_s$ ）

## 5.4 計算方法

## 5.4.1 応力の計算方法

## 5.4.1.1 シャフトの計算方法

シャフトに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、シャフトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-1 に示すとおり、等分布荷重がシャフト全体に作用する両端支持梁モデルとする。差圧及び風による荷重も考慮する。

## (1) せん断応力

せん断力

$$Q_s = \frac{m_s \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g + F_b + F_w}{2} \dots\dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、差圧による荷重 $F_b$ は次式により求める。

$$F_b = B_b \cdot H_b \cdot P \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、風による荷重 $F_w$ は次式により求める。

$$F_w = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

せん断応力

$$\tau_s = \frac{Q_s}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、シャフトの断面積 $A_s$ は次式により求める。

$$A_s = D_s^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

## (2) 曲げ応力

曲げモーメント

$$M_s = \frac{W_s \cdot H_b^2 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g + W_b \cdot L_s^2 \cdot g + W_w \cdot L_s^2 \cdot g}{8} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

ここで、単位質量 $W_s$ は次式により求める。

$$W_s = \frac{m_s}{L_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

ここで、差圧による単位荷重 $W_b$ は次式により求める。

$$W_b = \frac{B_b \cdot H_b \cdot P}{L_s \cdot g} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

ここで、風による単位荷重 $W_w$ は次式により求める。

$$W_w = \frac{B_b \cdot H_b \cdot P_w}{L_s \cdot g} \dots \dots \dots (5.4.1.1.9)$$

曲げ応力

$$\sigma_s = \frac{M_s}{Z_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.10)$$

ここで、シャフトの断面係数 $Z_s$ は次式により求める。

$$Z_s = D_s^3 \cdot \frac{\pi}{32} \dots \dots \dots (5.4.1.1.11)$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_s^2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.12)$$

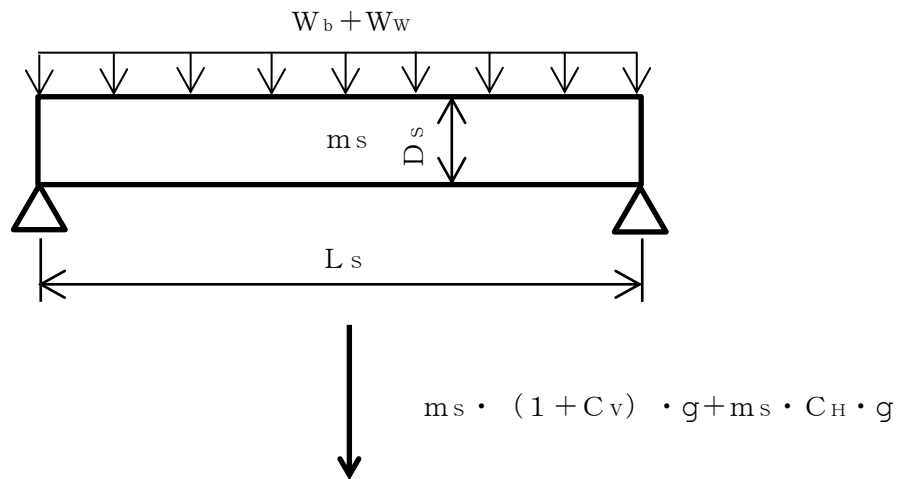


図5-1 シャフトの計算モデル



5.4.1.2 コネクタの計算方法

コネクタに作用する荷重によるせん断力を算出し、コネクタに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-2に示すとおりとする。

コネクタには、水平及び鉛直方向地震力による応力が生じる。

なお、軸方向荷重はコネクタの軸方向拘束がないため作用しない。

BOP閉止装置に作用する地震力により発生する荷重がコネクタに作用するものとして評価を行う。

(1) せん断応力

せん断力

$$Q_{CO} = m_{BOS} \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

せん断応力

$$\tau_{CO} = \frac{Q_{CO}}{A_{CO}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

ここでコネクタの断面積  $A_{CO}$  は次式により求める。

$$A_{CO} = (D_{CO} - d_{CO})^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

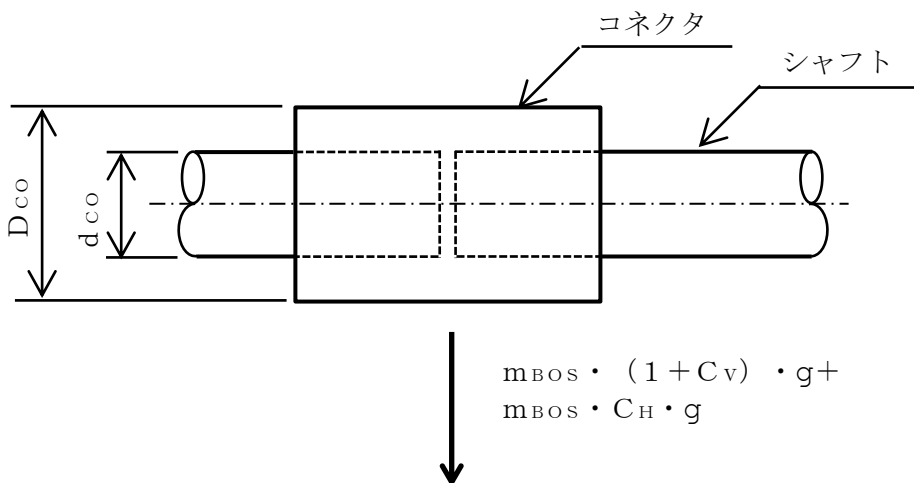


図5-2 コネクタの計算モデル

## 5.4.1.3 軸受取付ボルトの計算方法

軸受取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、軸受取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-3 に示すとおりとする。

## (1) 引張応力

軸受取付ボルト（1本当たり）に対する引張力は、シャフト片端の軸受取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n_1} \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、軸受取付ボルトの断面積 $A_{b1}$ は次式により求める。

$$A_{b1} = d_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

## (2) せん断応力

軸受取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は、シャフト両端の軸受取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = \frac{m_1 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g + F_b + F_w}{2 \cdot n_1} \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

ここで、差圧による荷重 $F_b$ は次式により求める。

$$F_b = B_b \cdot H_b \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

ここで、風による荷重 $F_w$ は次式により求める。

$$F_w = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.3.6)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.6.3.7)$$

ここで、軸受取付ボルトの断面積 $A_{b1}$ は次式により求める。

$$A_{b1} = d_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.6.3.8)$$

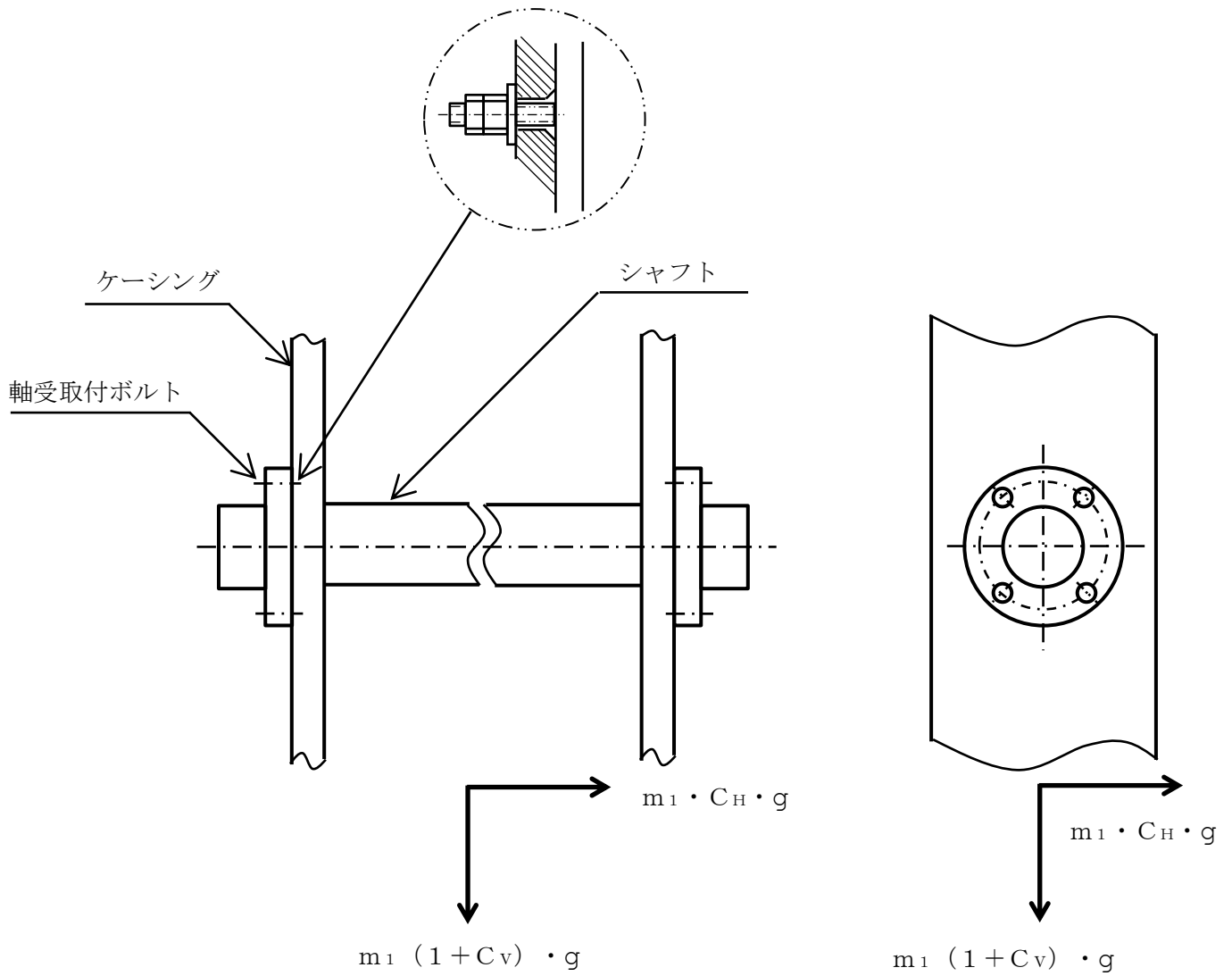


図5-3 軸受取付ボルトの計算モデル

## 5.4.1.4 駆動部取付ボルトの計算方法

駆動部取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、駆動部取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-4 に示すとおりとする。

## (1) 引張応力

駆動部取付ボルト（1本あたり）に対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて下式により計算する。

引張力

$$F_{b12} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( C_H \cdot \left( \frac{\ell_{V22}}{2} - \ell_{H22} \right) + C_H \cdot \ell_{H12} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

$$F_{b22} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( C_H \cdot \left( \frac{\ell_{V22}}{2} + \ell_{H22} \right) + C_H \cdot \ell_{H12} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

$$F_{b32} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( C_H \cdot \ell_{H12} + (1 + C_V) \cdot \left( \ell_{V12} - \frac{\ell_{V22}}{2} \right) \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

$$F_{b42} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V22}} \cdot \left( C_H \cdot \ell_{H12} + (C_V - 1) \cdot \left( \ell_{V12} + \frac{\ell_{V22}}{2} \right) \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

$$F_{b2} = \text{Max} (F_{b12}, F_{b22}, F_{b32}, F_{b42}) \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

ここで、ボルトピッチ  $l_{V22}$  は次式により求める。

$$l_{V22} = PCD \cdot \cos \frac{\pi}{4} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.4.6)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.4.7)$$

ここで、駆動部取付ボルトの断面積  $A_{b2}$  は次式により求める。

$$A_{b2} = d_2^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.4.8)$$

但し、 $F_{b2}$  が負の時、取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

駆動部取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は駆動部取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = \frac{m_2 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g}{n_2} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.4.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.4.10)$$

ここで、駆動部取付ボルトの断面積  $A_{b2}$  は次式により求める。

$$A_{b2} = d_2^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.4.11)$$

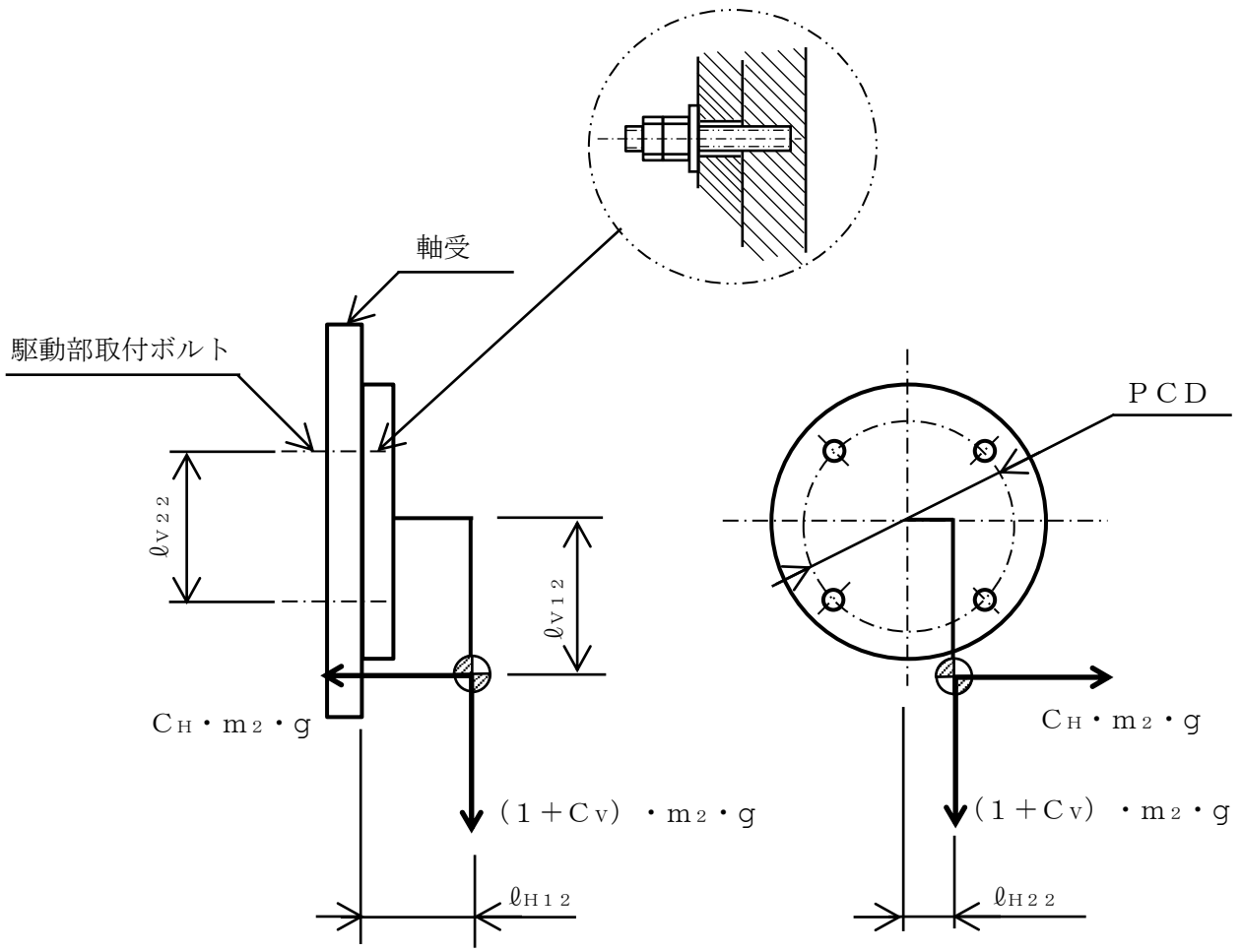


図5-4 駆動部取付ボルトの計算モデル

## 5.4.1.5 取付ボルトの計算方法

取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-5及び図5-6に示すとおりとする。

## (1) 引張応力

取付ボルト（1本当たり）に対する引張力は片側のボルト列を支点とする転倒を考え、これを逆側の最外列の取付ボルトで受けるものとして下式により計算する。差圧及び風による荷重も引張力として考慮する。

計算結果は最も厳しいものを記載する。

引張力

$$F_{b13} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H33} \cdot g}{n_{V3} \cdot (\ell_{V13} + \ell_{V23})} + \frac{m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{H13} \cdot g}{n_{H3} \cdot (\ell_{H13} + \ell_{H23})} + \frac{F_b + F_w}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.1)$$

$$F_{b23} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H33} \cdot g}{n_{V3} \cdot (\ell_{V13} + \ell_{V23})} + \frac{m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{H23} \cdot g}{n_{H3} \cdot (\ell_{H13} + \ell_{H23})} + \frac{F_b + F_w}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.2)$$

$$F_{b33} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H33} \cdot g + m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{V23} \cdot g}{n_{V3} \cdot (\ell_{V13} + \ell_{V23})} + \frac{F_b + F_w}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.3)$$

$$F_{b3} = \text{Max} (F_{b13}, F_{b23}, F_{b33}) \dots \dots \dots (5.4.1.5.4)$$

ここで、差圧による荷重 $F_b$ は次式により求める。

$$F_b = B_b \cdot H_b \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.5.5)$$

ここで、風による荷重 $F_w$ は次式により求める。

$$F_w = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.5.6)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.7)$$

ここで、取付ボルトの断面積 $A_{b3}$ は次式により求める。

$$A_{b3} = d_3^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.5.8)$$

但し、 $F_{b3}$ が負の時、取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

差圧及び風による荷重は、せん断力に加えない。

せん断力

$$Q_{b3} = \frac{m_3 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g}{n_3} \quad \dots \dots (5.4.1.5.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.10)$$

ここで、取付ボルトの断面積 $A_{b3}$ は次式により求める。

$$A_{b3} = d_3^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.11)$$



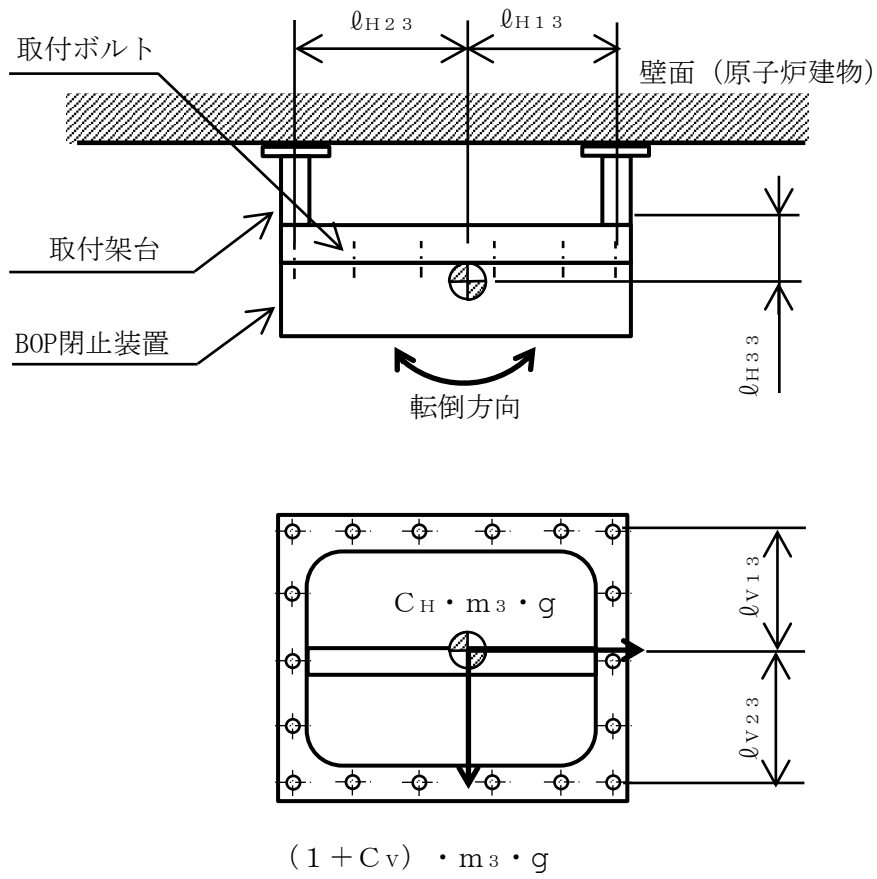


図5-5 取付ボルトの計算モデル (水平方向)

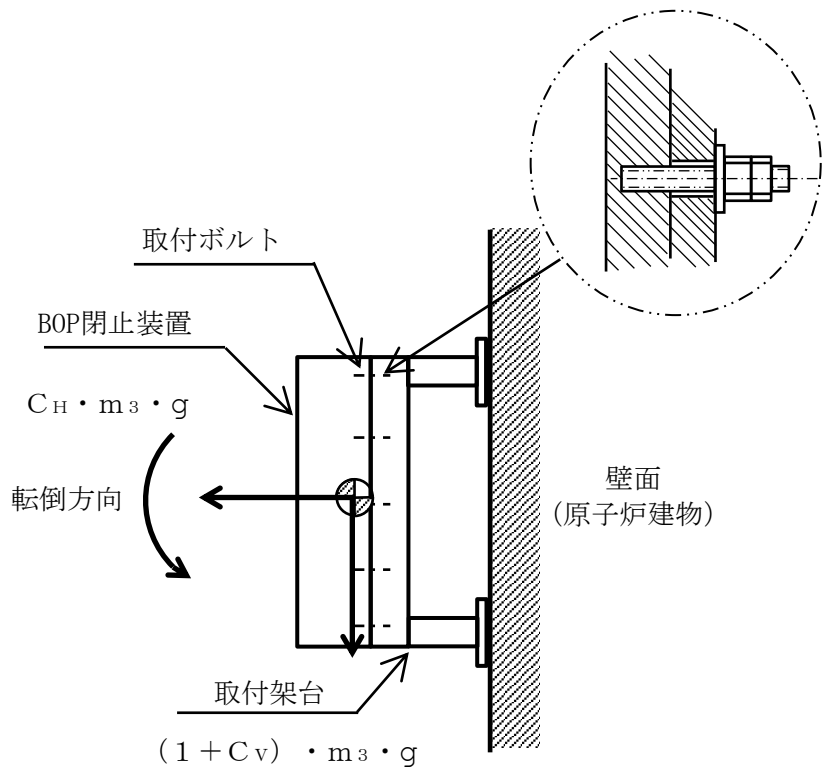


図5-6 取付ボルトの計算モデル (鉛直方向)

## 5.5 計算条件

### 5.5.1 応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【BOP閉止装置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 シャフトの応力評価

5.4項で求めたシャフトの組合せ応力 $\sigma_{sc}$ は許容引張応力 $f_{tm}$ 以下であること。ただし、 $f_{tm}$ は表5-5による。

表5-5 シャフトの許容応力

	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 $f_{tm}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

### 5.6.2 コネクタの応力評価

5.4項で求めたコネクタのせん断応力 $\tau_{co}$ が許容せん断応力 $f_{sm}$ 以下であること。ただし、 $f_{sm}$ は表5-6による。

表5-6 コネクタの許容応力

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

### 5.6.3 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{bi}$ 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、許容引張応力 $f_{toi}$ は表5-7による。

$$f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots \dots \dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 $\tau_{bi}$ 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、 $f_{sbi}$ は表5-7による。

表5-7 ボルトの許容応力

	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 $f_{toi}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sbi}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 機能維持評価

### 6.1 動的機能維持評価方法

BOP閉止装置の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、動的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。

BOP閉止装置の動的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、模擬地震波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

動的機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

機器名称	方向	機能確認済加速度
BOP閉止装置	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

## 7. 評価結果

### 7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

BOP閉止装置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。

## 【BOP閉止装置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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	
BOP閉止装置	常設／緩和	原子炉建物 EL42.800 (EL63.500* <sup>1</sup> )	0.019	0.05以下	—	—	C <sub>H</sub> =4.97* <sup>2</sup>	C <sub>V</sub> =2.66* <sup>2</sup>	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<sub>s</sub>）

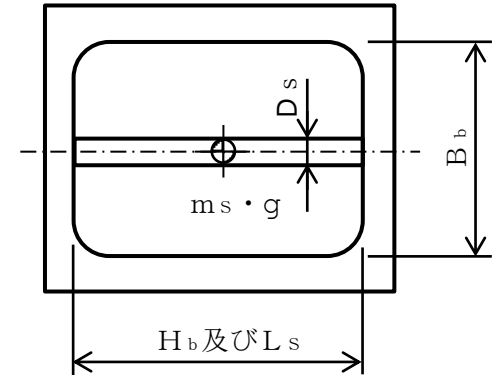
1.2 機器要目

1.2.1 シャフト

(1) 開状態

$m_s$ (kg)	$D_s$ (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$L_s$ (mm)	$B_b$ (mm)	$H_b$ (mm)	$Z_s$ (mm <sup>3</sup> )
□	□	□	□	□	□	□

$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
□	□	□



(2) 閉状態

$m_s$ (kg)	$D_s$ (mm)	$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$L_s$ (mm)	$B_b$ (mm)	$H_b$ (mm)	$Z_s$ (mm <sup>3</sup> )
□	□	□	□	□	□	□

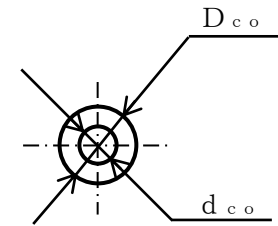
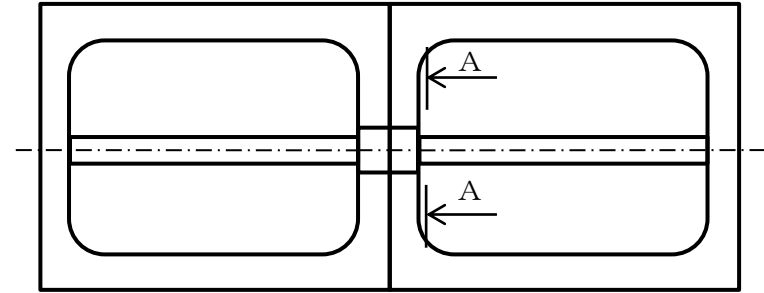
$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
□	□	□

$P_w$ (kPa)	$P$ (Pa)
1.725	63

1.2.2 コネクタ

$D_{c o}$ (mm)	$d_{c o}$ (mm)	$A_{c o}$ (mm <sup>2</sup> )	$m_{BOS}$ (kg)
□	□	□	□

$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$F^*$ (MPa)
□	□	□



A~A 矢视图


















1.2.3 ボルト

(1)開状態









部材	$m_i$ (kg)	$d_i$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{ti}$	$n_{vi}$	$n_{Hi}$	$\ell_{H1i}$ (mm)	$\ell_{H2i}$ (mm)	$\ell_{H3i}$ (mm)	$\ell_{V1i}$ (mm)	$\ell_{V2i}$ (mm)	PCD (mm)
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—	—	—	—	—	—	—	—
駆動部取付ボルト ( $i = 2$ )						—	—			—		—	
取付ボルト ( $i = 3$ )					—								—

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$S_{yi}$ (RT) (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 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—
駆動部取付ボルト ( $i = 2$ )					—	—
取付ボルト ( $i = 3$ )					—	水平

(2) 閉状態

部材	$m_i$ (kg)	$d_i$ (mm)	$A_{bi}$ (mm <sup>2</sup> )	$n_i$	$n_{vi}$	$n_{Hi}$	$\ell_{H1i}$ (mm)	$\ell_{H2i}$ (mm)	$\ell_{H3i}$ (mm)	$\ell_{V1i}$ (mm)	$\ell_{V2i}$ (mm)
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—	—	—	—	—	—
取付ボルト ( $i = 3$ )											

部材	$P_w$ (kPa)	$P$ (Pa)
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )	1.725	63
取付ボルト ( $i = 3$ )	1.725	63

部材	$S_{yi}$ (MPa)	$S_{ui}$ (MPa)	$S_{yi}$ (RT) (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 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i = 1$ )					—	—
取付ボルト ( $i = 3$ )					—	水平

## 1.3 計算数値

## 1.3.1 シャフトに作用する力及びモーメント

## (1)開状態

部 材	$M_s$ (N・mm)		$Q_s$ (N)	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
シャフト	—	$9.174 \times 10^5$	—	$3.783 \times 10^3$

## (2)閉状態

部 材	$M_s$ (N・mm)		$Q_s$ (N)	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
シャフト	—	$1.079 \times 10^6$	—	$4.451 \times 10^3$

## 1.3.2 コネクタに作用する力

(単位 : N)

部 材	$Q_{co}$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
コネクタ	—	$2.179 \times 10^4$

## 1.3.3 軸受取付ボルトに作用する力

(1)開状態

(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 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i=1$ )	—	761.5	—	472.9

(2)閉状態

(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 $S_s$
軸受取付ボルト ( $i=1$ )	—	761.5	—	556.4

## 1.3.4 駆動部取付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 $S_s$
駆動部取付ボルト ( $i=2$ )	—	$7.990 \times 10^3$	—	998.7

## 1.3.5 取付ボルトに作用する力

(1)開状態

(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 $S_s$
	—	—	転倒方向	—	—
取付ボルト ( $i=3$ )	—	$2.525 \times 10^3$	水平	—	$1.211 \times 10^3$

(2)閉状態

(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 $S_s$
	—	—	転倒方向	—	—
取付ボルト ( $i=3$ )	—	$2.599 \times 10^3$	水平	—	$1.211 \times 10^3$

## 1.4 結論

## 1.4.1 応力

## (1) 主要部材 (開状態)

(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
シャフト	<input type="text"/>	組合せ	—	—	$\sigma_{sc}=75$	$f_{tm}=262$
コネクタ	<input type="text"/>	せん断	—	—	$\tau_{co}=18$	$f_{sm}=151$

すべて許容応力以下である。

## (2) 主要部材 (閉状態)

(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
シャフト	<input type="text"/>	組合せ	—	—	$\sigma_{sc}=88$	$f_{tm}=262$
コネクタ	<input type="text"/>	せん断	—	—	$\tau_{co}=18$	$f_{sm}=151$

すべて許容応力以下である。

## (3) ボルト類 (開状態)

(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
軸受取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=208^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=118$
駆動部取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b2}=26$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=118$
取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=198^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=118$

すべて許容応力以下である。

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

## (4) ボルト類 (閉状態)

(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
軸受取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=118$
駆動部取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b2}=26$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=118$
取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b3}=23$	$f_{ts3}=198^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=118$

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 動的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
BOP閉止装置	水平方向	2.76	<input type="checkbox"/>
	鉛直方向	1.63	<input type="checkbox"/>

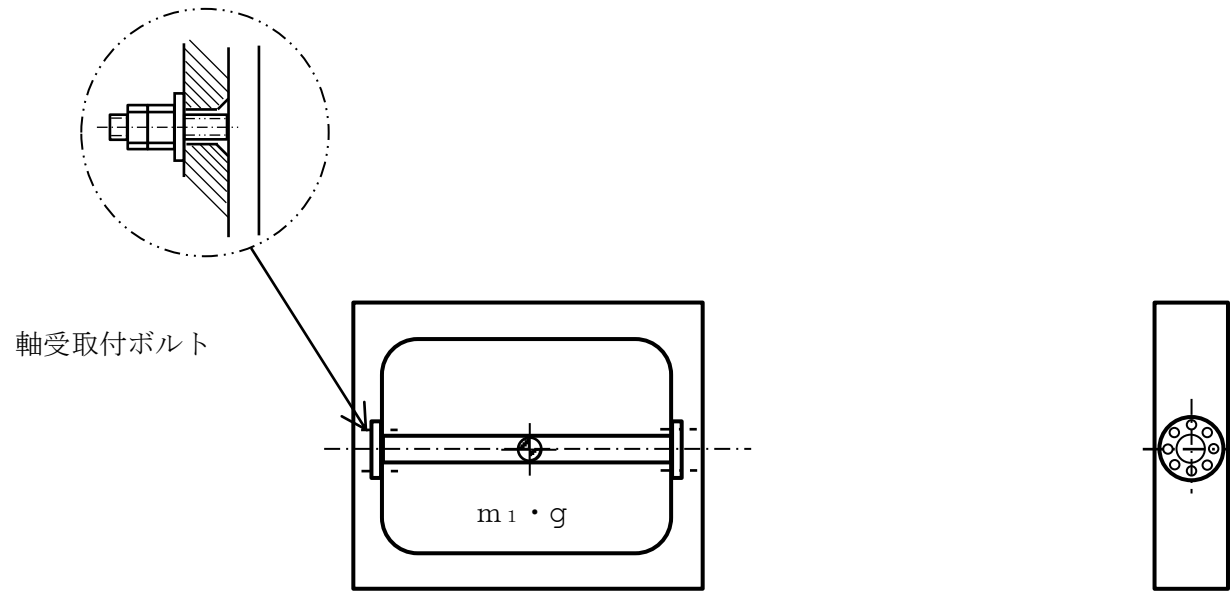
注記\*：設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）により定まる加速度

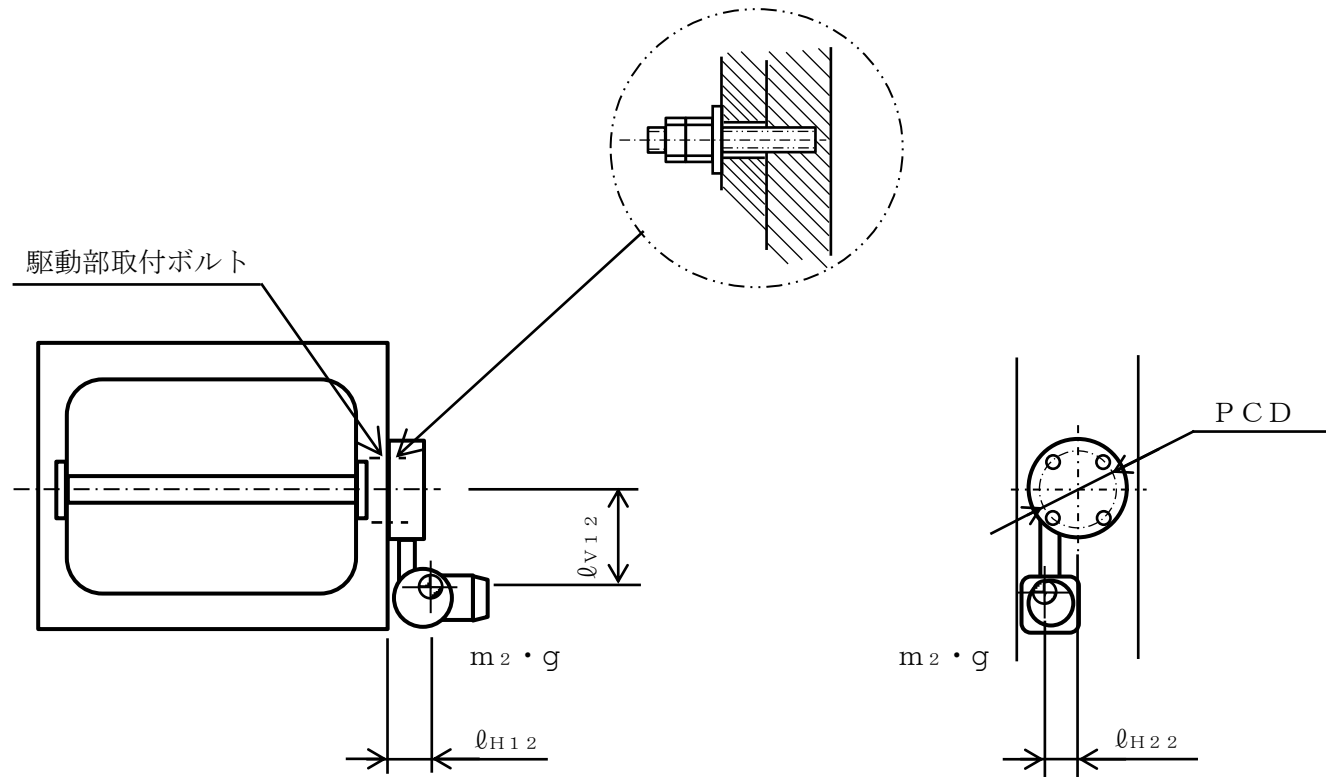
動的機能維持評価用加速度はすべて動的機能確認済加速度以下である。

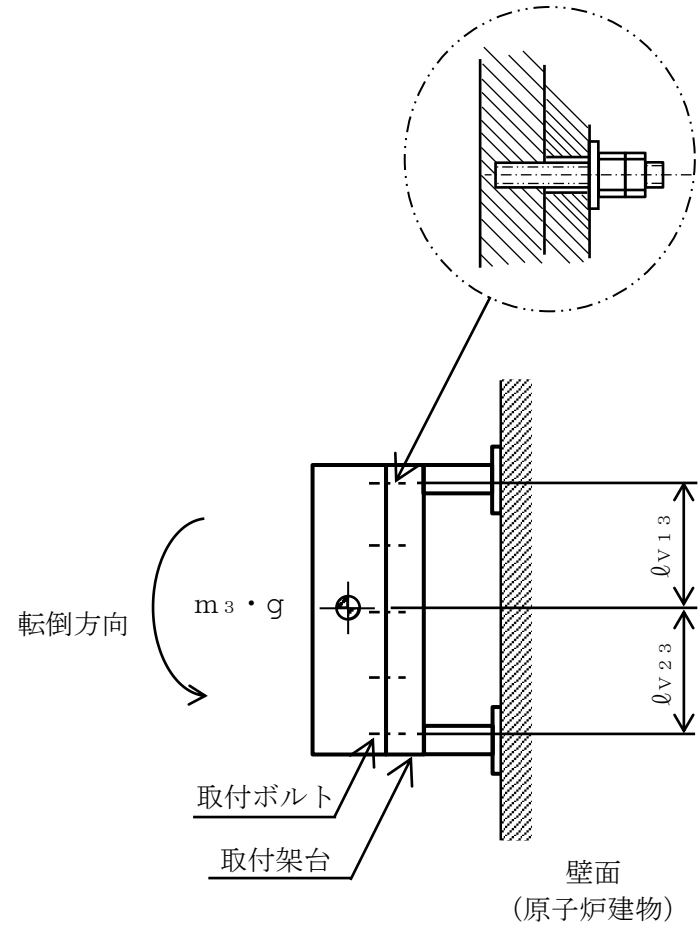
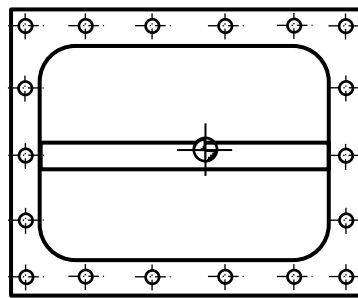
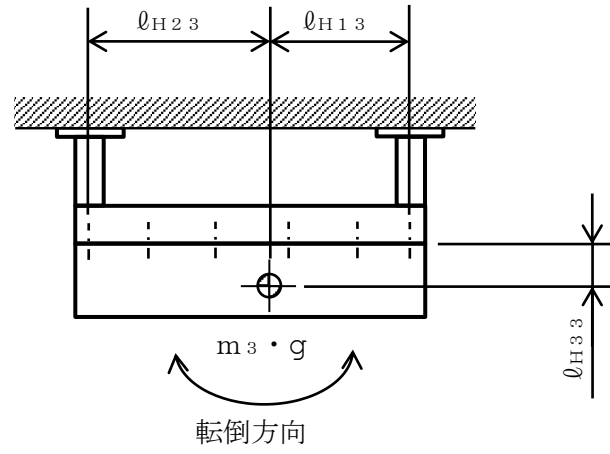
## 1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材料	—	—	<input type="checkbox"/>
質量（2連ユニット）	$m_{BOS2}$	kg	<input type="checkbox"/>
質量（3連ユニット）	$m_{BOS3}$	kg	<input type="checkbox"/>
質量（取付架台）	$m_{SP}$	kg	<input type="checkbox"/>
温度条件（周囲環境温度）	T	℃	100
縦弾性係数（周囲環境温度）	E	MPa	198000
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	<input type="checkbox"/>
節点数	—	個	<input type="checkbox"/>









VI-2-9-4-5-2 可燃性ガス濃度制御系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-2-1 管の耐震性についての計算書  
(可燃性ガス濃度制御系)

## 目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	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	36
4.2.1 管の応力評価結果	36
4.2.2 支持構造物評価結果	37
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	38
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	39

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、可燃性ガス濃度制御系の管，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4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。





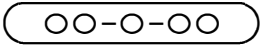
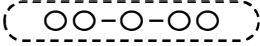

### (3) 弁

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。

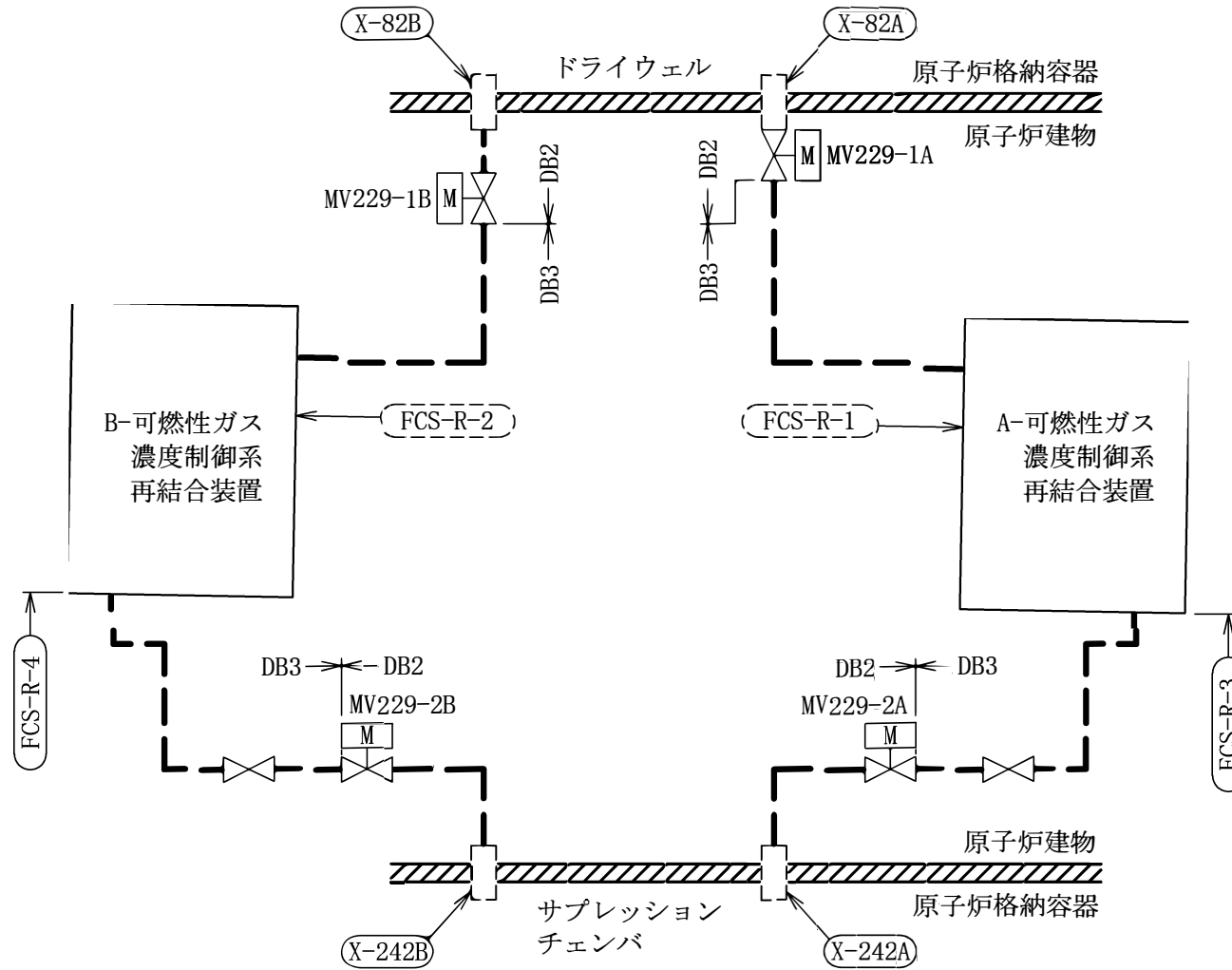
## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

### 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



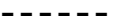


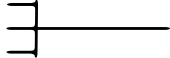
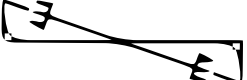
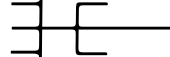
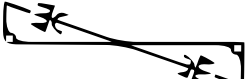

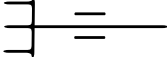
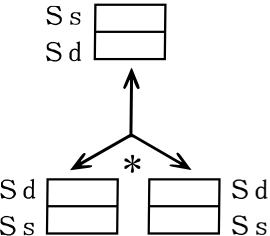




可燃性ガス濃度制御系概略系統図

2.2 鳥瞰図

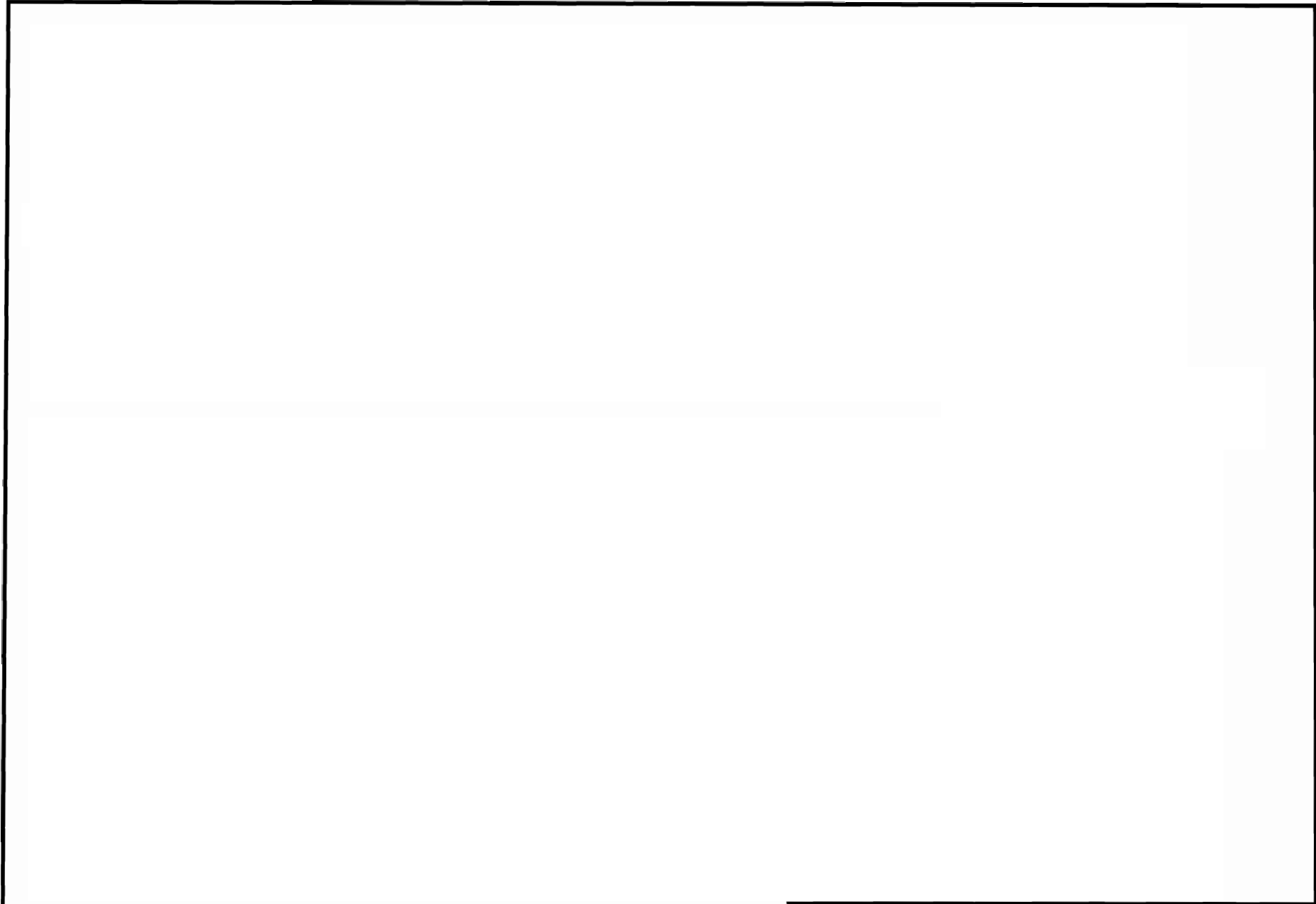
鳥瞰図記号凡例

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, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> 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

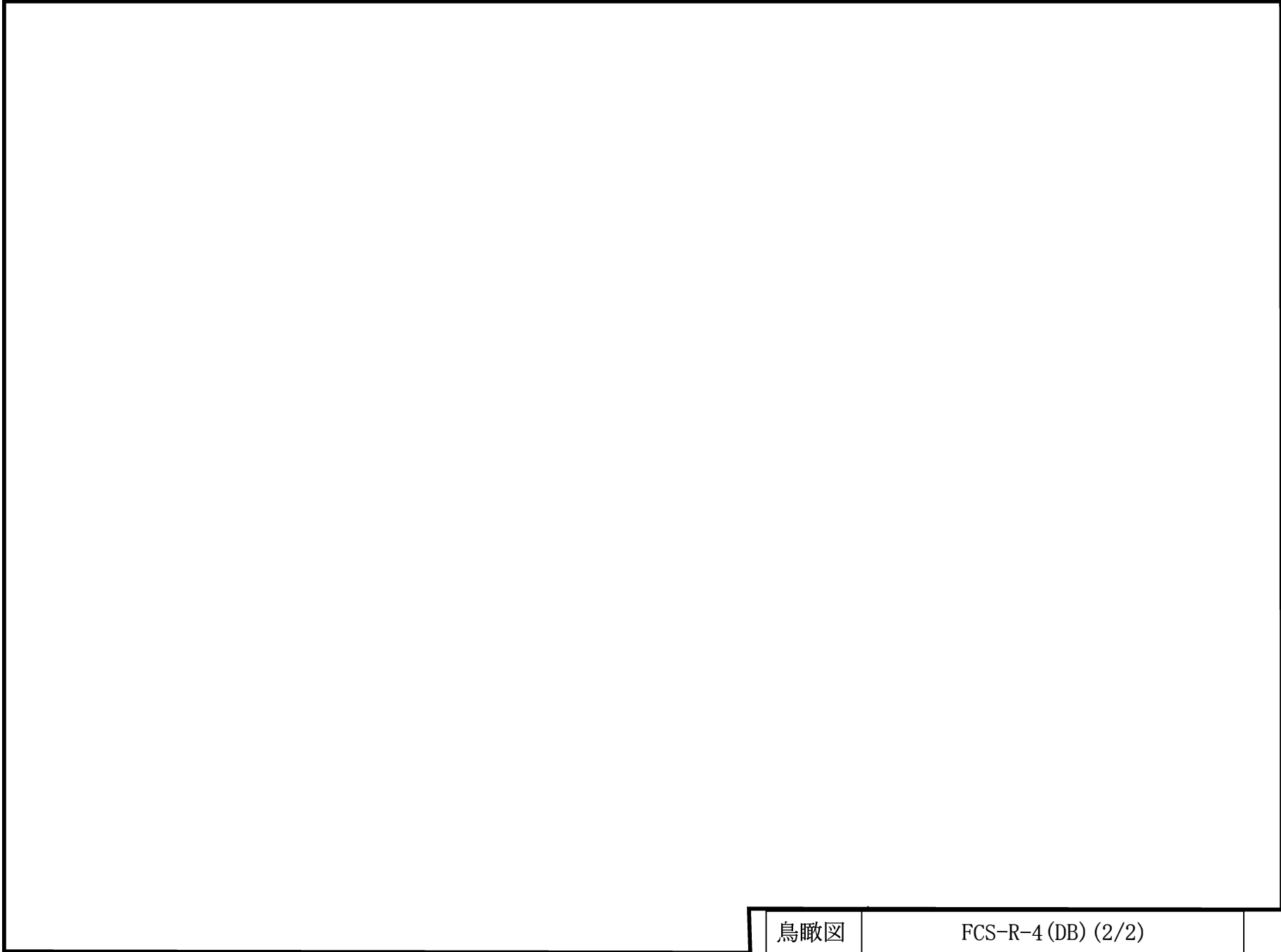
FCS-R-3 (DB) (1/2)



7

鳥瞰図

FCS-R-4 (DB) (1/2)



鳥瞰図

FCS-R-4 (DB) (2/2)

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## 3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 <sup>*1</sup>	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*2, *3</sup>	許容応力状態
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	可燃性ガス濃度制御系	DB	—	クラス2管 クラス3管	S	I <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	
							I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	

注記\*1：DBは設計基準対象施設を示す。

\*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。



### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCS-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~2	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
2	2~75, 76~79	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
3	83~90	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.43	104
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.43	104
		Ⅴ <sub>A</sub> 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 FCS-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	165.2	7.1	SUS304TP	S	193667
2	2~75, 76~79	165.2	7.1	STPT42	S	201667
3	83~90	165.2	7.1	STPT42	S	201667

弁部の質量

鳥 瞰 図 FCS-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	75~76		79, 83
	80		81
	82		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FCS-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
75~76				79~80			
80~81				81~8101			
8101~82				80~83			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
10						
16						
29						
** 35 **						
** 35 **						
42						
** 47 **						
47						
59						
** 59 **						
** 59 **						
66						
** 66 **						
74						
** 74 **						
78						
** 78 **						
** 8101 **						

S2 補 VI-2-9-4-5-2-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 8101 **						
91N						
** 91N **						
** 91N **						

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 FCS-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 (℃)
1	1N~2	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
2	2~75, 76~78	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.43	171
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
3	82~93	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.43	104
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.43	104
		Ⅴ <sub>A</sub> 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 FCS-R-4

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	165.2	7.1	SUS304TP	S	193667
2	2~75, 76~78	165.2	7.1	STPT42	S	201667
3	82~93	165.2	7.1	STPT42	S	201667



弁部の質量

鳥 瞰 図 FCS-R-4

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	75~76		78, 82
	79		80
	81		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FCS-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)
75~76				78~79			
79~80				80~8001			
8001~81				79~82			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-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
1N						
12						
20						
26						
33						
40						
4502						
48						
54						
60						
66						
** 66 **						
** 66 **						
70						
73						
77						
** 77 **						
** 8001 **						
** 8001 **						
94N						
** 94N **						
** 94N **						

S2 補 VI-2-9-4-5-2-1 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
SUS304TP	171	—	150	413	—
STPT42	171	—	211	404	—
STPT42	104	—	219	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 <sub>d</sub>	S <sub>s</sub>
FCS-R-3	原子炉建物				
FCS-R-4	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 FCS-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
10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) 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) 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 FCS-R-3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
10次				

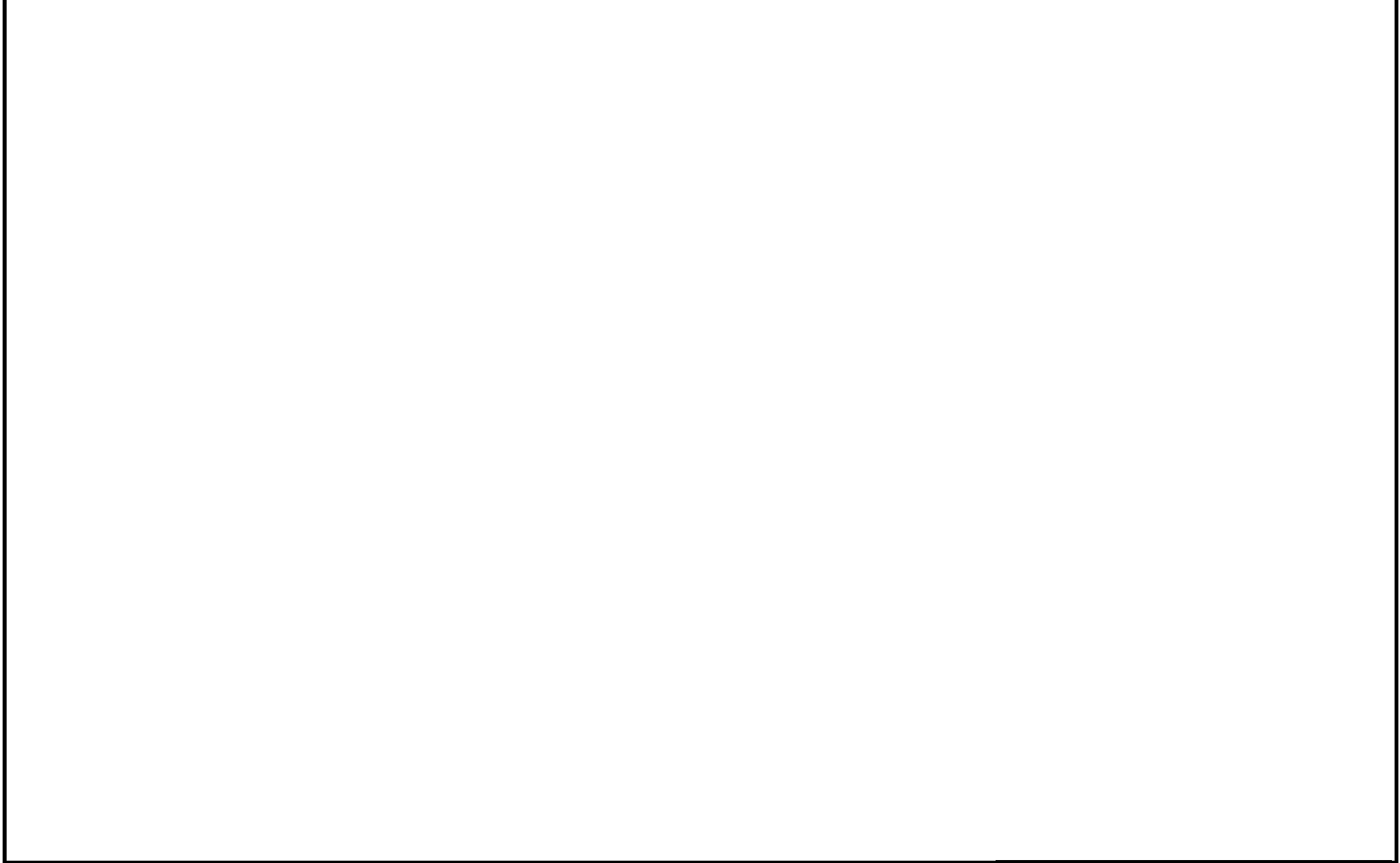
注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

## 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 FCS-R-4

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
11次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記\*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

- \*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) 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) 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 FCS-R-4

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
11次				

注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

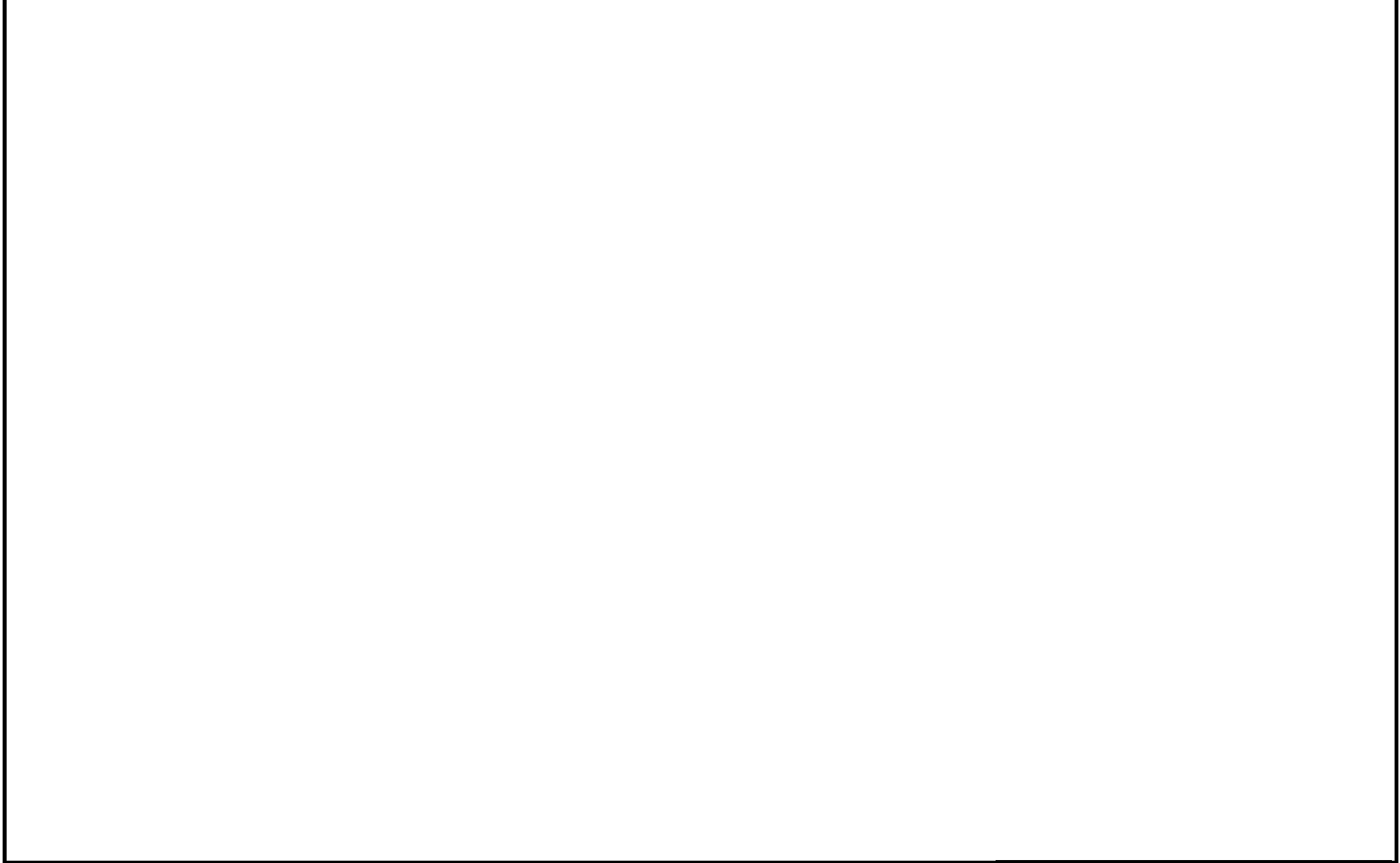


代表的振動モード図 (2次)





代表的振動モード図 (3次)



35

## 4.2 評価結果

## 4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
III <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	FCS-R-4	77	57	211	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCS-R-3	87	216	438	—
IV <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FCS-R-4	93	90	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCS-R-3	87	466	438	0.6098

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。

## 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	—	—	—	—
SNO-FCS-236	オイルスナッパ	SN-6			48	90	—
RE-FCS-234	ロッドレストレイント	RSA-6			54	108	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—	—
—	リジットハンガ	—			—	—	—

注記\*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

\*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	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 <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RE-FCS-220	レストレイント	パイプバンド	SM400B	171	0	39	12	—	—	—	圧縮	28	121
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## 4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 <sup>*1</sup>	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 <sup>*2</sup> ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 <sup>*2</sup> (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
MV229-1B	電動ゲート弁	$\beta$ (S d)	6.5	4.0	6.0	6.0	10.0	10.0	ボンネット	組合せ	147	325

注記\*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

$\alpha$  (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

$\alpha$  (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

$\beta$  (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

$\beta$  (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「一」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 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	FCS-R-1	15	44	211	4.79	—	70	192	422	2.19	—	—
2	FCS-R-2	3	53	211	3.98	—	10	156	422	2.70	—	—
3	FCS-R-3	17	47	211	4.48	—	87	216	438	2.02	—	○
4	FCS-R-4	77	57	211	3.70	○	82	153	438	2.86	—	—

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	FCS-R-1	15	78	363	4.65	—	70	290	422	1.45	—	—
2	FCS-R-2	10	75	363	4.84	—	10	268	422	1.57	—	—
3	FCS-R-3	40	72	363	5.04	—	87	466	438	0.93	0.6098	○
4	FCS-R-4	93	90	363	4.03	○	82	300	438	1.46	—	—

VI-2-9-4-5-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置  
の耐震性についての計算書

- (1) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置
- (2) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ



(1) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
5.3 設計用地震力	10
5.4 計算方法	11
5.5 計算条件	14
5.6 応力の評価	14
6. 評価結果	14
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	14
7. 参照図書	14

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

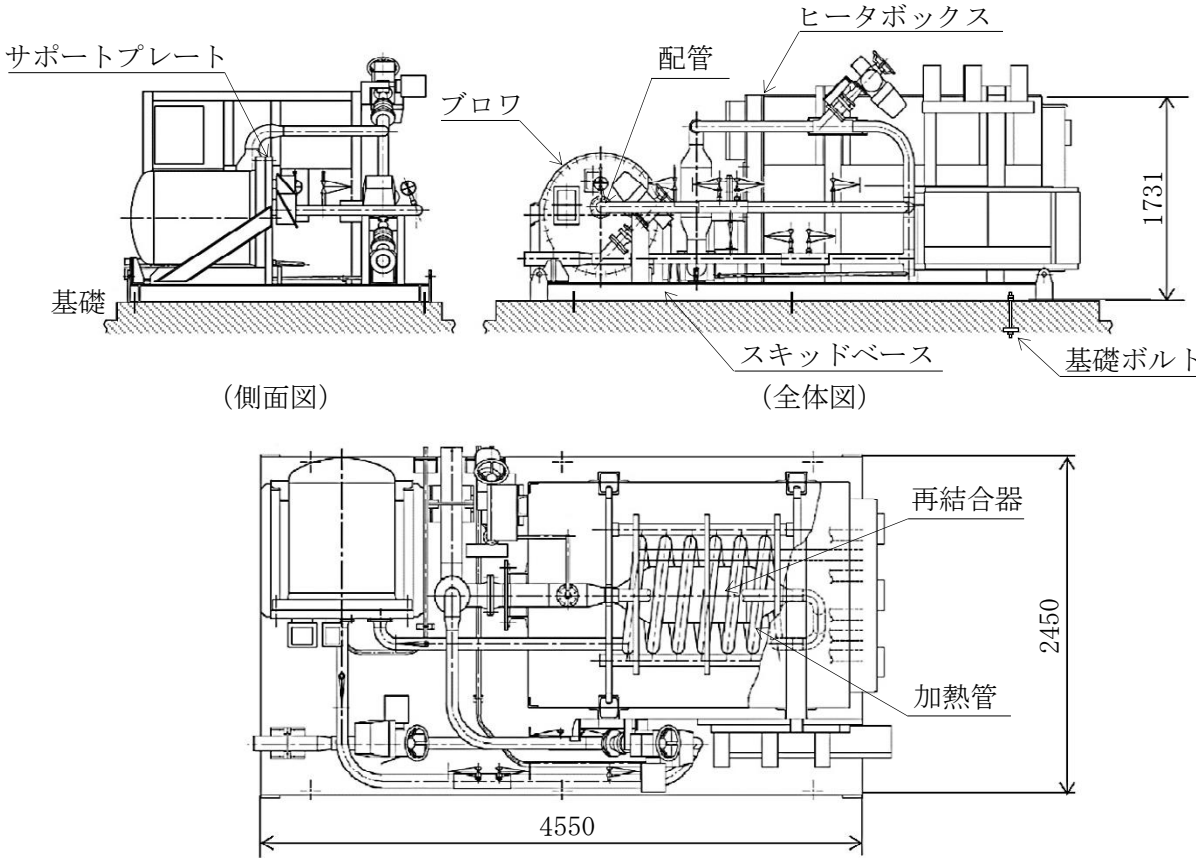
可燃性ガス濃度制御系再結合装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の構造計画を表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>ブロワ等はスキッドベースに溶接で接合され、スキッドベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>熱反応式 (スキッドベース上にブロワ及びヒータボックスを取り付けた構造)</p>	 <p>(側面図) (全体図)</p> <p>(平面図)</p> <p>(単位: mm)</p>

## 2.2 評価方針

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の応力評価は、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」にて示す可燃性ガス濃度制御系再結合装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

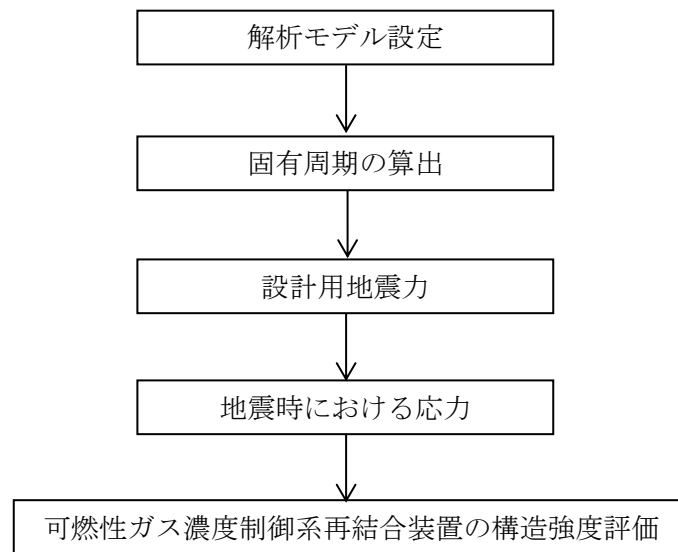


図2-1 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価フロー

### 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
$A_{bh}$	基礎ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	基礎ボルトの呼び径	$\text{mm}$
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	$\text{MPa}$
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	$\text{MPa}$
$F_{bh}$	基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	$\text{N}$
$f_{sb}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	$\text{MPa}$
$f_{to}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	$\text{MPa}$
$f_{ts}$	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)	$\text{MPa}$
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h$	据付面又は取付面から重心までの距離	$\text{mm}$
$l_1$	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	$\text{mm}$
$l_2$	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	$\text{mm}$
$m$	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の質量	$\text{kg}$
$n$	せん断力を受ける基礎ボルトの本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
$Q_{bh}$	基礎ボルトに作用するせん断力	$\text{N}$
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	$\text{MPa}$
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	$\text{MPa}$
$S_y(RT)$	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	$\text{MPa}$
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bh}$	基礎ボルトに生じる引張応力	$\text{MPa}$
$\tau_{bh}$	基礎ボルトに生じるせん断応力	$\text{MPa}$

注記\* :  $l_1 \leq l_2$

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。可燃性ガス濃度制御系再結合装置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

固有周期は、既工認から変更はなく「7. 参照図書」に示すとおり 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。



## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

- (1) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は、可燃性ガス濃度制御系再結合装置に対して、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) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置全体の構造強度評価に対するブロワの運転による影響は微小であるため、ブロワの振動は考慮しないものとする。
- (4) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる値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

可燃性ガス濃度制御系再結合装置基礎ボルトの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

#### 5.2.2 許容応力

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の許容応力は、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

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
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	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	100	685

### 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。

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

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		水平方向 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 34.8*1	0.05 以下	$C_H=1.56^{*2}$	$C_V=1.31^{*2}$	$C_H=3.73^{*3}$	$C_V=2.32^{*3}$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

\*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

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。

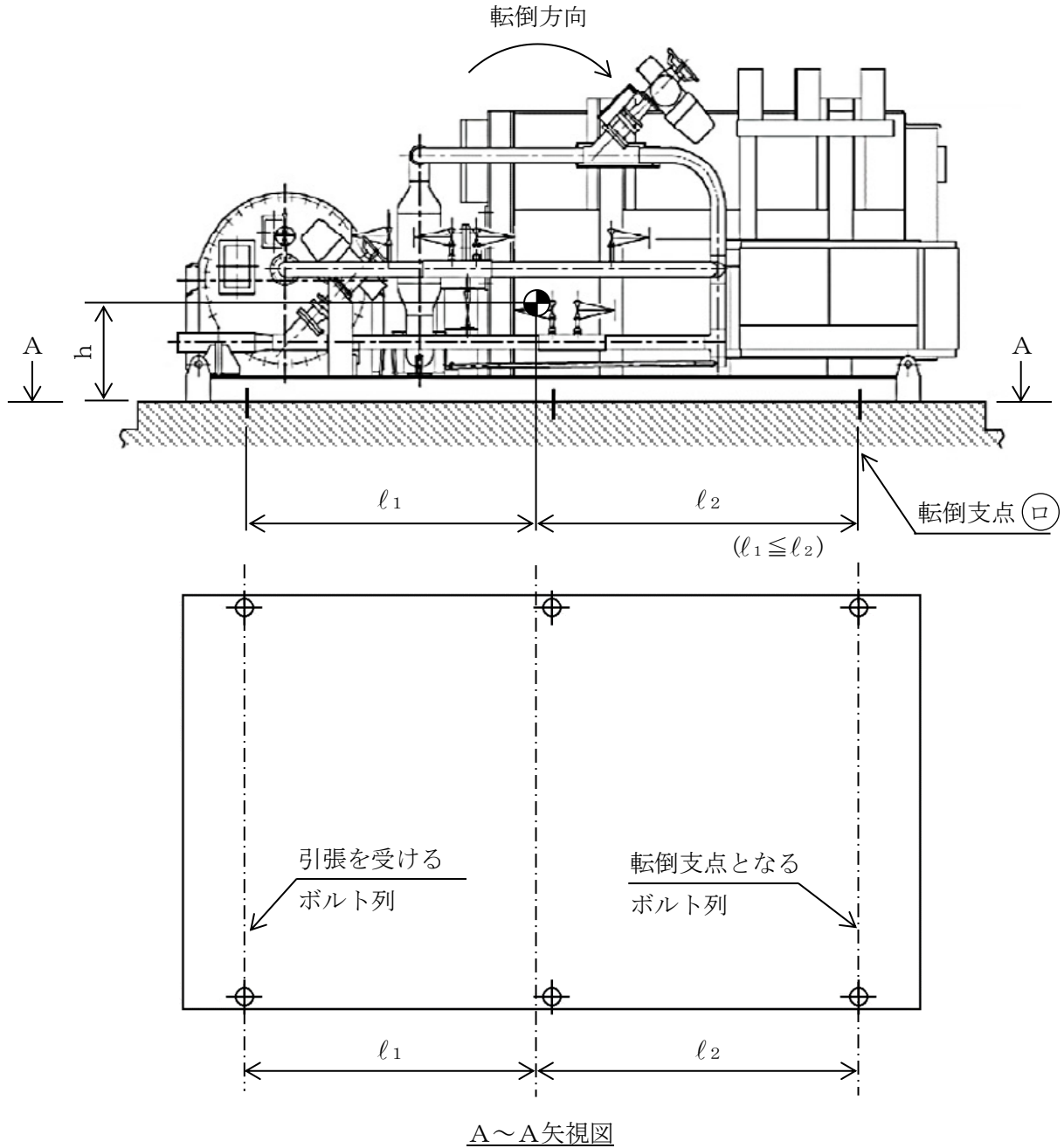


図 5-1 計算モデル（長辺方向転倒）

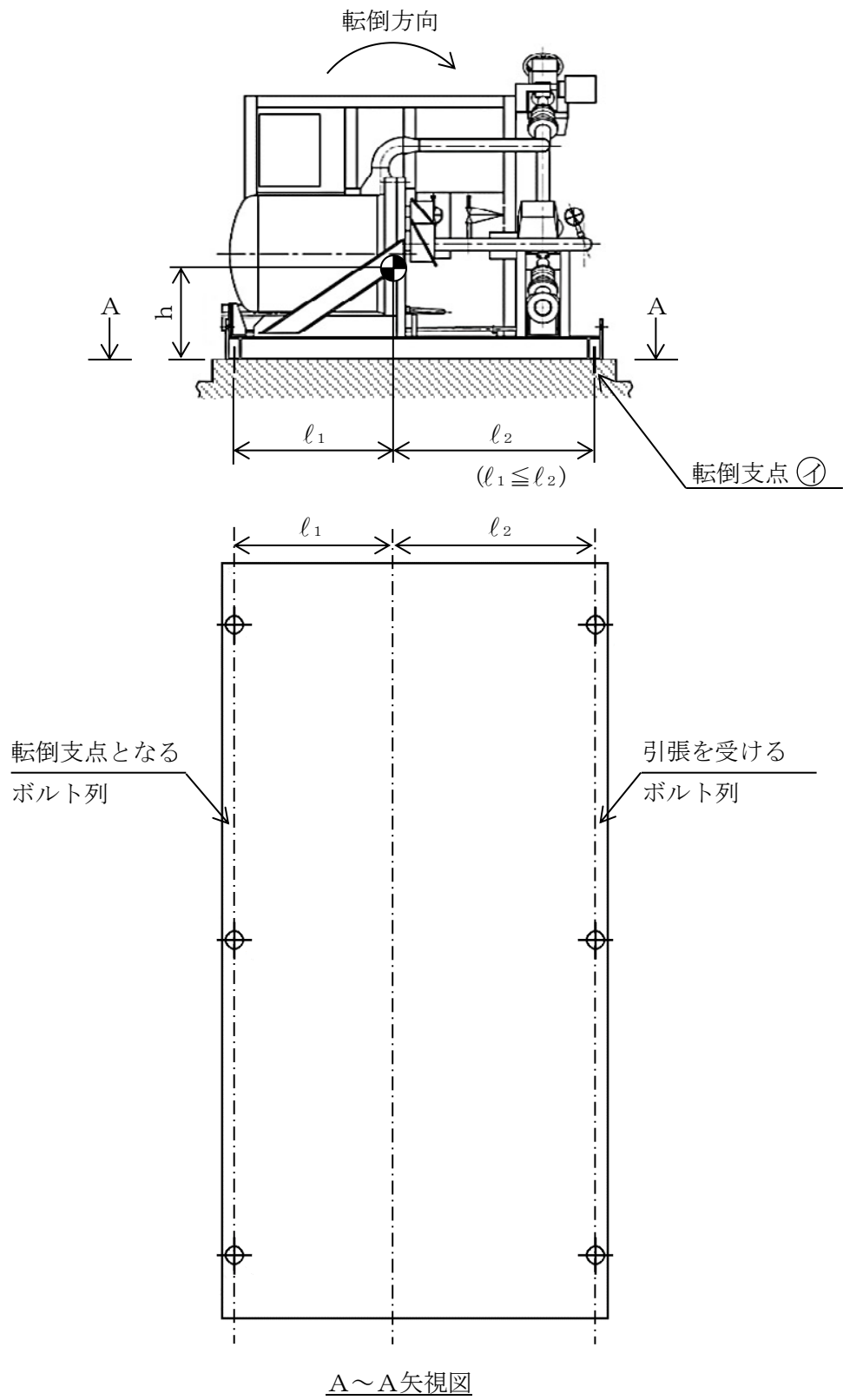


図 5-2 計算モデル (短辺方向転倒)

## (1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 に示すモデルにより (イ) 点及び (ロ) 点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

$$F_{bh} = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{bh} = \frac{F_{bh}}{A_{bh}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_{bh}$  は次式により求める。

$$A_{bh} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ただし、 $F_{bh}$  が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

## (2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bh} = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{bh} = \frac{Q_{bh}}{n \cdot A_{bh}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_{bh}$ 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、 $f_{to}$ は表5-5による。

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

せん断応力 $\tau_{bh}$ 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、 $f_{sb}$ は表5-5による。

表5-5 許容応力

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

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 参照図書

- ・建設時第5回工事計画認可申請書(60資庁第11431号 昭和60年9月9日)  
IV-2-7-1-2「可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書」



## 【可燃性ガス濃度制御系再結合装置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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用 温度 (°C)	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		
可燃性ガス濃度 制御系再結合装置	S	原子炉建物 EL 34.8 <sup>*1</sup>	0.05 以下	C <sub>H</sub> =1.56 <sup>*2</sup>	C <sub>V</sub> =1.31 <sup>*2</sup>	C <sub>H</sub> =3.73 <sup>*3</sup>	C <sub>V</sub> =2.32 <sup>*3</sup>	—	100

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）又は静的震度\*3：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

## 1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ <sub>1</sub> <sup>*</sup> (mm)	ℓ <sub>2</sub> <sup>*</sup> (mm)	d (mm)	A <sub>bh</sub> (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>f</sub> <sup>*</sup>
基礎ボルト								

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	685	847	592	592	長辺方向	長辺方向

注記\*：基礎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	$F_{bh}$		$Q_{bh}$	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト				

1.4 結論

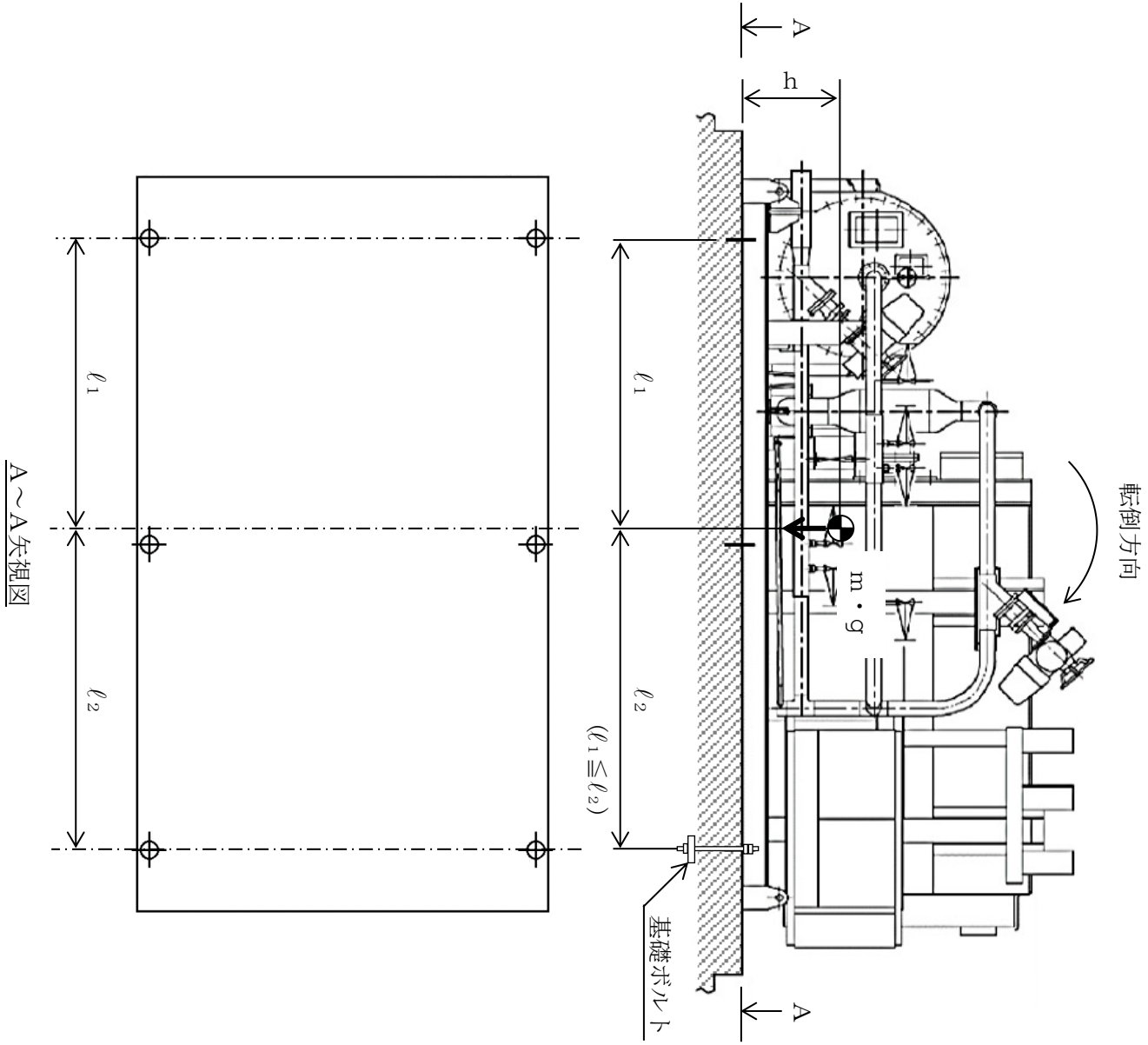
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_{bh}=52$	$f_{ts}=444^*$	$\sigma_{bh}=159$	$f_{ts}=386^*$
		せん断	$\tau_{bh}=62$	$f_{sb}=342$	$\tau_{bh}=148$	$f_{sb}=342$

すべて許容応力以下である。

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



(2) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ

## 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	5
2.3 適用規格・基準等	6
2.4 記号の説明	7
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3 設計用地震力	18
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	19
5.6 応力の評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 基本方針	21
6.2 ブロワの動的機能維持評価	22
6.3 原動機の動的機能維持評価	34
7. 評価結果	41
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	41

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ（以下「ブロワ」という。）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。

ブロワは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、ブロワは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファンであり、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

ブロワの構造計画を表2-1及び表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>キャンはキャン取付ボルトでサポートプレートに固定され、サポートプレート、ブレース及びベースは溶接で接続され、サポートプレート及びベースはスキッドベース（再結合装置と共通）に溶接で固定される。</p>	<p>キャンド形遠心式 (遠心直動型ファン)</p>	<p>(平面図)</p> <p>サポートプレート</p> <p>ブレース</p> <p>キャン</p> <p>キャン取付ボルト</p> <p>溶接</p> <p>溶接</p> <p>溶接</p> <p>575</p> <p>スキッドベース (再結合装置と共通)</p> <p>1000</p> <p>ベース</p> <p>(全体図)</p> <p>1076</p> <p>(背面図)</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>ブロワはケーシング取付ボルトで原動機に固定され、原動機は原動機取付ボルトでブラケットに固定される。ブラケットはブラケット取付ボルトでサポートプレートに固定される。</p>	<p>キャンド形遠心式 (遠心直動型ファン)</p>	<p>(キャン内部構造図)</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。</p>	<p>キャンド形遠心式 (遠心直動型ファン)</p>	<p>(正面図) (A-A断面図)</p> <p>(原動機構造図)</p>

## 2.2 評価方針

ブロワの応力評価は、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」にて示すブロワの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、ブロワの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的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。

ブロワの耐震評価フローを図2-1に示す。

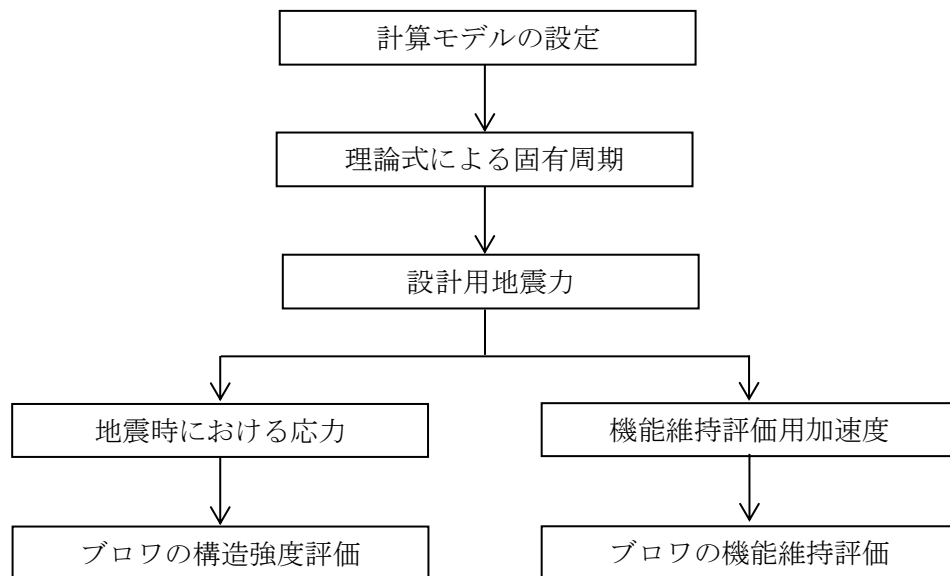


図2-1 ブロワの耐震評価フロー

### 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	鉛直方向荷重を受ける支持構造物の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	ブレースの断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s b</sub>	ブレースの有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s s</sub>	サポートプレートの有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>HW</sub>	水平方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>VW</sub>	鉛直方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
C <sub>P</sub>	ブロワ振動による震度	—
E	支持構造物の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F <sub>CB</sub>	ブレースに作用する圧縮力	N
F <sub>HB</sub>	ブレースに作用する水平方向反力	N
F <sub>HW</sub>	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断荷重	N
F <sub>VB</sub>	ブレースに作用する鉛直方向反力	N
F <sub>VW</sub>	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断荷重	N
f <sub>bc</sub>	ブレースの許容圧縮応力	MPa
f <sub>ws</sub>	ベース取付溶接部の許容せん断応力	MPa
G	支持構造物のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
H <sub>P</sub>	予想最大両振幅	μm
h <sub>c</sub>	ブロワ水平方向重心位置	mm
I <sub>H</sub>	水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>b</sub>	ブレースの断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>v</sub>	鉛直方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
L	ブロワ中心高さ及び重心高さ	mm
ℓ	ブロワベース長さ	mm
ℓ <sub>B</sub>	ブレース水平方向投影長さ	mm
ℓ <sub>k</sub>	ブレース長さ	mm
m <sub>C</sub>	ブロワ質量	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
P <sub>B</sub>	ブレースに作用する水平方向荷重	N
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
$T_H$	水平方向固有周期	s
$T_V$	鉛直方向固有周期	s
$\tau_w$	ベース取付溶接部に作用する最大せん断応力	MPa
$\tau_{w1}$	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断応力	MPa
$\tau_{w2}$	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断応力	MPa
$\sigma_c$	ブレースに生じる圧縮応力	MPa
$\Lambda$	圧縮材の限界細長比	—
$\lambda$	圧縮材の有効細長比	—
$\nu$	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)に定める値	—
$\pi$	円周率	—

## 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 2-4 に示すとおりである。

表 2-4 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 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	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

ブロワの耐震評価は、「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ブレース及びベース取付溶接部について実施する。ブロワの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

#### 4. 固有周期

##### 4.1 固有周期の計算方法

ブローの固有周期の計算方法を以下に示す。

##### (1) 計算モデル

- ブローの質量は重心に集中するものとする。
- ブローは溶接によりスキッドベースに固定されており，固定端とする。
- 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- ブローは，図 4-1 及び図 4-2 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

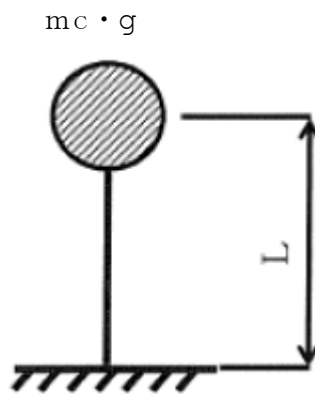


図 4-1 水平方向固有周期の計算モデル

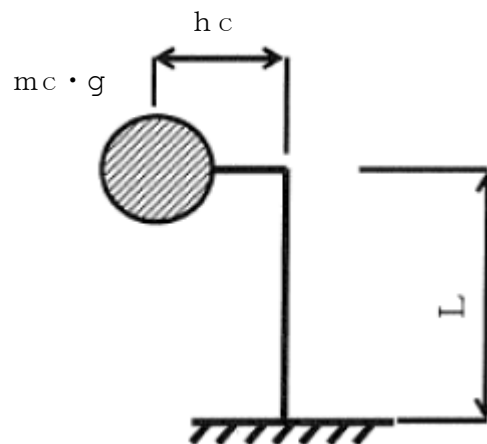


図 4-2 鉛直方向固有周期の計算モデル



(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{mc}{1000} \cdot \left( \frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I_H} + \frac{L}{G \cdot A_s} \right)} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで、水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメントは、

$$I_H = I_V + 2 \cdot I_b \dots\dots\dots (4.1.2)$$

水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積は、

$$A_s = A_{ss} + 2 \cdot A_{sb} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{mc}{1000} \cdot \left( \frac{L \cdot h_c^2}{E \cdot I_V} + \frac{L}{E \cdot A} \right)} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【プロワの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

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

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～d. のほか、次の条件で評価する。

- (1) 地震力はブロワ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。
- (2) ブレース
  - a. ブロワの質量は、2本のブレースに均等にかかるため、1本のブレースについて計算する。
  - b. 荷重方向はブレースの応力が最も厳しい方向として図5-1の方向を計算する。

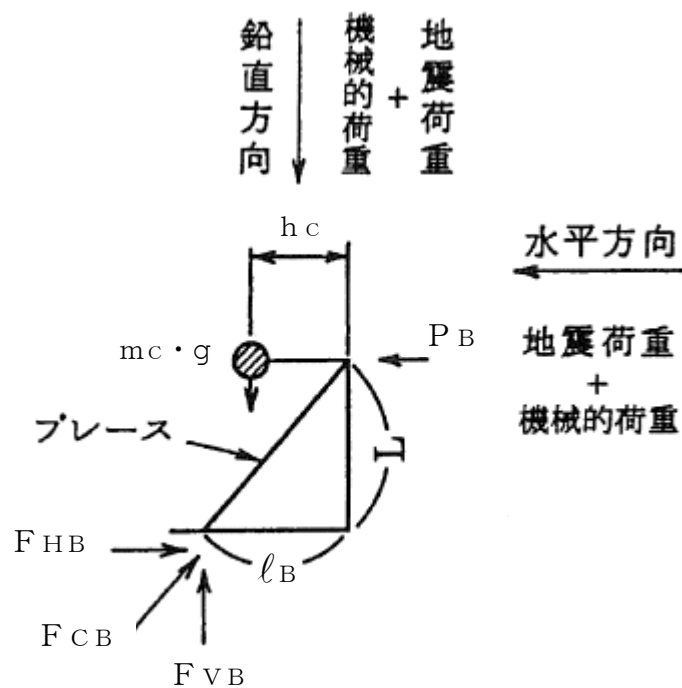


図5-1 ブレースに作用する荷重

### (3) ベース取付溶接部

- a. 荷重がベース取付溶接部に水平方向せん断荷重として作用する場合と、転倒モーメントによる鉛直方向せん断荷重として作用する場合について計算する。
- b. 転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として図5-2の転倒支点を支点とする方向を計算する。

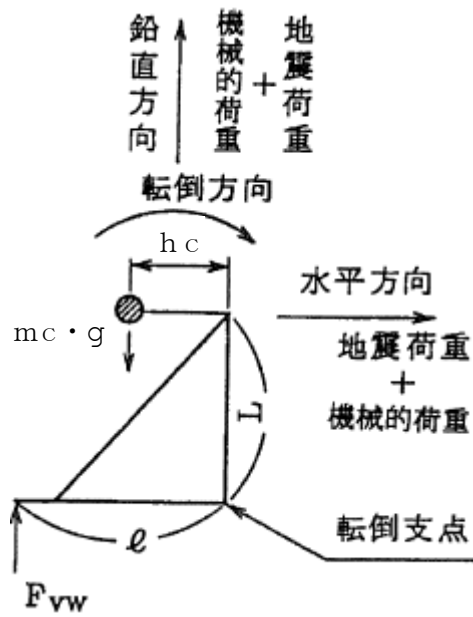


図 5-2 ベース取付溶接部に作用する荷重

## 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

ブロワの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

### 5.2.2 許容応力

ブロワの許容応力は、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

ブロワの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
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	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロワ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
	$D + P_D + M_D + S_s$				Ⅳ <sub>A</sub> S	

注記\* : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	
	一次応力	
	せん断	圧縮
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度				
ブレース	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	171	201	373	—
ベース取付溶接部	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	171	201	373	—

注記\* : SS400 相当

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。

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

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 34.8 <sup>*1</sup>			C <sub>H</sub> =3.73 <sup>*2</sup>	C <sub>V</sub> =2.32 <sup>*2</sup>	C <sub>H</sub> =3.73 <sup>*3</sup>	C <sub>V</sub> =2.32 <sup>*3</sup>

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）及び静的震度を上回る設計震度

\*3：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 ブレースの応力

(1) 圧縮応力

ブレースに作用する水平方向反力は

$$F_{HB} = P_B = \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、C<sub>P</sub>はプロワ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値である。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ブレースに作用する鉛直方向反力は

$$F_{VB} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot m_C \cdot g \cdot h_C + \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \cdot L}{\ell_B} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ブレースに作用する圧縮力は

$$F_{CB} = \sqrt{F_{HB}^2 + F_{VB}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

圧縮応力は

$$\sigma_c = \frac{F_{CB}}{A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

## 5.4.1.2 ベース取付溶接部の応力

## (1) 水平方向せん断応力

水平方向せん断荷重はベース取付溶接部に作用するものとして計算する。

水平方向せん断荷重

$$F_{HW} = (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

水平方向せん断応力

$$\tau_{W1} = \frac{F_{HW}}{A_{HW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

## (2) 鉛直方向せん断応力

転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として  
図5-2の転倒支点を支点とする方向を計算する。

鉛直方向せん断荷重

$$F_{VW} = \frac{(C_V + C_P - 1) \cdot m_C \cdot g \cdot h_C + (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \cdot L}{\ell} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

鉛直方向せん断応力

$$\tau_{W2} = \frac{F_{VW}}{A_{VW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

## (3) ベース取付溶接部の応力

$$\tau_W = \text{Max}[\text{水平方向せん断応力} (\tau_{W1}), \text{鉛直方向せん断応力} (\tau_{W2})] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

## 5.5 計算条件

## 5.5.1 ブレースの応力計算条件

ブレースの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブロー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 ベース取付溶接部の応力計算条件

ベース取付溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブロー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 ブレースの応力評価

5.4 項で求めたブレースの圧縮応力  $\sigma_c$  は許容圧縮応力  $f_{bc}$  以下であること。ただし、 $f_{bc}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は 静的震度による荷重との組合せ の場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容圧縮応力 $f_{bc}$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$

ここで、 $\lambda$  は、圧縮材の有効細長比で、次の計算式による。

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

$\Lambda$  は、圧縮材の限界細長比で、次の計算式による。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

注：基準地震動 S s 評価の場合は、F を F\* に置き換える。

$\nu$  は、次の計算式による。

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価

5.4 項で求めたベース取付溶接部に作用するせん断応力  $\tau_w$  は許容せん断応力  $f_{ws}$  以下であること。ただし、 $f_{ws}$  は下表による。

	弾性設計用地震動 S d 又は 静的震度による荷重との組合せ の場合	基準地震動 S s による荷重との 組合せの場合
許容せん断応力 $f_{ws}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 機能維持評価

### 6.1 基本方針

ブロワ及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファン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。

## 6.2 ブロワの動的機能維持評価

ブロワは、地震後機能維持が要求される設備であるが、ブロワ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。

### 6.2.1 評価対象部位

ブロワは、横置型の原動機にインペラを直接取り付けられた遠心式ブロワであり、J E A G 4 6 0 1 に示される遠心直動型ファンと同等の構造であるため、J E A G 4 6 0 1 に記載のファンの動的機能維持評価を基に、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 軸受
- c. インペラとファンケーシング間のクリアランス
- d. ファンケーシング
- e. 軸シール
- f. 軸系架台
- g. ファンケーシング固定ボルト
- h. 電動機固定ボルト
- i. 基礎ボルト

このうち「a. 軸」及び「b. 軸受」については、「6.3 原動機の動的機能維持評価」に含まれる。

「d. ファンケーシング」は、キャン及びケーシングが該当するが、これらは十分な剛性を有しており、地震時にはこれらの固定ボルトに最も荷重が作用することから、キャン及びケーシングの評価は対象外とする。

「e. 軸シール」及び「f. 軸系架台」は、ブロワの構成部材にはないため、評価対象外とする。

「i. 基礎ボルト」は、基礎ボルトに相当するブレース及びベース取付溶接部が「5. 構造強度評価」に従い評価を行った「7. 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。

また、原動機の評価対象部位である端子箱はブロワのサポートプレートに取り付けられているためブロワ側の評価対象部位としているが、端子箱は箱状の構造物で十分な剛性を有しており、軽量であること、及び当該機器に掛かる荷重は原動機取付ボルトで代表されることから、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、インペラとファンケーシング間のクリアランスに相当する部位としてインペラとケーシング間のクリアランス、ファンケーシング固定ボルトに相当する部材としてキャン取付ボルト及びケーシング取付ボルト、電動機固定ボルトに相当する部材として原動機取付ボルト及びブラケット取付ボルトを評価対象部位とする。

### 6.2.2 評価基準値

原動機取付ボルト，ブラケット取付ボルト，キャン取付ボルト，ケーシング取付ボルトの許容応力は，その他の支持構造物の許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに準拠し設定する。また，インペラとケーシング間のクリアランスについては，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6-1に示す。

表6-1 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値	
原動機取付ボルト	引張	SS41*	MPa		
	せん断	SS41*	MPa		
ブラケット取付ボルト	引張	SS41*	MPa		
	せん断	SS41*	MPa		
キャン取付ボルト	引張		MPa		
	せん断		MPa		
ケーシング取付ボルト	引張		MPa		
	せん断		MPa		
インペラとケーシング間のクリアランス		—	mm		

注記\* : SS400相当

### 6.2.3 記号の説明

ブロワの動的機能維持評価に使用する記号を表6-2に示す。

表 6-2 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{bi}^*$	ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_P$	ブロワ振動による震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D_{cb}$	キャン取付ボルトのピッチ円直径	mm
$D_{cl}$	キャンの内径	mm
$D_{fb}$	ケーシング取付ボルトのピッチ円直径	mm
$D_{fs}$	軸の外径	mm
$E_{fs}$	軸の縦弾性係数	MPa
$F_{bi}^*$	ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
$F_{bp}$	最高使用圧力により生じる引張力	N
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_{1i} \sim h_{2i}^*$	ボルトの位置を示す鉛直方向距離	mm
$h_{f1}$	インペラ中心からインペラでケーシングに最も近い位置までの距離	mm
$h_{f2}$	ケーシング中心からケーシングでインペラに最も近い位置までの距離	mm
$I_{fs}$	軸の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$k_{\theta r}$	軸直角方向回転バネ剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
$k_{\theta t}$	軸方向回転バネ剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
$l_{1i} \sim l_{3i}^*$	ボルトの位置を示す水平方向距離	mm
$l_{fs}$	インペラ重心から負荷側軸受までの距離	mm
$M_P$	ブロワの回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$N$	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
$n_{bi}$	ボルトの本数	—
$n_{f1i}, n_{f2i}^*$	評価上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
$P_0$	最高使用圧力	MPa

記号	記号の説明	単位
$Q_{bi}$	ボルトに作用するせん断力	N
$W_{11}$	原動機の重量	kg
$W_{12}$	ケーシングの重量	kg
$W_{13}$	ブラケットの重量	kg
$W_{14}$	インペラの重量	kg
$W_{15}$	キャンの重量	kg
$W_{16}$	軸の質量	kg
$\pi$	円周率	—
$\sigma_{bi}^*$	ボルトに生じる引張応力	MPa
$\tau_{bi}^*$	ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\beta_1$	軸のたわみ角	rad
$\beta_2$	ケーシングの軸方向の傾き角	rad
$\beta_3$	ケーシングの軸直角方向の傾き角	rad
$\delta$	インペラとケーシングの合計変位量	mm
$\delta_1$	軸のたわみ量	mm
$\delta_2$	軸のたわみによるインペラの変位量	mm
$\delta_3$	ケーシングの傾きによる軸方向の変位量	mm
$\delta_4$	ケーシングの傾きによる軸直角方向の変位量	mm

注記\* :  $A_{bi}$ ,  $F_{bi}$ ,  $h_{1i} \sim h_{3i}$ ,  $l_{1i} \sim l_{3i}$ ,  $n_{bi}$ ,  $n_{f1i}$ ,  $n_{f2i}$ ,  $Q_{bi}$ ,  $\sigma_{bi}$  及び  $\tau_{bi}$  の添字  $i$  の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$  : 原動機取付ボルト

$i = 2$  : ブラケット取付ボルト

$i = 3$  : キャン取付ボルト

$i = 4$  : ケーシング取付ボルト

6.2.4 評価方法

(1) 原動機取付ボルト

図6-1に示す計算モデルにて、原動機取付ボルトに生じる荷重を算出し、原動機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。

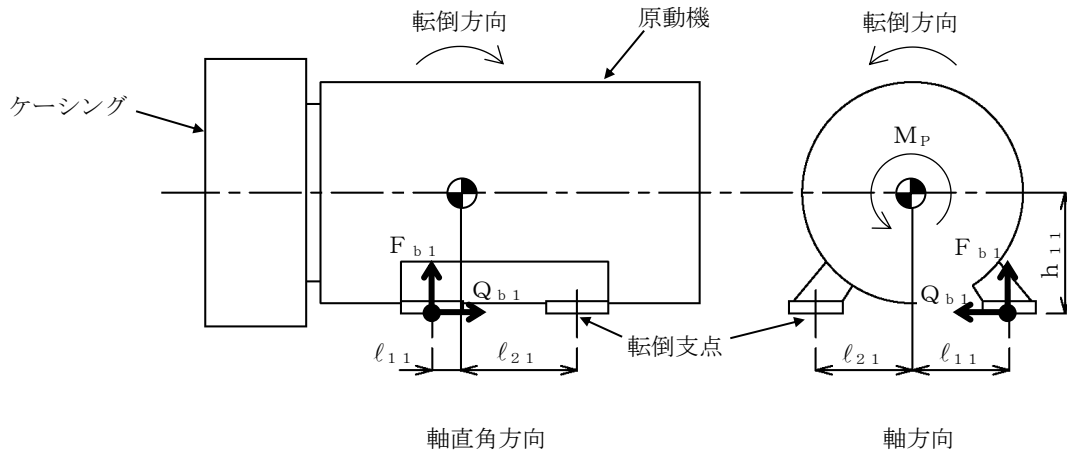


図6-1 原動機取付ボルトの計算モデル

原動機取付ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{b1}$  は次式で求める。

$$\sigma_{b1} = F_{b1} / A_{b1} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.1)$$

ここで、原動機取付ボルト1本当たりに作用する引張力  $F_{b1}$  は

軸直角方向

$$F_{b1} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_{11} + M_P + (W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_V + C_P - 1) \cdot l_{21}}{n_{f11} \cdot (l_{11} + l_{21})} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.2)$$

軸方向

$$F_{b1} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_{11} + (W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_V + C_P - 1) \cdot l_{21}}{n_{f21} \cdot (l_{11} + l_{21})} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.3)$$

ブロワの回転により作用するモーメント  $M_P$  は

$$M_P = \left( \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots \dots \dots (6.2.4.4)$$

(1kW = 10<sup>6</sup>N・mm/s)

原動機取付ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{b1}$  は次式で求める。

$$\tau_{b1} = Q_{b1} / (n_{b1} \cdot A_{b1}) \quad \dots \dots \dots (6.2.4.5)$$

ここで、原動機取付ボルトに生じるせん断力  $Q_{b1}$  は

$$Q_{b1} = (W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \dots \dots (6.2.4.6)$$

(2) ブラケット取付ボルト

図 6-2 に示す計算モデルにて、ブラケット取付ボルトに生じる荷重を算出し、ブラケット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。

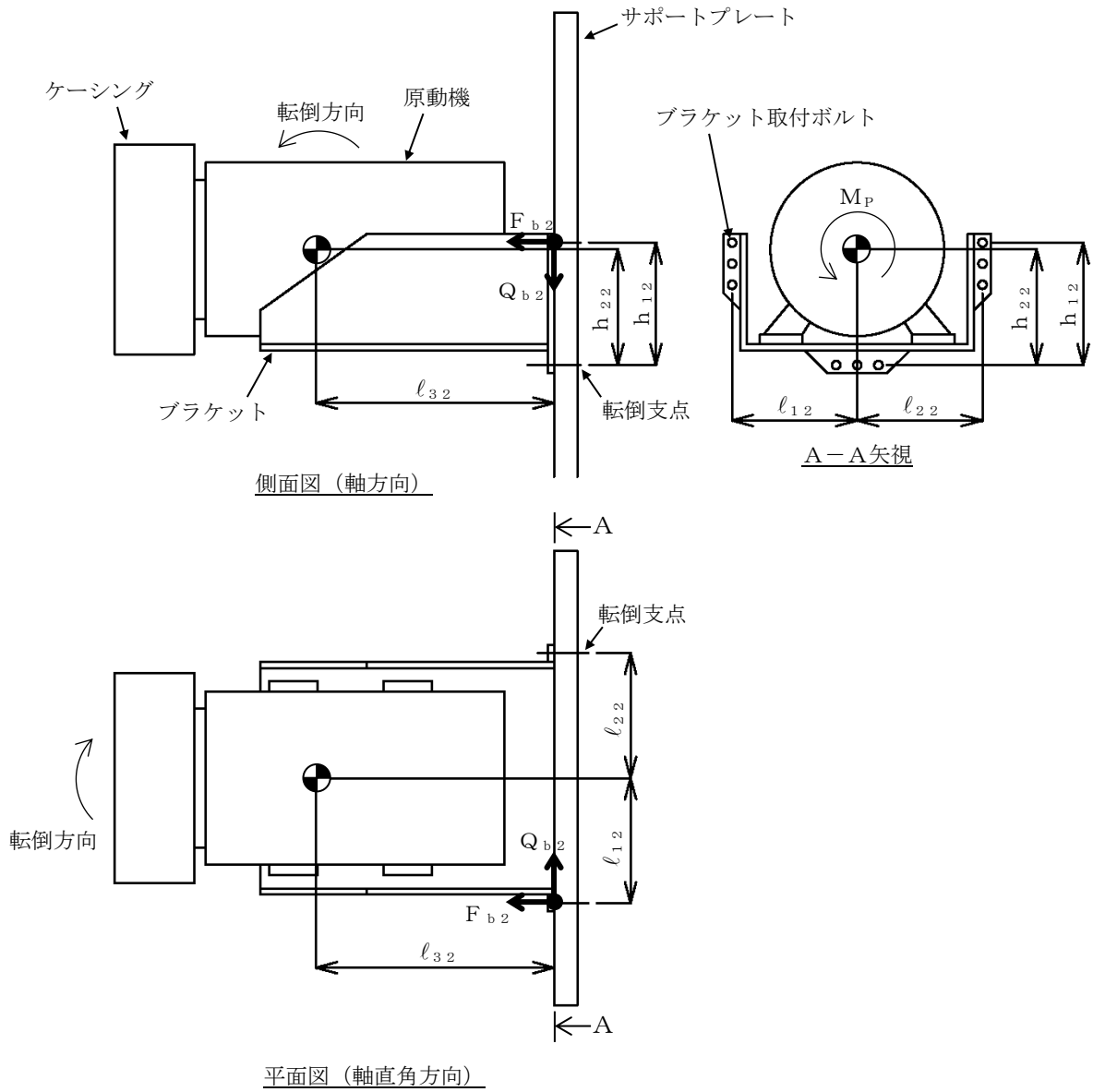


図 6-2 ブラケット取付ボルトの計算モデル



ブラケット取付ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{b2}$  は次式で求める。

$$\sigma_{b2} = F_{b2} / A_{b2} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.7)$$

ここで、ブラケット取付ボルト 1 本あたりに作用する引張力  $F_{b2}$  は  
軸直角方向

$$F_{b2} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}} + \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \ell_{32}}{n_{f12} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.8)$$

軸方向

$$F_{b2} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_{22} + (W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.9)$$

ブラケット取付ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{b2}$  は次式で求める。

$$\tau_{b2} = Q_{b2} / (n_{b2} \cdot A_{b2}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.10)$$

ここで、ブラケット取付ボルトに生じるせん断力  $Q_{b2}$  は

$$Q_{b2} = (W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) + \frac{M_P}{h_{22}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.11)$$

(3) キャン取付ボルト

図 6-3 に示す計算モデルにて、キャン取付ボルトに生じる荷重を算出し、キャン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。

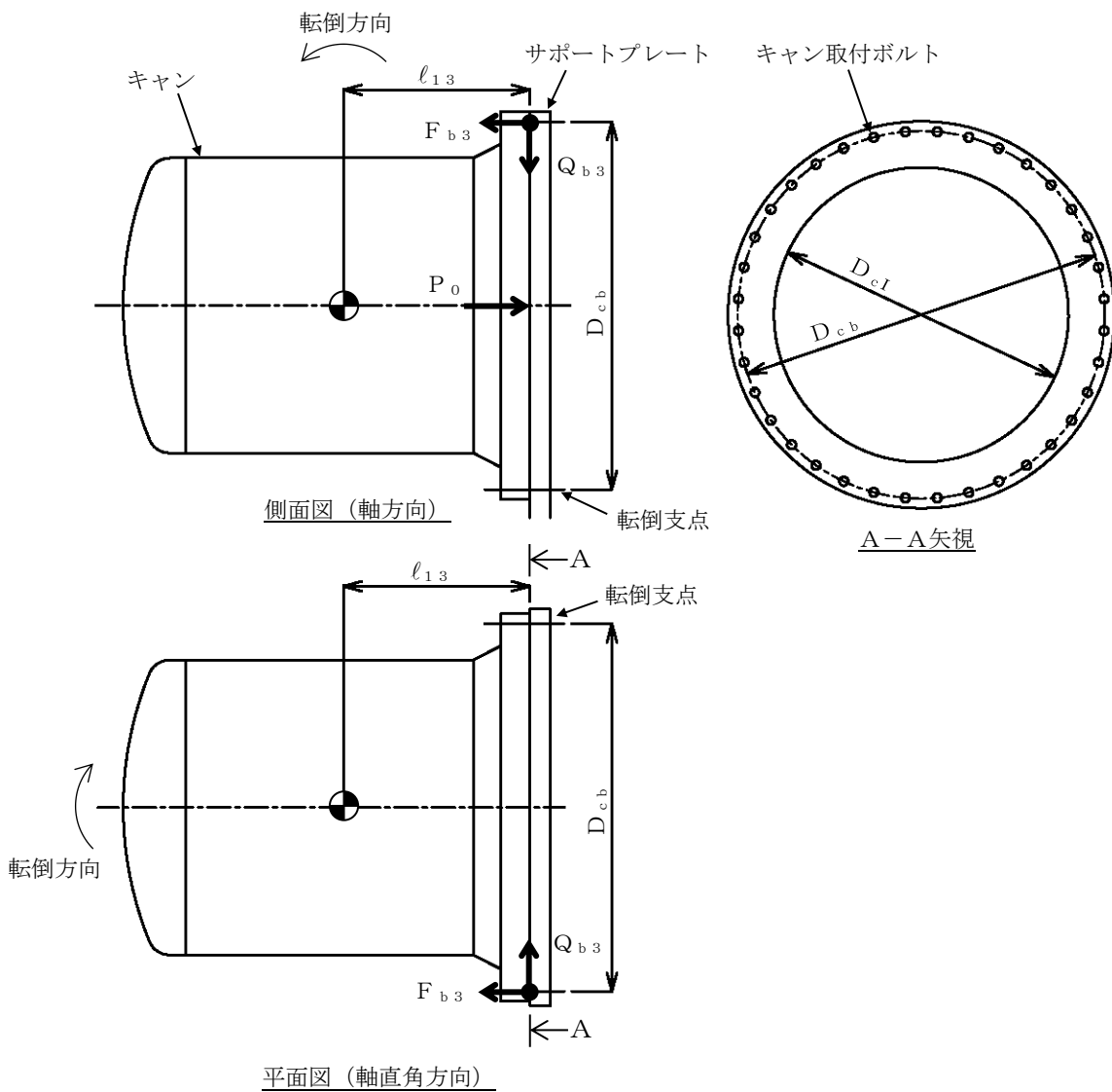


図 6-3 キャン取付ボルトの計算モデル

キャン取付ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{b3}$  は次式で求める。

$$\sigma_{b3} = F_{b3} / A_{b3} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.12)$$

ここで、キャン取付ボルト 1 本あたりに作用する引張力  $F_{b3}$  は

軸直角方向

$$F_{b3} = \frac{\frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (W_{15} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \ell_{13}) + W_{15} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{13}}{n_{f13}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.13)$$

軸方向

$$F_{b3} = \frac{\frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (W_{15} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \frac{D_{cb}}{2}) + W_{15} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{13} + F_{bP}}{n_{f13}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.14)$$

最高使用圧力により生じる引張力  $F_{bP}$  は

$$F_{bP} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (\pi / 4 \cdot D_{cI}^2 \cdot P_0 \cdot \frac{D_{cb}}{2}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.15)$$

キャン取付ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{b3}$  は次式で求める。

$$\tau_{b3} = Q_{b3} / (n_{b3} \cdot A_{b3}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.16)$$

ここで、キャン取付ボルトに生じるせん断力  $Q_{b3}$  は

$$Q_{b3} = W_{16} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.17)$$

(4) ケーシング取付ボルト

図 6-4 に示す計算モデルにて、ケーシング取付ボルトに生じる荷重を算出し、ケーシング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。

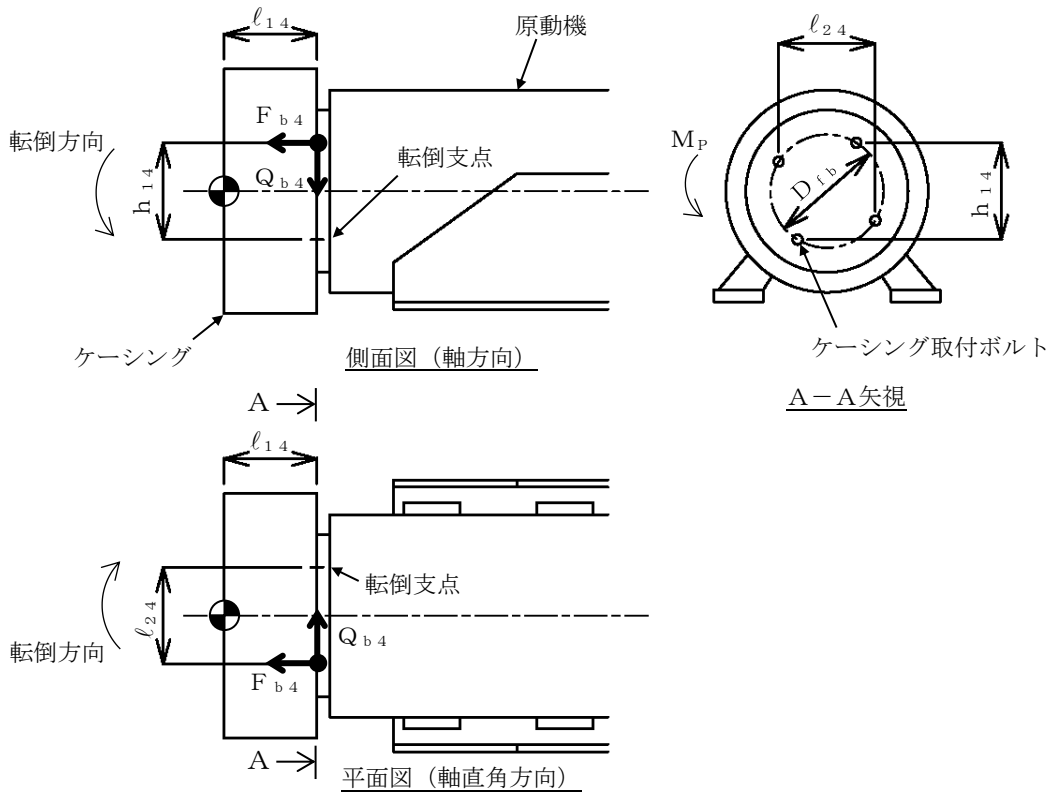


図 6-4 ケーシング取付ボルトの計算モデル

ケーシング取付ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{b4}$  は次式で求める。

$$\sigma_{b4} = F_{b4} / A_{b4} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.18)$$

ここで、ケーシング取付ボルト 1 本あたりに作用する引張力  $F_{b4}$  は  
軸直角方向

$$F_{b4} = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot l_{14}}{n_{f24} \cdot h_{14}} + \frac{W_{12} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot l_{14}}{n_{f14} \cdot l_{24}} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.19)$$

軸方向

$$F_{b4} = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \frac{h_{14}}{2} + W_{12} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot l_{14}}{n_{f24} \cdot h_{14}} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.20)$$

ケーシング取付ボルトに生じるせん断応力  $\tau_{b4}$  は次式で求める。

$$\tau_{b4} = Q_{b4} / (n_{b4} \cdot A_{b4}) \quad \dots \dots \dots (6.2.4.21)$$

ここで、ケーシング取付ボルトに作用するせん断力  $Q_{b4}$  は

$$Q_{b4} = W_{12} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) + M_P \cdot \frac{2}{D_{fb}} \quad \dots \dots (6.2.4.22)$$

(5) インペラとケーシング間のクリアランス

図 4-3 に示す計算モデルにて、軸及びケーシングに地震力が作用することにより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。

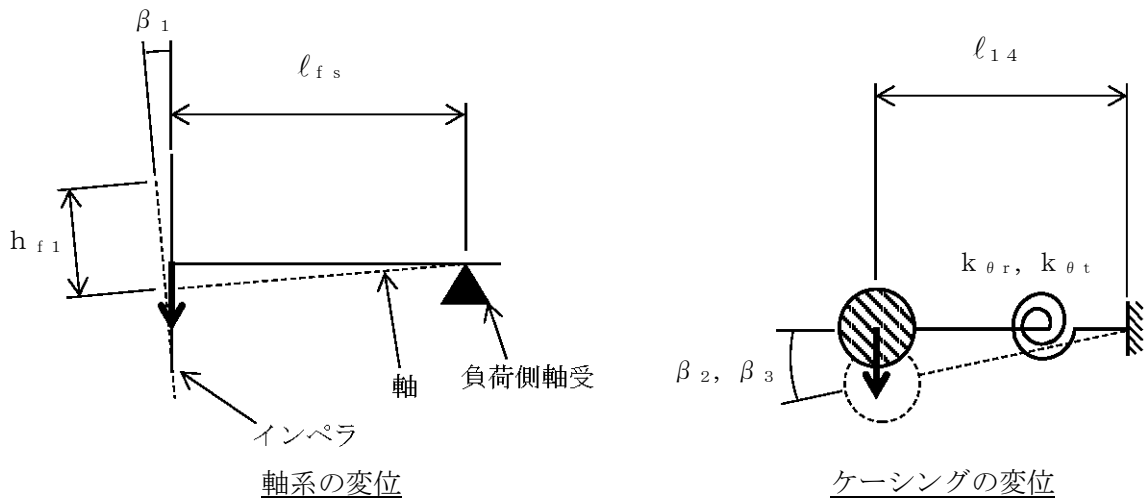


図 4-3 インペラとケーシング間のクリアランスの計算モデル

インペラとケーシングの合計変位量  $\delta$  は次式で求める。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \sqrt{\delta_3^2 + \delta_4^2} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.23)$$

ここで、軸のたわみ量  $\delta_1$  は

$$\delta_1 = \frac{(W_{14} + W_{16}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot l_{fs}^3}{3 \cdot E_{fs} \cdot I_{fs}} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.24)$$

軸の断面二次モーメント  $I_{fs}$  は

$$I_{fs} = \frac{\pi \cdot D_{fs}^4}{64} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.25)$$

軸のたわみによるインペラの変位量  $\delta_2$  は

$$\delta_2 = h_{f1} \cdot \beta_1 \quad \dots \dots \dots (6.2.4.26)$$

軸のたわみ角  $\beta_1$  は

$$\beta_1 = \frac{l_{fs}^2}{2 \cdot E_{fs} \cdot I_{fs}} \cdot (W_{14} + W_{16}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (6.2.4.27)$$

ケーシングの傾きによる変位量は

軸方向の変位量  $\delta_3$

$$\delta_3 = h_{f2} \cdot \beta_2 \quad \dots\dots\dots (6.2.4.28)$$

軸直角方向の変位量  $\delta_4$

$$\delta_4 = h_{f2} \cdot \beta_3 \quad \dots\dots\dots (6.2.4.29)$$

ケーシングの傾き角は

軸方向の傾き角  $\beta_2$

$$\beta_2 = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot \ell_{14}}{k_{\theta t}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.30)$$

軸直角方向の傾き角  $\beta_3$

$$\beta_3 = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot \ell_{14}}{k_{\theta r}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.31)$$

### 6.3 原動機の動的機能維持評価

#### 6.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1における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. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 軸継手

このうち「a. 取付ボルト」及び「d. 端子箱」については、「6.2 ブロワの動的機能維持評価」に含まれる。

「h. 軸継手」は、原動機の構成部材にはないため、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、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。

#### 6.3.2 評価基準値

固定子及び軸（回転子）の許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅲ<sub>A</sub>Sに準拠し設定し、モータフレームの許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅳ<sub>A</sub>Sに準拠し設定する。また、軸受についてはメーカ規定の許容値を、固定子と回転子間のクリアランスについては、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6-3に示す。

表6-3 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子		SS41*	MPa	
軸（回転子）			MPa	
軸受	負荷側	—	N	
	反負荷側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム		SS41*	MPa	

注記\* : SS400相当

### 6.3.3 記号の説明

可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表6-4に示す。

表 6-4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_F$	モータフレーム（脚部）の断面積	$\text{mm}^2$
$A_S$	軸（回転子）の断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_P$	ブロワ振動による震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$D_S$	軸（回転子）の直径	mm
$E_S$	軸（回転子）の縦弾性係数	MPa
$F_{B1}$	負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
$F_{B2}$	反負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
$F_H$	水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力	N
$F_K$	キーに生じるせん断力	N
$F_M$	原動機の回転によりキーに生じるせん断力	N
$F_R$	軸（回転子）に生じるラジアル荷重	N
$g$	重力加速度（=9.80665）	$\text{m/s}^2$
$h_F$	原動機取付面から原動機重心までの高さ	mm
$I$	軸（回転子）の断面二次モーメント	$\text{mm}^4$
$l_b$	モータフレームの脚部の長さ	mm
$l_{b,L}$	軸受間の距離	mm
$l_{h1}$	モータフレームの脚部間の距離（内側）	mm
$l_{h2}$	モータフレームの脚部間の距離（外側）	mm
$L_K$	キーと固定子の接触長さ	mm
$l_{r,C}$	軸受間の距離の1/2	mm
$M_P$	原動機の回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
$Q_B$	軸（回転子）に生じるスラスト荷重	N
$r$	固定子の半径	mm
$t_K$	キーの厚さ	mm
$W_{21}$	固定子の質量	kg
$W_{22}$	軸（回転子）の質量	kg



記号	記号の説明	単位
$W_{23}$	インペラの質量	kg
$W_{24}$	原動機の質量	kg
$W_{25}$	ケーシングの質量	kg
$X_{01}$	負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
$X_{02}$	反負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
$y$	軸（回転子）の変位量	mm
$Y_{01}$	負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—
$Y_{02}$	反負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—
$Z_F$	モータフレーム（脚部）の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_P$	軸（回転子）の極断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_S$	軸（回転子）の断面係数	mm <sup>3</sup>
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
$\sigma_F$	モータフレームに生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{F1}$	モータフレームに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{F2}$	モータフレームに生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{F3}$	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
$\sigma_S$	軸（回転子）に生じる組合せ応力	MPa
$\tau_K$	キーに生じるせん断応力	MPa
$\tau_F$	モータフレームに生じるせん断応力	MPa
$\tau_t$	軸（回転子）に生じるねじり応力	MPa

### 6.3.4 評価方法

#### (1) 固定子

図 6-5 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。

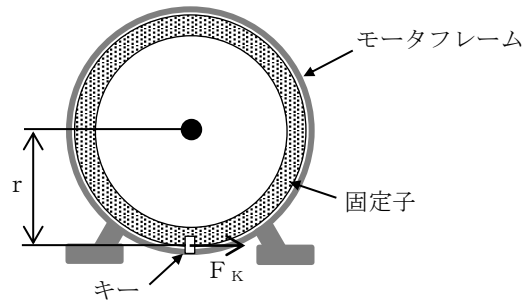


図 6-5 固定子の計算モデル

キーに生じるせん断応力  $\tau_K$  は次式で求める。

$$\tau_K = F_K / (t_K \cdot L_K) \quad \dots \quad (6.3.4.1)$$

ここで、キーに生じるせん断力  $F_K$  は

$$F_K = F_H + F_M \quad \dots \quad (6.3.4.2)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力  $F_H$  は

$$F_H = W_{21} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \quad (6.3.4.3)$$

原動機の回転によりキーに生じるせん断力  $F_M$  は

$$F_M = M_P / r \quad \dots \quad (6.3.4.4)$$

## (2) 軸（回転子）

図 6-6 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。

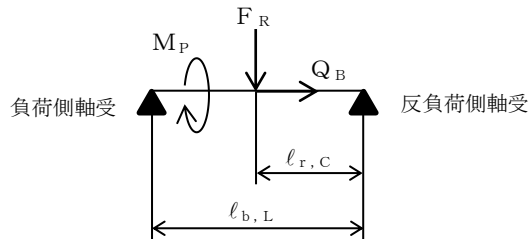


図 6-6 軸（回転子）の計算モデル

軸（回転子）に生じる組合せ応力  $\sigma_s$  は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.5)$$

ここで、軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力  $\sigma_b$  は

$$\sigma_b = \frac{(\ell_{b,L} - \ell_{r,C}) \cdot \ell_{r,C}}{Z_s \cdot \ell_{b,L}} \cdot F_R + \frac{Q_B}{A_s} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.6)$$

軸（回転子）に生じるねじり応力  $\tau_t$  は

$$\tau_t = \frac{M_P}{Z_P} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.7)$$

軸（回転子）の断面係数  $Z_s$  は

$$Z_s = \frac{\pi \cdot D_s^3}{32} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.8)$$

軸（回転子）の極断面係数  $Z_P$  は

$$Z_P = \frac{\pi \cdot D_s^3}{16} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.9)$$

軸（回転子）に生じる荷重は

ラジアル荷重  $F_R$

$$F_R = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (6.3.4.10)$$

スラスト荷重  $Q_B$

$$Q_B = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \dots \dots (6.3.4.11)$$

(3) 軸受

図 6-7 に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重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。

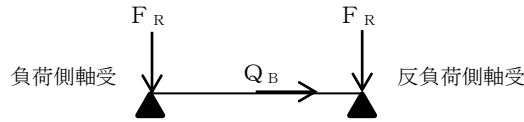


図 6-7 軸受の計算モデル

軸受に生じる静等価荷重は次式で求める。

負荷側軸受に生じる静等価荷重  $F_{B1}$

$$F_{B1} = \max (X_{01} \cdot F_R + Y_{01} \cdot Q_B, F_R) \quad \dots\dots\dots (6.3.4.12)$$

反負荷側軸受に生じる静等価荷重  $F_{B2}$

$$F_{B2} = \max (X_{02} \cdot F_R + Y_{02} \cdot Q_B, F_R) \quad \dots\dots\dots (6.3.4.13)$$

(4) 固定子と回転子間のクリアランス

図 6-8 に示す計算モデルにて、軸（回転子）に生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

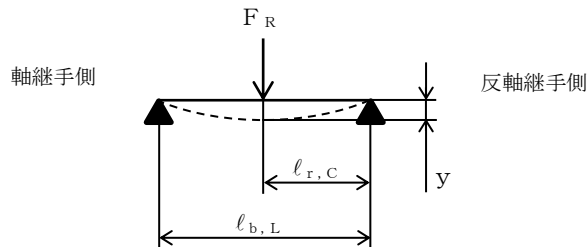


図 6-8 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

軸（回転子）の変位量  $y$  は次式で求める。

$$y = \frac{F_R \cdot l_{r,C} \cdot (l_{b,L}^2 - l_{r,C}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E_S \cdot I \cdot l_{b,L}} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.14)$$

ここで、軸（回転子）の断面二次モーメント  $I$  は

$$I = \frac{\pi \cdot D_S^4}{64} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.15)$$

(6) モータフレーム

図6-9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。

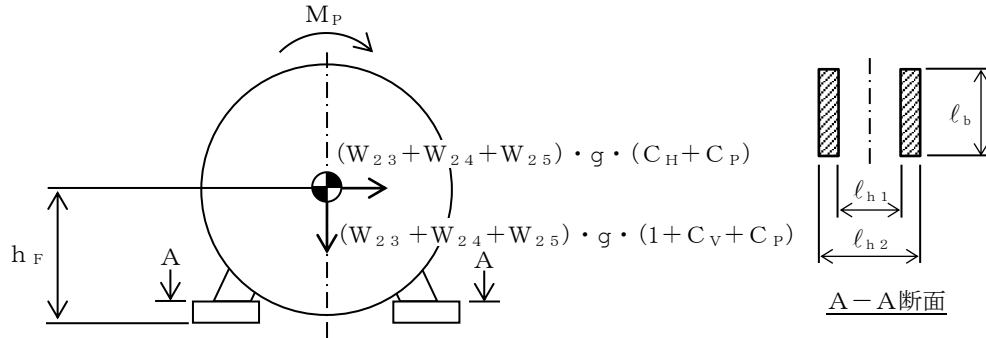


図6-9 モータフレームの計算モデル

モータフレームに生じる組合せ応力  $\sigma_F$  は次式で求める。

$$\sigma_F = \sqrt{(\sigma_{F1} + \sigma_{F2} + \sigma_{F3})^2 + 3 \cdot \tau_F^2} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.16)$$

ここで、水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレームに生じる曲げ応力  $\sigma_{F1}$  は

$$\sigma_{F1} = (W_{23} + W_{24} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_F / Z_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.17)$$

鉛直方向地震力によりモータフレームに生じる圧縮応力  $\sigma_{F2}$  は

$$\sigma_{F2} = (W_{23} + W_{24} + W_{25}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.18)$$

原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力  $\sigma_{F3}$  は

$$\sigma_{F3} = M_P / Z_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.19)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレームに生じるせん断応力  $\tau_F$  は

$$\tau_F = (W_{23} + W_{24} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.20)$$

フレームの断面係数  $Z_F$  は

$$Z_F = \frac{1}{6} \cdot \frac{\ell_b \cdot (\ell_{h2}^3 - \ell_{h1}^3)}{\ell_{h2}} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.21)$$

## 7. 評価結果

### 7.1 設計基準対象施設としての評価結果

ブロワの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ブロワ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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ブロワ振動による震度	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			
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	S	原子炉建物 EL 34.8*1			C <sub>H</sub> =3.73*2	C <sub>V</sub> =2.32*2	C <sub>H</sub> =3.73*3	C <sub>V</sub> =2.32*3		171	—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）及び静的震度を上回る設計震度

\*3：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

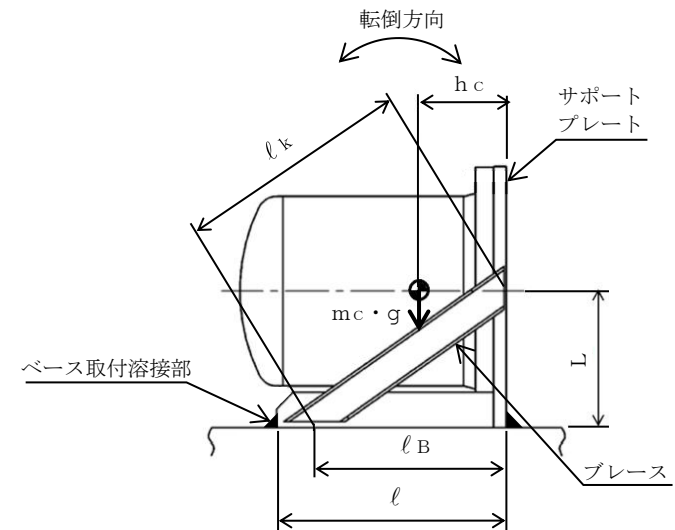
1.2 機器要目

部材	m <sub>c</sub> (kg)	L (mm)	h <sub>c</sub> (mm)	ℓ (mm)	ℓ <sub>B</sub> (mm)	ℓ <sub>k</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s b</sub> (mm <sup>2</sup> )
ブレース及びベース取付溶接部									

部材	A <sub>HW</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>VW</sub> (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )	i (mm)	E (MPa)	G (MPa)	I <sub>b</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>v</sub> (mm <sup>4</sup> )
ブレース及びベース取付溶接部								

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
ブレース及びベース取付溶接部	201 (厚さ ≤ 16mm)	373 (厚さ ≤ 16mm)	201	241	軸	軸

H <sub>P</sub> (μm)	N (rpm)



1.3 計算数値

1.3.1 ブレースに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{HB}$		$F_{VB}$		$F_{CB}$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
ブレース						

1.3.2 ベース取付溶接部に作用する力

(単位：N)

部材	$F_{HW}$		$F_{VW}$	
	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
ベース取付溶接部				

1.4 結論

1.4.1 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
ブレース	SS41	圧縮	$\sigma_c = 15$	$f_{bc} = 179$	$\sigma_c = 15$	$f_{bc} = 210$
ベース取付溶接部	SS41	せん断	$\tau_w = 24$	$f_{ws} = 116$	$\tau_w = 24$	$f_{ws} = 139$

すべて許容応力以下である。



1.5 動的機能維持評価

1.5.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m <sup>3</sup> /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ブロウ振動 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			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロウ	遠心直動型 ファン	255	原子炉建物 EL 34.8*1			C <sub>H</sub> =2.26*2	C <sub>V</sub> =2.69*2		171	—

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

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		ブロウ振動 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			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロウ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	15	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C <sub>H</sub> =2.26*2	C <sub>V</sub> =2.69*2		171	—

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

1.5.2 機器要目

1.5.2.1 ブロウ

A <sub>b1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>b2</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>b3</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>b4</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>cb</sub> (mm)	D <sub>cl</sub> (mm)	D <sub>fb</sub> (mm)	D <sub>fs</sub> (mm)	E <sub>fs</sub> (MPa)	F <sub>b1</sub> (N)	F <sub>b2</sub> (N)	F <sub>b3</sub> (N)
F <sub>b4</sub> (N)	F <sub>bp</sub> (N)	h <sub>11</sub> (mm)	h <sub>12</sub> (mm)	h <sub>22</sub> (mm)	h <sub>14</sub> (mm)	h <sub>f1</sub> (mm)	h <sub>f2</sub> (mm)	I <sub>fs</sub> (mm <sup>4</sup> )	k <sub>θr</sub> (N・mm/rad)	k <sub>θt</sub> (N・mm/rad)	ℓ <sub>11</sub> * (mm)
ℓ <sub>21</sub> * (mm)	ℓ <sub>12</sub> (mm)	ℓ <sub>22</sub> (mm)	ℓ <sub>32</sub> (mm)	ℓ <sub>13</sub> (mm)	ℓ <sub>14</sub> (mm)	ℓ <sub>24</sub> (mm)	ℓ <sub>fs</sub> (mm)	M <sub>P</sub> (N・mm)	n <sub>b1</sub>	n <sub>b2</sub>	n <sub>b3</sub>

注記\*：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。

S2 補 VI-2-9-4-5-2-2(2) R0

$n_{b4}$	$n_{f11}$	$n_{f21}$	$n_{f12}$	$n_{f22}$	$n_{f13}$	$n_{f14}$	$n_{f24}$	$P_0$ (MPa)	$Q_{b1}$ (N)	$Q_{b2}$ (N)	$Q_{b3}$ (N)

$Q_{b4}$ (N)	$W_{11}$ (kg)	$W_{12}$ (kg)	$W_{13}$ (kg)	$W_{14}$ (kg)	$W_{15}$ (kg)	$W_{16}$ (kg)	$\beta_1$ (rad)	$\beta_2$ (rad)	$\beta_3$ (rad)	$\delta_1$ (mm)	$\delta_2$ (mm)

$\delta_3$ (mm)	$\delta_4$ (mm)

1.5.2.2 原動機

$A_F$ (mm <sup>2</sup> )	$A_S$ (mm <sup>2</sup> )	$D_S$ (mm)	$E_S$ (MPa)	$F_H$ (N)	$F_K$ (N)	$F_M$ (N)	$F_R$ (N)	$h_F$ (mm)	$I$ (mm <sup>4</sup> )	$\ell_b$ (mm)	$\ell_{h1}$ (mm)

$\ell_{h2}$ (mm)	$L_K$ (mm)	$\ell_{r,c}$ (mm)	$\ell_{b,L}$ (mm)	$M_P$ (N·mm)	$Q_B$ (N)	$r$ (mm)	$t_K$ (mm)	$W_{21}$ (kg)	$W_{22}$ (kg)	$W_{23}$ (kg)	$W_{24}$ (kg)

$W_{25}$ (kg)	$X_{01}$	$X_{02}$	$Y_{01}$	$Y_{02}$	$Z_F$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_P$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_S$ (mm <sup>3</sup> )	$\sigma_b$ (MPa)	$\sigma_{F1}$ (MPa)	$\sigma_{F2}$ (MPa)	$\sigma_{F3}$ (MPa)

$\tau_F$ (MPa)	$\tau_t$ (MPa)

1.6 結論

1.6.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ブロー	水平方向	2.26	2.6
	鉛直方向	2.69	1.0
原動機	水平方向	2.26	4.7
	鉛直方向	2.69	1.0

注記\*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S<sub>s</sub>）を上回る設計震度により定まる加速度  
ブローは、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。  
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。

1.6.2 ブローの動的機能維持評価

1.6.2.1 代表評価項目の評価

ブレース、ベース取付溶接部については、構造強度評価において設計用地震力に対して十分な強度を有しているため、計算は省略する。

1.6.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.6.2.2.1 原動機取付ボルト (単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
原動機取付ボルト	引張	33	
	せん断	12	

すべて許容応力以下である。

1.6.2.2.2 ブラケット取付ボルト (単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
ブラケット取付ボルト	引張	73	
	せん断	7	

すべて許容応力以下である。

1.6.2.2.3 キャン取付ボルト (単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
キャン取付ボルト	引張	19	
	せん断	2	

すべて許容応力以下である。

## 1.6.2.2.4 ケーシング取付ボルト (単位: MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
ケーシング取付ボルト	引張	28	
	せん断	6	

すべて許容応力以下である。

## 1.6.2.2.5 ケーシングとインペラ間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	変位置	許容変位置
ケーシングとインペラ間のクリアランス	1.18	

すべて許容変位置以下である。

## 1.6.3 原動機の動的機能維持評価

## 1.6.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、ブロワの動的機能維持評価にて確認しているため、計算は省略する。

## 1.6.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

## 1.6.3.2.1 固定子の評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	2	

すべて許容応力以下である。

## 1.6.3.2.2 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)	21	

すべて許容応力以下である。

## 1.6.3.2.3 軸受の評価 (単位: N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
負荷側軸受	$3.459 \times 10^3$	
反負荷側軸受	$3.459 \times 10^3$	

すべて許容荷重以下である。

## 1.6.3.2.4 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.07	<input type="text"/>

すべて許容変位量以下である。

## 1.6.3.2.5 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	8	<input type="text"/>

すべて許容応力以下である。

VI-2-9-4-5-4 窒素ガス代替注入系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-4-1 管の耐震性についての計算書  
(窒素ガス代替注入系)

## 目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力	17
3.5 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28



## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、窒素ガス代替注入系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全10モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。





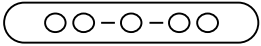


### (3) 弁

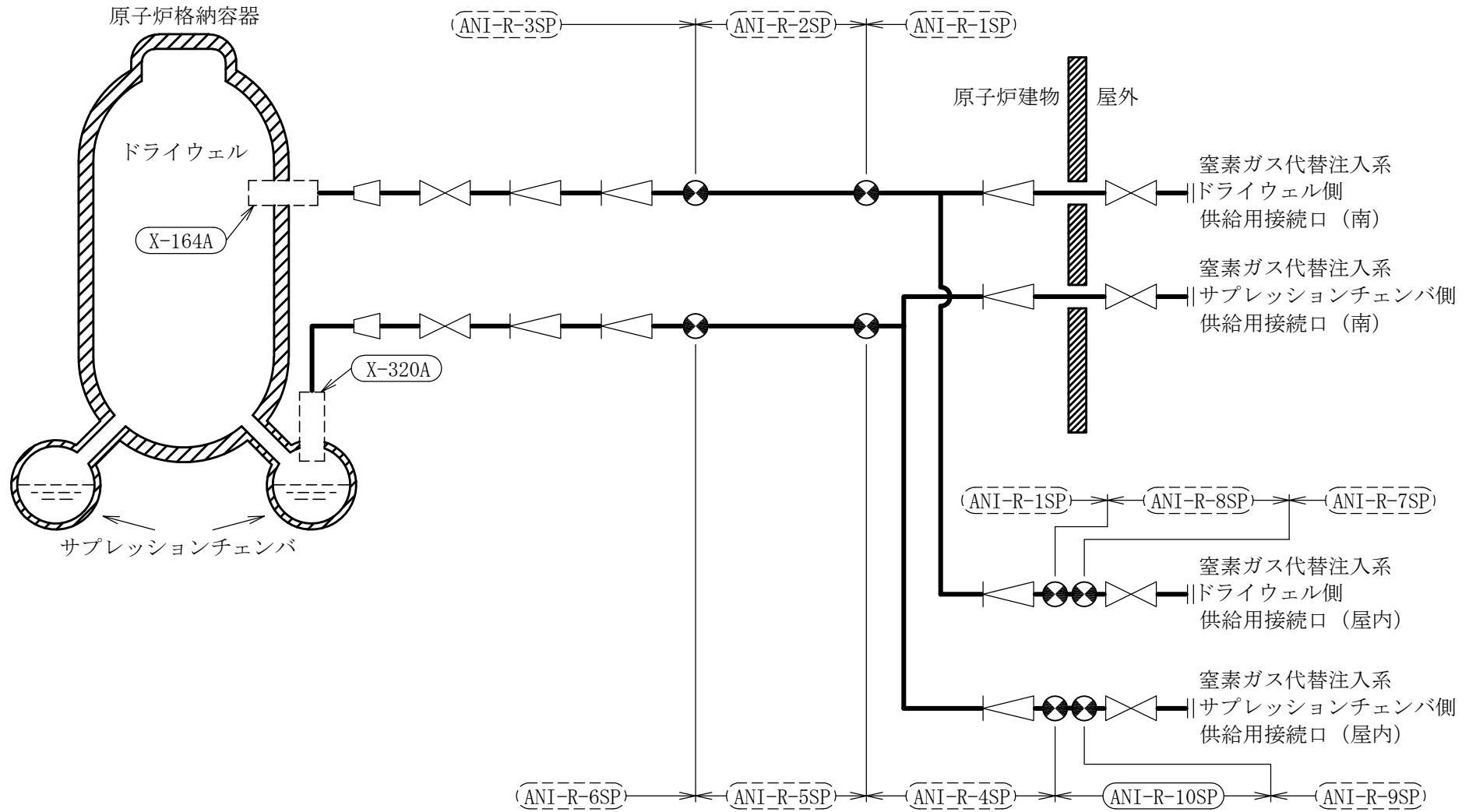
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


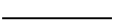
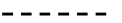


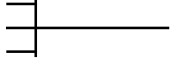
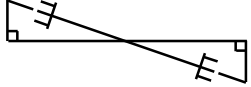

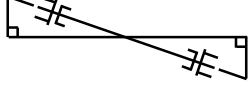

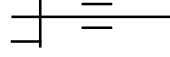
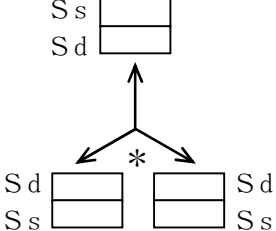

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス 1 管
DB2	クラス 2 管
DB3	クラス 3 管
DB4	クラス 4 管
SA2	重大事故等クラス 2 管
SA3	重大事故等クラス 3 管
DB1/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管
DB2/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管
DB3/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管
DB4/SA2	重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

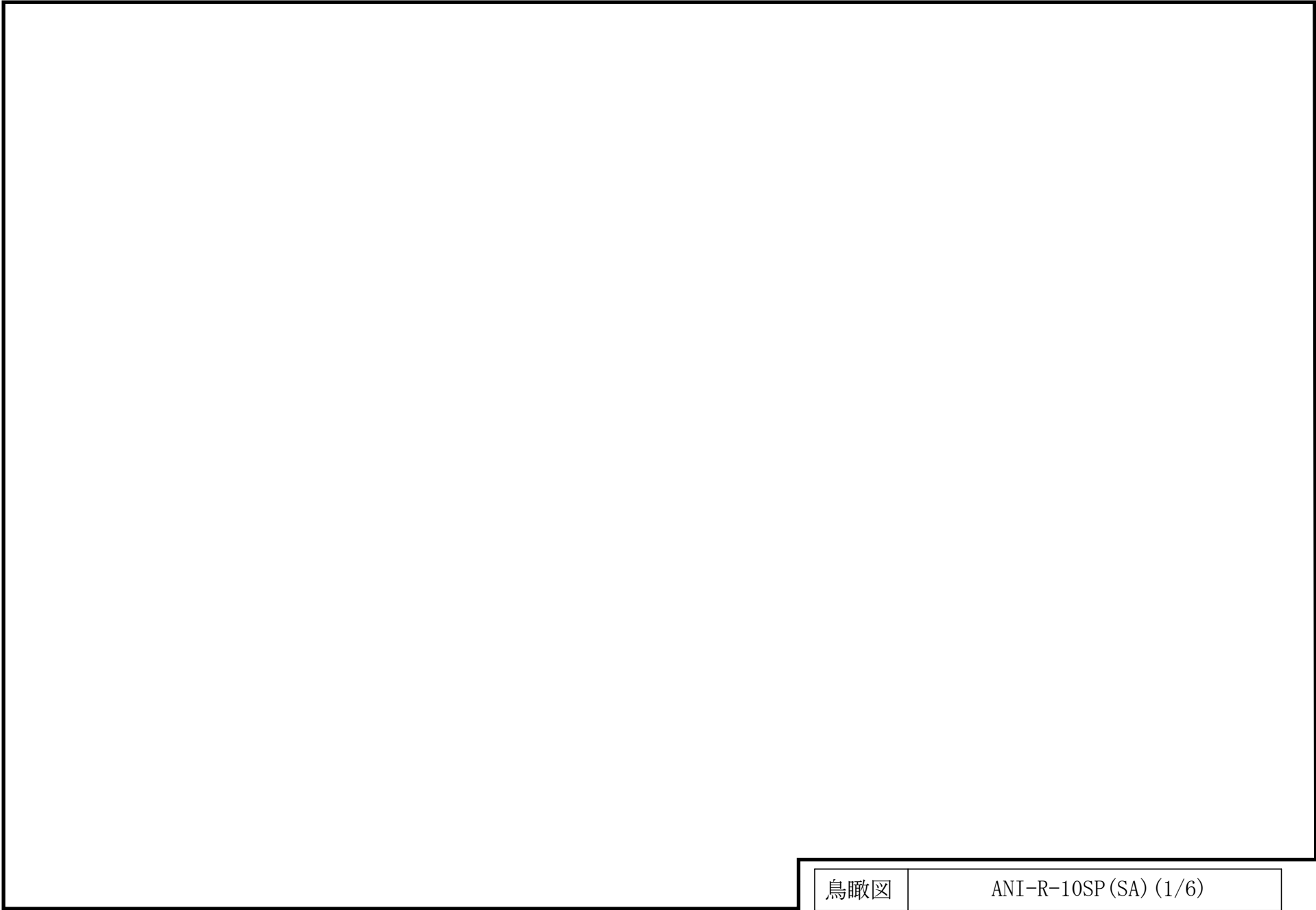


[注] 太線範囲の管クラス : SA2  
窒素ガス代替注入系概略系統図

2.2 鳥瞰図

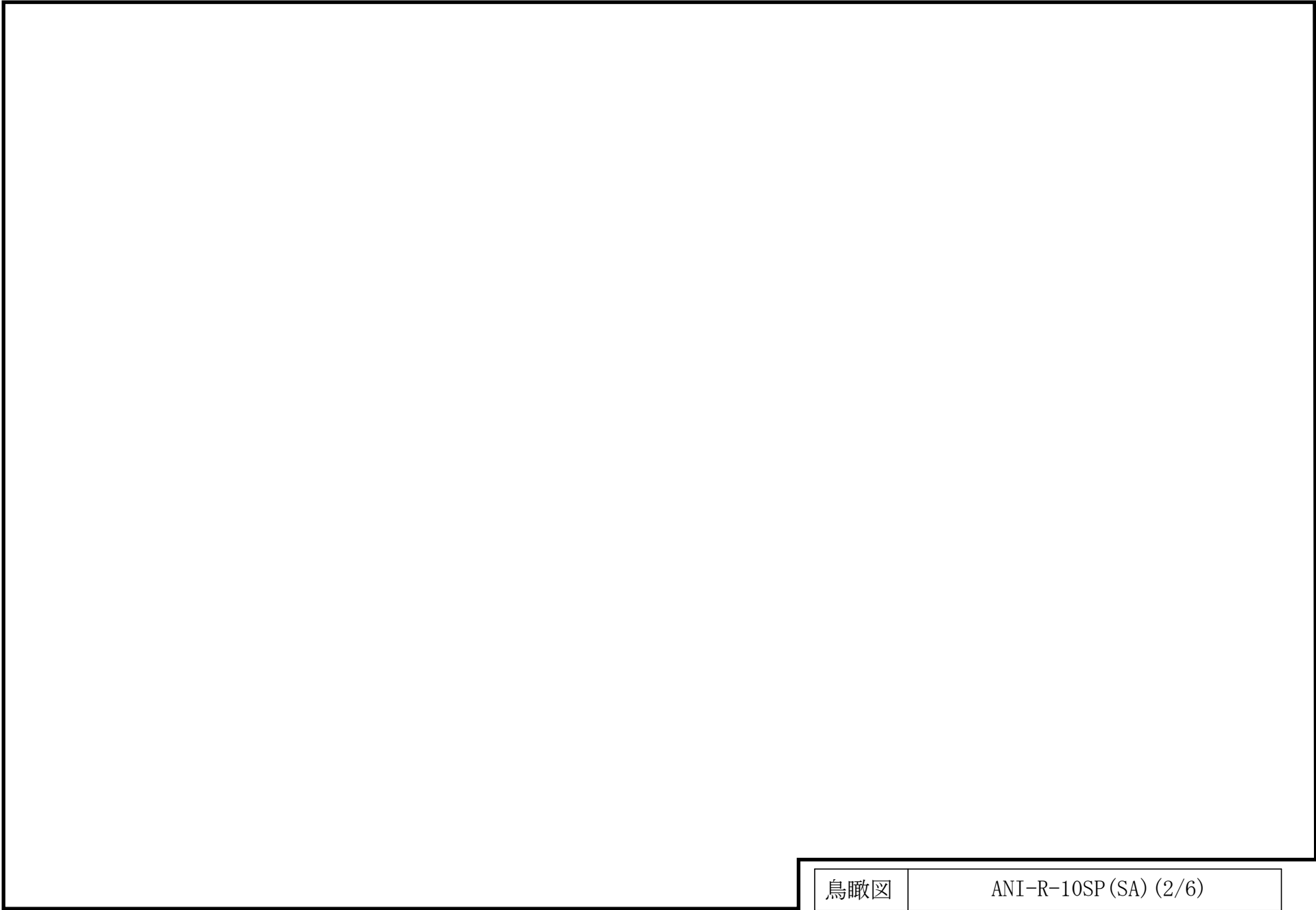
鳥瞰図記号凡例

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。	



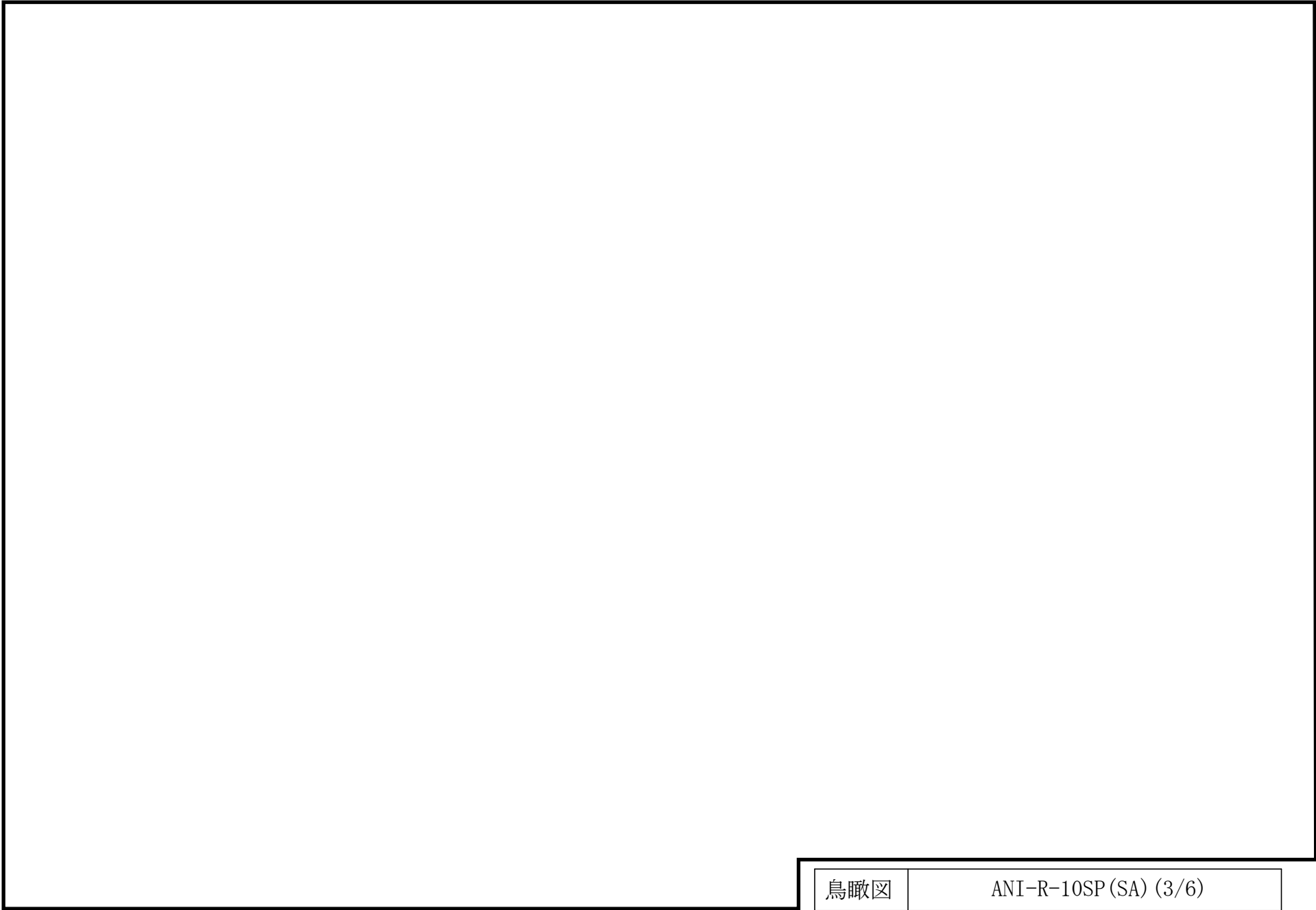
鳥瞰図

ANI-R-10SP(SA) (1/6)



鳥瞰図

ANI-R-10SP(SA) (2/6)



鳥瞰図

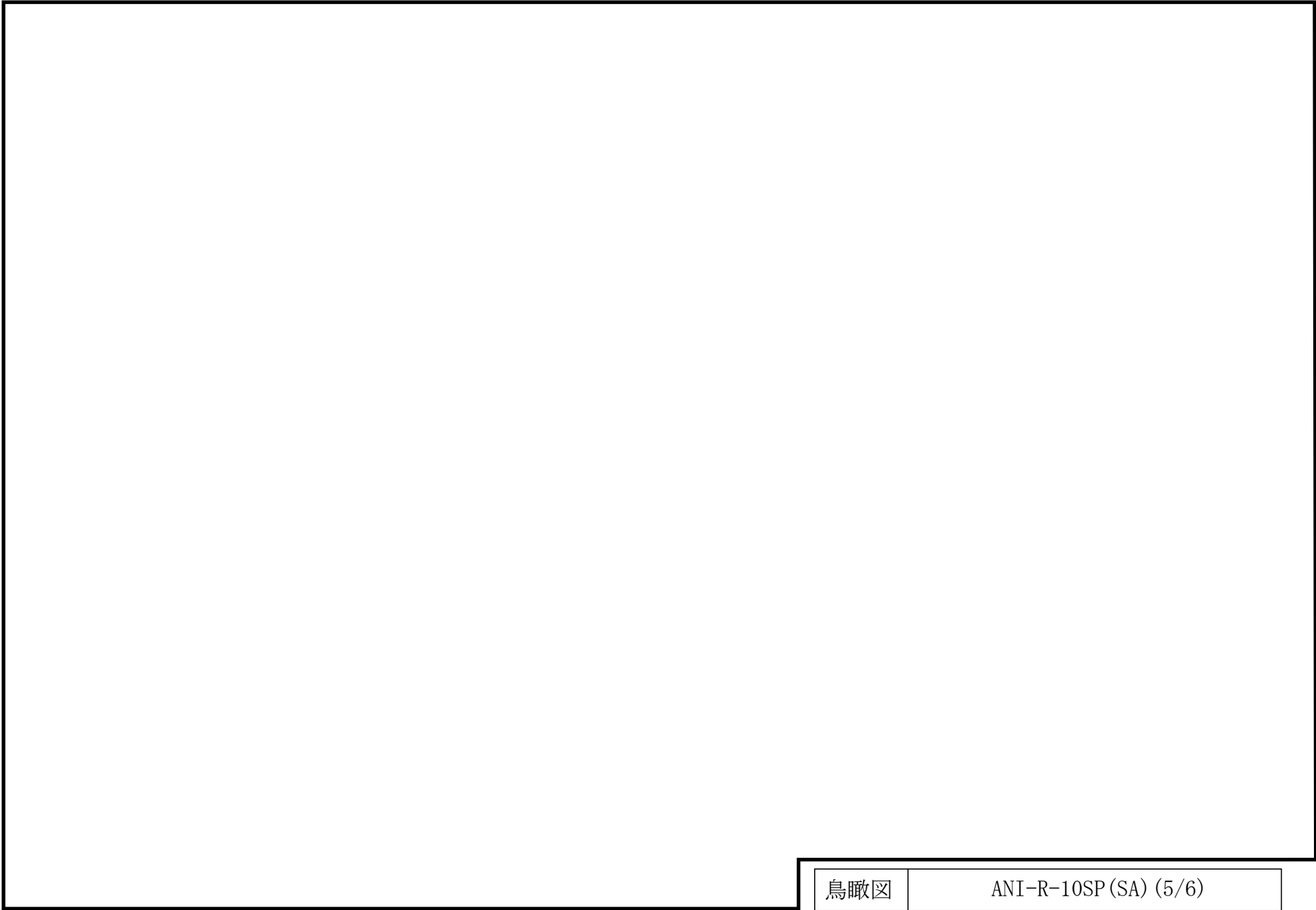
ANI-R-10SP(SA) (3/6)

∞

鳥瞰図

ANI-R-10SP(SA) (4/6)

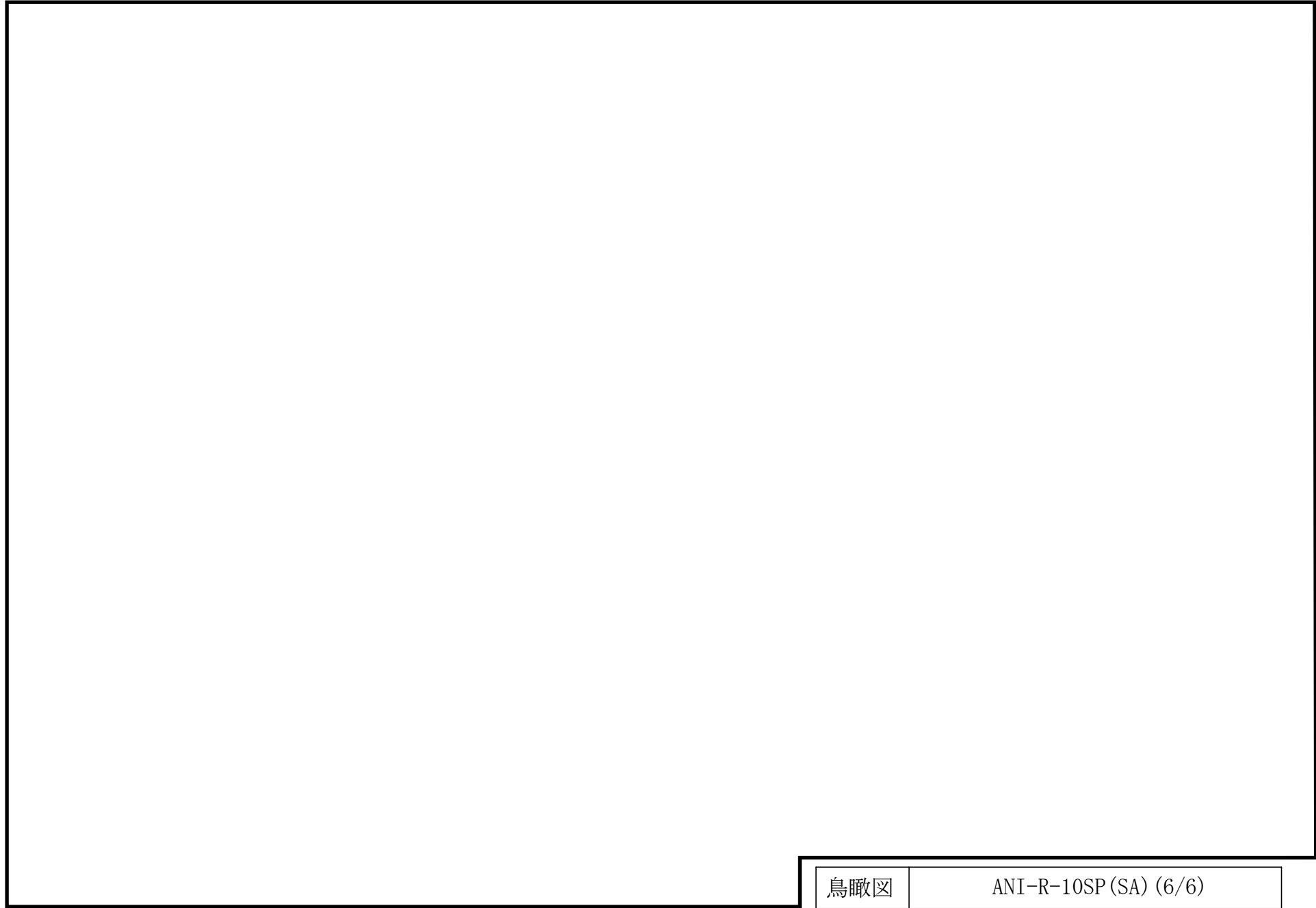




鳥瞰図

ANI-R-10SP(SA) (5/6)

10



### 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 <sup>*1</sup>	設備分類 <sup>*2</sup>	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*3, *4</sup>	許容応力状態 <sup>*5</sup>
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	窒素ガス代替注入系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV <sub>A</sub> S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d$ <sup>*6, *7, *8</sup>	V <sub>A</sub> S
							$V_L(LL) + S_s$ <sup>*6, *9</sup>	
							$V_L + S_s$ <sup>*10</sup>	

注記\*1 : S Aは重大事故等対処設備を示す。

\*2 : 「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<sub>A</sub>Sは許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し, 許容応力状態IV<sub>A</sub>Sとして評価を実施する。

\*6 : 原子炉格納容器バウンダリのみにおいて考慮する。

\*7 : 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<sub>d</sub>地震力の組合せを考慮する。

\*8 : 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。

\*9 : 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。

\*10 : 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<sub>s</sub>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 ANI-R-10SP

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~243A	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.93	66
		Ⅴ <sub>A</sub> S	0.93	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ANI-R-10SP

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～243A	60.5	5.5	STPT410	—	201667

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ANI-R-10SP

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						
14						
20						
26						
32						
40						
44						
52						
58						
63						
75						
81						
87						
94						
104						
112						
120						
126						
135						
142						
148						
151						
155						
163						
172						
176						
180						

S2 補 VI-2-9-4-5-4-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ANI-R-10SP

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
186						
192						
202						
207						
214						
224						
229						
234						
243A						



### 3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	66	—	231	407	—

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき策定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S <sub>d</sub>	S <sub>s</sub>
ANI-R-10SP	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 ANI-R-10SP

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
17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 ANI-R-10SP

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				
17次				

注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)





## 4.2 評価結果

## 4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

## 重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ANI-R-10SP	145	127	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ANI-R-10SP	145	246	462	—
V <sub>A</sub> S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ANI-R-10SP	145	127	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ANI-R-10SP	145	246	462	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	—	—	—	
—	オイルスナッパ	—		—	—	—	
—	ロッドレストレイント	—		—	—	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—	—	
—	コンスタントハンガ	—		—	—	—	
—	リジットハンガ	—		—	—	—	

注記\*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

\*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して，J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお，一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RE-ANI-201	レストレイント	ラグ	SGV410	100	2	2	5	—	—	—	組合せ	70	139
AN-ANI-119	アンカ	ラグ	SGV410	100	3	1	1	1	1	1	組合せ	65	139

## 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 <sup>*1</sup>	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 <sup>*2</sup> ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 <sup>*2</sup> (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。

$\alpha$  (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

$\alpha$  (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

$\beta$  (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

$\beta$  (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

\*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

## 4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

## 重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV <sub>A</sub> 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	ANI-R-1SP	74	106	366	3.45	—	74	201	462	2.29	—	—
2	ANI-R-2SP	9W	98	366	3.73	—	9W	186	462	2.48	—	—
3	ANI-R-3SP	13	38	366	9.63	—	35W	191	414	2.16	—	—
4	ANI-R-4SP	72	114	366	3.21	—	72	215	462	2.14	—	—
5	ANI-R-5SP	87W	114	366	3.21	—	87W	239	462	1.93	—	—
6	ANI-R-6SP	7W	28	363	12.96	—	24W	210	414	1.97	—	—
7	ANI-R-7SP	64W	114	366	3.21	—	64W	219	462	2.10	—	—
8	ANI-R-8SP	141	123	366	2.97	—	141	237	462	1.94	—	—
9	ANI-R-9SP	12	101	366	3.62	—	48	186	462	2.48	—	—
10	ANI-R-10SP	145	127	366	2.88	○	145	246	462	1.87	—	○

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	ANI-R-1SP	74	106	366	3.45	—	74	201	462	2.29	—	—
2	ANI-R-2SP	9W	98	366	3.73	—	9W	186	462	2.48	—	—
3	ANI-R-3SP	13	38	366	9.63	—	35W	191	414	2.16	—	—
4	ANI-R-4SP	72	114	366	3.21	—	72	215	462	2.14	—	—
5	ANI-R-5SP	87W	114	366	3.21	—	87W	239	462	1.93	—	—
6	ANI-R-6SP	7W	28	363	12.96	—	24W	210	414	1.97	—	—
7	ANI-R-7SP	64W	114	366	3.21	—	64W	219	462	2.10	—	—
8	ANI-R-8SP	141	123	366	2.97	—	141	237	462	1.94	—	—
9	ANI-R-9SP	12	101	366	3.62	—	48	186	462	2.48	—	—
10	ANI-R-10SP	145	127	366	2.88	○	145	246	462	1.87	—	○

## VI-2-9-4-6 原子炉格納容器調気設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-6-1 窒素ガス制御系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-6-1-1 管の耐震性についての計算書  
(窒素ガス制御系)



## 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	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力	27
3.5 設計用地震力	28
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	41
4.2.1 管の応力評価結果	41
4.2.2 支持構造物評価結果	42
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	43
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	44

## 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、窒素ガス制御系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

### (2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。





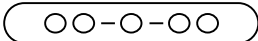
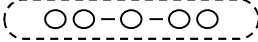

### (3) 弁

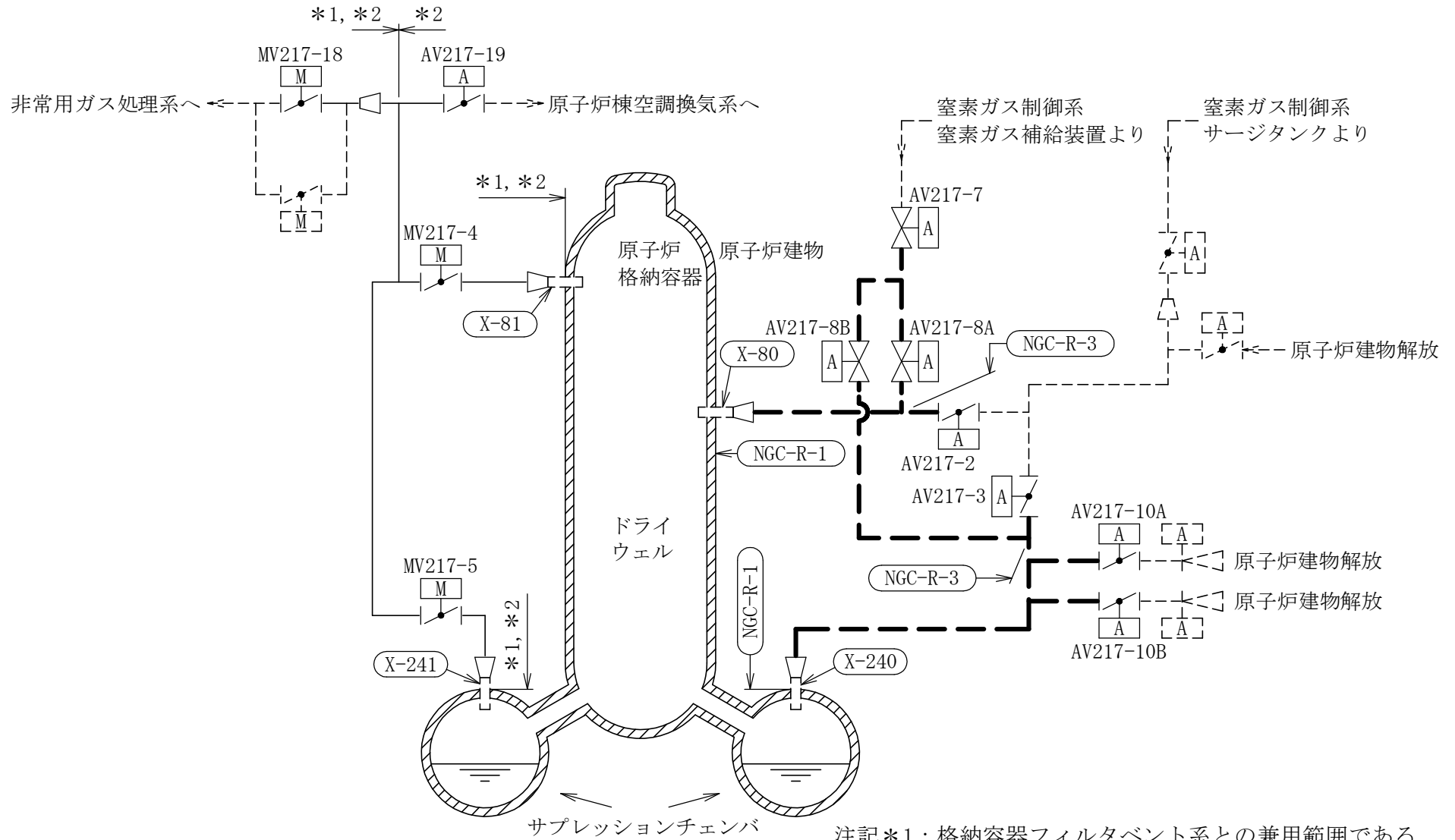
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

## 2.1 概略系統図

## 概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち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：格納容器フィルタベント系との兼用範囲である。



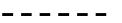


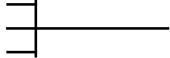
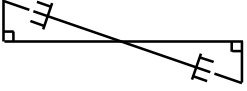
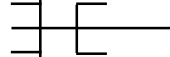
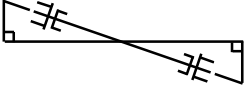

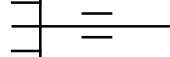
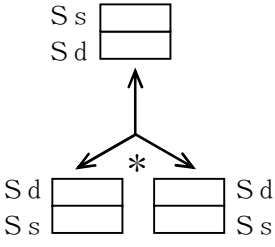
\*2：計算結果は非常用ガス処理系に含めて示す。

[注] 太破線範囲の管クラス：DB2

窒素ガス制御系概略系統図

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, <span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 1em; height: 1em; vertical-align: middle;"></span> 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R0

鳥瞰図

NGC-R-1 (DB) (1/4)



鳥瞰図

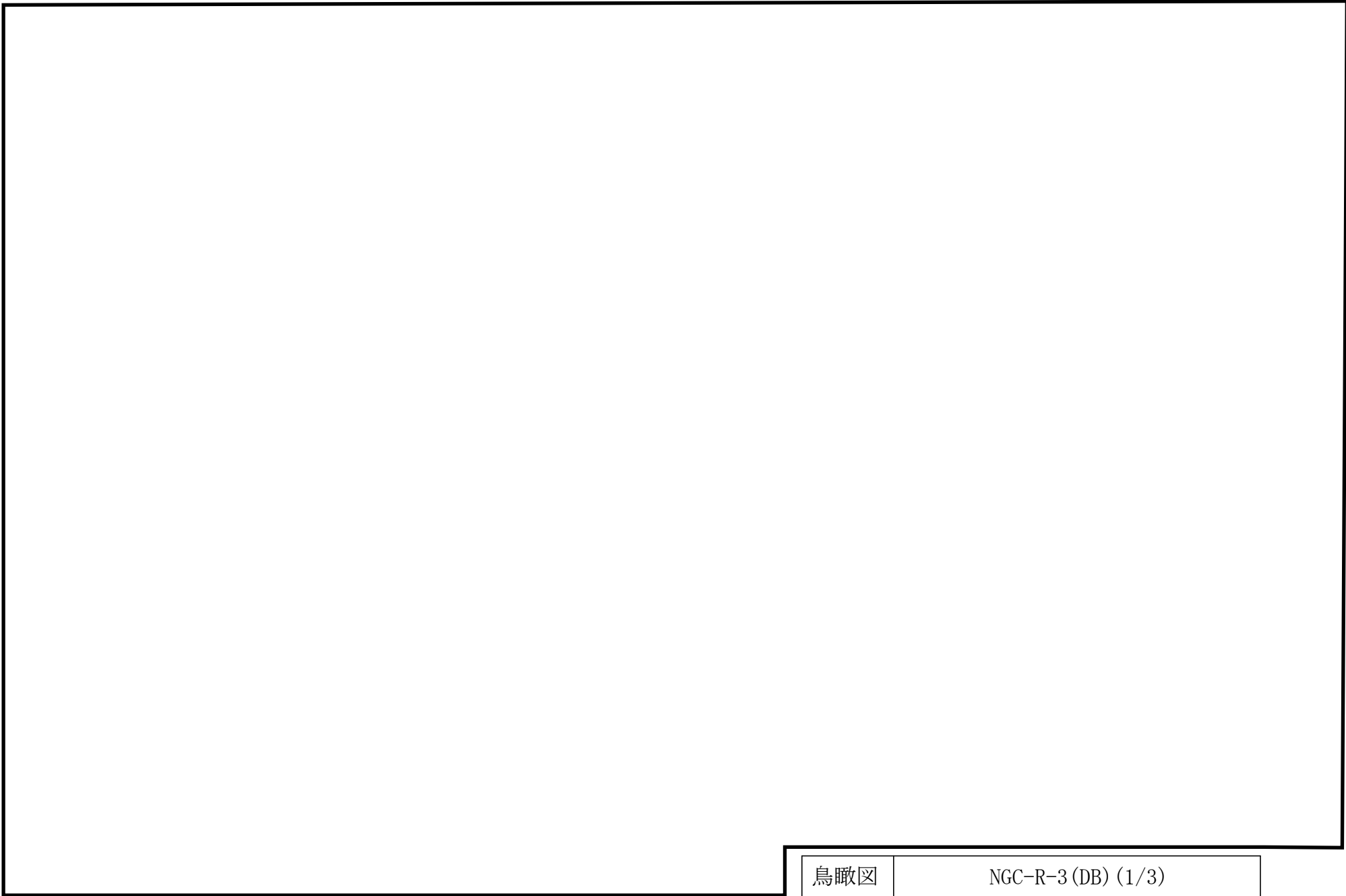
NGC-R-1 (DB) (3/4)



∞

鳥瞰図

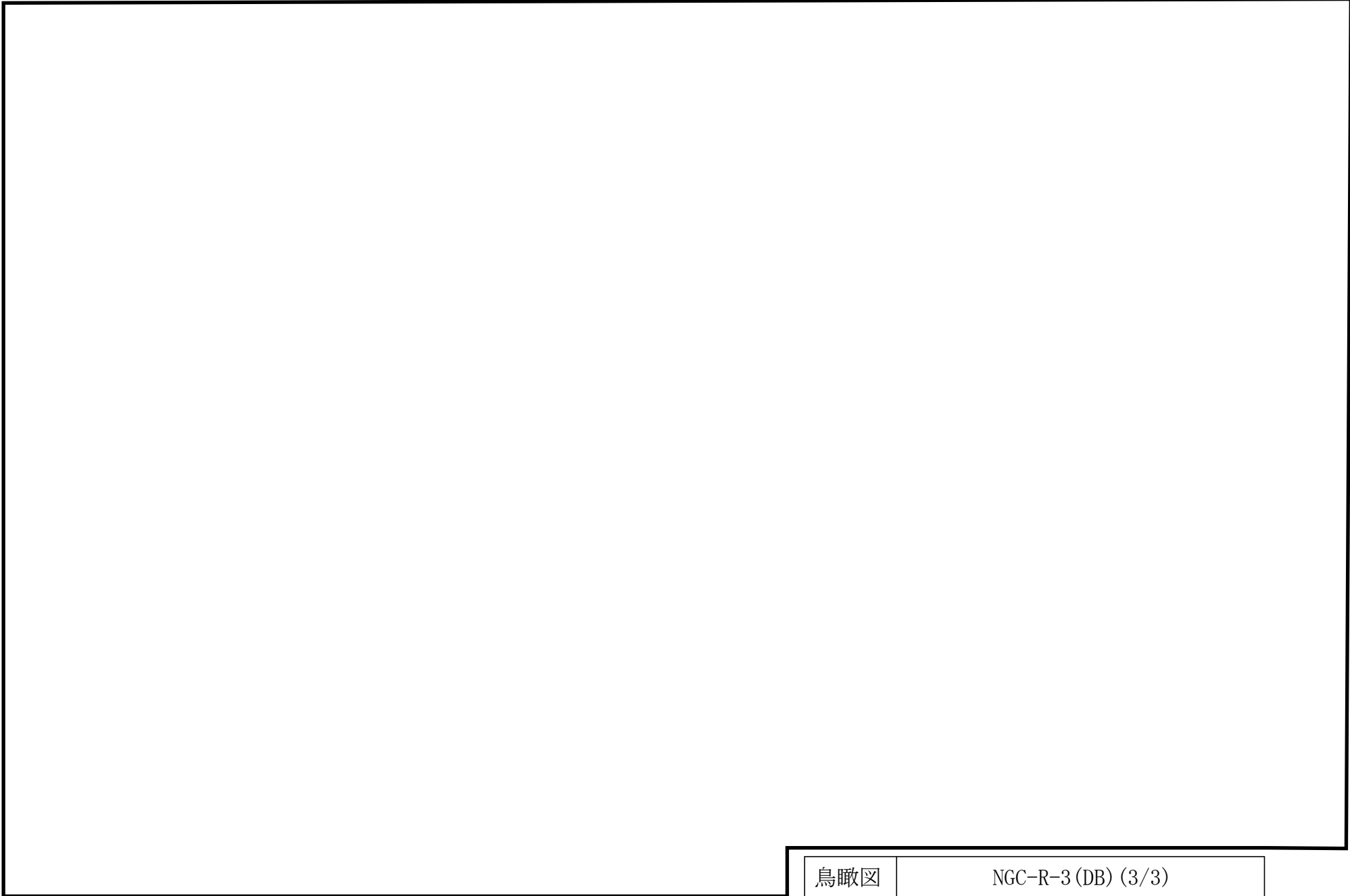
NGC-R-1 (DB) (4/4)



鳥瞰図

NGC-R-3 (DB) (1/3)





鳥瞰図	NGC-R-3(DB) (3/3)
-----	-------------------

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## 3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 <sup>*1</sup>	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ <sup>*2, *3</sup>	許容応力状態
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	DB	—	クラス2管	S	I <sub>L</sub> + S <sub>d</sub>	Ⅲ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> + S <sub>d</sub>	
							I <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	Ⅳ <sub>A</sub> S
							Ⅱ <sub>L</sub> + S <sub>s</sub>	

注記\*1：DBは設計基準対象施設を示す。

\*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 NGC-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	66F~70, 72~73	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.427	104
	7401~80, 129~130F	Ⅳ <sub>A</sub> S	0.427	104
	139~140F	Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
2	70~72, 73~7401	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.427	104
	71~129, 74~139	Ⅳ <sub>A</sub> S	0.427	104
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
3	123F~125	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.427	171
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.427	171
		Ⅴ <sub>A</sub> 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 NGC-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	66F~70, 72~73 7401~80, 129~130F 139~140F	609.6	9.5	SM41C	S	200400
2	70~72, 73~7401 71~129, 74~139	619.2	14.3	SM41C	S	200400
3	123F~125	609.6	9.5	SM41C	S	200400



フランジ部の質量

鳥 瞰 図 NGC-R-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	41F, 45F
<input type="checkbox"/>	62F, 66F, 84F, 88F, 119F, 123F, 130F, 135F, 140F, 145F

弁部の質量

鳥 瞰 図 NGC-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	41F, 45F		42
	44		62F, 66F, 84F, 88F, 119F, 123F
	63, 85, 120		65, 87, 122
	131, 141		132, 142
	133, 143		134, 144
	137～138, 147～148		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 NGC-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)
41F~42				42~44			
42~45F				62F~63			
63~64				64~6401			
6401~65				63~66F			
84F~85				85~87			
85~88F				119F~120			
120~121				121~1211			
1211~122				120~123F			
130F~131				131~132			
132~1321				1321~133			
133~134				131~135F			
137~138				140F~141			
141~142				142~143			
143~1431				1431~144			
141~145F				147~148			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 NGC-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
6						
11						
17						
24						
29						
36						
50						
55						
56						
5801						
** 64 **						
6401						
** 68 **						
69						
** 6901 **						
7201						
** 7501 **						
** 7901 **						
82N						
** 82N **						
** 82N **						
91						
92						

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 NGC-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
97						
104						
111						
** 111 **						
** 111 **						
** 1111 **						
116						
** 121 **						
** 1211 **						
128N						
** 128N **						
** 128N **						
1321						
** 1361 **						
** 1361 **						
1431						
146						
** 1461 **						

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 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 NGC-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	7W~13W, 18W~46N 10~48W	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.427	171
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.427	171
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
2	53W~73N	Ⅲ <sub>A</sub> S	0.427	104
		Ⅳ <sub>A</sub> S	0.427	104
		Ⅴ <sub>A</sub> 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 NGC-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	7W～13W, 18W～46N 10～48W	60.5	5.5	STPT42	S	200400
2	53W～73N	60.5	5.5	STPT42	S	200400

弁部の質量

鳥 瞰 図 NGC-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2W, 7W		3
	4		5
	13W, 18W, 48W, 53W		14, 49
	15, 50		16, 51



弁部の寸法

鳥 瞰 図 NGC-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2W~3				3~4			
4~5				5~6			
3~7W				13W~14			
14~15				15~16			
16~17				14~18W			
48W~49				49~50			
50~51				51~52			
49~53W							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 NGC-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 6 **						
8						
** 8 **						
12						
** 12 **						
1205						
** 1205 **						
** 17 **						
21						
** 21 **						
24						
27						
** 27 **						
30						
** 30 **						
33						
** 33 **						
38						
** 38 **						
46N						

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 NGC-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
** 52 **						
54						
** 54 **						
63						
67						
** 67 **						
73N						



### 3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41C	104	—	219	373	—
SM41C	171	—	201	373	—
STPT42	171	—	211	404	—
STPT42	104	—	219	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 <sub>d</sub>	S <sub>s</sub>
NGC-R-1	原子炉建物				
NGC-R-3	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 NGC-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							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
14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) 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) 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 NGC-R-1

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
14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 NGC-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
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) 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) 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 NGC-R-3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				

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)



40

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価 疲労累積係数 U S d U S s
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
III <sub>A</sub> S	一次応力 S p r m ( S y * )	NGC-R-3	67	66	219	—
	一次+二次応力 S n ( 2 ・ S y )	NGC-R-1	79	175	438	—
IV <sub>A</sub> S	一次応力 S p r m ( 0.9 ・ S u )	NGC-R-3	67	109	363	—
	一次+二次応力 S n ( 2 ・ S y )	NGC-R-1	79	380	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<sub>y</sub>とI.2・Sのうち大きい方とする。

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	二次評価*2
SNM-NGC-237	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		31	45	—
SNO-NGC-239	オイルスナッパ	SN-16			212	240	—
RE-NGC-259	ロッドレストレイント	RSA-16			147	288	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—	—
—	リジットハンガ	—			—	—	—

注記\*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

\*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果			
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	
					F x	F y	F z	M x	M y	M z				
RE-NGC-233	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	64	0	—	—	—	—	組合せ	84	135
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## 4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能*1	機能維持評価用加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		動作機能確認済加速度*2 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果*2 (MPa)				
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
AV217-10A	空気作動 バタフライ弁	$\beta$ (S s)	1.6	1.2	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
AV217-10B	空気作動 バタフライ弁	$\beta$ (S s)	2.5	1.2	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記\*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

$\alpha$  (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

$\alpha$  (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

$\beta$  (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

$\beta$  (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「一」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2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ <sub>A</sub> 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	NGC-R-1	71	39	219	5.61	—	79	175	438	2.50	—	○
2	NGC-R-3	67	66	219	3.31	○	67	125	438	3.50	—	—

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 <sub>A</sub> 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	NGC-R-1	71	57	335	5.87	—	79	380	438	1.15	—	○
2	NGC-R-3	67	109	363	3.33	○	67	233	438	1.87	—	—

VI-2-9-4-7 圧力逃がし装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-7-1 格納容器フィルタベント系の耐震性についての計算書



VI-2-10 その他発電用原子炉の附属施設の耐震性に関する説明書

## VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性に関する説明書

## VI-2-10-1-1 非常用電源設備の耐震計算結果

## 目 次

1. 概要 .....	1
2. 耐震評価条件整理 .....	1

## 1. 概要

本資料は、非常用電源設備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

非常用電源設備に対して、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。

非常用電源設備の耐震計算は表 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 (1/10)

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	
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	非常用 ディーゼル 発電設備	ディーゼル機関*2	S	無	VI-2-10-1-2-1-1	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-1
			空気だめ*3	S	無	VI-2-10-1-2-1-3	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-3
			ディーゼル燃料 デイトンク	S	有	VI-2-10-1-2-1-4	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-4
			A-ディーゼル燃料 移送ポンプ	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-5	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-5
			B-ディーゼル燃料 移送ポンプ	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-6	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-6
			A-ディーゼル燃料 貯蔵タンク	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-7	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-1-7
			B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-8	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-1-8
			主配管	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-9	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-9
			発電機	S	無	VI-2-10-1-2-1-1	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-1
			励磁装置 保護機電装置	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-2	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-2-1-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/10)

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	
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	高圧炉心スプレ イ系ディーゼル 発電設備	ディーゼル機関*2	S	無	VI-2-10-1-2-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-1
			空気だめ*3	S	無	VI-2-10-1-2-2-3	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-3
			ディーゼル燃料 デイトンク	S	有	VI-2-10-1-2-2-4	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-4
			ディーゼル燃料 移送ポンプ	S	—*4	VI-2-10-1-2-2-5	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-5
			ディーゼル燃料 貯蔵タンク	S	—*4	VI-2-10-1-2-2-6	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-2-6
			主配管	S	—*4	VI-2-10-1-2-2-7	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-7
			発電機	S	無	VI-2-10-1-2-2-1	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-1
			励磁装置 保護機電装置	S	—*4	VI-2-10-1-2-2-2	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-2-2-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/10)

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	
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	ガスタービン発電機	ガスタービン機関*5	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-1
			ガスタービン発電機 用燃料移送ポンプ	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-3
			ガスタービン発電機 用軽油タンク	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-4
			ガスタービン発電機 用サービスタンク	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-5
			主配管	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-6
			発電機	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-1
			励磁装置 保護機電装置	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-2
			緊急用直流 115V 蓄電 池	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-7
			緊急用直流 60V 蓄電 池	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-8



表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/10)

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
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	高圧発電機車	ガスタービン発電機 用軽油タンク (ガスタービン発電 機に記載)	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-4
			A-ディーゼル燃料貯 蔵タンク (非常用ディーゼル 発電設備に記載)	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-7	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-1-7
			B-ディーゼル燃料貯 蔵タンク (非常用ディーゼル 発電設備に記載)	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-8	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-1-8
			ディーゼル燃料貯蔵 タンク (高圧炉心スプレイ 系ディーゼル発電設 備に記載)	S	—*4	VI-2-10-1-2-2-6	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-2-6

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (5/10)

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
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	可搬式窒素供給装置用 発電設備	ガスタービン発電機 用軽油タンク (ガスタービン発電 機に記載)	—	—*4	—	常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-3-4
			A-ディーゼル燃料貯 蔵タンク (非常用ディーゼル 発電設備に記載)	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-7	常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-1-7
			B-ディーゼル燃料貯 蔵タンク (非常用ディーゼル 発電設備に記載)	S	—*4	VI-2-10-1-2-1-8	常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-1-8
			ディーゼル燃料貯蔵 タンク (高圧炉心スプレイ 系ディーゼル発電設 備に記載)	S	—*4	VI-2-10-1-2-2-6	常設/緩和	無	VI-2-10-1-2-2-6

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (6/10)

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
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	緊急時対策所用 発電機	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-2-4-1
		計装用無停電交流電 源装置	S	無	VI-2-10-1-3-1	—	—	—
		230V 系充電器 (常用)	C	無	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-3-2
		B1-115V 系充電器 (SA)	S	—*4	VI-2-10-1-3-3	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-3-3
		SA 用 115V 系充電器	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-3-4
		230V 系蓄電池 (RCIC)	S	無	VI-2-10-1-3-5	常設耐震/防止	無	VI-2-10-1-3-5
		A-115V 系蓄電池	S	—*4	VI-2-10-1-3-6	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-3-6
		B-115V 系蓄電池	S	無	VI-2-10-1-3-7	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-3-7

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (7/10)

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
その他発電用原子炉の 附属施設	その他の 電源装置	B1-115V 系蓄電池 (SA)	S	—*4	VI-2-10-1-3-8	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-3-8
		SA 用 115V 系蓄電池	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-3-9
		高圧炉心スプレイ系 蓄電池	S	無	VI-2-10-1-3-10	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-3-10
		原子炉中性子計装用 蓄電池	S	無	VI-2-10-1-3-11	常設耐震/防止	無	VI-2-10-1-3-11
	その他	230V 系充電器 (RCIC)	S	無	VI-2-10-1-4-1	常設耐震/防止	無	VI-2-10-1-4-1
		A-115V 系充電器	S	無	VI-2-10-1-4-2	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-2
		B-115V 系充電器	S	無	VI-2-10-1-4-3	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-3
		高圧炉心スプレイ系 充電器・直流盤	S	無	VI-2-10-1-4-4	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-4-4
		原子炉中性子計装用 充電器	S	無	VI-2-10-1-4-5	常設耐震/防止	無	VI-2-10-1-4-5
		メタルクラッド 開閉装置	S	—*4	VI-2-10-1-4-6	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-6
			S	—*4	VI-2-10-1-4-6	常設/防止 (DB 拡張)	無	VI-2-10-1-4-6

2-1 耐震評価条件整理一覧表 (8/10)

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	
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	その他	ロードセンタ	S	—*4	VI-2-10-1-4-7	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-7
			コントロールセンタ	S	—*4	VI-2-10-1-4-8	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-8
				S	—*4	VI-2-10-1-4-8	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-4-8
			動力変圧器	S	—*4	VI-2-10-1-4-9	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-9
				S	—*4	VI-2-10-1-4-9	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-4-9
			緊急用メタクラ	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-10
			緊急用メタクラ接続 プラグ盤	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-11
			SA ロードセンタ	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-12
			SA コントロールセン タ	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-13
			メタクラ切替盤	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-14
			高圧発電機車接続プ ラグ収納箱	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-15

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (9/10)

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	
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	その他	SA 電源切替盤	S	—*4	VI-2-10-1-4-16	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-16
			充電器電源切替盤	S	—*4	VI-2-10-1-4-17	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-17
			緊急時対策所 発電 機接続プラグ盤	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-18
			緊急時対策所 低圧 受電盤・低圧母線盤	C	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-19
			緊急時対策所 低圧 分電盤 1	C	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-24
			緊急時対策所 低圧 分電盤 2	C	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-25
			A-115V 系直流盤	S	—*4	VI-2-10-1-4-28	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-28
			B-115V 系直流盤	S	—*4	VI-2-10-1-4-29	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-29
			230V 系直流盤 (RCIC)	S	—*4	VI-2-10-1-4-30	常設耐震/防止	無	VI-2-10-1-4-30
			230V 系直流盤 (常 用)	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-31
			B-115V 系直流盤 (SA)	S	—*4	VI-2-10-1-4-32	常設耐震/防止 常設/緩和	無	VI-2-10-1-4-32

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (10/10)

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	
その他発電用原子炉の 附属施設	非常用電源設備	その他	緊急時対策所 無停 電交流電源装置	C	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-33
			緊急時対策所 無停 電分電盤	C	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-34
			緊急時対策所 直流 115V 充電器	C	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-35
			HPAC 直流コントロー ルセンタ	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-37
			原子炉中性子計装用 分電盤	S	—*4	VI-2-10-1-4-39	常設/防止 (DB拡張)	無	VI-2-10-1-4-39
			S A 対策設備用分電 盤 (2)	—	—*4	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-10-1-4-40
			SRV 用電源切替盤	S	—*4	VI-2-10-1-4-41	常設耐震/防止	無	VI-2-10-1-4-41

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: 调速装置, 非常调速装置及び機関付冷却水ポンプはディーゼル機関付きであるため, ディーゼル機関の評価に包絡される。

\*3: 空気だめの安全弁は空気だめ付きであるため, 空気だめの評価に包絡される。

\*4: 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

\*5: 调速装置及び非常调速装置はガスタービン機関付きであるため, ガスタービン機関の評価に包絡される。

## VI-2-10-1-2 非常用発電装置の耐震性についての計算書



VI-2-10-1-2-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の  
耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-2-4 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル  
燃料デイトンクの耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	14
5. 構造強度評価	15
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
5.3 設計用地震力	20
5.4 計算方法	21
5.5 計算条件	32
5.6 応力の評価	32
6. 評価結果	34
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	34
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	34
7. 引用文献	34

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>脚を 2 個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>横置円筒形 (両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器)</p>	

## 2.2 評価方針

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

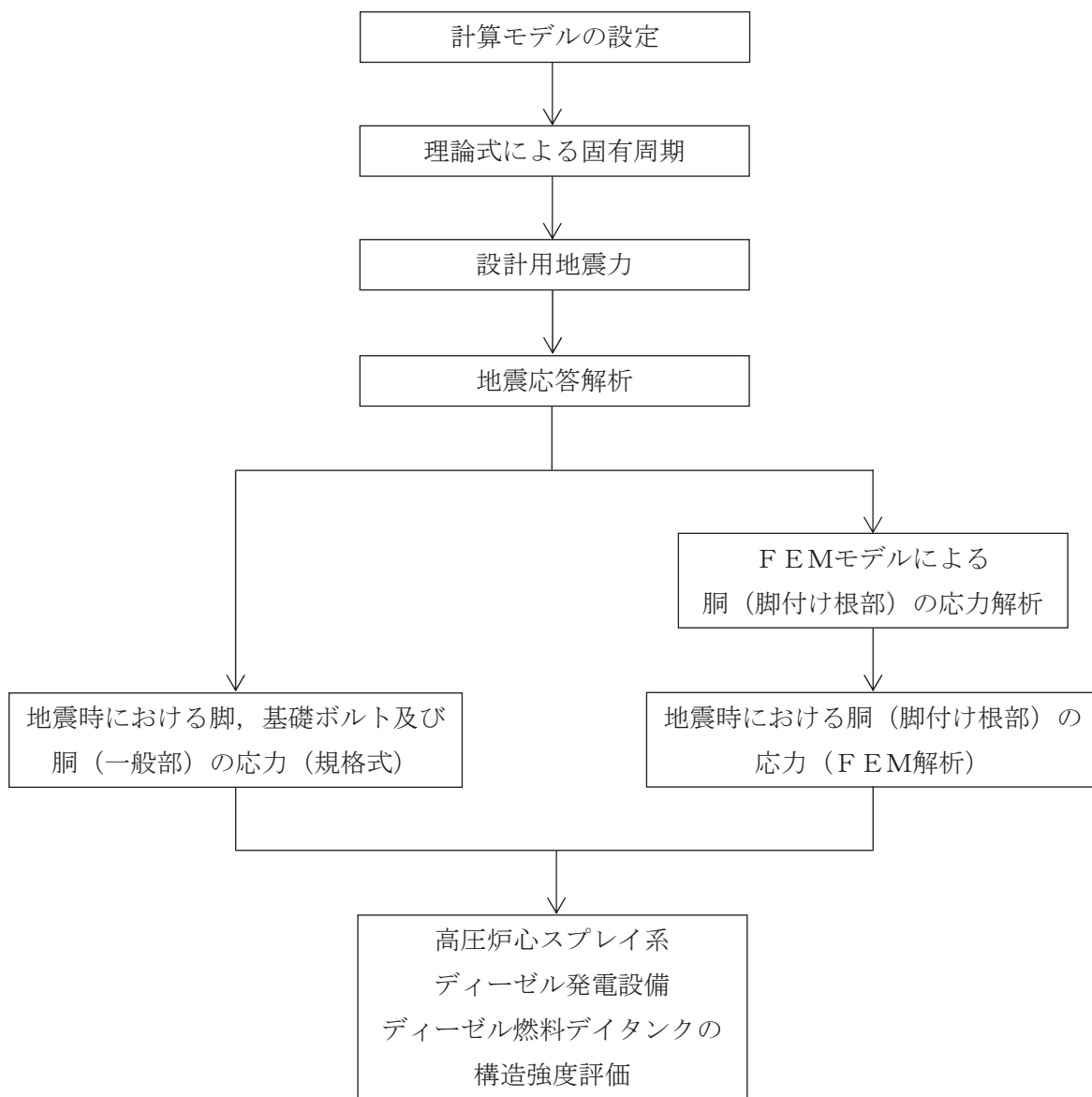


図 2-1 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	第1脚の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s1</sub>	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s2</sub>	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s3</sub>	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s4</sub>	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm <sup>2</sup>
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C <sub>1</sub>	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C <sub>2</sub>	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>i</sub>	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d <sub>1</sub>	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d <sub>2</sub>	第1脚底板端面から基礎ボルト(外側)中心までの横方向の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E <sub>s</sub>	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F <sub>b</sub>	基礎ボルトに作用する引張力	N
f <sub>sb</sub>	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 <sub>tm</sub>	脚の許容引張応力	MPa
f <sub>to</sub>	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>ts</sub>	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 <sub>s</sub>	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
H	水頭	mm
h <sub>1</sub>	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h <sub>2</sub>	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I <sub>sx</sub>	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>sy</sub>	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
j <sub>1</sub>	荷重分布で分割する荷重の数	—



記号	記号の説明	単位
$j_2$	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数（第1脚上の荷重は含まない。）	—
$j_3$	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数（第2脚上の荷重は含まない。）	—
$K_c$	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
$K_\ell$	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
$K_v$	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
$l_0$	脚中心間距離	mm
$l_i$	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	mm
$M$	第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M_1$	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
$M_2$	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
$M_c$	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{c1}$	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M_\ell$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$m_0$	容器の運転時質量	kg
$m_i$	容器各部の質量（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	kg
$m_{s1}$	第1脚の質量	kg
$m_{s2}$	第2脚の質量	kg
$n$	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
$n_1$	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
$n_2$	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
$P$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
$P_e$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
$P_\ell$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
$P_s$	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
$P_{s1}$	横方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
$R_1$	第1脚の受ける荷重	N
$R_2$	第2脚の受ける荷重	N
$r_m$	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
$r_o$	第1脚付け根部における胴の外半径	mm
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_a$	胴の許容応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	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
$s$	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
$T_1$	長手方向固有周期	s
$T_2$	横方向固有周期	s
$T_3$	鉛直方向固有周期	s
$t$	第 1 脚側胴板の厚さ	mm
$t_e$	第 1 脚付け根部における胴の有効板厚	mm
$X_n$	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
$Z$	引用文献(1)による胴の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sx}$	第 1 脚の長手方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sy}$	第 1 脚の横方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$\theta$	引用文献(1)による胴の有効範囲角の 2 分の 1	rad
$\theta_0$	胴の第 1 脚端部より鉛直軸までの角度	rad
$\pi$	円周率	—
$\rho$	液体の密度 (=比重×10 <sup>-6</sup> )	kg/mm <sup>3</sup>
$\sigma_0$	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{oc}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{ocx}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{oc\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{ol}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{olx}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{ol\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_1$	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{1c}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1cx}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{1l}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1lx}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_2$	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2c}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2cx}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2lx}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1}$	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b2}$	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_s$	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_{sc}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sl}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s1}$	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{s2}$	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
$\sigma_{s3}$	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{s4}$	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x2}$	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x413}$	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x6}$	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}, \sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}, \sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}, \sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{b1}$	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b2}$	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_c$	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_l$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{s2}$	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{s3}$	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
角度		rad	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

### 3. 評価部位

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴、脚及び基礎ボルトについて実施する。高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

### 4. 固有周期

#### 4.1 固有周期の計算方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの固有周期の計算方法を以下に示す。

##### (1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- 容器の胴は 2 個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- 胴は剛体とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが、脚の変形方向に直角な方向より見て脚 1 個につき 1 列の場合は下端を単純支持とする。その他の場合は、固定とする。
- 第 2 脚は長手方向にスライドできるものとし、その方向の力はすべて第 1 脚で受けるものとする。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図 4-1～図 4-4 に示す。

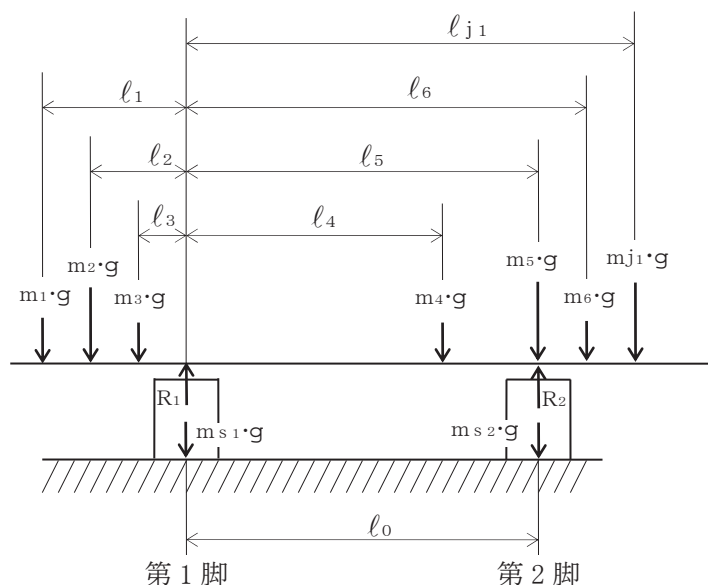


図 4-1 荷重状態

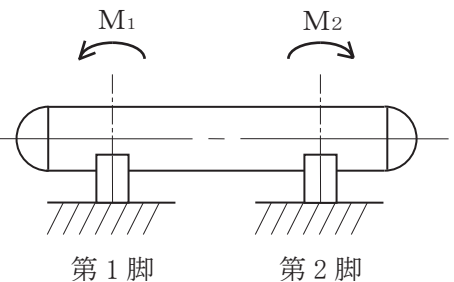


図 4-2 脚の位置での曲げモーメント

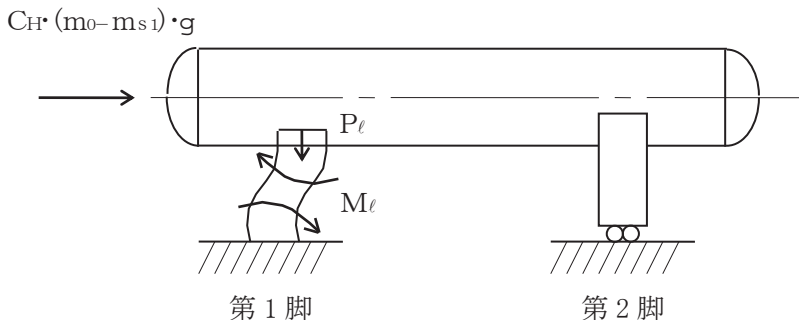


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

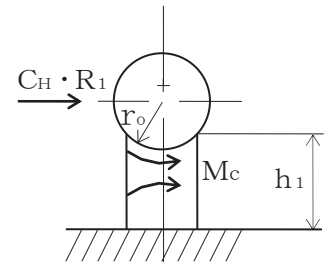


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

本容器は，前記の条件より図4-5，図4-6及び図4-7のような1質点系振動モデルとして考える。

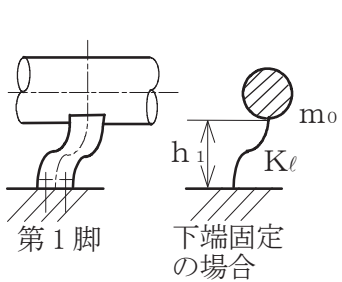


図4-5 長手方向の固有周期計算モデル

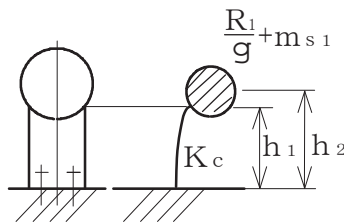


図4-6 横方向の固有周期計算モデル

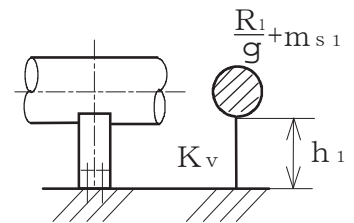


図4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図4-1において第1脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i - R_2 \cdot l_0 = 0 \quad \dots \quad (4.1.1)$$

したがって，脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i / l_0 \quad \dots \quad (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots \quad (4.1.3)$$

## (3) 長手方向の固有周期

図 4-5 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\ell} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \quad \dots \quad (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_{\ell}}} \quad \dots \quad (4.1.5)$$

## (4) 横方向の固有周期

図 4-6 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{s x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 2}}} \quad \dots \quad (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_c}} \quad \dots \quad (4.1.7)$$

ただし、脚の受ける荷重が  $R_2 > R_1$  となる場合は、 $R_1$  を  $R_2$  に置き換える。

## (5) 鉛直方向の固有周期

図 4-7 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \quad \dots \quad (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_v}} \quad \dots \quad (4.1.9)$$

ただし、脚の受ける荷重が  $R_2 > R_1$  となる場合は、 $R_1$  を  $R_2$  に置き換える。

## 4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。



#### 4.3 固有周期の計算結果

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

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平		
鉛直		

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a. ～f. のほか、次の条件で計算する。概要図を図 5-1 に示す。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を用いる。
- (2) 第 1 脚と第 2 脚は同形状であり、受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。

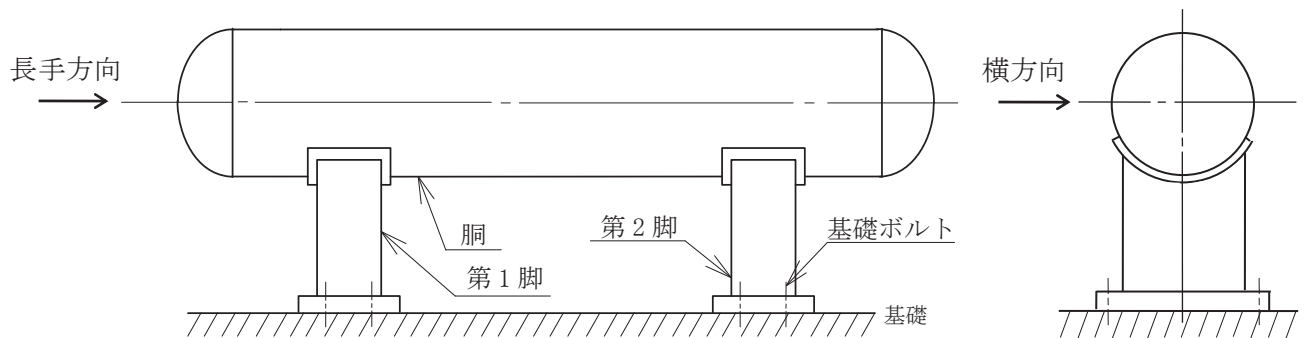


図 5-1 概要図

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

#### 5.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 及び表 5-4 に示す。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	S	—*	$D + P_D + M_D + S d^*$	III <sub>A</sub> S
				$D + P_D + M_D + S s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*: クラス 2, 3 容器及びクラス 2, 3 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態 (重大事故等対処設備)

施設区分	機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	常設/防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S s^{*3}$	IV <sub>A</sub> S
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして IV <sub>A</sub> Sの許容限界 を用いる。)

注記\*1: 「常設/防止 (DB 拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

\*2: 重大事故等クラス 2 容器及び重大事故等クラス 2 支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 2 容器)

許容応力状態	許容限界*1, *2			一次+二次+ピーク応力
	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	一次+二次応力	
III <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は基準地震動S <sub>s</sub> のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要	
IV <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の1.5倍の値	基準地震動S <sub>s</sub> のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S <sub>y</sub> 以下であれば疲労解析は不要	
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)				

注記\*1: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

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

表 5-4 許容応力 (クラス 2, 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等以外)		許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	組合せ	引張	せん断	
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)				

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

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

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
胴板	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	45		—	243	397	—
脚	SS41* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	50		—	231	394	—
基礎ボルト	SS41* (40mm < 径 ≤ 100mm)	50		—	211	394	—

注記\* : SS400 相当

表 5-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
胴板	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	45		—	243	397	—
脚	SS41* (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	50		—	231	394	—
基礎ボルト	SS41* (40mm < 径 ≤ 100mm)	50		—	211	394	—

注記\* : SS400 相当

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-7 及び表 5-8 に示す。

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

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 8.8 <sup>*1</sup>	□		C <sub>H</sub> =0.74 <sup>*2</sup>	C <sub>V</sub> =0.49 <sup>*2</sup>	C <sub>H</sub> =2.13 <sup>*3</sup>	C <sub>V</sub> =0.99 <sup>*3</sup>

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）及び静的震度を上回る設計震度

\*3：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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 8.8 <sup>*1</sup>	□		—	—	C <sub>H</sub> =2.13 <sup>*2</sup>	C <sub>V</sub> =0.99 <sup>*2</sup>

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

#### 5.4.1.1 胴の計算方法

##### (1) 曲げモーメント

図4-1に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図4-2において脚付け根部における曲げモーメント $M_1$ 及び $M_2$ は次式で求める。

$$M_1 = \sum_{i=1}^{j_2} m_i \cdot g \cdot |l_i| \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$M_2 = \sum_{i=j_1-j_3+1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot |l_i - l_0| \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

##### (2) 静水頭による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

##### (3) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)で求めた曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図5-2に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_1}{Z} \cdot C_v \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$



ここで,

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

であり、脚付け根部における胴の有効板厚  $t_e$  は胴板の厚さとする。

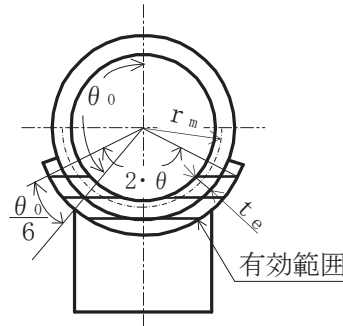


図5-2 脚付け根部の有効範囲

(4) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が  $R_2 > R_1$  となる場合は、 $R_1$  を  $R_2$  に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は、

$$P = R_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

鉛直方向地震による反力は、

$$P_e = C_v \cdot R_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

一次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 3}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 3}$  は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに反力  $P$  を入力し、FEM解析により求める。

一次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 71}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 71}$  並びに二次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 72}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 72}$  は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに反力  $P_e$  を入力し、FEM解析により求める。

(5) 長手方向地震による脚付け根部の応力

第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4-3のように変形し、脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_\ell = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$$

$$P_\ell = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{\ell_0} \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

一次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 411}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 411}$  並びに二次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 421}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 421}$  は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに曲げモーメント  $M_{\ell}$  を入力し、FEM解析により求める。

一次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 412}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 412}$  並びに二次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 422}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 422}$  は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに鉛直荷重  $P_{\ell}$  を入力し、FEM解析により求める。

また、水平方向荷重により胴には、次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x 413} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

したがって、曲げモーメント  $M_{\ell}$ 、鉛直荷重  $P_{\ell}$  及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.15)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.16)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

また、長手方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

(6) 横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が  $R_2 > R_1$  となる場合は、 $R_1$  を  $R_2$  に置き換える。

横方向地震が作用した場合、第1脚の付け根部に生じる曲げモーメント  $M_c$  は次式で求める。

$$M_c = C_H \cdot R_1 \cdot r_o \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

$$r_o = \frac{D_i}{2} + t_e \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

一次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 51}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 51}$  並びに二次応力のうち、周方向応力  $\sigma_{\phi 52}$  及び軸方向応力  $\sigma_{x 52}$  は「5.4.2 解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに曲げモーメント  $M_c$  を入力し、FEM解析により求める。

また、横方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{C_H \cdot R_1}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.22)$$

## (7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

## a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0\ell\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0\ell x}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.23)$$

ここで,

$$\sigma_{0\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{0\ell x} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 6}^2 + \sigma_{x 413}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.25)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c} = \text{Max} \{ \text{周方向応力}(\sigma_{0c\phi}), \text{軸方向応力}(\sigma_{0cx}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.26)$$

ここで,

$$\sigma_{0c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.27)$$

$$\sigma_{0cx} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 6} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.28)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は,

$$\sigma_0 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.29)$$

とする。

## b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.30)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \quad \dots\dots (5.4.1.1.31)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x41}^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.32)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.33)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \quad \dots\dots (5.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{\sigma_{x51}^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.35)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.36)$$

とする。

- c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値  
鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot \tau_{\ell}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.37)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x 41} + \sigma_{x 42})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.39)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot \tau_c^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.40)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.41)$$

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x 51} + \sigma_{x 52})^2 + (\sigma_{x 6} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.42)$$

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は、

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.43)$$

とする。

## 5.4.1.2 脚の計算方法

脚の受ける荷重が  $R_2 > R_1$  となる場合は、 $R_1$  を  $R_2$  に置き換える。

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{l1}}{Z_{sy}} + \frac{P_l}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

ここで、

$$M_{l1} = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

とする。

5.4.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{\ell 1} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

鉛直荷重は

$$P_s = R_1 + m_{s1} \cdot g - \sqrt{\{C_v \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)\}^2 + P_{\ell}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.3)$$

とする。

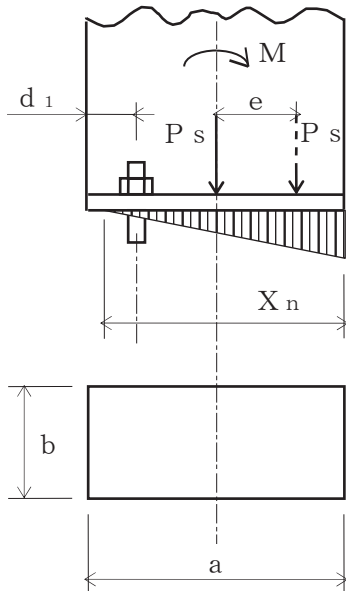


図5-3 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

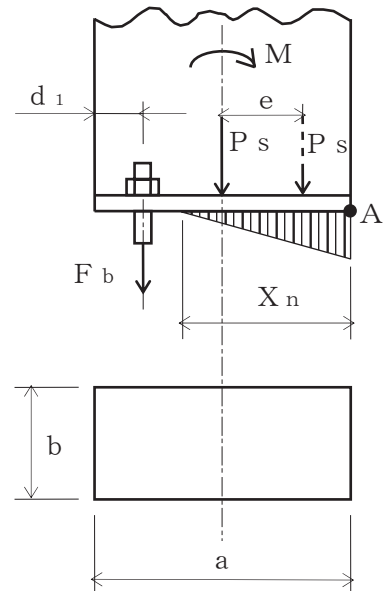


図5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図5-3のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-4のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.4)$$

の場合及び  $e$  が負の場合に、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-4において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置 $X_n$ は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.5)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.6)$$

となる。

したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が $R_2 > R_1$ となる場合は、 $R_1$ を $R_2$ に置き換える。

a. 引張応力

鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1} = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1} = (1 - C_v) \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.11)$$

で求める。

(1)と同様にして引張応力は求められるが、 $M$ を $M_{c1}$ 、 $P_s$ を $P_{s1}$ 、 $d_1$ を $d_2$ 、 $a$ を $b$ 、 $b$ を $a$ 及び $n_1$ を $n_2$ に置き換え、得られた基礎ボルトの応力を $\sigma_{b2}$ とする。

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3.12)$$



(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを $\sigma_b$ 及び $\tau_b$ とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.3.13)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.3.14)$$

#### 5.4.2 解析モデル及び諸元

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの解析モデルを図 5-5 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【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの耐震性についての計算書】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

- (1) 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの脚及び胴（胴板及び当板）について、脚付け根部の応力を評価するために十分な範囲をシェル要素でモデル化した FEM モデルを用いる。なお、胴の応力が大きくなるように脚底面は剛体とする。



- (3) 計算機コードは「ABAQUS」を使用し、胴の応力のうち脚付け根部の応力を FEM 解析により求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 5-5 解析モデルの概要



図 5-6 荷重作用点並びに荷重及びモーメントの入力方法（下から見た図）

## 5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

## 5.6 応力の評価

### 5.6.1 胴の応力評価

5.4.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力  $S_a$  以下であること。ただし、 $S_a$  は下表による。

応力の種類	許容応力 $S_a$	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	$S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては $1.2 \cdot S$ の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	$0.6 \cdot S_u$
一次応力 (一次膜応力＋ 一次曲げ応力)	上記の 1.5 倍の値	
一次＋二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。	
一次＋二次 ＋ピーク応力		

### 5.6.2 脚の応力評価

5.4.1.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力  $f_{tm}$  以下であること。

ただし、 $f_{tm}$  は下表による。

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

5.6.3 基礎ボルトの応力評価

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

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

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

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

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

## 7. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

【高圧炉心スプレイスライ系デューゼル発電設備デューゼル燃料タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
高圧炉心スプレイスライ系 デューゼル発電設備 デューゼル燃料タンク	S	原子炉建物 EL. 8.8*1			C <sub>H</sub> =0.74*2	C <sub>V</sub> =0.49*2	C <sub>H</sub> =2.13*3	C <sub>V</sub> =0.99*3	静水頭	45	50	1.00

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度I（弾性設計用地震動S<sub>d</sub>）及び静的震度を上回る設計震度

\*3：設計用震度I（基準地震動S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

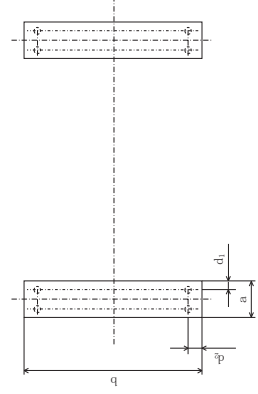
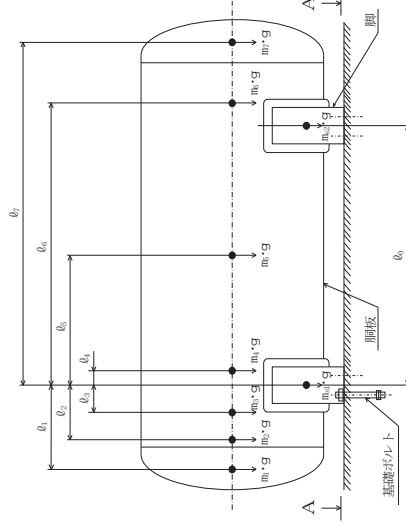
1.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	ℓ <sub>5</sub> (mm)	ℓ <sub>6</sub> (mm)	ℓ <sub>7</sub> (mm)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)	H (mm)
-520	-375	-187.5	450	750	1687.5	2020	9.145×10 <sup>6</sup>	9.035×10 <sup>6</sup>	5.544×10 <sup>4</sup>	5.322×10 <sup>4</sup>	1715

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	ℓ <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)
			2200	9.0	9.0	1500	857	1325

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1037.5	200	3.125×10 <sup>10</sup>	4.065×10 <sup>8</sup>	3.012×10 <sup>7</sup>	2.032×10 <sup>6</sup>	1.959	1.509



A~A矢視図

$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$6.838 \times 10^4$	$201000^{*2}$	$77300^{*2}$	$2.786 \times 10^4$	$3.753 \times 10^4$	$2.037 \times 10^4$	$2.936 \times 10^4$

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
15	4	2	2	400	2120	48 (M48)	95	162.5

$S_y$ (胴板) (MPa)	$S_u$ (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	$S_y$ (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)	$S_y$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (基礎ボルト) (MPa)
$243^{*1}$ (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	$397^{*1}$ (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	—	$231^{*2}$ ( $16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$ )	231	276	$211^{*2}$ ( $40\text{mm} < \text{径} \leq 100\text{mm}$ )	$394^{*2}$ ( $40\text{mm} < \text{径} \leq 100\text{mm}$ )	211	253

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=2$	—	$\sigma_{x 2}=2$	—	$\sigma_{x 2}=2$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=1$	—	$\sigma_{x 6}=1$	—	$\sigma_{x 6}=2$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—	$\sigma_{x 413}=4$	—
組合せ応力	$\sigma_{of}=5$	$\sigma_{oc}=4$	$\sigma_{of}=8$	$\sigma_{oc}=5$		

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
	長手方向		横方向	長手方向		横方向
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=2$	—	$\sigma_{x 2}=2$	—	$\sigma_{x 2}=2$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=1$	—	$\sigma_{x 6}=1$	—	$\sigma_{x 6}=2$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=1$	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=1$	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=1$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x 71}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x 71}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x 71}=1$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 411}=9$	$\sigma_{x 411}=8$	$\sigma_{\phi 411}=24$	$\sigma_{x 411}=23$	$\sigma_{\phi 411}=2$	$\sigma_{x 411}=1$
	$\sigma_{\phi 412}=21$	$\sigma_{x 412}=36$	$\sigma_{\phi 412}=60$	$\sigma_{x 412}=104$	$\sigma_{\phi 412}=2$	$\sigma_{x 412}=1$
	$\sigma_{\phi 413}=9$	$\sigma_{x 413}=10$	$\sigma_{\phi 413}=26$	$\sigma_{x 413}=28$	$\sigma_{\phi 413}=2$	$\sigma_{x 413}=1$
せん断	$\tau_{\ell}=12$	$\tau_{c}=1$	$\tau_{\ell}=34$	$\tau_{c}=1$	$\tau_{c}=4$	$\tau_{c}=4$
	$\sigma_{1\ell}=25$	$\sigma_{1c}=6$	$\sigma_{1\ell}=64$	$\sigma_{1c}=9$	$\sigma_{1c}=9$	$\sigma_{1c}=9$
組合せ応力						



(単位：MPa)

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=1$	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x6}=1$	—	—	$\sigma_{x6}=2$	$\sigma_{x6}=2$
水平方向地震 による応力	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x71}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x71}=1$	$\sigma_{x71}=1$
	$\sigma_{\phi 72}=1$	$\sigma_{x72}=2$	$\sigma_{\phi 72}=1$	$\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x72}=4$	$\sigma_{x72}=4$
	$\sigma_{\phi 41}=9$	$\sigma_{x41}=10$	$\sigma_{\phi 51}=1$	$\sigma_{\phi 41}=26$	$\sigma_{x41}=28$	$\sigma_{x51}=1$
引張	$\sigma_{\phi 421}=1$	$\sigma_{x421}=1$	—	$\sigma_{\phi 421}=2$	$\sigma_{x421}=1$	—
	$\sigma_{\phi 422}=2$	$\sigma_{x422}=3$	$\sigma_{\phi 52}=2$	$\sigma_{\phi 422}=6$	$\sigma_{x422}=9$	$\sigma_{\phi 52}=4$
せん断	$\sigma_{\phi 42}=23$	$\sigma_{x42}=39$	—	$\sigma_{\phi 42}=66$	$\sigma_{x42}=113$	—
	$\tau_{\ell}=12$	$\tau_{c}=1$	$\tau_{c}=1$	$\tau_{\ell}=34$	$\tau_{c}=4$	$\tau_{c}=4$
組合せ応力	$\sigma_{2\ell}=110$	$\sigma_{2c}=9$	$\sigma_{2\ell}=315$	$\sigma_{2\ell}=315$	$\sigma_{2c}=23$	$\sigma_{2\ell}=315$

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
運転時質量による応力	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$
水平方向地震による応力	$\sigma_{s2}=19$	$\sigma_{s3}=2$	$\sigma_{s2}=55$	$\sigma_{s2}=6$	$\sigma_{s3}=6$	$\sigma_{s3}=6$
	$\tau_{s2}=5$	$\tau_{s3}=2$	$\tau_{s2}=13$	$\tau_{s2}=5$	$\tau_{s3}=5$	$\tau_{s3}=5$
組合せ応力	$\sigma_{s\ell}=22$	$\sigma_{sc}=4$	$\sigma_{s\ell}=60$	$\sigma_{s\ell}=10$	$\sigma_{sc}=10$	$\sigma_{sc}=10$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	長手方向	横方向	軸方向	長手方向	横方向	軸方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	$\sigma_{b1}=38$	$\sigma_{b2}=6$	$\sigma_{b1}=125$	$\sigma_{b2}=27$	$\sigma_{b2}=27$	$\sigma_{b2}=27$
水平方向地震による 応力	$\tau_{b1}=12$	$\tau_{b2}=7$	$\tau_{b1}=35$	$\tau_{b2}=18$	$\tau_{b2}=18$	$\tau_{b2}=18$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41	一次一般膜	$\sigma_0=5$	$S_a=238$	$\sigma_0=8$	$S_a=238$
		一次	$\sigma_1=25$	$S_a=357$	$\sigma_1=64$	$S_a=357$
		一次+二次	$\sigma_2=110$	$S_a=486$	$\sigma_2=315$	$S_a=486$
脚	SS41	組合せ	$\sigma_s=22$	$f_{tm}=231$	$\sigma_s=60$	$f_{tm}=276$
		引張	$\sigma_b=38$	$f_{ts}=158^*$	$\sigma_b=125$	$f_{ts}=190^*$
基礎ボルト	SS41	せん断	$\tau_b=12$	$f_{sb}=122$	$\tau_b=35$	$f_{sb}=146$

すべて許容応力以下である。

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

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
胴の縦弾性係数	E	MPa	201000*
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	4002
節点数	—	個	4115

注記\*：最高使用温度

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
高压炉心スプレイス ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料デイトンク	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL. 8.8*1			—	—	C <sub>H</sub> =2.13*2	C <sub>V</sub> =0.99*2	静水頭	45	50	1.00

注記\*1: 基準床レベルを示す。

\*2: 設計用震度 I (基準地震動 S<sub>s</sub>) を上回る設計震度

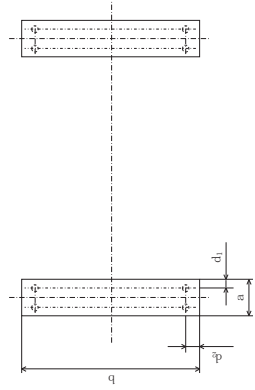
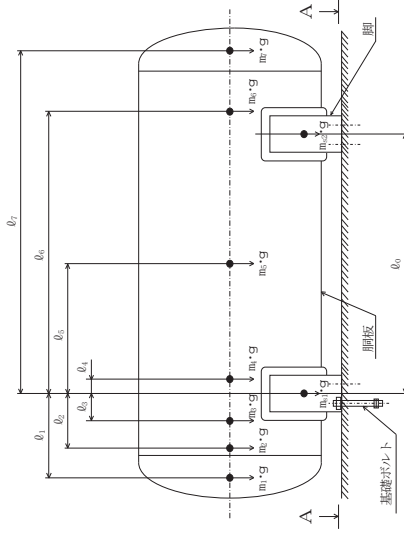
2.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	ℓ <sub>5</sub> (mm)	ℓ <sub>6</sub> (mm)	ℓ <sub>7</sub> (mm)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)	H (mm)
-620	-375	-187.5	450	750	1687.5	2020	9.145 × 10 <sup>6</sup>	9.035 × 10 <sup>6</sup>	5.544 × 10 <sup>4</sup>	5.322 × 10 <sup>4</sup>	1715

m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	ℓ <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)
		2200	9.0	9.0	1500	857	1325

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1037.5	200	3.125 × 10 <sup>10</sup>	4.065 × 10 <sup>8</sup>	3.012 × 10 <sup>7</sup>	2.032 × 10 <sup>6</sup>	1.959	1.509



A~A矢視図

$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$6.838 \times 10^4$	$201000^{*2}$	$77300^{*2}$	$2.786 \times 10^4$	$3.753 \times 10^4$	$2.037 \times 10^4$	$2.936 \times 10^4$

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
15	4	2	2	400	2120	48 (M48)	1810	95	162.5

$S_y$ (胴板) (MPa)	$S_u$ (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	$S_y$ (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)	$S_y$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (基礎ボルト) (MPa)
$243^{*1}$ (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	$397^{*1}$ (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	—	$231^{*2}$ ( $16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$ )	—	276	$211^{*2}$ ( $40\text{mm} < \text{径} \leq 100\text{mm}$ )	$394^{*2}$ ( $40\text{mm} < \text{径} \leq 100\text{mm}$ )	—	$253$

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
応力の方向								
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=2$	—	$\sigma_{x 2}=2$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=2$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=4$	—	—
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{o l}=8$	—	$\sigma_{o c}=5$	—

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
応力の方向								
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=2$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=2$	—	$\sigma_{x 2}=2$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=2$	—	$\sigma_{x 6}=2$
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=1$	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{x 3}=1$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x 71}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x 71}=1$
水平方向地震 による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=24$	$\sigma_{x 411}=23$	$\sigma_{\phi 51}=2$	$\sigma_{x 51}=1$
					$\sigma_{\phi 412}=60$	$\sigma_{x 412}=104$		
せん断	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=26$	$\sigma_{x 41}=28$	$\tau_{c}=4$	$\sigma_{1c}=9$
					$\tau_{l}=34$	$\sigma_{1l}=64$		
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{o l}=8$	—	$\sigma_{o c}=5$	—

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=2$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x 71}=1$ $\sigma_{x 72}=4$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x 71}=1$ $\sigma_{x 72}=4$
水平方向地震 による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=26$	$\sigma_{x 41}=28$	$\sigma_{\phi 41}=28$	$\sigma_{x 51}=1$
	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=2$ $\sigma_{\phi 422}=6$	$\sigma_{x 421}=1$ $\sigma_{x 422}=9$	$\sigma_{\phi 421}=1$ $\sigma_{\phi 422}=9$	$\sigma_{x 52}=7$
せん断	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=66$	$\sigma_{x 42}=113$	$\tau_{\ell}=34$	$\tau_{c}=4$
	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell}=315$	$\sigma_{2c}=23$
組合せ応力	—	—	—	—	—	—	—	—

2.3.2 脚に生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s 1}=1$	$\sigma_{s 1}=1$
鉛直方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s 4}=1$	$\sigma_{s 4}=1$
水平方向地震による応力	—	—	$\sigma_{s 2}=55$ $\tau_{s 2}=13$	$\sigma_{s 3}=6$ $\tau_{s 3}=5$
組合せ応力	—	—	$\sigma_{s \ell}=60$	$\sigma_{s c}=10$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	—	—	$\sigma_{b 1}=125$	$\sigma_{b 2}=27$
水平方向地震による 応力	—	—	$\tau_{b 1}=35$	$\tau_{b 2}=18$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

2.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 8$	$S_a = 238$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 64$	$S_a = 357$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 315$	$S_a = 486$
脚	SS41	組合せ	—	—	$\sigma_s = 60$	$f_{tm} = 276$
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 125$	$f_{ts} = 190^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 35$	$f_{sb} = 146$

すべて許容応力以下である。

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

2.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
胴の縦弾性係数	E	MPa	201000*
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
要素数	—	個	4002
節点数	—	個	4115

注記\*：最高使用温度

VI-2-10-1-2-3 ガスタービン発電機の耐震性についての計算書



VI-2-10-1-2-3-4 ガスタービン発電機用軽油タンクの  
耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	8
3. 評価部位	9
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 地震応答解析及び構造強度評価	11
5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.3 設計用地震力	16
5.4 計算方法	17
5.5 計算条件	22
5.6 応力の評価	22
6. 評価結果	25
6.1 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の設計方針に基づき、ガスタービン発電機用軽油タンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ガスタービン発電機用軽油タンクは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ガスタービン発電機用軽油タンクの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ガスタービン発電機用軽油タンクは、胴下端のベースプレートに基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形（上面に屋根、下面にベースプレートを有するたて置円筒形容器であり、胴は上部にいくほど段階的に板厚が薄くなる構造である。）</p>	

(単位：mm)

## 2.2 評価方針

ガスタービン発電機用軽油タンクの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すガスタービン発電機用軽油タンクの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、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」で得られた応答加速度及び断面力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震評価フローを図2-1に示す。

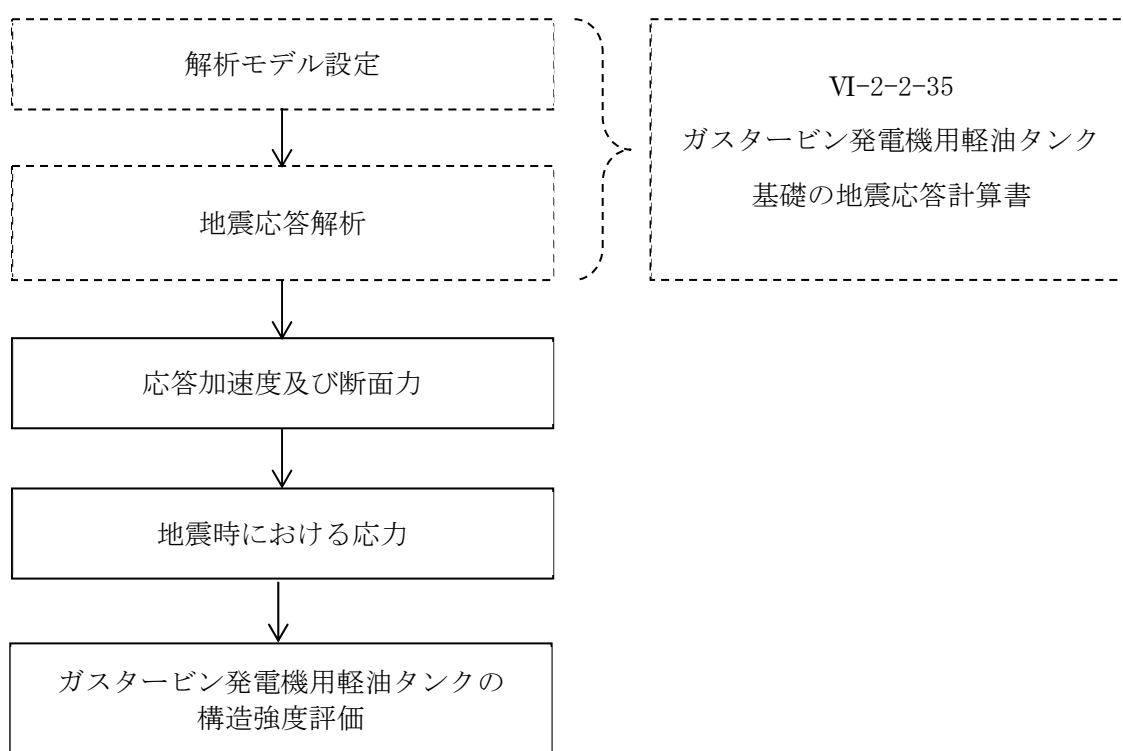


図2-1 ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	胴の軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>c</sub>	基礎ボルト計算における係数	—
C <sub>t</sub>	基礎ボルト計算における係数	—
C <sub>v</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>b i</sub>	ベースプレートの内径	mm
D <sub>b o</sub>	ベースプレートの外径	mm
D <sub>c</sub>	基礎ボルトのピッチ円直径	mm
D <sub>i</sub>	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
e	基礎ボルト計算における係数	—
F	設計・建設規格 SSB-3121. 1(1)に定める値	MPa
F <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3121. 3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>c</sub>	基礎に作用する圧縮力	N
F <sub>t</sub>	基礎ボルトに作用する引張力	N
f <sub>b</sub>	曲げモーメントに対する許容座屈応力	MPa
f <sub>c</sub>	軸圧縮荷重に対する許容座屈応力	MPa
f <sub>s b</sub>	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 <sub>t o</sub>	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	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 <sup>2</sup>
H	最高液位 (水頭)	mm
H <sub>j</sub>	評価部位 j における水頭	mm
K <sub>v</sub>	鉛直方向ばね定数	N/m
k	基礎ボルト計算における中立軸の荷重係数	—
l <sub>1</sub> , l <sub>2</sub>	基礎ボルト計算における中立軸から荷重作用点までの距離 (図5-3に示す距離)	mm
l <sub>g</sub>	基礎から容器重心までの距離	mm
M <sub>j</sub>	評価部位 j に作用する曲げモーメント (風荷重含む)	N・mm
M <sub>s</sub>	基礎に作用する転倒モーメント (風荷重含む)	N・mm
m <sub>o</sub>	容器の運転時質量 (積雪荷重含む)	kg
m <sub>e</sub>	容器の空質量 (積雪荷重含む)	kg
m <sub>e j</sub>	評価部位 j に作用する容器の空質量 (積雪荷重含む)	kg
n	基礎ボルトの本数	—
Q <sub>j</sub>	評価部位 j に作用するせん断力 (風荷重含む)	N
Q <sub>s</sub>	基礎ボルトに作用するせん断力 (風荷重含む)	N

記号	記号の説明	単位
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S <sub>a</sub>	胴の許容応力	MPa
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T <sub>H</sub>	水平方向固有周期	s
T <sub>V</sub>	鉛直方向固有周期	s
t	一番薄い胴の厚さ	mm
t <sub>1</sub>	基礎ボルト面積相当板幅	mm
t <sub>2</sub>	圧縮側基礎相当幅	mm
t <sub>j</sub>	評価部位 j の胴の厚さ	mm
Z	基礎ボルト計算における係数	—
α	基礎ボルト計算における中立軸を定める角度	rad
η	座屈応力に対する安全率	—
π	円周率	—
ρ'	液体の密度 (=比重×10 <sup>-6</sup> )	kg/mm <sup>3</sup>
σ <sub>0</sub>	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ <sub>0c</sub>	胴の組合せ圧縮応力	MPa
σ <sub>0t</sub>	胴の組合せ引張応力	MPa
σ <sub>2</sub>	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ <sub>2φ</sub>	地震動のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ <sub>2c</sub>	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (圧縮側)	MPa
σ <sub>2t</sub>	地震動のみによる胴の一次応力と二次応力の和の変動値 (引張側)	MPa
σ <sub>2xc</sub>	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (圧縮側)	MPa
σ <sub>2xt</sub>	地震動のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和 (引張側)	MPa
σ <sub>b</sub>	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ <sub>c</sub>	基礎に生じる圧縮応力	MPa
σ <sub>x1</sub> , σ <sub>φ1</sub>	静水頭により胴に生じる軸方向及び周方向応力	MPa
σ <sub>x2</sub>	胴の空質量による軸方向圧縮応力	MPa
σ <sub>x3</sub>	胴の鉛直方向地震による軸方向応力	MPa
σ <sub>x4</sub>	水平方向地震により胴に生じる曲げモーメントによる軸方向応力	MPa
σ <sub>xc</sub>	胴の軸方向応力の和 (圧縮側)	MPa
σ <sub>xt</sub>	胴の軸方向応力の和 (引張側)	MPa
σ <sub>φ</sub>	胴の周方向応力の和	MPa
σ <sub>φ2</sub>	静水頭に鉛直方向地震が加わり胴に生じる周方向応力	MPa



記号	記号の説明	単位
$\tau$	地震により胴に生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\phi_1(x)$	圧縮荷重に対する許容座屈応力の関数	MPa
$\phi_2(x)$	曲げモーメントに対する許容座屈応力の関数	MPa

注： $H_j$ 、 $M_j$ 、 $m_{ej}$ 、 $Q_j$ 及び $t_j$ の添字 $j$ は、評価部位ごとの値を示す。

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

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

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

\*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

### 3. 評価部位

ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震評価は、「5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる胴及び基礎ボルトについて実施する。胴は上部になるに従い、段階的に板厚が減少するため、算出応力の許容応力に対する裕度が最小となる板厚を代表して評価する。ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

### 4. 固有周期

#### 4.1 固有周期の計算方法

水平方向については、「2.2 評価方針」に基づき、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」の時刻歴応答解析によって得られた断面力を上回る断面力を用いて応力評価を実施することから固有周期の算出は不要である。

鉛直方向については、以下の計算方法に基づき評価する。

##### (1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- 容器及び内容物の質量は重心に集中するものとする。
- 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- 胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びびせん断変形を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器は、前記の条件より図 4-1 に示すような下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

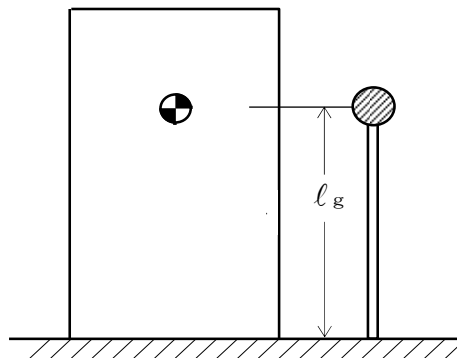


図4-1 固有周期の計算モデル

##### (2) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数  $K_V$  は次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{l_g}{A \cdot E}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで、胴の断面性能は次のように求める。

$$A = \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \dots \dots \dots (4.1.2)$$

したがって、固有周期  $T_v$  は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_e}{K_v}} \dots \dots \dots (4.1.3)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

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

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	—*
鉛直	

注記\*：時刻歴応答解析による断面力を上回る断面力を用いて評価する。

5. 地震応答解析及び構造強度評価

5.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

5.1.1 地震応答解析

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」において実施している地震応答解析のうち、ガスタービン発電機用軽油タンクの解析モデルの考え方及び諸元を以下に示す。

- (1) ガスタービン発電機用軽油タンクの解析モデルは、胴の板厚ごとに質点を設け、鉛直部材と等価な曲げ及びせん断剛性を有する多質点系モデルとする。ガスタービン発電機用軽油タンクの地震応答解析モデルを図5-1に示す。
- (2) 解析モデルの各質点には質点重量、各要素には有効せん断断面積及び断面二次モーメントを設定する。

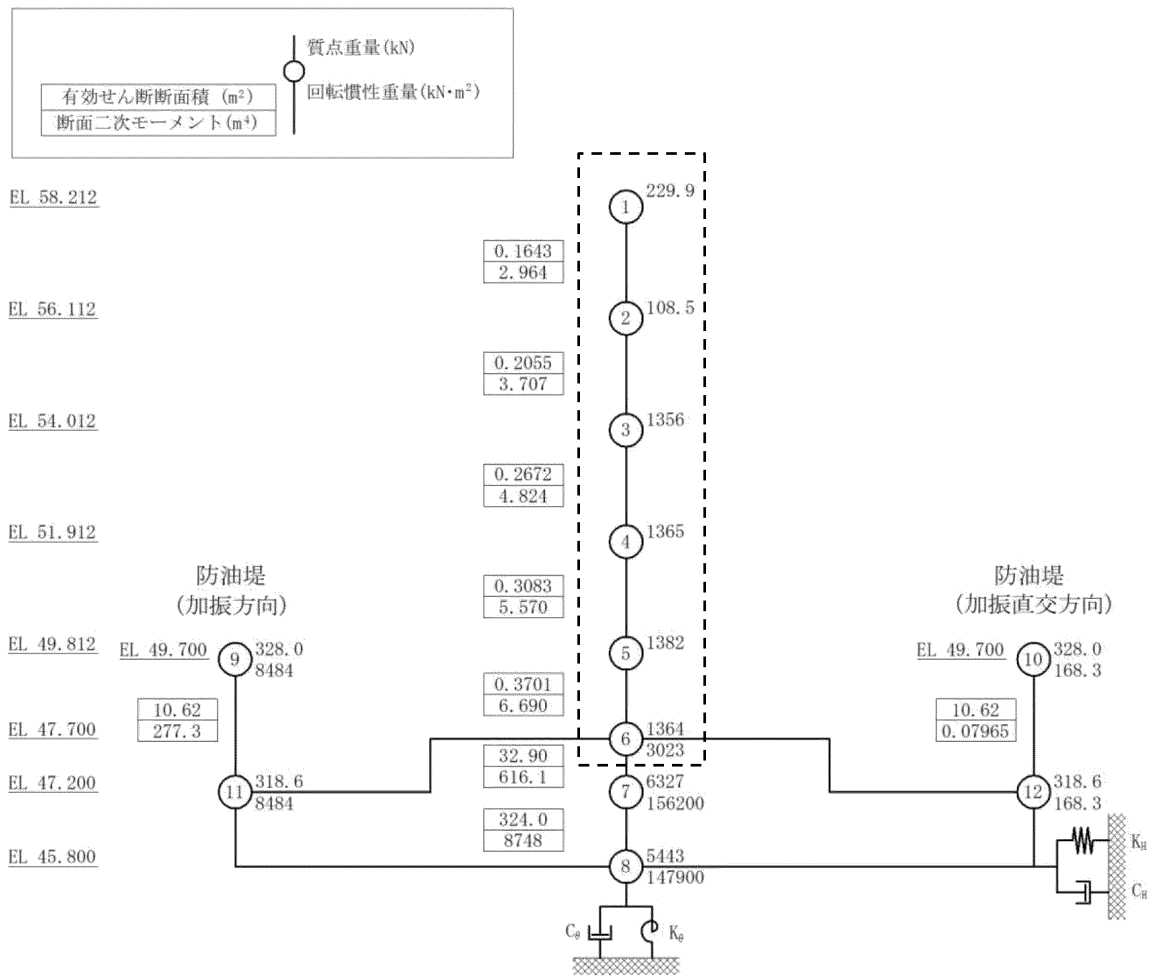


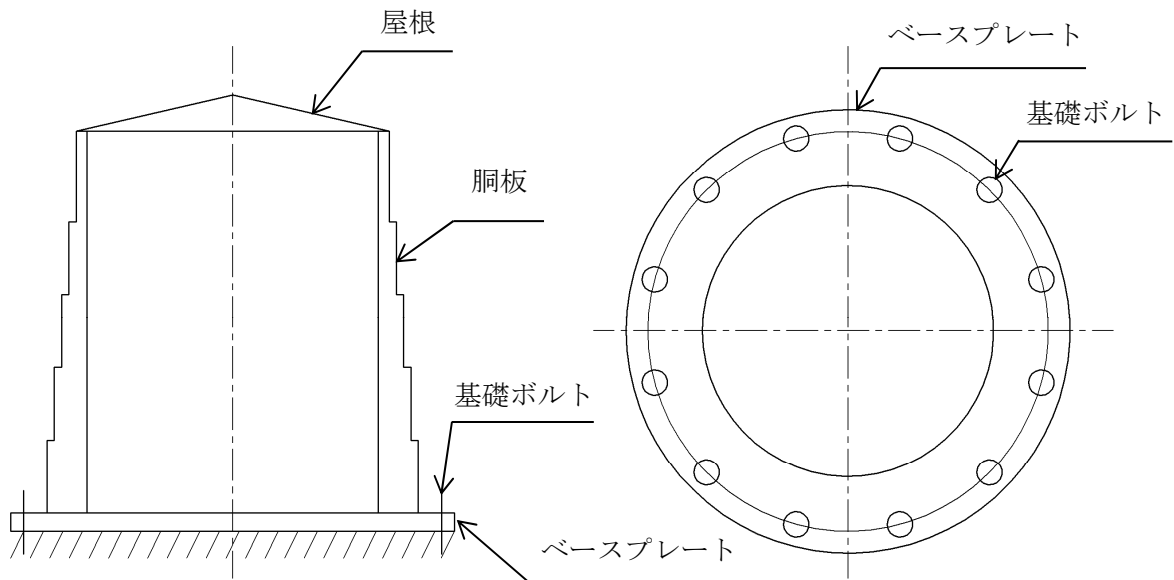
図5-1 ガスタービン発電機用軽油タンク（破線部）の地震応答解析モデル  
 (VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」

図3-8 地震応答解析モデル（水平方向）引用)

### 5.1.2 構造強度評価方法

ガスタービン発電機用軽油タンクの構造強度評価は以下の条件で計算する。概要図を図5-2に示す。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。なお、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を用いる。
- (2) 容器は胴下端のベースプレートを円周上等ピッチの多数の基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (3) 胴をはりと考え、変形モードは曲げ及びせん断変形を考慮する。
- (4) 胴は上部になるに従い、段階的に板厚が減少するため、板厚ごとに評価する。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



注：概要を示したものであり、外形及びボルト本数は実機とは異なる。

図5-2 概要図

## 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

ガスタービン発電機用軽油タンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。ガスタービン発電機用軽油タンクの構造や形状から、風荷重及び積雪荷重の影響が無視できないことから、風荷重及び積雪荷重を組み合わせて評価を行う。

### 5.2.2 許容応力

ガスタービン発電機用軽油タンクの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 及び表 5-3 に示す。

### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ガスタービン発電機用軽油タンクの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-4 に示す。

### 5.2.4 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速 30m/s を考慮して評価する。

### 5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮して評価する。

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
非常用電源 設備	ガスタービン発電機用 軽油タンク	常設耐震/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s + P_K + P_S^{*3}$	IVAS
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_S$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

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

\*2: 重大事故等クラス2容器及び重大事故等クラス2支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

\*3: 「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s + P_K + P_S$ 」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 (重大事故等クラス2容器)

許容応力状態		許容限界 *1, *2	
IVAS  VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)	一次一般膜応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
	$0.6 \cdot S_u$	基準地震動 $S_s$ のみによる疲労解析を行い, 疲労 累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次+二次応力の変動 値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要	

注記\*1: 座屈に対する評価が必要な場合には, クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

\*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 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	
IVAS	せん断	
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		$1.5 \cdot f_t^*$
		$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		最高使用温度	周囲环境温度				
胴板	j = 1~4 SM400A (厚さ ≤ 16mm)	66		—	234	385	—
	j = 5 SM400C (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	66		—	225	385	—
基礎ボルト	SCM435	50		—	764	906	—

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力のうち水平方向は、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」の時刻歴応答解析にて得られた断面力（せん断力及び曲げモーメント）を上回る断面力を用いて評価を行う。「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力のうち鉛直方向は、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 5-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

評価部位	EL (mm)	基準地震動 S <sub>s</sub>		
		水平方向		鉛直方向
		せん断力* <sup>1</sup> (N)	曲げモーメント* <sup>1</sup> (N・mm)	設計震度* <sup>2</sup> C <sub>v</sub>
胴板	56112	1.739×10 <sup>6</sup>	3.651×10 <sup>9</sup>	1.44
	54012	2.456×10 <sup>6</sup>	8.808×10 <sup>9</sup>	
	51912	1.012×10 <sup>7</sup>	3.006×10 <sup>10</sup>	
	49812	1.561×10 <sup>7</sup>	6.283×10 <sup>10</sup>	
	47700	1.871×10 <sup>7</sup>	1.023×10 <sup>11</sup>	
基礎ボルト				

注記\*1：時刻歴応答解析による断面力を上回る断面力

\*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

## 5.4 計算方法

## 5.4.1 応力の計算方法

ガスタービン発電機用軽油タンクの胴は上部になるに従い、段階的に板厚が減少するため、板厚ごとに評価する。

## 5.4.1.1 胴の計算方法

## (1) 静水頭及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H_j \cdot D_i}{2 \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = \frac{\rho' \cdot g \cdot H_j \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

## (2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

胴自身の質量による圧縮応力と鉛直方向地震による軸方向応力が生じる。

$$\sigma_{x 2} = \frac{m_{e j} \cdot g}{\pi \cdot (D_i + t_j) \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x 3} = \frac{m_{e j} \cdot g \cdot C_V}{\pi \cdot (D_i + t_j) \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

## (3) 水平方向地震による応力

水平方向の地震力により曲げモーメントによる軸方向応力と地震力によるせん断応力が生じる。

$$\sigma_{x 4} = \frac{4 \cdot M_j}{\pi \cdot (D_i + t_j)^2 \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$\tau = \frac{2 \cdot Q_j}{\pi \cdot (D_i + t_j) \cdot t_j} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

## (4) 組合せ応力

(1)～(3)によって求めた胴の応力は以下のように組み合わせる。

## a. 一次一般膜応力

## (a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

$$\sigma_{\sigma t} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{x t} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{x t})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

ここで,

$$\sigma_{x t} = \sigma_{x 1} - \sigma_{x 2} + \sqrt{\sigma_{x 3}^2 + \sigma_{x 4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

## (b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{\phi} = -\sigma_{\phi 1} - \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

$\sigma_{xc}$  が正の値（圧縮側）のとき，次の組合せ圧縮応力を求める。

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \sigma_{\phi} + \sigma_{xc} + \sqrt{(\sigma_{\phi} - \sigma_{xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.12)$$

ここで，

$$\sigma_{xc} = -\sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.13)$$

したがって，胴の組合せ一次一般膜応力の最大値は，

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力}(\sigma_{ot}), \text{組合せ圧縮応力}(\sigma_{oc}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.14)$$

とする。

なお，一次応力は一次一般膜応力と同じ値になるので省略する。

## b. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

## (a) 組合せ引張応力

$$\sigma_{2\phi} = \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.15)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xt} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xt})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.16)$$

ここで，

$$\sigma_{2xt} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.17)$$

## (b) 組合せ圧縮応力

$$\sigma_{2\phi} = -\sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.18)$$

$$\sigma_{2c} = \sigma_{2\phi} + \sigma_{2xc} + \sqrt{(\sigma_{2\phi} - \sigma_{2xc})^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.19)$$

ここで，

$$\sigma_{2xc} = \sqrt{\sigma_{x3}^2 + \sigma_{x4}^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.20)$$

したがって，胴の地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は，

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{組合せ引張応力}(\sigma_{2t}), \text{組合せ圧縮応力}(\sigma_{2c}) \} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.21)$$

とする。

5.4.1.2 基礎ボルトの計算方法

(1) 引張応力

転倒モーメントが作用した場合に生じる基礎ボルトの引張荷重と基礎部の圧縮荷重については、荷重と変位量の釣合い条件を考慮することにより求める（図5-3参照）。

以下にその手順を示す。

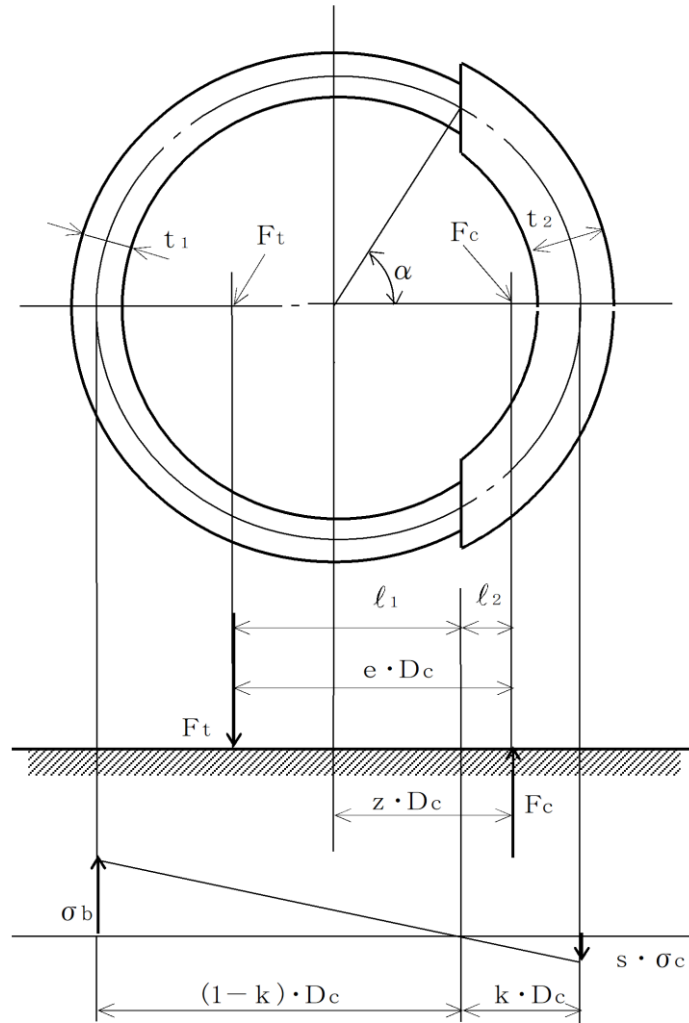


図5-3 基礎の荷重説明図

- a.  $\sigma_b$  及び  $\sigma_c$  を仮定して基礎ボルトの応力計算における中立軸の荷重係数  $k$  を求める。

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\sigma_b}{s \cdot \sigma_c}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

- b. 基礎ボルトの応力計算における中立軸を定める角度  $\alpha$  を求める。

$$\alpha = \cos^{-1}(1 - 2 \cdot k) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

- c. 各定数  $e$ ,  $z$ ,  $C_t$  及び  $C_c$  を求める。

$$e = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \frac{(\pi - \alpha) \cdot \cos^2 \alpha + \frac{1}{2} \cdot (\pi - \alpha) + \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{(\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha} + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right\} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

$$z = \frac{1}{2} \cdot \left( \cos \alpha + \frac{\frac{1}{2} \cdot \alpha - \frac{3}{2} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha + \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \right) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

$$C_t = \frac{2 \cdot \{ (\pi - \alpha) \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \}}{1 + \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

$$C_c = \frac{2 \cdot (\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha)}{1 - \cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

- d. 各定数を用いて  $F_t$  及び  $F_c$  を求める。

$$F_t = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot z \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} - \frac{z}{e} \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

$$F_c = \frac{\sqrt{M_s^2 + (C_v \cdot m_0 \cdot g \cdot (z - e) \cdot D_c)^2}}{e \cdot D_c} + \left(1 - \frac{z}{e}\right) \cdot m_0 \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

基礎ボルトに引張力が作用しないのは、 $\alpha$  が  $\pi$  に等しくなったときであり、(5.4.1.2.3)式及び(5.4.1.2.4)式において  $\alpha$  を  $\pi$  に近づけた場合の値  $e = 0.75$  及び  $z = 0.25$  を(5.4.1.2.7)式に代入し、得られる  $F_t$  の値によって引張力の有無を次のように判定する。

$F_t \leq 0$  ならば引張力は作用しない。

$F_t > 0$  ならば引張力が作用しているので次の計算を行う。

e.  $\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ を求める。

$$\sigma_b = \frac{2 \cdot F_t}{t_1 \cdot D_c \cdot C_t} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot F_c}{(t_2 + s \cdot t_1) \cdot D_c \cdot C_c} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

ここで,

$$t_1 = \frac{n \cdot A_b}{\pi \cdot D_c} \dots\dots\dots (5.4.1.2.11)$$

$$t_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_{bo} - D_{bi}) - t_1 \dots\dots\dots (5.4.1.2.12)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.13)$$

$\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ がa項にて仮定した値と十分に近似していることを確認する。この場合の $\sigma_b$ 及び $\sigma_c$ を基礎ボルトと基礎に生じる応力とする。

(2) せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_s}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.2.14)$$

5.5 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 胴の応力評価

- (1) 5.4.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力  $S_a$  以下であること。ただし、 $S_a$  は下表による。

応力の種類	許容応力 $S_a$
	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	$0.6 \cdot S_u$
一次+二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。
一次+二次+ピーク応力	

なお、一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

- (2) 圧縮膜応力（圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せ）は次式を満足すること。（座屈の評価）

$$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1 \quad \dots \dots \dots (5.6.1.1)$$

ここで、 $f_c$  は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \quad \dots \dots \dots (5.6.1.2)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき}$$

$$f_c = F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{6800 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_1 \left( \frac{8000 \cdot g}{F} \right) \right\} \cdot \left( \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right]$$

$$\dots \dots \dots (5.6.1.3)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq 800 \quad \text{のとき}$$

$$f_c = \phi_1 \left( \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \right) \quad \dots \dots \dots (5.6.1.4)$$

ただし、 $\phi_1(x)$  は次の関数とする。



$$\phi_1(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[ 1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.6.1.5)$$

また、 $f_b$ は次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ f_b = F \dots\dots\dots (5.6.1.6)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} < \frac{9600 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ f_b = F \cdot \left[ 1 - \frac{1}{8400 \cdot g} \cdot \left\{ F - \phi_2\left(\frac{9600 \cdot g}{F}\right) \right\} \cdot \left( \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \right] \dots\dots\dots (5.6.1.7)$$

$$\frac{9600 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq 800 \quad \text{のとき} \\ f_b = \phi_2\left(\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j}\right) \dots\dots\dots (5.6.1.8)$$

ただし、 $\phi_2(x)$ は次の関数とする。

$$\phi_2(x) = 0.6 \cdot \frac{E}{x} \cdot \left[ 1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{x}\right) \right\} \right] \dots\dots\dots (5.6.1.9)$$

$\eta$ は安全率で次による。

$$\frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \leq \frac{1200 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1 \dots\dots\dots (5.6.1.10)$$

$$\frac{1200 \cdot g}{F} < \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} < \frac{8000 \cdot g}{F} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1 + \frac{0.5 \cdot F}{6800 \cdot g} \cdot \left( \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} - \frac{1200 \cdot g}{F} \right) \dots\dots\dots (5.6.1.11)$$

$$\frac{8000 \cdot g}{F} \leq \frac{D_i + 2 \cdot t_j}{2 \cdot t_j} \quad \text{のとき} \\ \eta = 1.5 \dots\dots\dots (5.6.1.12)$$

### 5.6.2 基礎ボルトの応力評価

5.4.1.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

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

	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. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ガスタービン発電機用軽油タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。なお、胴に生じる応力は、板厚ごとに評価した結果、算出応力の許容応力に対する裕度が最小となる板厚を代表して示す。

【ガスタービン発電機用軽油タンクの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度				
ガスタービン発電機 用軽油タンク	常設耐震/防止 常設/緩和	屋外 E.L. 約 44.0	—*1		—		—*1	Cv=1.44*2	静水頭	66	50	0.86

注記\*1：時刻歴応答解析による断面力を上回る断面力を用いて評価する。

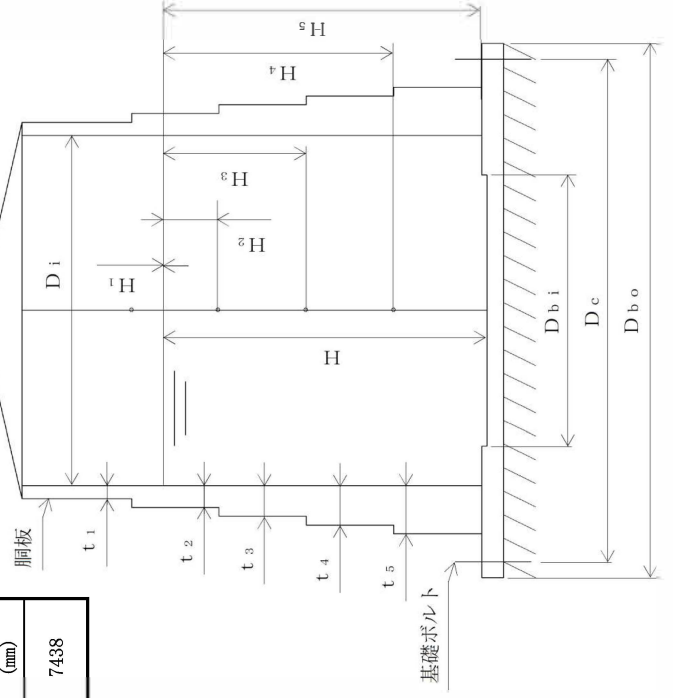
\*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）を上回る設計震度

各評価部位の断面力 (水平方向)	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5
Q j (N)	1.739×10 <sup>6</sup>	2.456×10 <sup>6</sup>	1.012×10 <sup>7</sup>	1.561×10 <sup>7</sup>	1.871×10 <sup>7</sup>
M j (N・mm)	3.651×10 <sup>9</sup>	8.808×10 <sup>9</sup>	3.006×10 <sup>10</sup>	6.283×10 <sup>10</sup>	1.023×10 <sup>11</sup>

1.2 機器要目

m o (kg)	D i (mm)	E (MPa)	ℓ g (mm)	s	r	D c (mm)	D b o (mm)	D b i (mm)	d (mm)	A b (mm <sup>2</sup> )	H (mm)
534844	9800	200000*1	10512	15	75	10140	10396	8400	60 (M60)	2.827×10 <sup>3</sup>	7438

	j = 1	j = 2	j = 3	j = 4	j = 5
m e j (kg)	29000	35813	43568	53026	69176
t j (mm)	8.0	10.0	13.0	15.0	18.0
H j (mm)	0	1138	3238	5338	7438



S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
j = 1~4	j = 1~4	j = 5	j = 5				
234*1 (厚さ≤16mm)	385*1 (厚さ≤16mm)	225*1 (16mm<厚さ≤ 40mm)	385*1 (16mm<厚さ≤ 40mm)	764*2	906*2	—	634

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	せん断応力
静水頭による応力	—	—	—	—	σ <sub>φ1</sub> = 17	—	—	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	σ <sub>φ2</sub> = 25	—	—	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	—	σ <sub>x2</sub> = 2	—	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	—	—	—	—	σ <sub>x3</sub> = 2	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	—	σ <sub>x4</sub> = 76	τ = 68	—
応力の和	—	—	—	—	σ <sub>φ</sub> = 42	σ <sub>xt</sub> = 75	—	—
引張側	—	—	—	—	σ <sub>φ</sub> = -42	σ <sub>xc</sub> = 77	—	—
圧縮側	—	—	—	—	—	σ <sub>ot</sub> = 128	—	—
引張	—	—	—	—	—	σ <sub>oc</sub> = 108	—	—
圧縮	—	—	—	—	—	—	—	—

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	—	—	—	—	σ <sub>φ2</sub> = 25	σ <sub>x3</sub> = 2	—	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	—	σ <sub>x4</sub> = 76	τ = 68	—
応力の和	—	—	—	—	σ <sub>2φ</sub> = 25	σ <sub>2xt</sub> = 76	—	—
引張側	—	—	—	—	σ <sub>2φ</sub> = -25	σ <sub>2xc</sub> = 76	—	—
圧縮側	—	—	—	—	—	σ <sub>2t</sub> = 246	—	—
引張	—	—	—	—	—	σ <sub>2c</sub> = 220	—	—
圧縮	—	—	—	—	—	—	—	—

(3) 圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)

$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	$j = 5, t_s = 18.0\text{mm}$
	0.60

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位: MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b = 122$
せん断応力	—	$\tau_b = 89$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H = \text{—}^*$
鉛直方向	

注記\*: 時刻歴応答解析による断面力を上回る断面力を用いて評価する。

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400A SM400C	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 128$	$S_a = 231$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 246$	$S_a = 450$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\eta \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	
基礎ボルト	SCM435	引張	—	—	$\sigma_b = 122$	$f_{ts} = 475^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 89$	$f_{sb} = 366$
			—	—	0.60 (無次元)	

すべて許容応力以下である。

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

VI-2-10-1-2-3-8 緊急用直流 60V 蓄電池の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9



## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、緊急用直流 60V 蓄電池が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

緊急用直流 60V 蓄電池は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、緊急用直流 60V 蓄電池は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

緊急用直流 60V 蓄電池の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>緊急用直流 60V 蓄電池は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p>	<p>直立形 (鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池)</p>	<p>【緊急用直流 60V 蓄電池】</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (8 個並び 2 段 1 列)</th> <th>緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (7 個並び 2 段 1 列)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>横</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位 : mm)</p>	機器名称	緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (8 個並び 2 段 1 列)	緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (7 個並び 2 段 1 列)	たて			横			高さ		
機器名称	緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (8 個並び 2 段 1 列)	緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (7 個並び 2 段 1 列)												
たて														
横														
高さ														

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の確認

緊急用直流 60V 蓄電池の固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (8 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			
緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (7 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

緊急用直流 60V 蓄電池の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用直流 60V 蓄電池の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

###### 4.2.2 許容応力

緊急用直流 60V 蓄電池の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急用直流 60V 蓄電池の使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

##### 4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (8 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】、【緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (7 個並び 2 段 1 列) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	緊急用 直流 60V 蓄電池	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

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

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

緊急用直流 60V 蓄電池の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

蓄電池は、J E A G 4 6 0 1-1987 において「装置」に分類され、機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって、緊急用直流 60V 蓄電池の機能維持評価は、支持構造物が健全であることの確認により行う。



## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用直流 60V 蓄電池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は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は

(1)構造強度評価結果による。

【緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (8 個並び 2 段 1 列) 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (8 個並び 2 段 1 列)	常設耐震/防止 常設/緩和	ガスタービン 発電機建物 EL 47.5*1			—	—	C <sub>H</sub> =2.11*2	C <sub>V</sub> =0.89*2	40

注記\*1: 基準床レベルを示す。

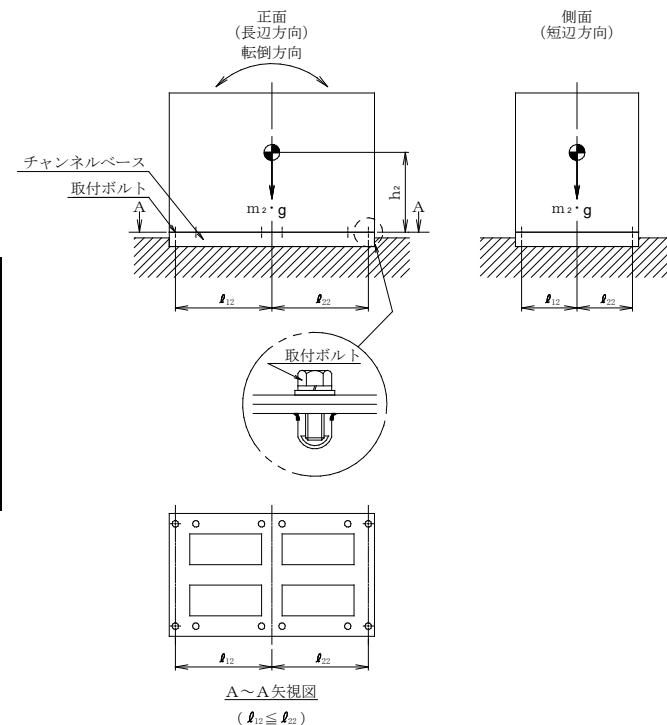
\*2: 設計用震度 I (基準地震動 S<sub>s</sub>) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)
取付ボルト (i=2)		678	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

部材	ℓ <sub>1 i</sub> * (mm)	ℓ <sub>2 i</sub> * (mm)	n <sub>f i</sub> * (mm)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	318	318	6	—	280	—	長辺方向
	763	763	2				

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 <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=37$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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

【緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (7 個並び 2 段 1 列) 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急用直流 60V 蓄電池 (R42-J2931-1~4, R42-J0931-1~4) (7 個並び 2 段 1 列)	常設耐震/防止 常設/緩和	ガスタービン 発電機建物 EL 47.5*1			—	—	C <sub>H</sub> =2.11*2	C <sub>V</sub> =0.89*2	40

注記\*1: 基準床レベルを示す。

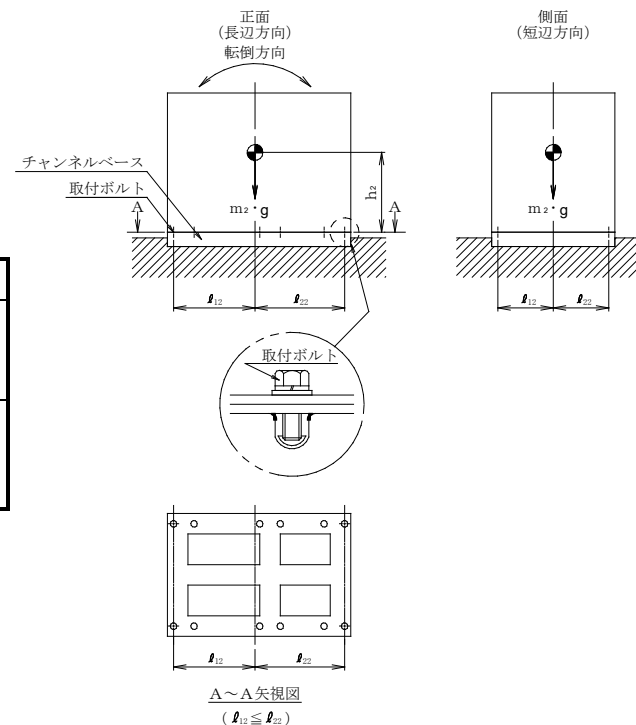
\*2: 設計用震度 I (基準地震動 S<sub>s</sub>) を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)
取付ボルト (i=2)		678	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ <sub>1 i</sub> * (mm)	ℓ <sub>2 i</sub> * (mm)	n <sub>f i</sub> * (mm)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	318	318	6	—	280	—	長辺方向
	671	684	2				

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 <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
取付ボルト (i=2)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=38$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=13$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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

VI-2-10-1-4 その他のその他発電用原子炉の附属施設の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-4-37 HPAC 直流コントロールセンタ  
の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 電氣的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9



## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、HPAC 直流コントロールセンタが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

HPAC 直流コントロールセンタは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、HPAC 直流コントロールセンタは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

HPAC 直流コントロールセンタの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>HPAC 直流コントロールセンタは、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>【HPAC 直流コントロールセンタ】</p> <p>正面 2100</p> <p>側面 700</p> <p>2300</p> <p>盤</p> <p>チャンネルベース</p> <p>取付ボルト</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>床</p> <p>(長辺方向)</p> <p>(短辺方向)</p>

(単位：mm)

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の確認

HPAC 直流コントロールセンタの固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し、確認する。試験の結果、剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期

(単位：s)

HPAC 直流 コントロールセンタ	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

HPAC 直流コントロールセンタの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

HPAC 直流コントロールセンタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

###### 4.2.2 許容応力

HPAC 直流コントロールセンタの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

HPAC 直流コントロールセンタの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

##### 4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【HPAC 直流コントロールセンタの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	非常用 電源設備	HPAC 直流コントロールセンタ	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

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

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IVAS	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)		

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	40	215	400	—
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

## 5. 機能維持評価

### 5.1 電氣的機能維持評価方法

HPAC 直流コントロールセンタの電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

HPAC 直流コントロールセンタに設置される器具の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該器具と類似の器具単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s<sup>2</sup>)

機器名称	方向	機能確認済加速度
HPAC 直流コントロールセンタ	水平	□
	鉛直	□



## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

HPAC 直流コントロールセンタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【HPAC 直流コントロールセンタの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	
HPAC 直流 コントロールセンタ	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建物 EL 34.8*1	□	□	—	—	C <sub>H</sub> =2.07*2	C <sub>V</sub> =2.39*2	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 II（基準地震動 S<sub>s</sub>）

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)
基礎ボルト (i=1)	□	1310	16 (M16)	201.1	24	215 (40mm<径≤100mm)	400 (40mm<径≤100mm)
取付ボルト (i=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	38	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ <sub>1 i</sub> * (mm)	ℓ <sub>2 i</sub> * (mm)	n <sub>f i</sub> *	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)	270	340	10	—	258	—	長辺方向
	785	1255	2				
取付ボルト (i=2)	270	340	13	—	280	—	長辺方向
	780	1250	4				

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

下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

## 1.3 計算数値

## 1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=98$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

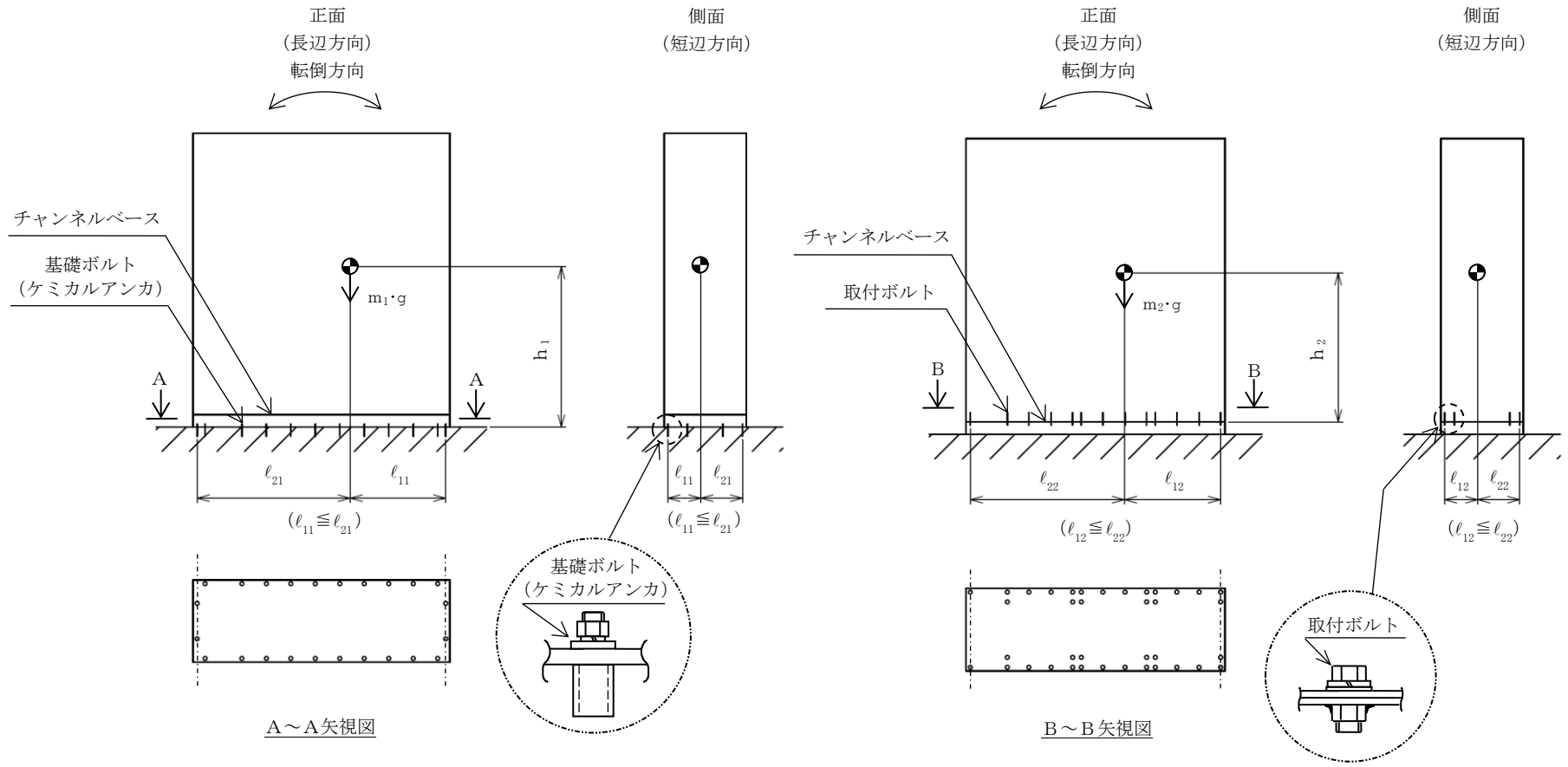
注記\*： $f_{tsi}=\text{Min}[1.4 \cdot f_{toi}-1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ 

## 1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
HPAC 直流 コントロールセンタ	水平方向	1.73	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.98	<input type="text"/>

注記\*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S<sub>s</sub>）により定まる加速度  
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



## VI-2-10-2 浸水防護施設の耐震性に関する説明書

VI-2-10-2-2 防波壁の地震応答計算書

VI-2-10-2-2-2 防波壁（逆 T 擁壁）の  
地震応答計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	解析方針	5
2.4	適用規格・基準等	7
3.	解析方法	8
3.1	評価対象断面	8
3.2	解析方法	13
3.2.1	施設	13
3.2.2	材料物性及び地盤物性のばらつき	14
3.2.3	減衰定数	15
3.2.4	解析ケース	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	17
3.4	入力地震動	18
3.4.1	①－①断面	19
3.4.2	⑤－⑤断面	31
3.5	解析モデル及び諸元	43
3.5.1	解析モデル	43
3.5.2	使用材料及び材料の物性値	46
3.5.3	地盤及び改良地盤の物性値	47
3.5.4	地下水位	47
4.	解析結果	48
4.1	①－①断面の解析結果	48
4.2	⑤－⑤断面の解析結果	67



## 1. 概要

本資料は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき実施する防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答解析について説明するものである。

地震応答解析により、浸水防止設備（屋外排水路逆止弁）が耐震性に関する技術基準へ適合することを確認するために用いる応答値の抽出を行う。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

防波壁（逆T擁壁）の位置図を図2-1に示す。

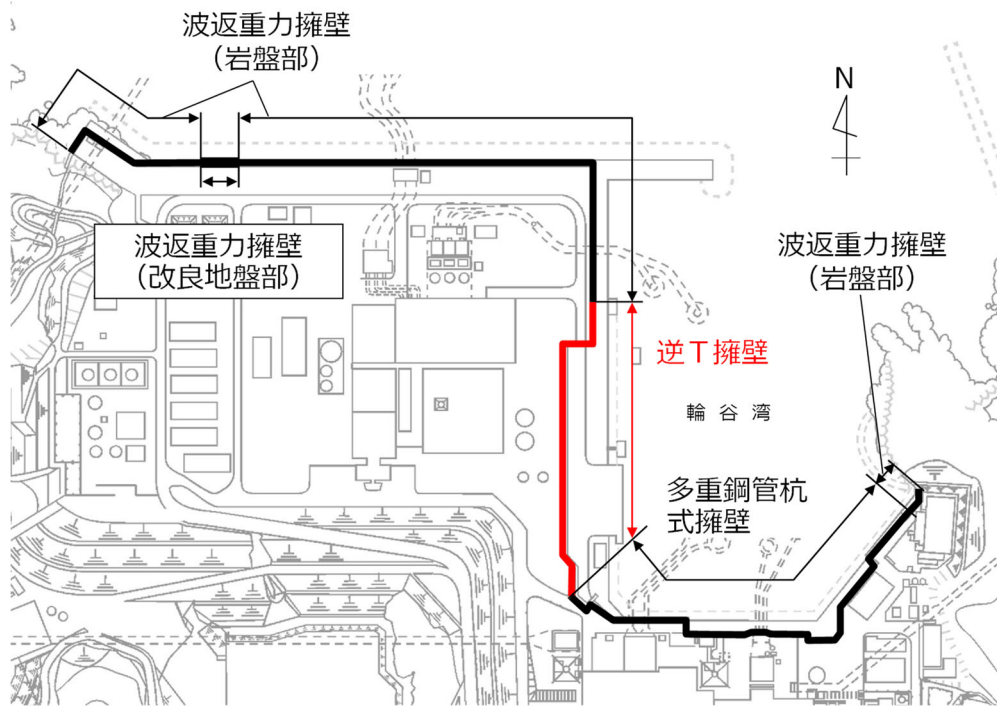


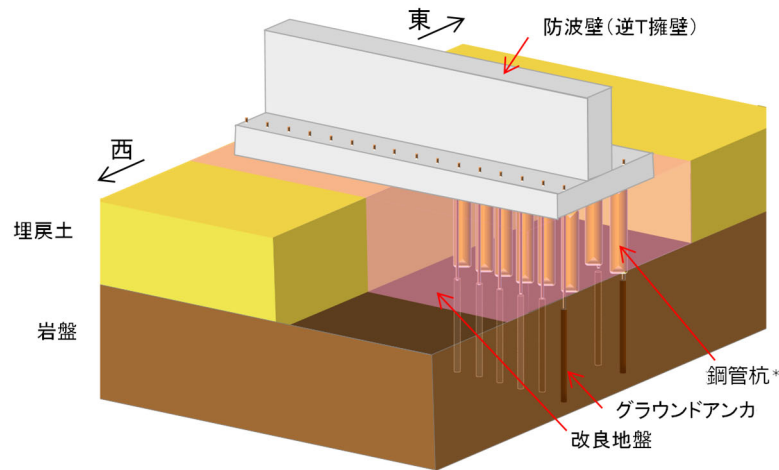
図2-1 防波壁（逆T擁壁）の位置図

## 2.2 構造概要

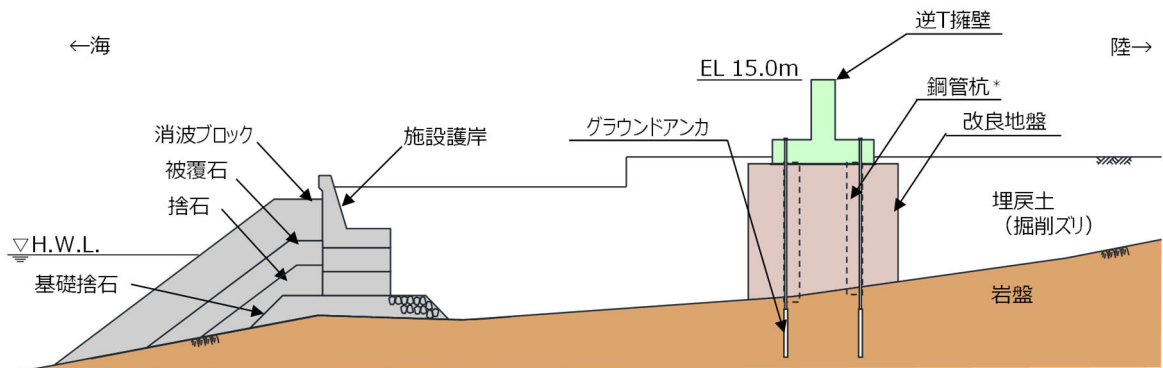
防波壁（逆 T 擁壁）は，改良地盤を介して岩盤に支持される鉄筋コンクリート造の逆 T 擁壁による直接基礎構造で構成される。隣接する構造との境界には，止水性を保持するための止水目地を設置する。

防波壁（逆 T 擁壁）の構造概要図を図 2-2～図 2-4 に示す。

なお，構造概要図には鋼管杭を示しているが，その効果を期待しない設計とする。



注記\*：防波壁（逆T擁壁）は，鋼管杭の効果을期待しない設計とする。



注記\*：防波壁（逆T擁壁）は，鋼管杭の効果을期待しない設計とする。

図 2-2 防波壁（逆 T 擁壁）の構造概要図

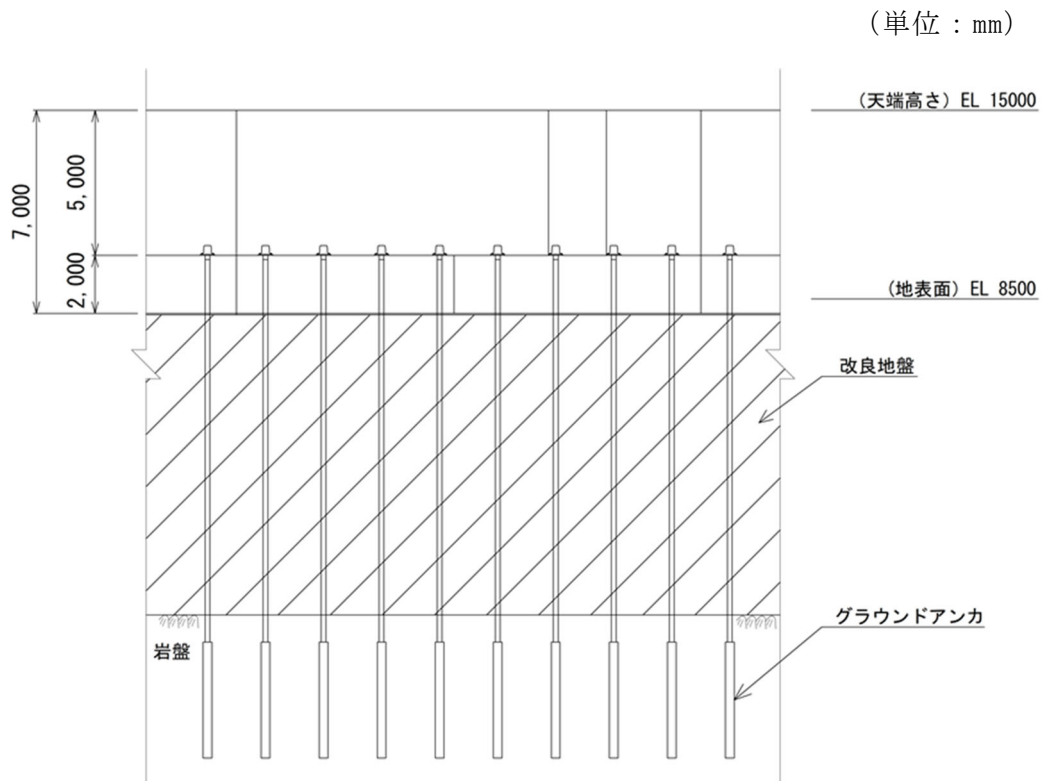


図 2-3 防波壁 (逆 T 擁壁) の構造図 (正面図)

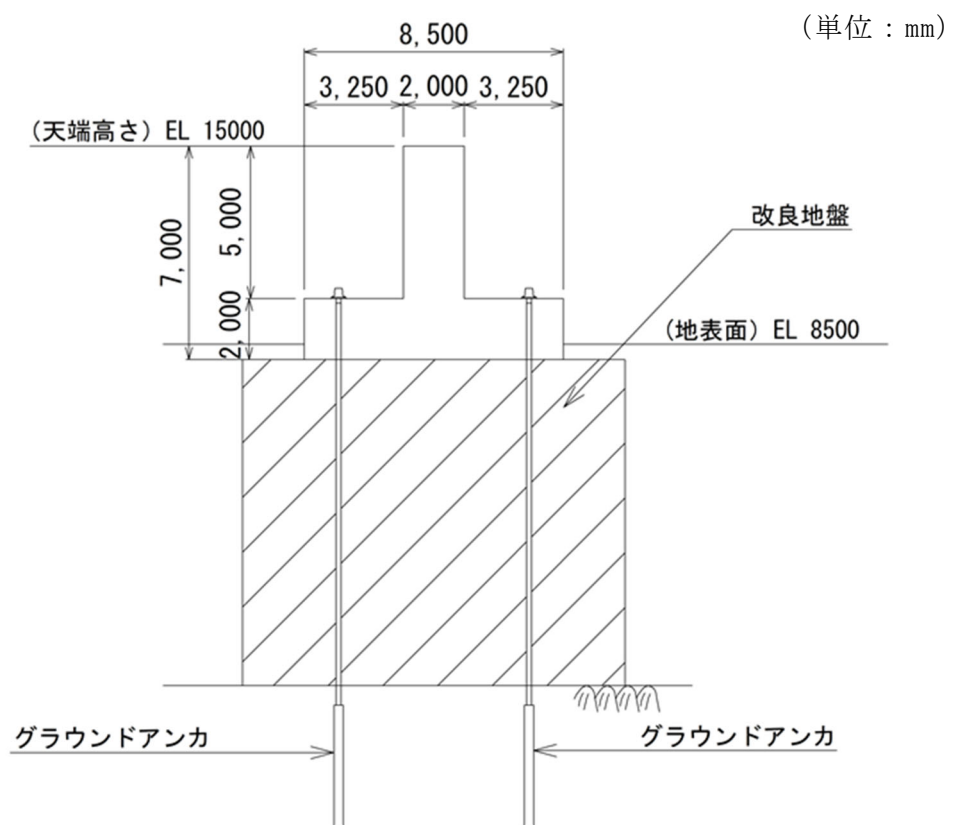


図 2-4 防波壁 (逆 T 擁壁) の構造図 (断面図)

### 2.3 解析方針

防波壁（逆 T 擁壁）は，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，基準地震動  $S_s$  に対して地震応答解析を実施する。

図 2-5 に防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答解析フローを示す。

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

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

地震応答解析による応答加速度は，浸水防止設備（屋外排水路逆止弁）の設計用床応答スペクトルの作成に用いる。

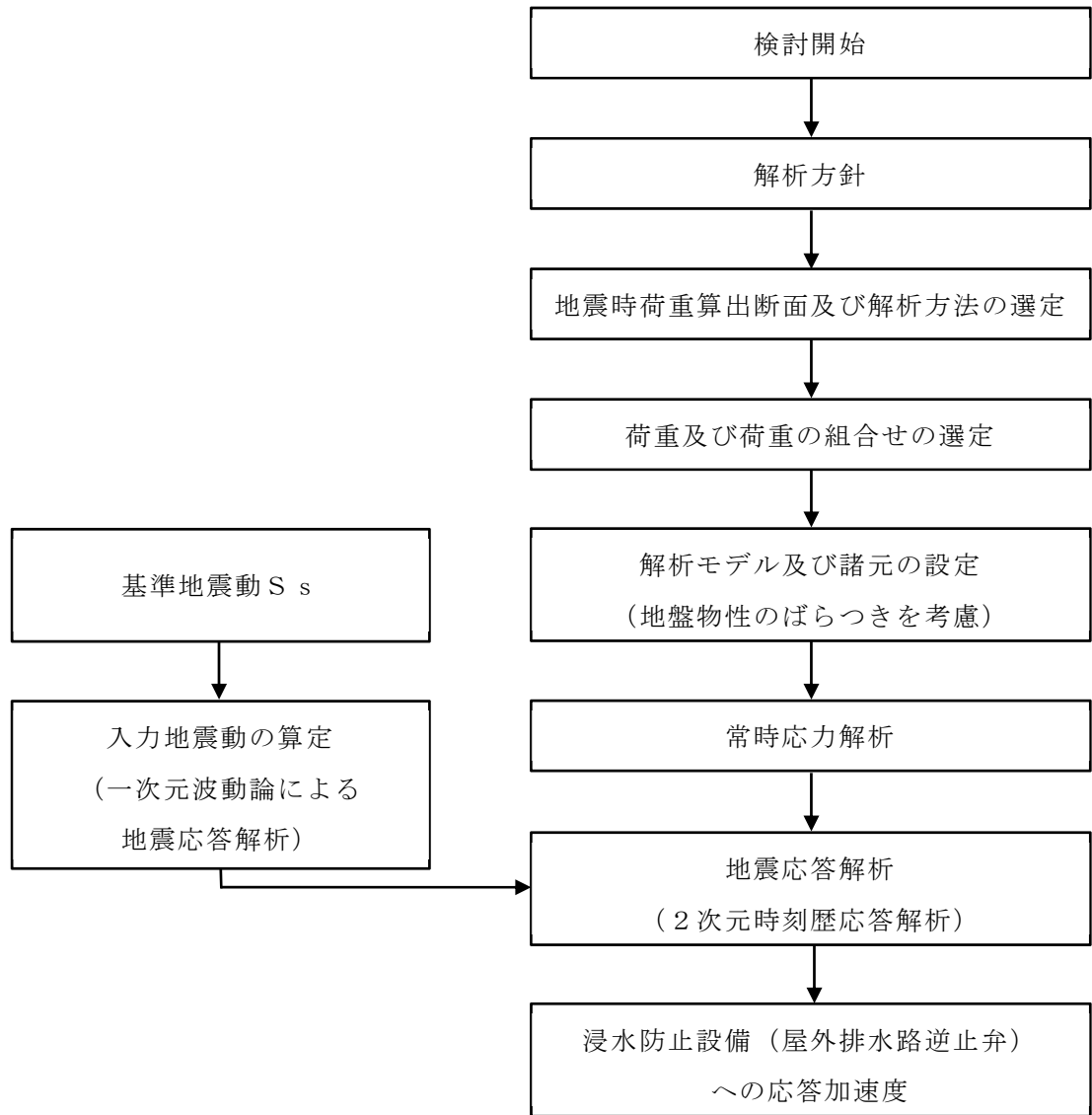


図 2-5 防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答解析フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）
- ・道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会 平成14年3月）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）
- ・松江市建築基準法施行細則（平成17年3月31日松江市規則第234号）

### 3. 解析方法

#### 3.1 評価対象断面

防波壁（逆 T 擁壁）の評価対象断面は、防波壁（逆 T 擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（逆 T 擁壁）の評価対象断面位置図を図 3-1 に、縦断面図を図 3-2 に、防波壁（逆 T 擁壁）の各区分における横断面図を図 3-3～図 3-8 に示す。以下の理由から、①-①断面及び⑤-⑤断面を評価対象断面として選定する。

- ・ ①-①断面は荷揚場護岸北側における横断方向の断面である。防波壁（逆 T 擁壁）直下の改良地盤は、幅約 12m、深さ約 10m であり、海側及び陸側に広く埋戻土が分布する標準的な断面であることから、評価対象断面として選定した。
- ・ ⑤-⑤断面は防波壁通路防波扉北側における横断方向の断面である。防波壁（逆 T 擁壁）直下の改良地盤は、幅約 19m と広いが、深さ約 15m と深く、防波壁より海側の埋戻土の範囲が狭いため、改良地盤及び防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答が大きくなると考えられることから、評価対象断面として選定した。

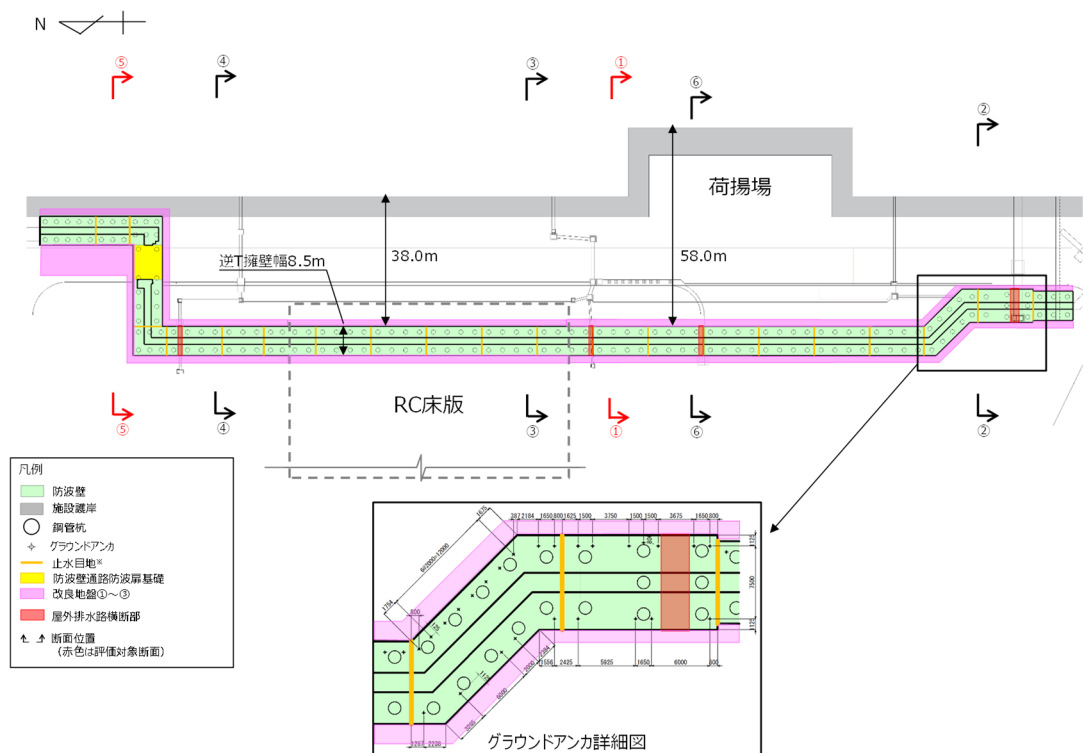


図 3-1 防波壁（逆 T 擁壁）の評価対象断面位置図



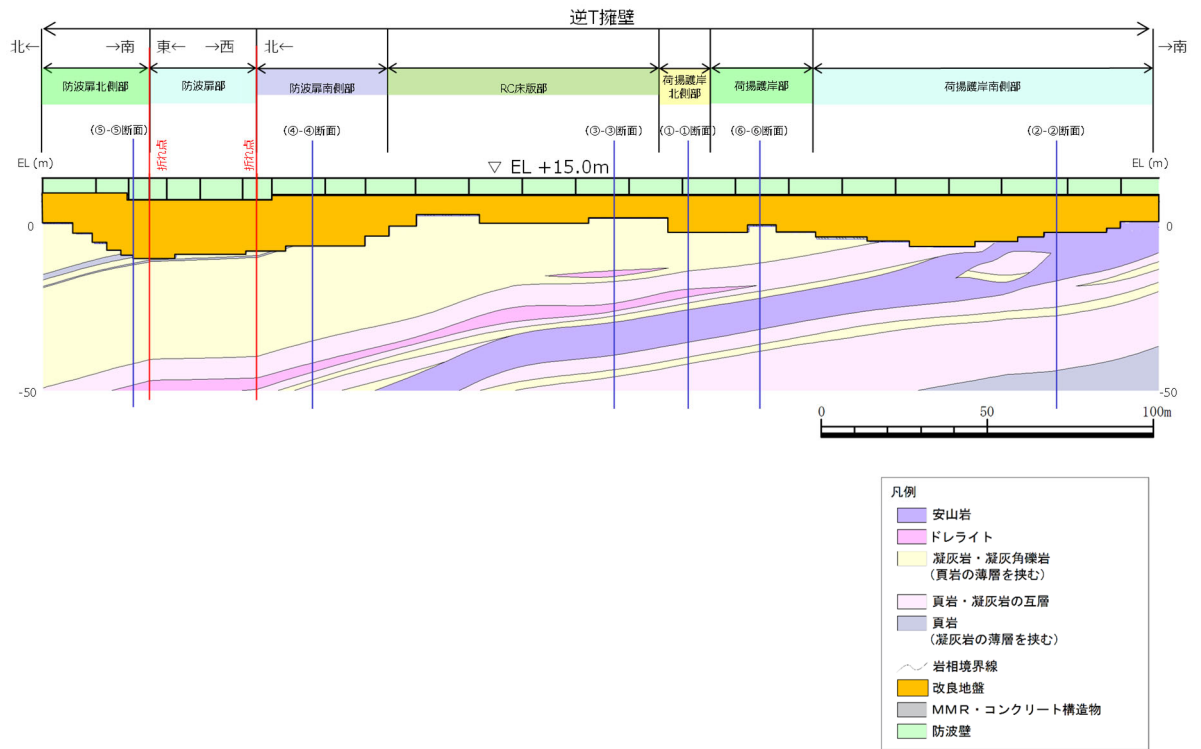


図 3-2 防波壁（逆 T 擁壁）の縦断面図

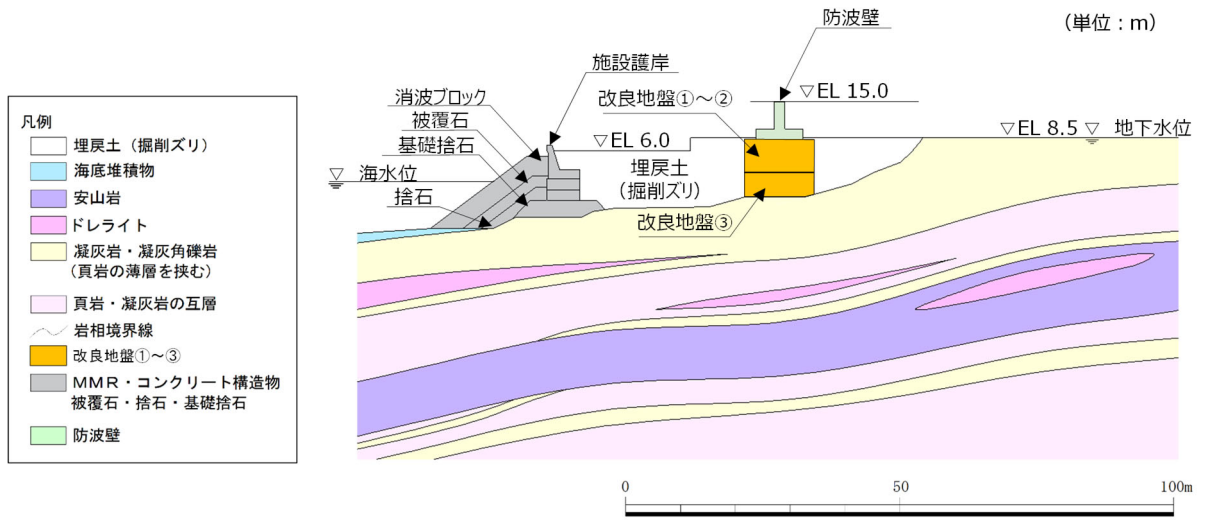


図 3-3 防波壁（逆 T 擁壁）の横断面図（①-①断面）

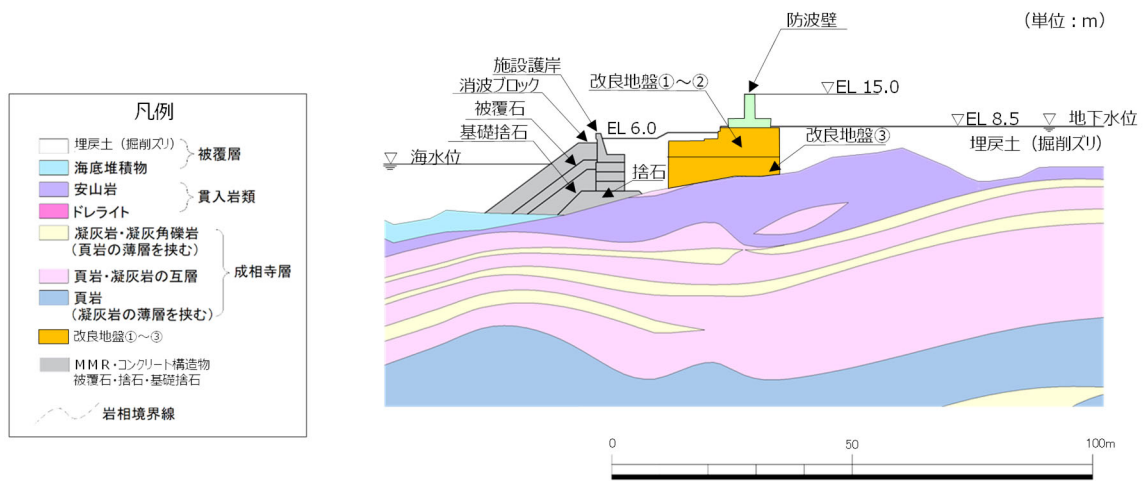


図 3-4 防波壁（逆 T 擁壁）の横断面図（②-②断面）

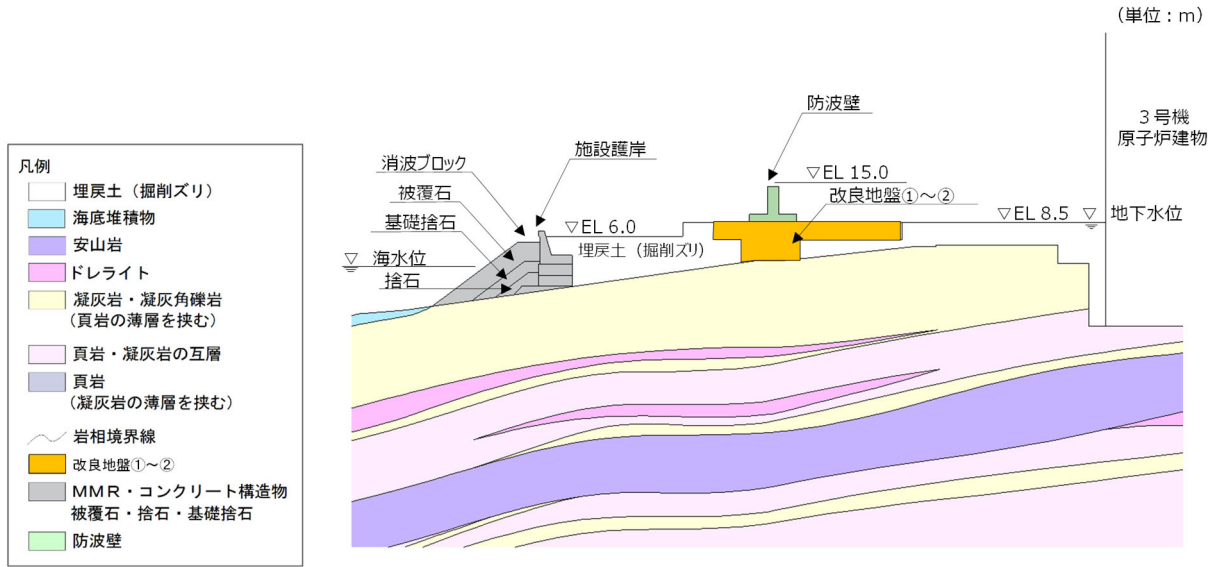


図 3-5 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (③-③断面)

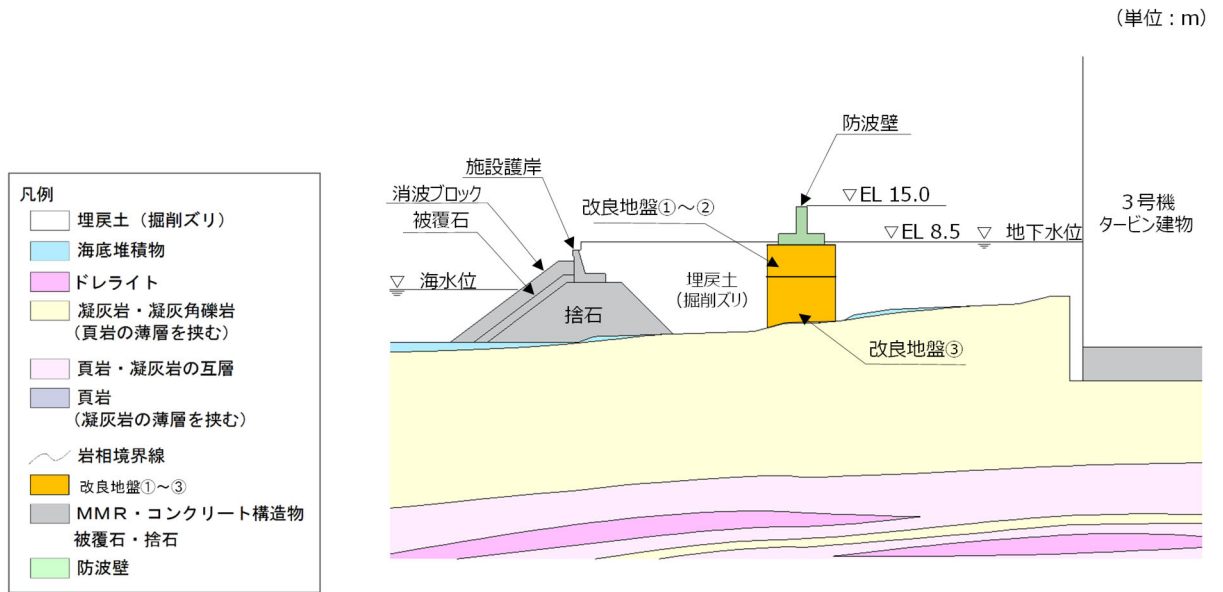


図 3-6 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (④-④断面)

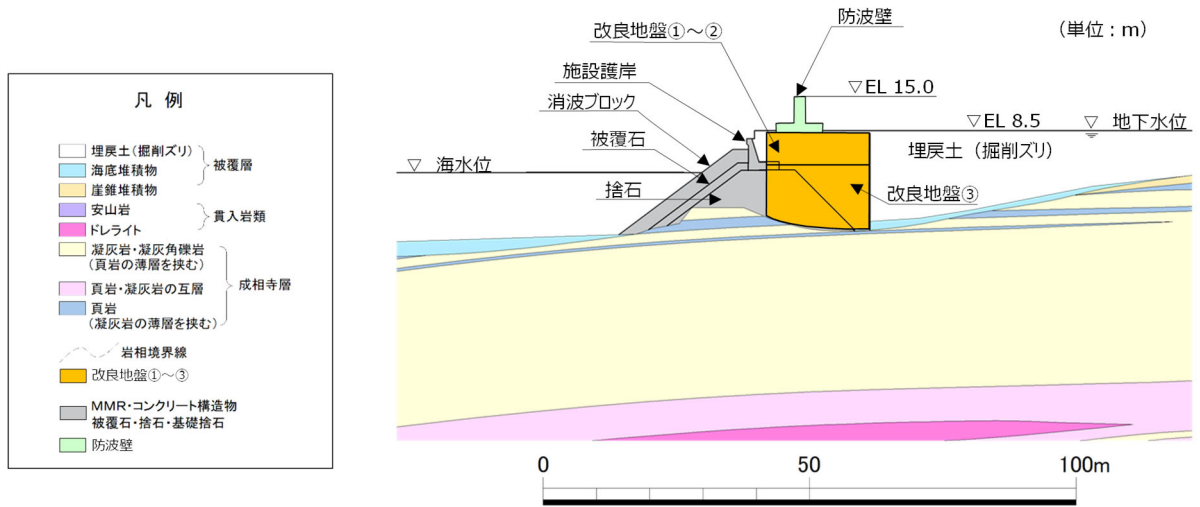


図 3-7 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (⑤-⑤断面)

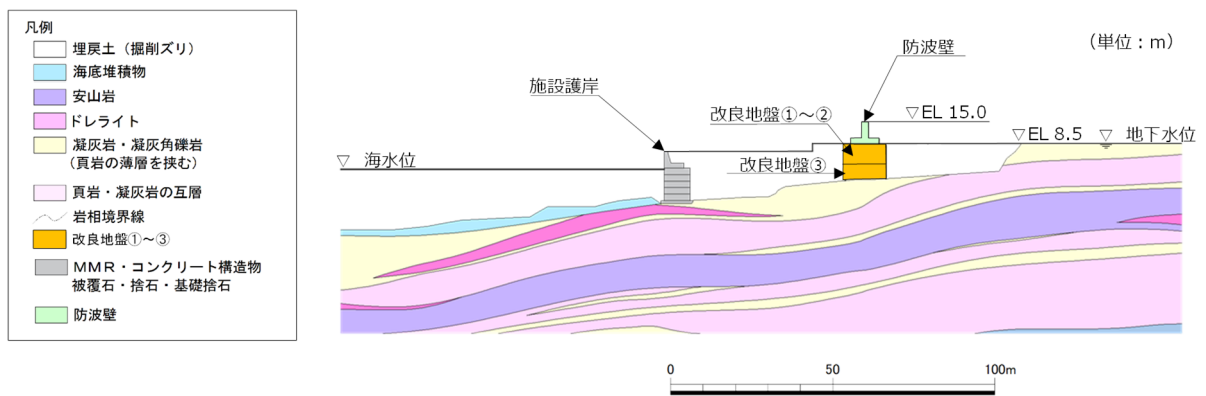


図 3-8 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (⑥-⑥断面)

### 3.2 解析方法

防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる 2 次元有限要素法解析を用いて、基準地震動  $S_s$  に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素及び非線形ばねでモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 3.2.1 施設

逆 T 擁壁は、鉄筋コンクリート造であり、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

グラウンドアンカは、非線形ばねでモデル化する。

### 3.2.2 材料物性及び地盤物性のばらつき

防波壁（逆 T 擁壁）の地震時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表 3-1 に示す解析ケースにおいて考慮する。

図 3-2～図 3-8 に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に防波壁（逆 T 擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.4 解析ケース」に示す。

表 3-1 有効応力解析における解析ケース

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

## 3.2.3 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし，剛性比例型減衰を設定する。

## 3.2.4 解析ケース

耐震評価においては，全ての基準地震動  $S_s$  に対し，解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動  $S_s$  に対して実施したケース①の解析において，各照査値が最も厳しい地震動を用いて，解析ケース②及び③を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②		ケース③	
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース		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		平均値		平均値+1 $\sigma$		平均値-1 $\sigma$	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 $S_s$ (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し，ケース① (基本ケース) を実施し，曲げ・軸力系の破壊，せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して，最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合，照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。			
		-+*	○				
		+ - *	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○				
		-+*	○				
$S_s - N 2$ (EW)	++*	○					
	-+*	○					

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

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.3.1 耐震評価上考慮する状態

防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

##### (1) 運転時の状態

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

##### (2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

##### (3) 設計用自然条件

積雪及び風の荷重を考慮する。

##### (4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

#### 3.3.2 荷重

防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重の自重を考慮する。

##### (2) 積雪荷重（P<sub>s</sub>）

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）に平均的な積雪何重を与えるための係数0.35を考慮した35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施工細則により、積雪量1cmごとに20N/m<sup>2</sup>の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

##### (3) 風荷重（P<sub>k</sub>）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

##### (4) 地震荷重（S<sub>s</sub>）

基準地震動S<sub>s</sub>による荷重を考慮する。



### 3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-3 に示す。

表 3-3 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S s)	$G + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

$P_s$  : 積雪荷重

$P_k$  : 風荷重

$S_s$  : 地震時荷重

### 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3-9に入力地震動算定の概念図を、図3-10～図3-33に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

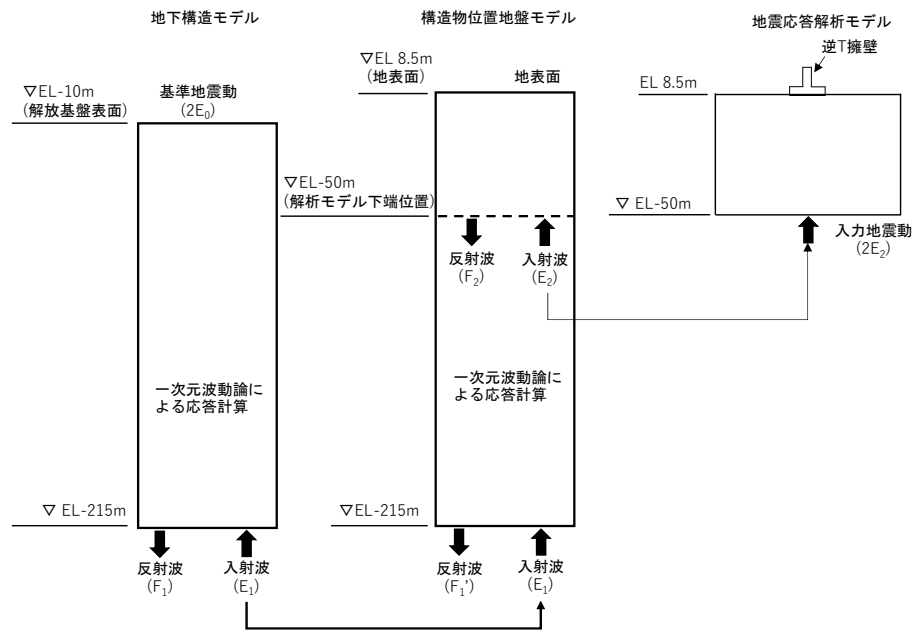
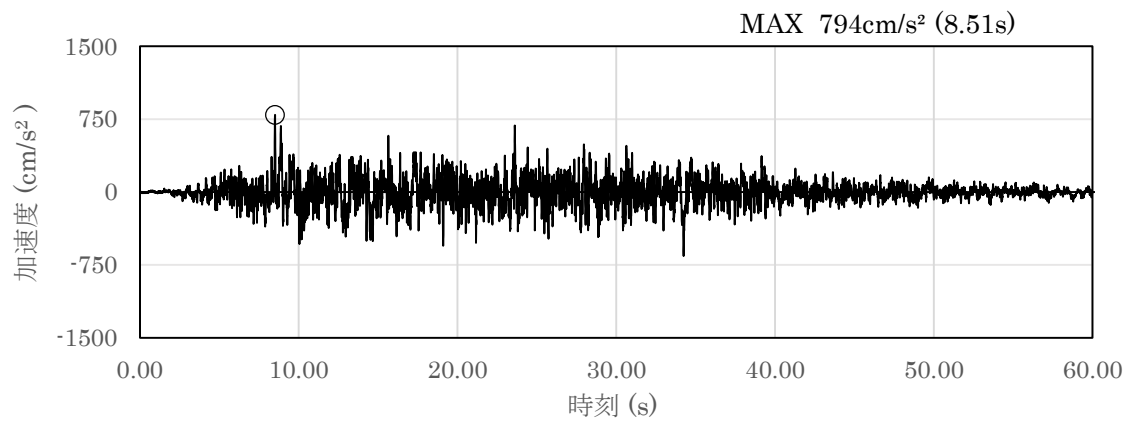
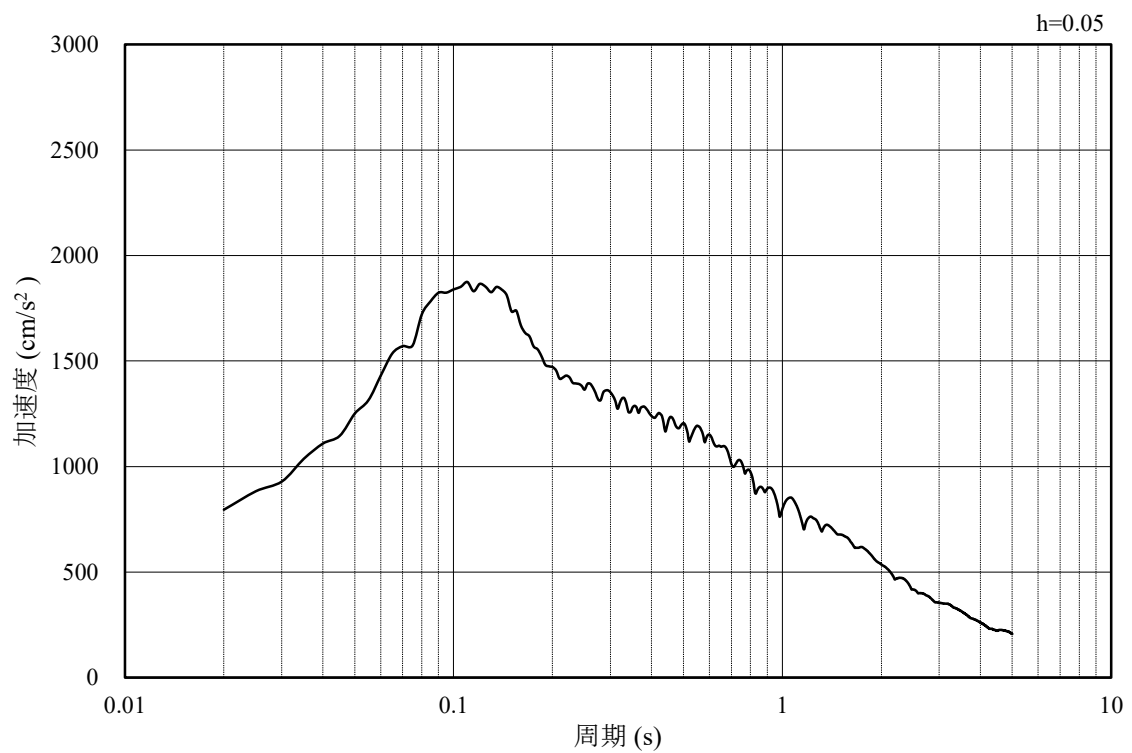


図3-9 入力地震動算定の概念図

3.4.1 ①－①断面

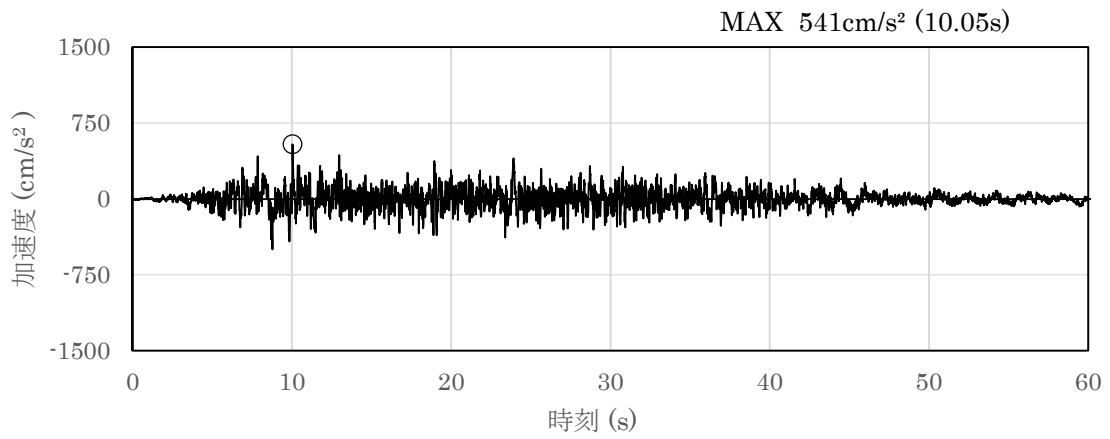


(a) 加速度時刻歴波形

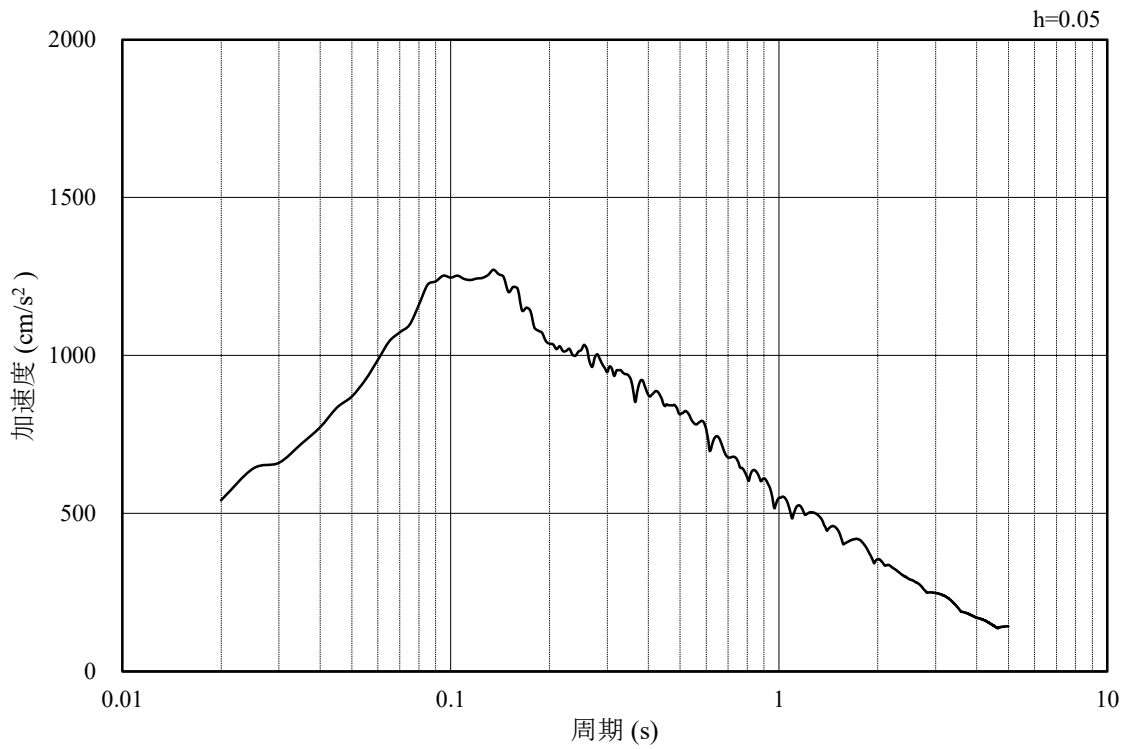


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s - D)

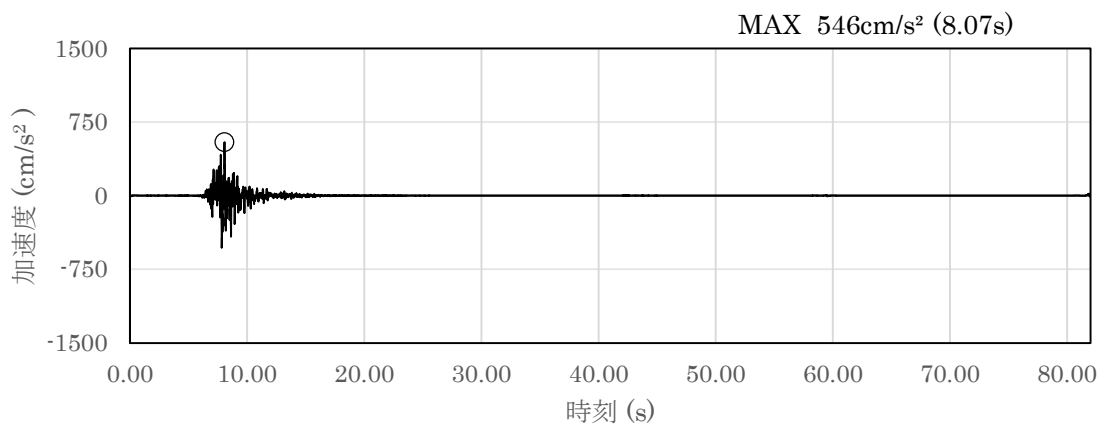


(a) 加速度時刻歴波形

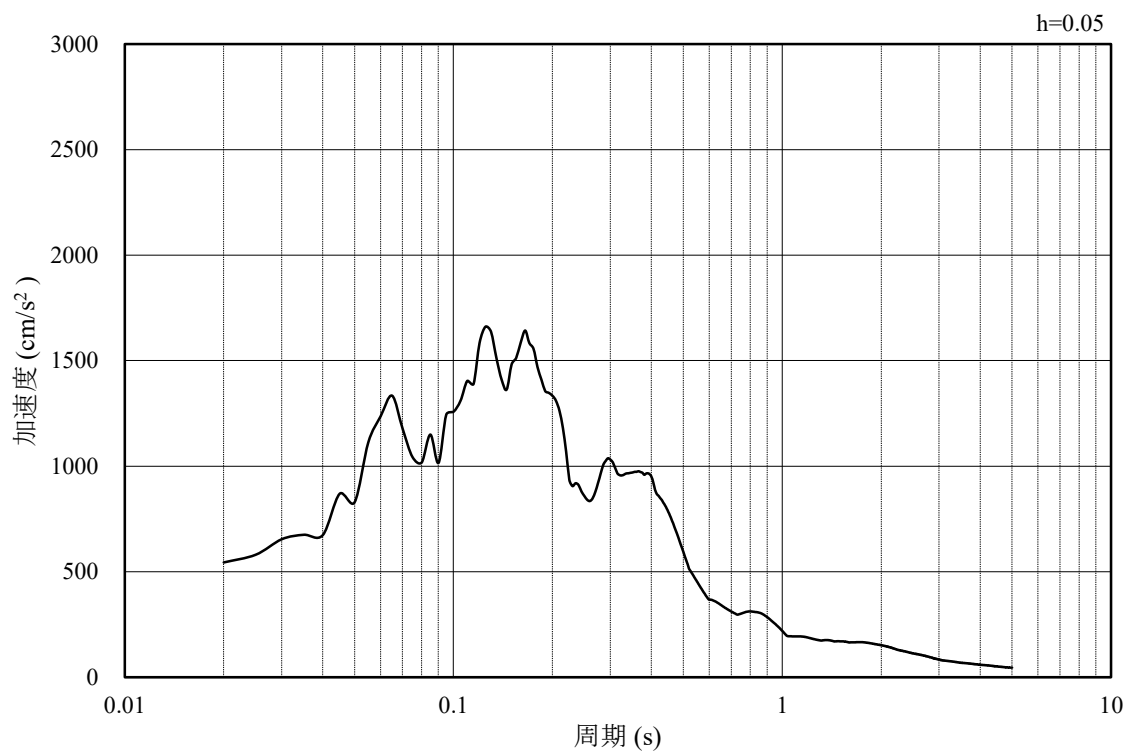


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - D)

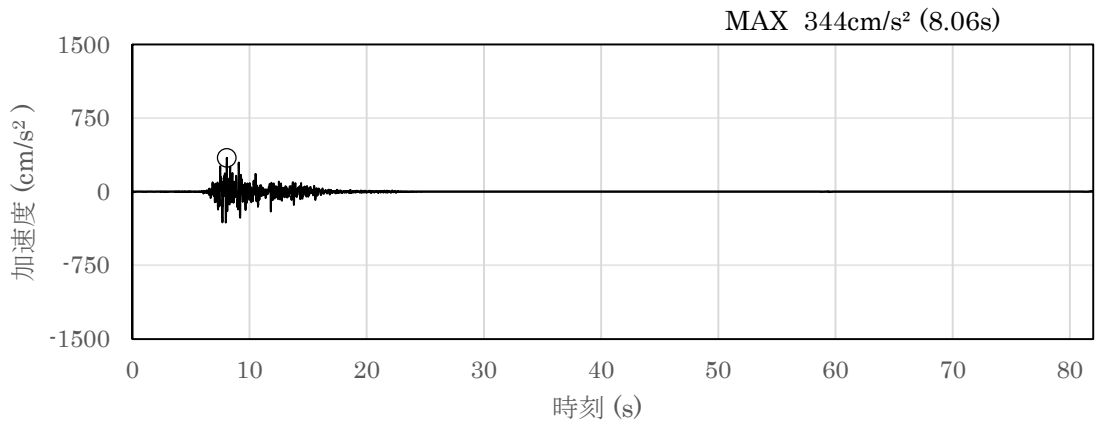


(a) 加速度時刻歴波形

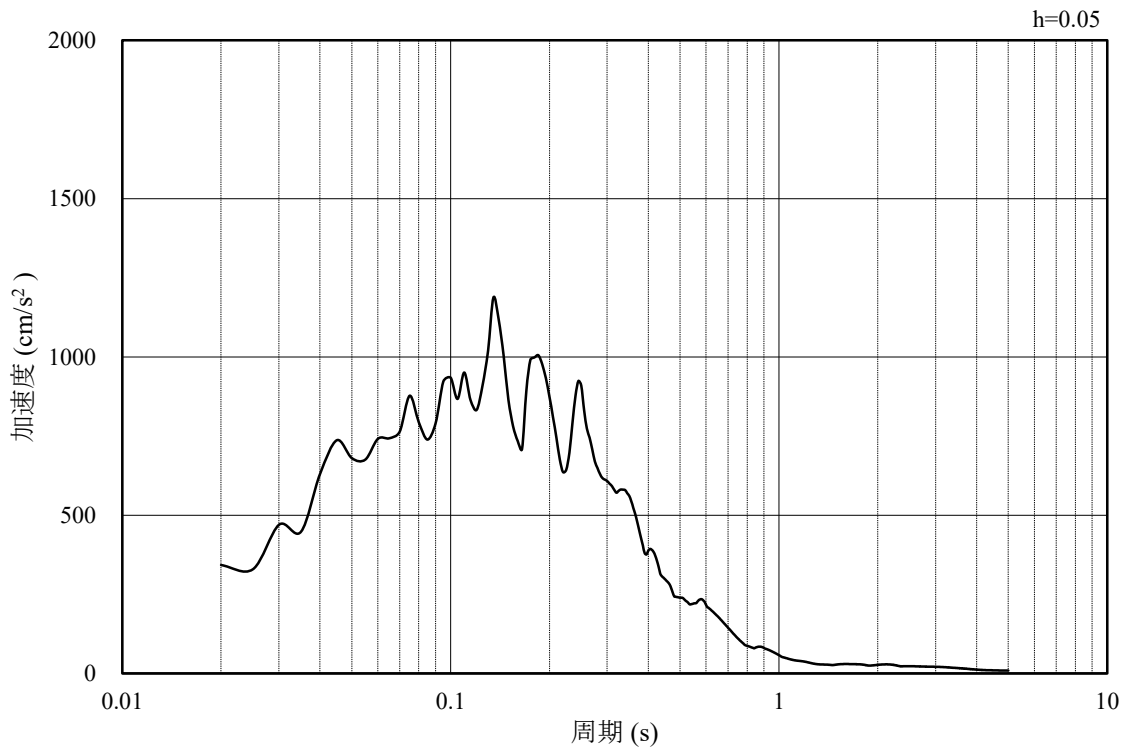


(b) 加速度応答スペクトル

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

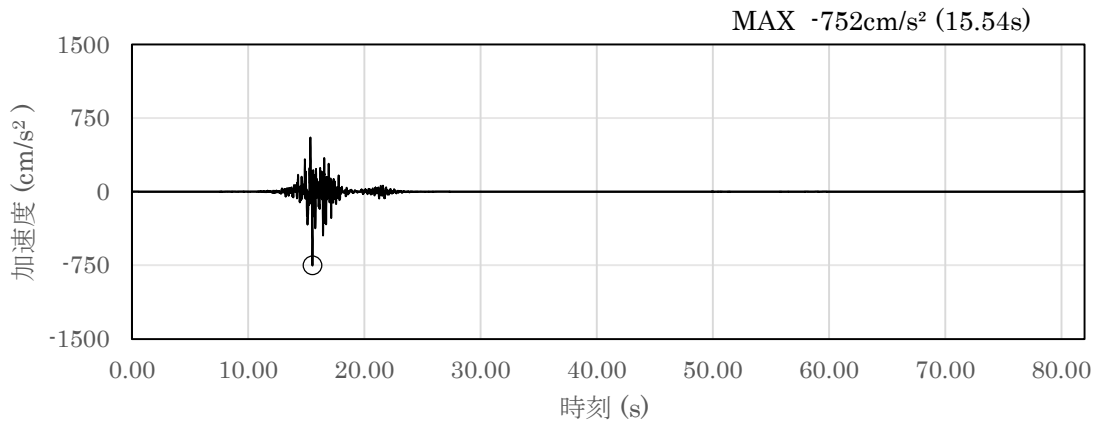


(a) 加速度時刻歴波形

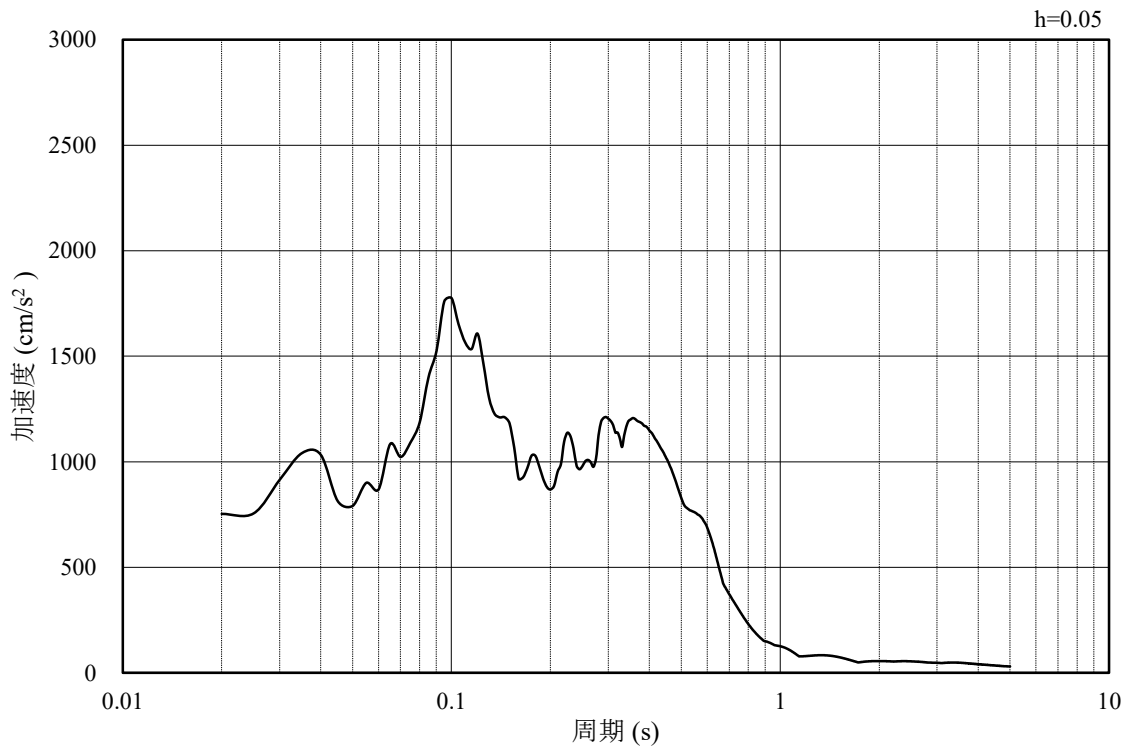


(b) 加速度応答スペクトル

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)

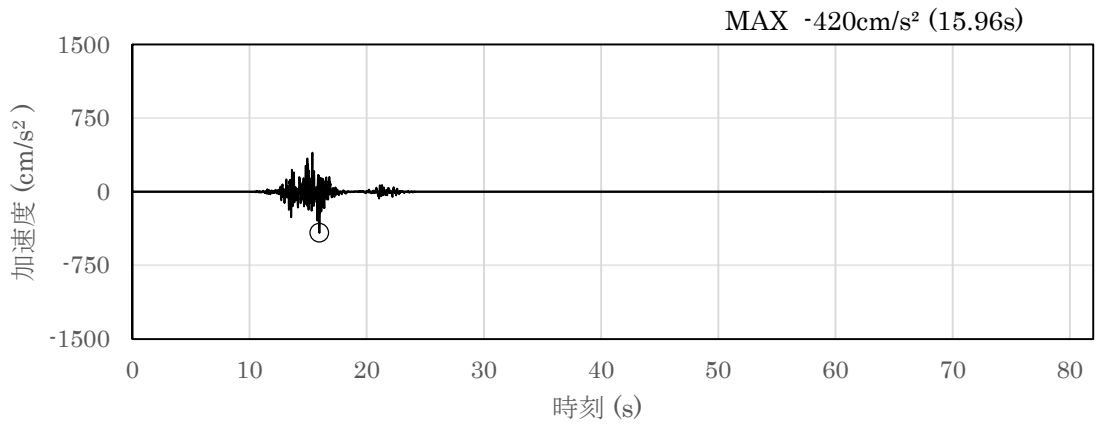


(a) 加速度時刻歴波形

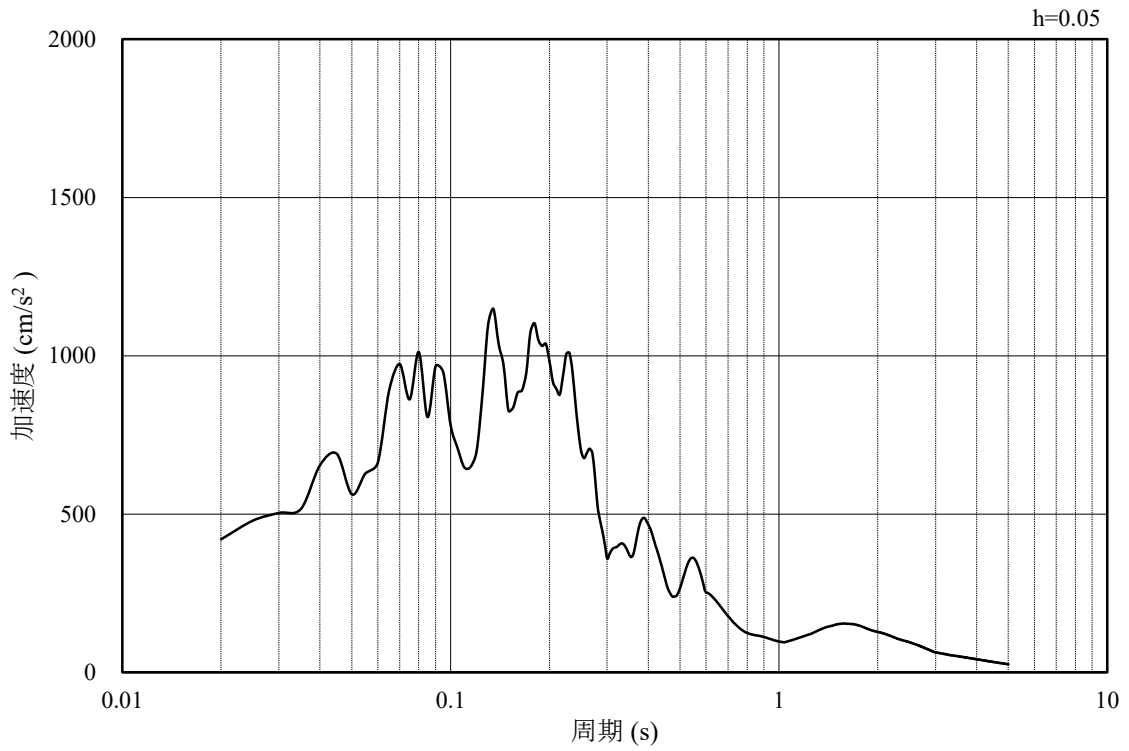


(b) 加速度応答スペクトル

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, E W方向)



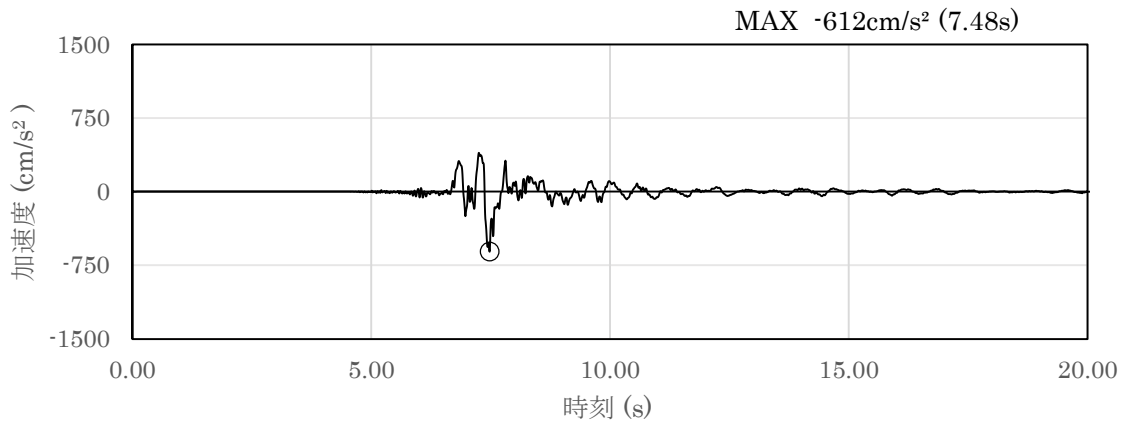
(a) 加速度時刻歴波形



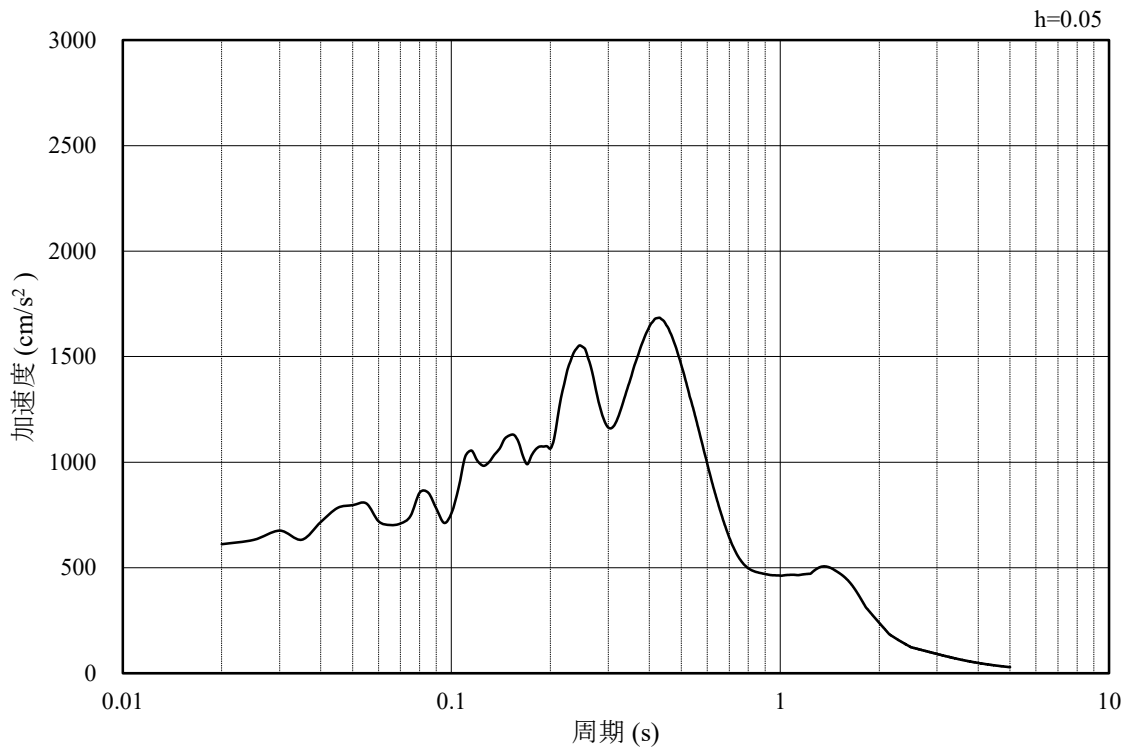
(b) 加速度応答スペクトル

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



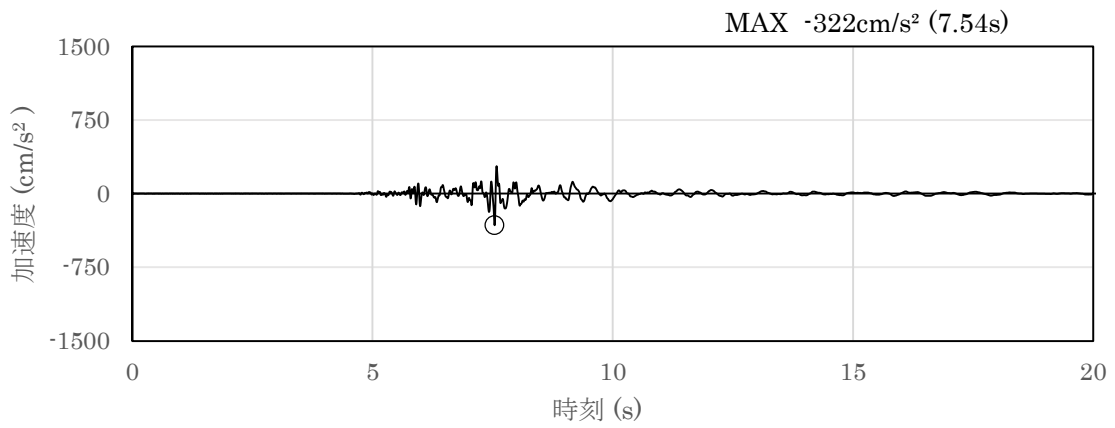


(a) 加速度時刻歴波形

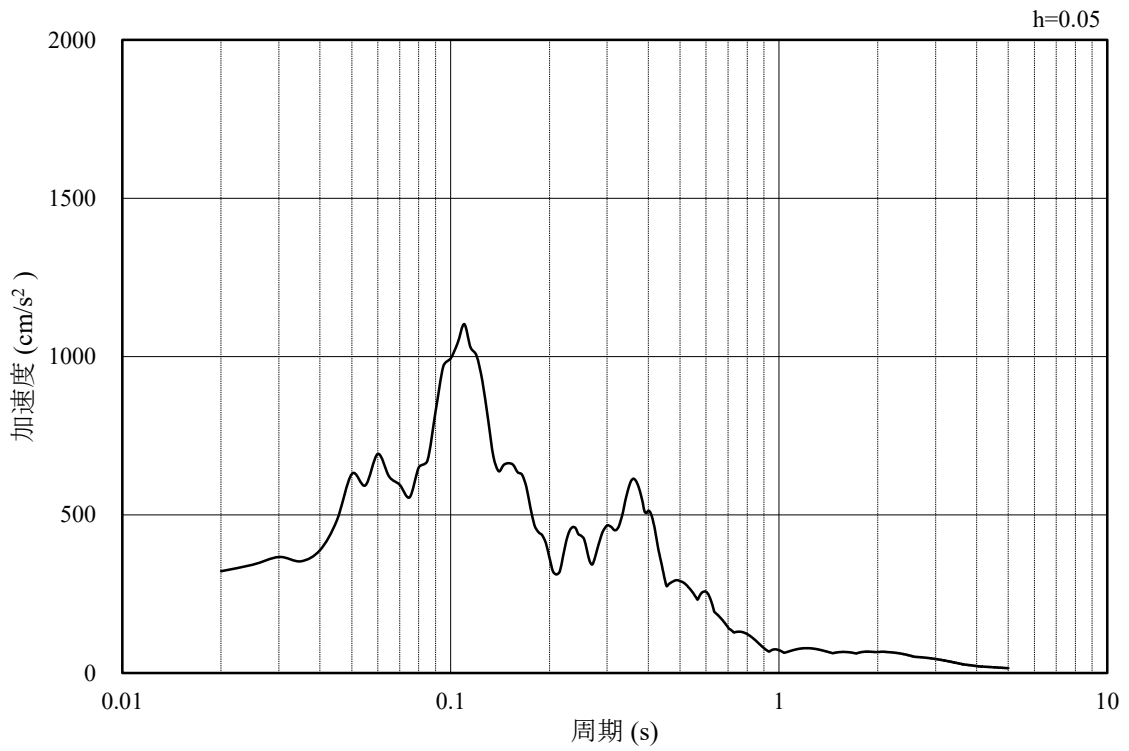


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s - N 1)

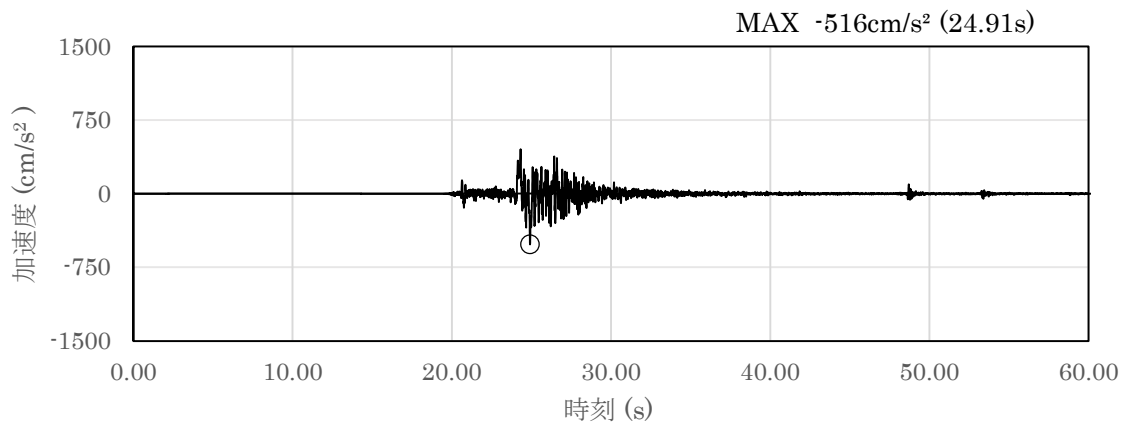


(a) 加速度時刻歴波形

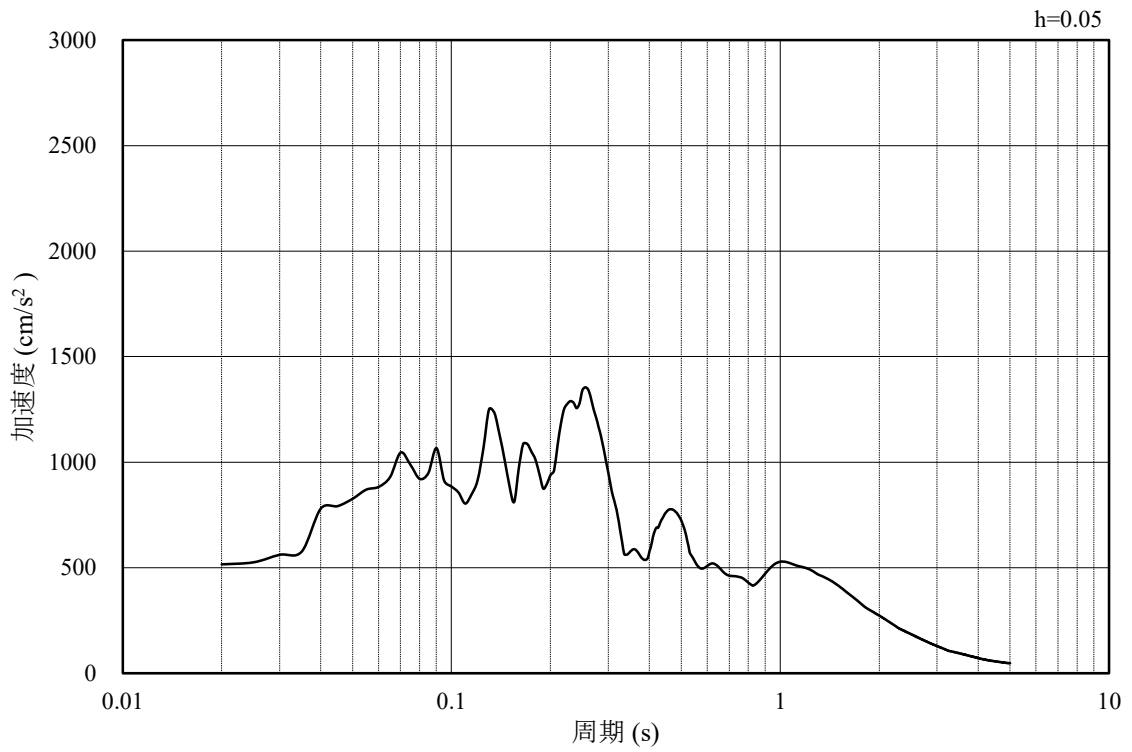


(b) 加速度応答スペクトル

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

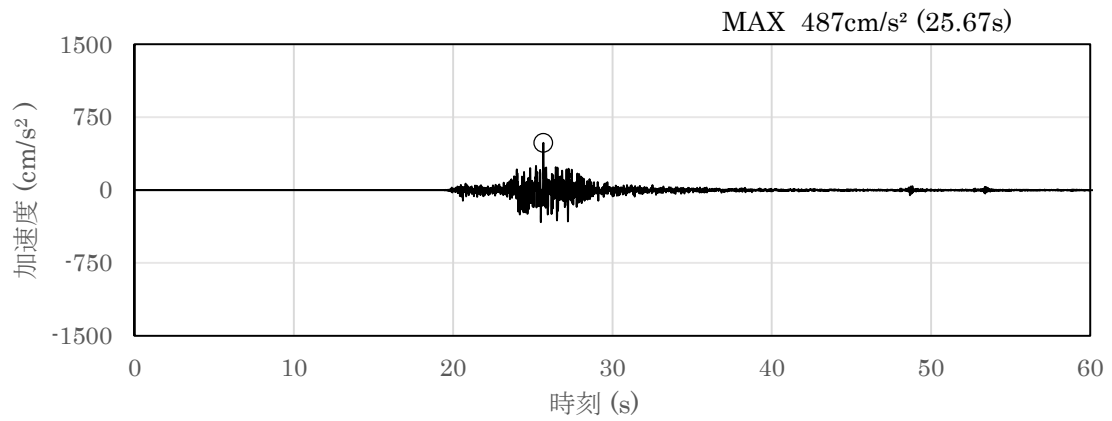


(a) 加速度時刻歴波形

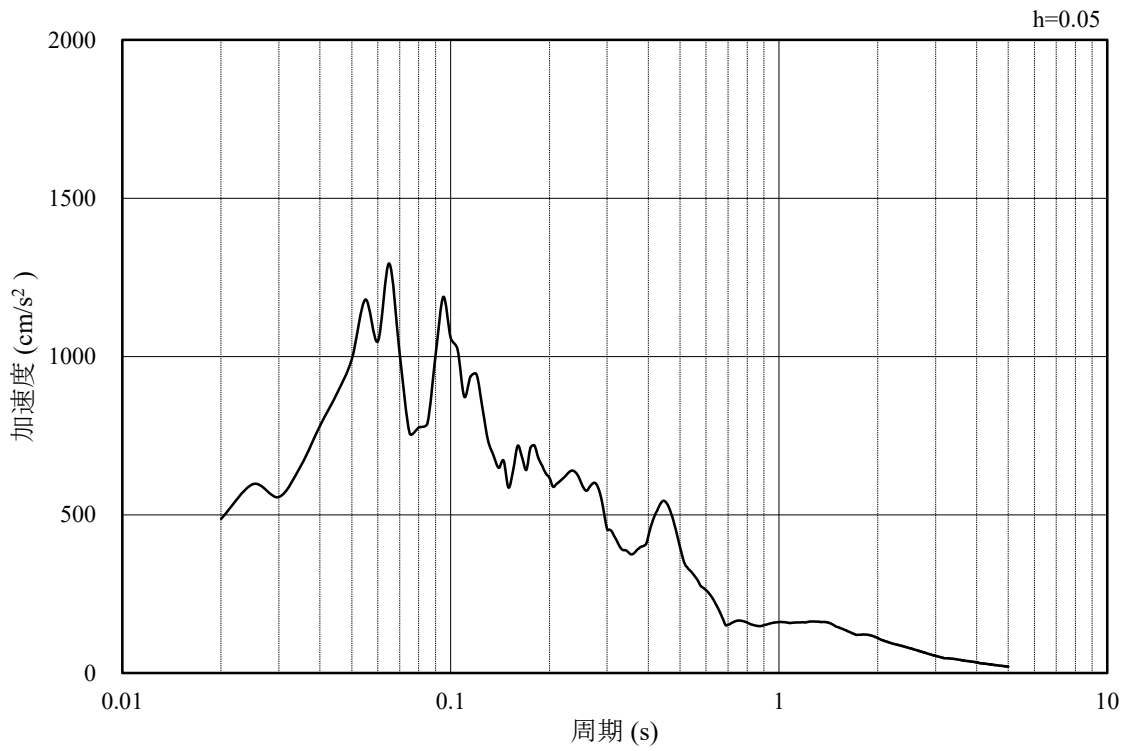


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s - N 2, N S 方向)

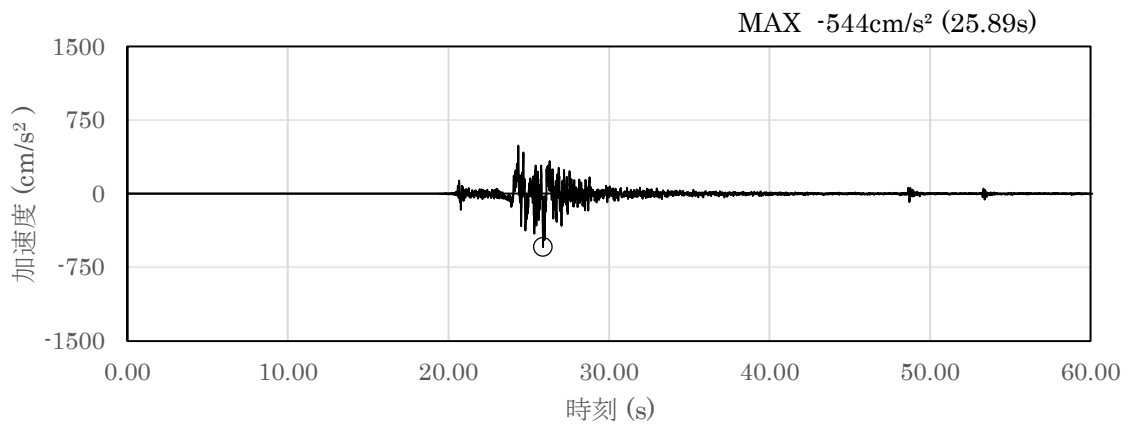


(a) 加速度時刻歴波形

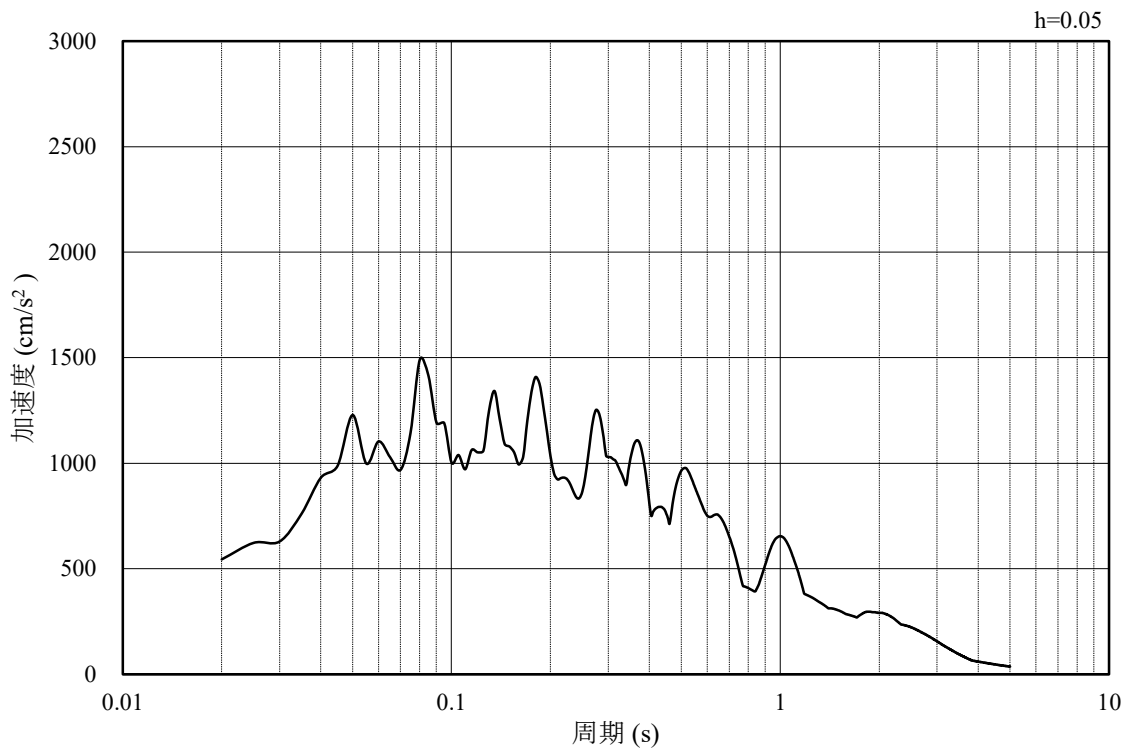


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(鉛直成分：S s - N 2, N S 方向)

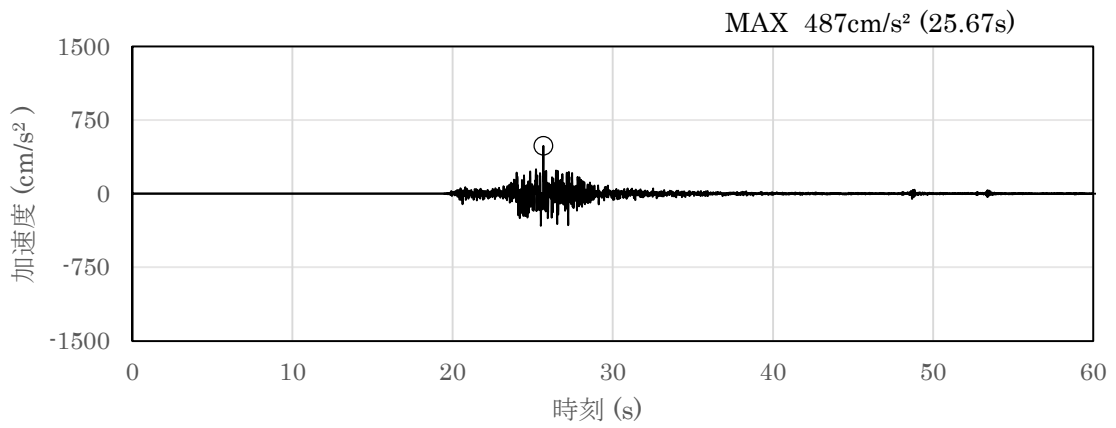


(a) 加速度時刻歴波形

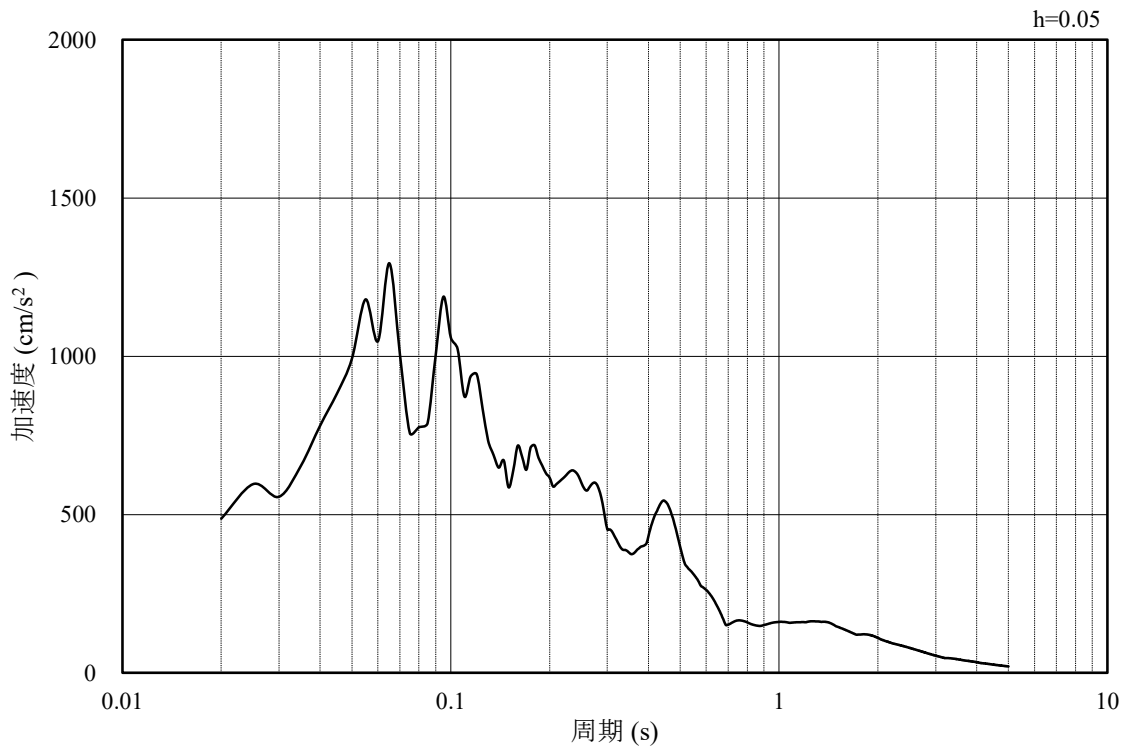


(b) 加速度応答スペクトル

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



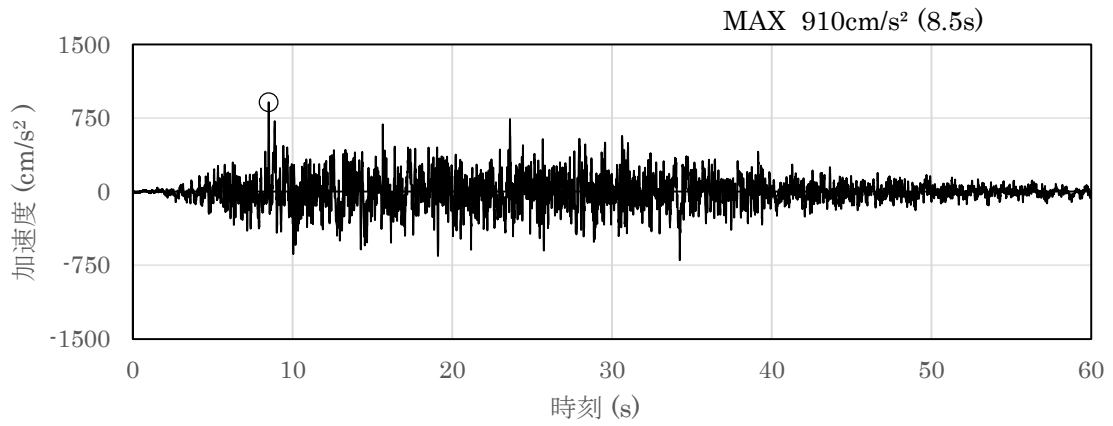
(a) 加速度時刻歴波形



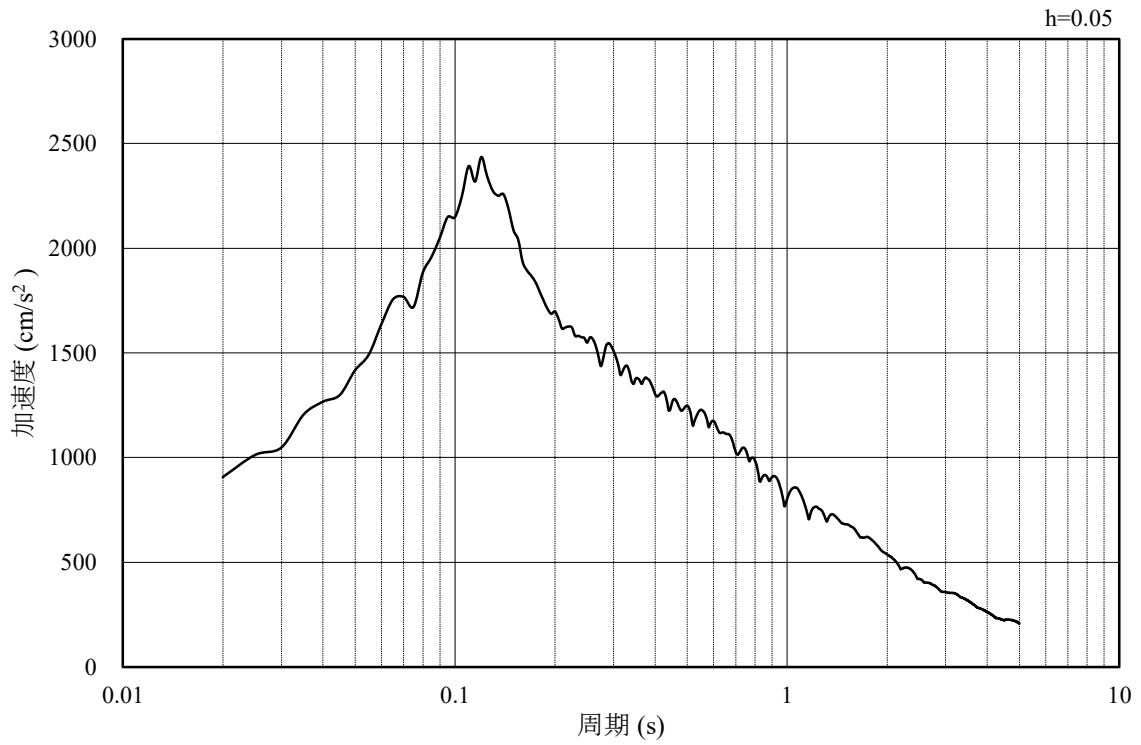
(b) 加速度応答スペクトル

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, E W方向)

3.4.2 ⑤-⑤断面

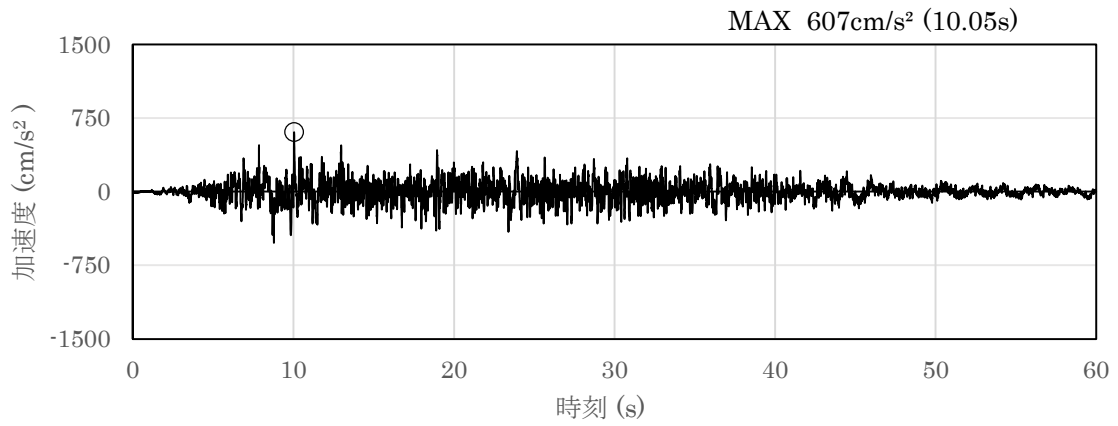


(a) 加速度時刻歴波形

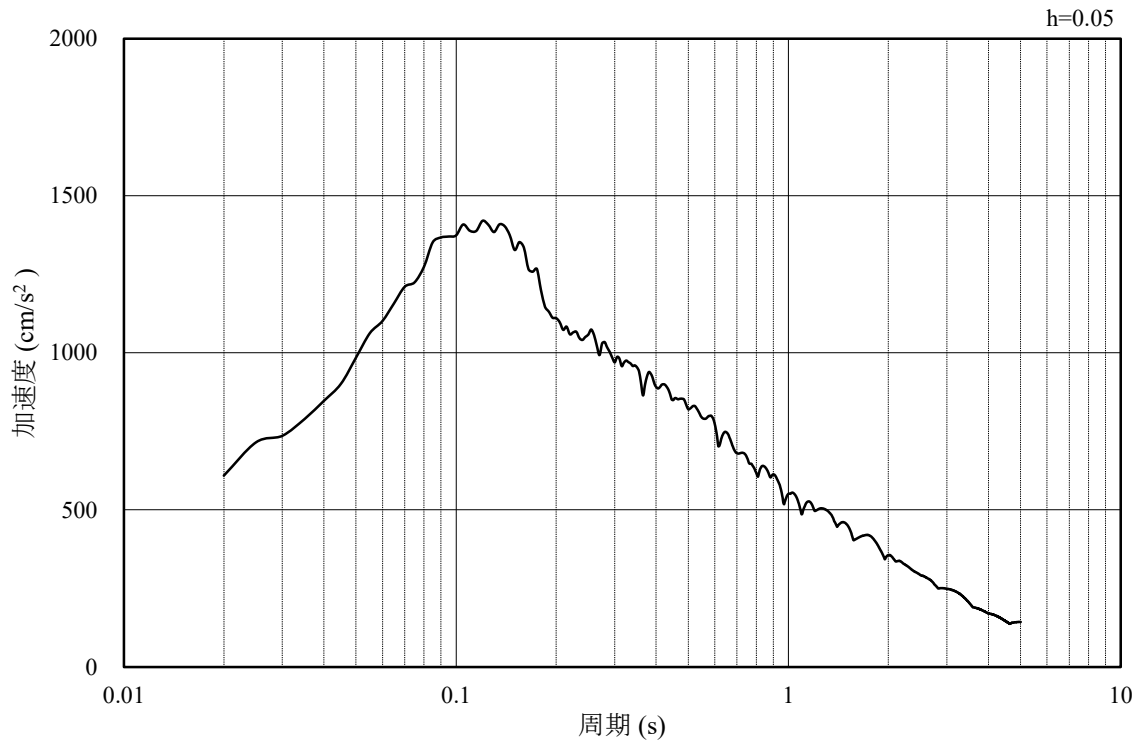


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s-D)



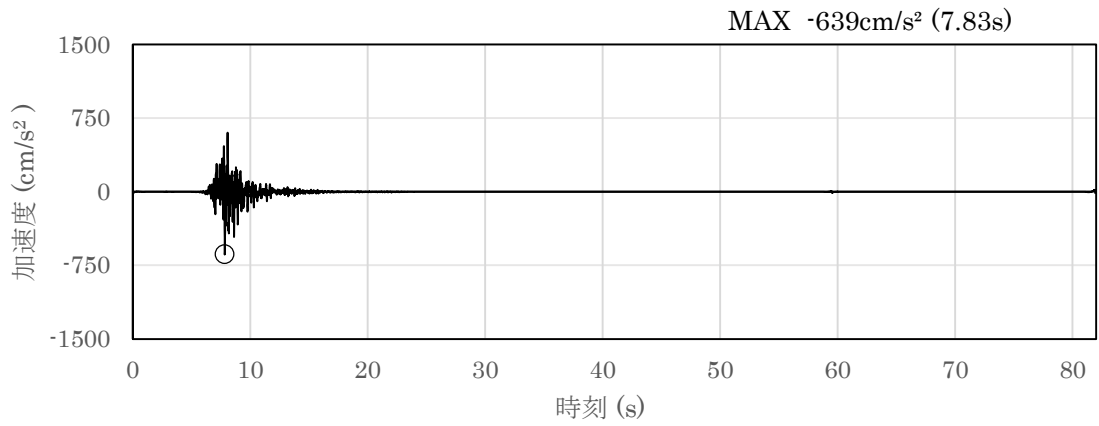
(a) 加速度時刻歴波形



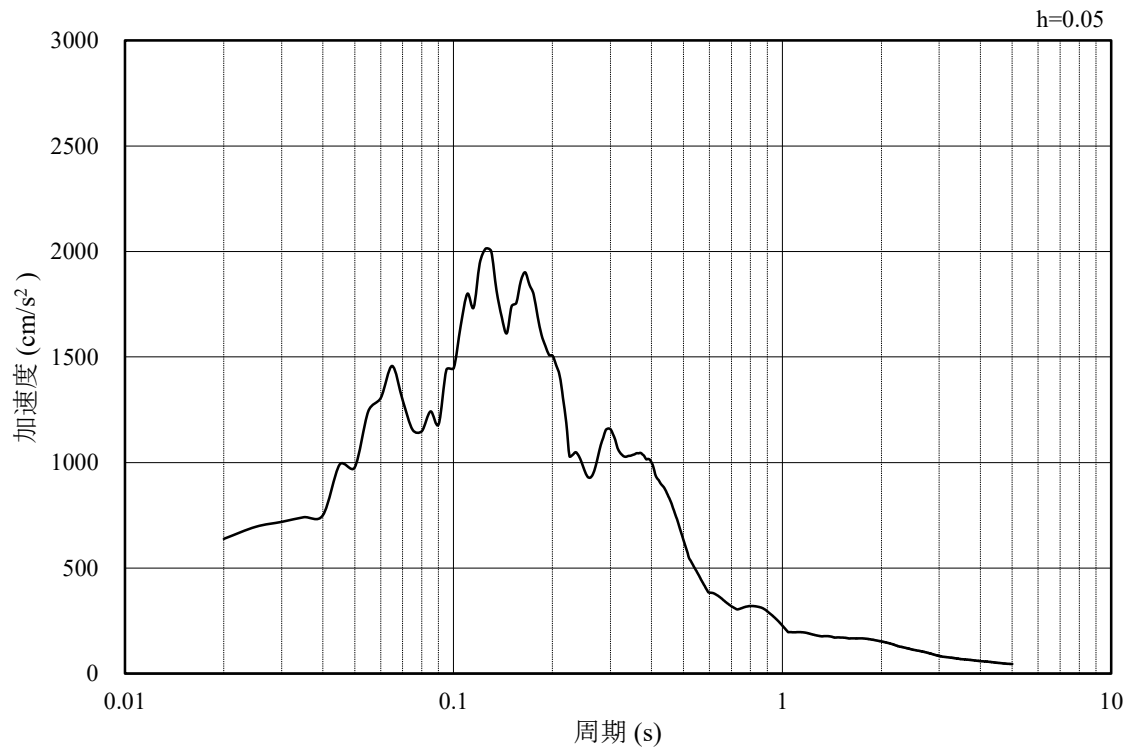
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s-D)



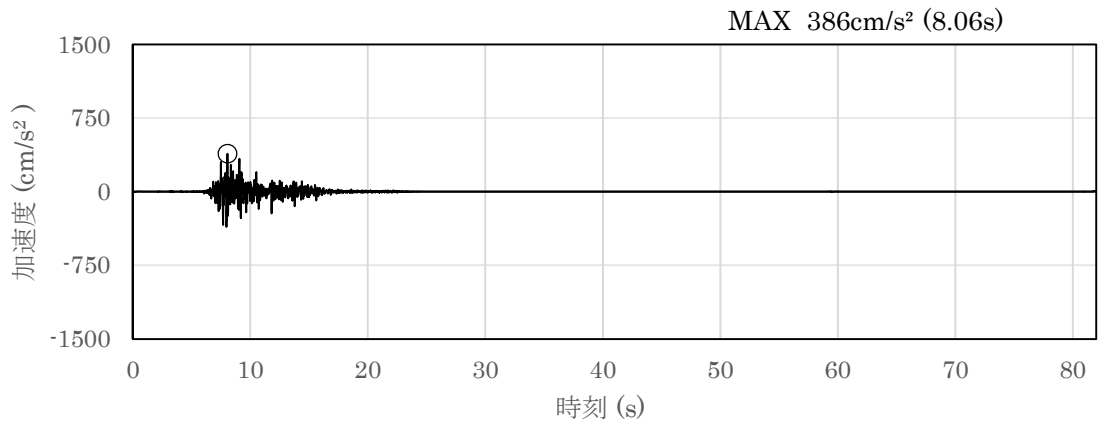


(a) 加速度時刻歴波形

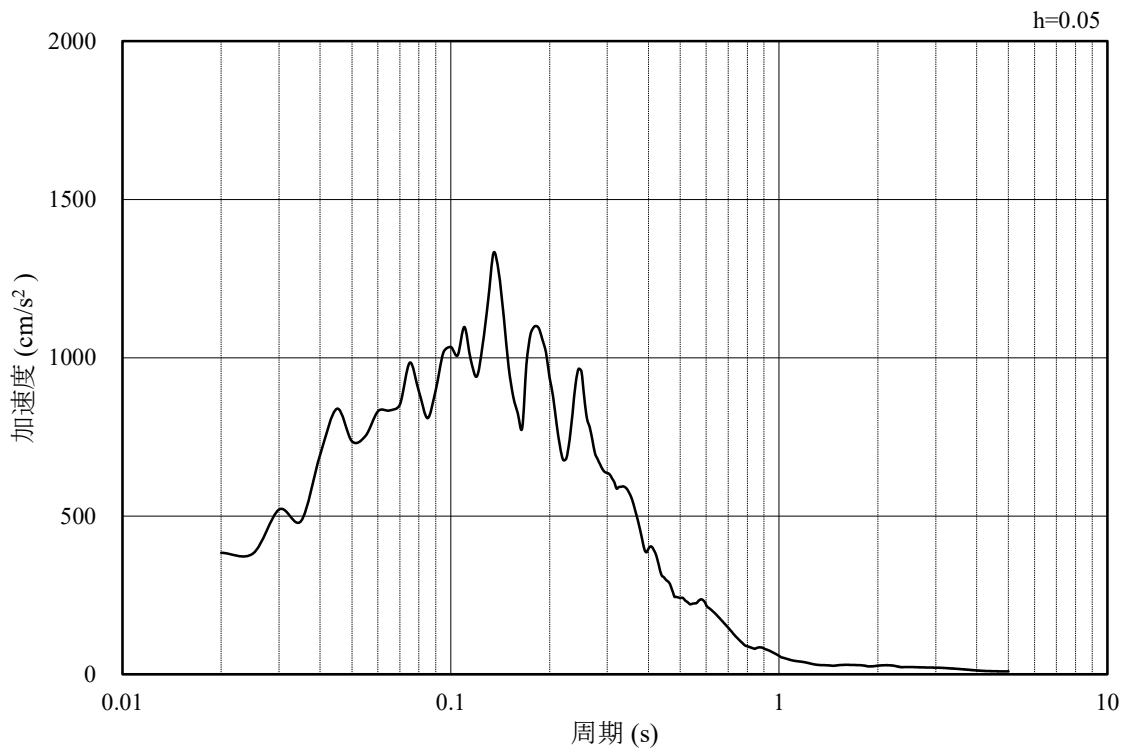


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s-F 1，EW方向)

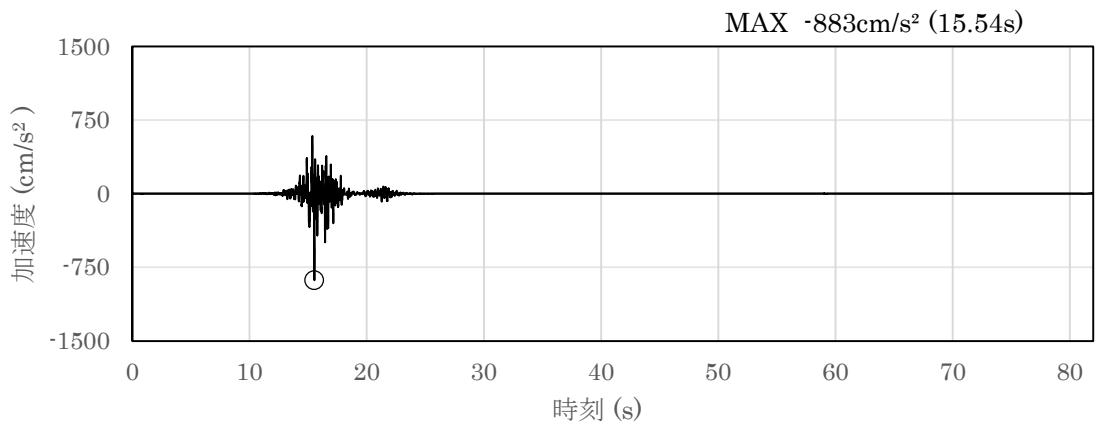


(a) 加速度時刻歴波形

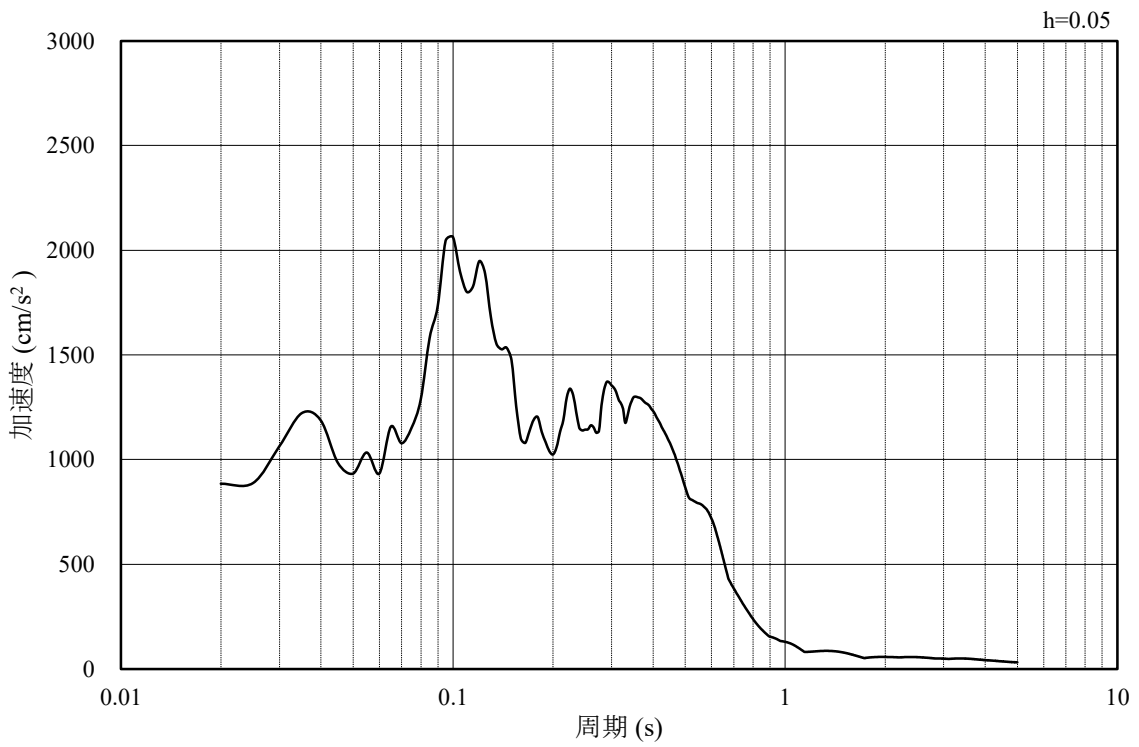


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s-F 1)

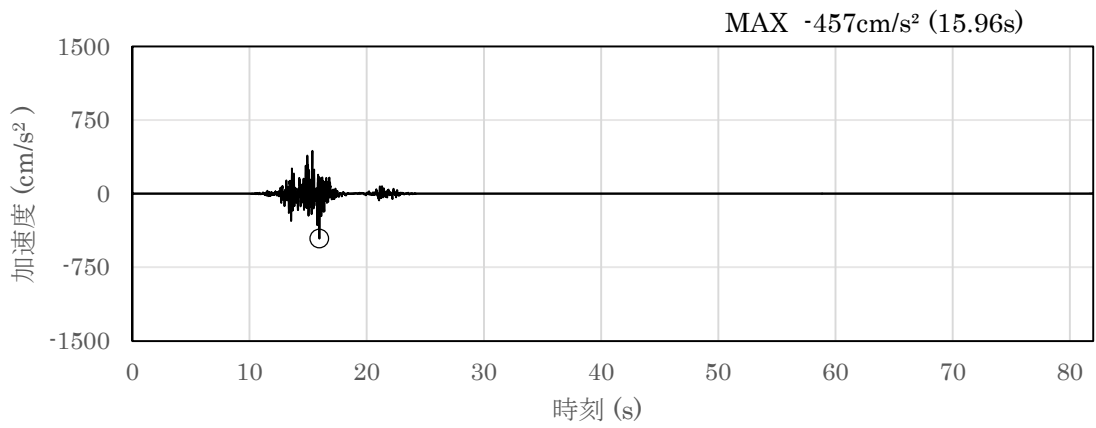


(a) 加速度時刻歴波形

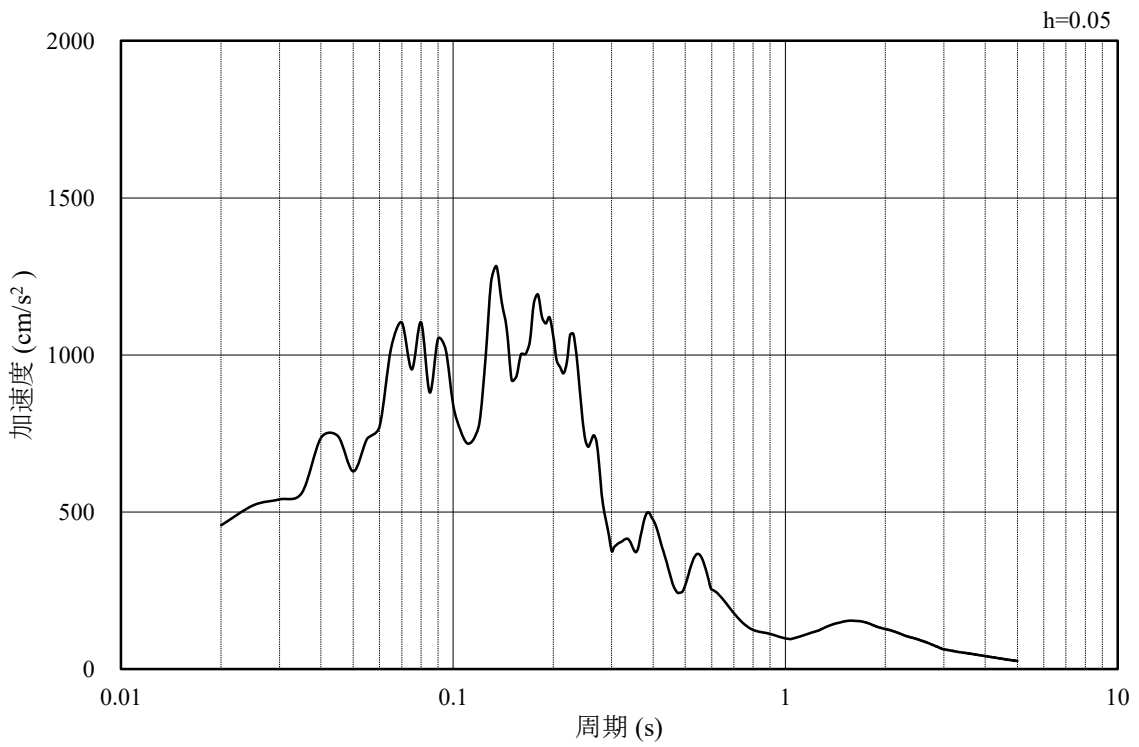


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：Ss-F2, EW方向)

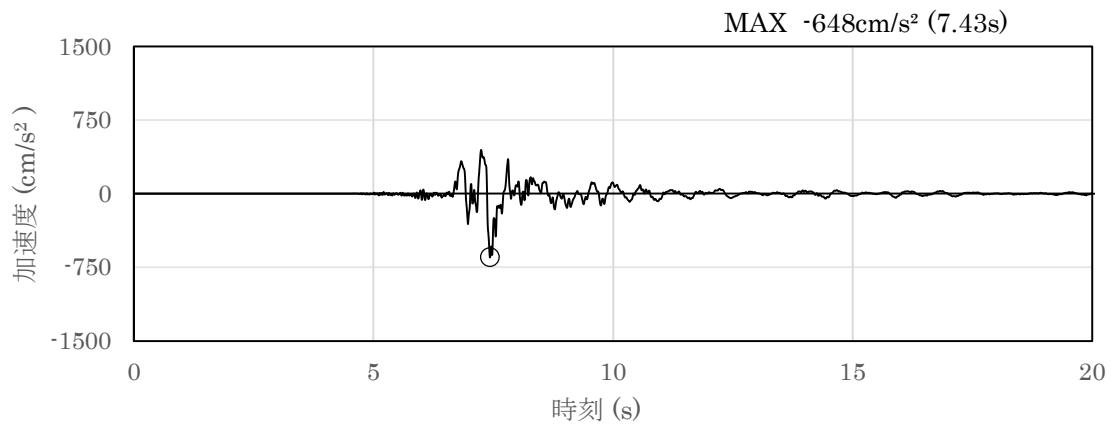


(a) 加速度時刻歴波形

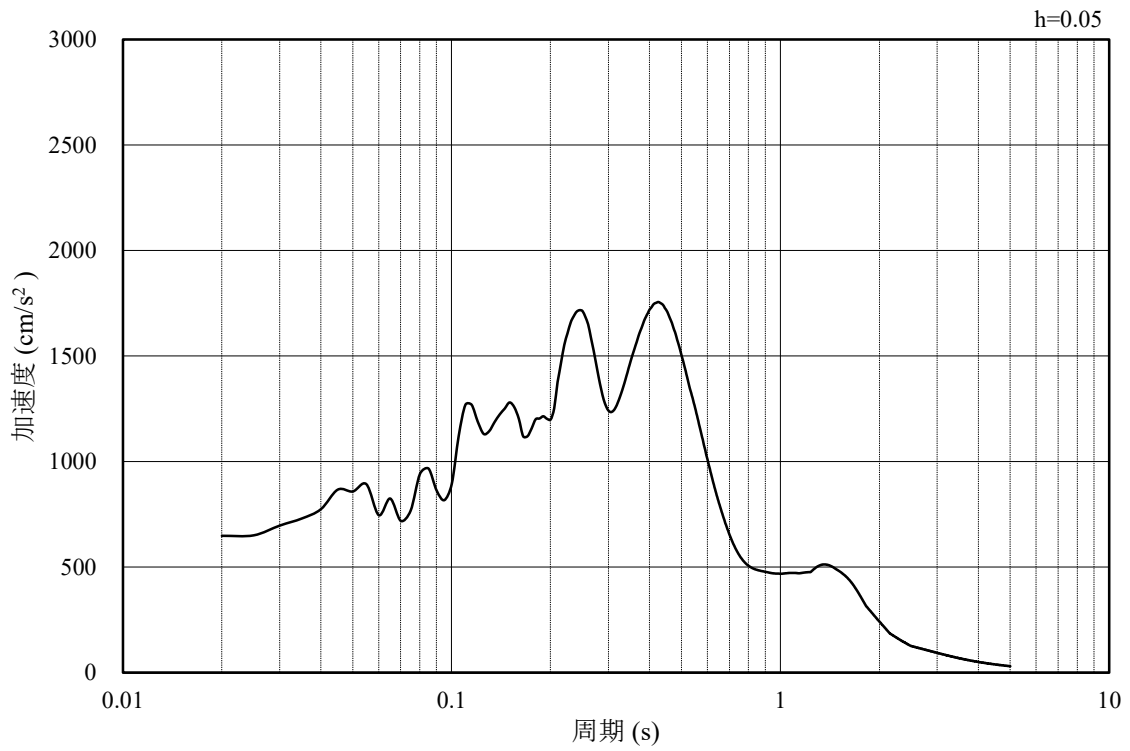


(b) 加速度応答スペクトル

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 s-F 2)

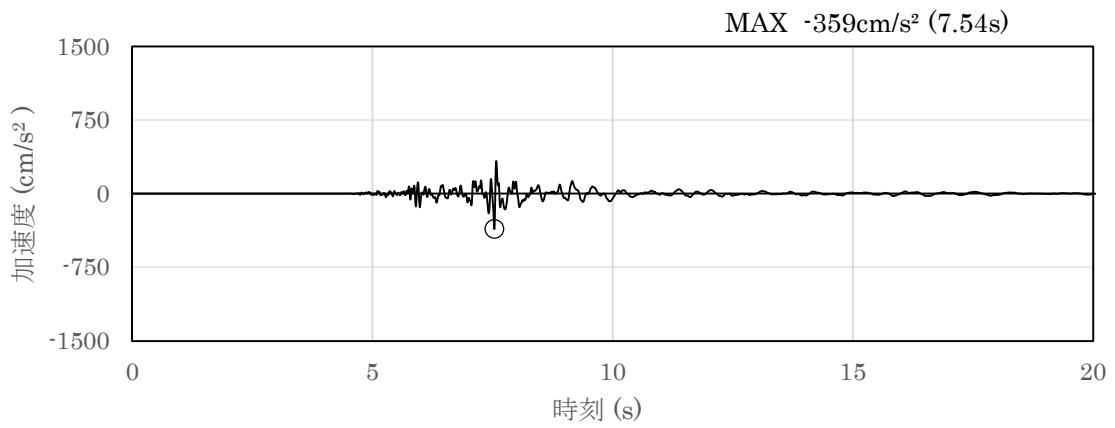


(a) 加速度時刻歴波形

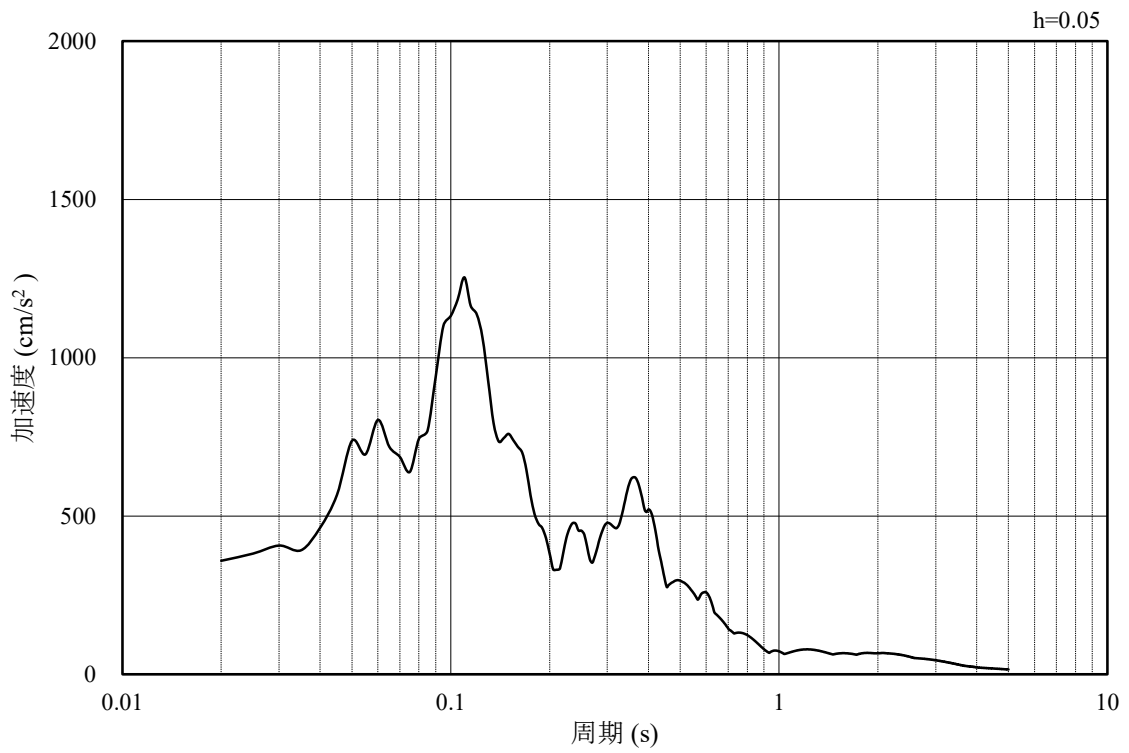


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分 : S s - N 1)

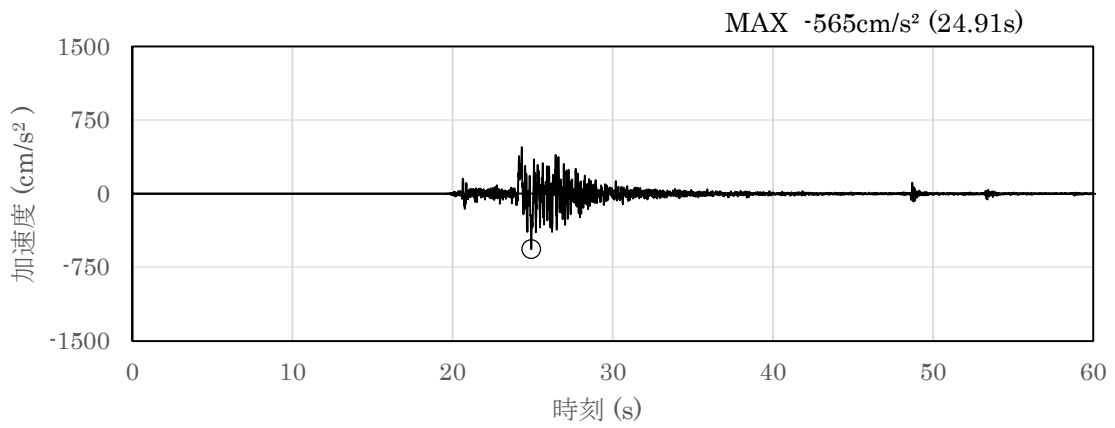


(a) 加速度時刻歴波形

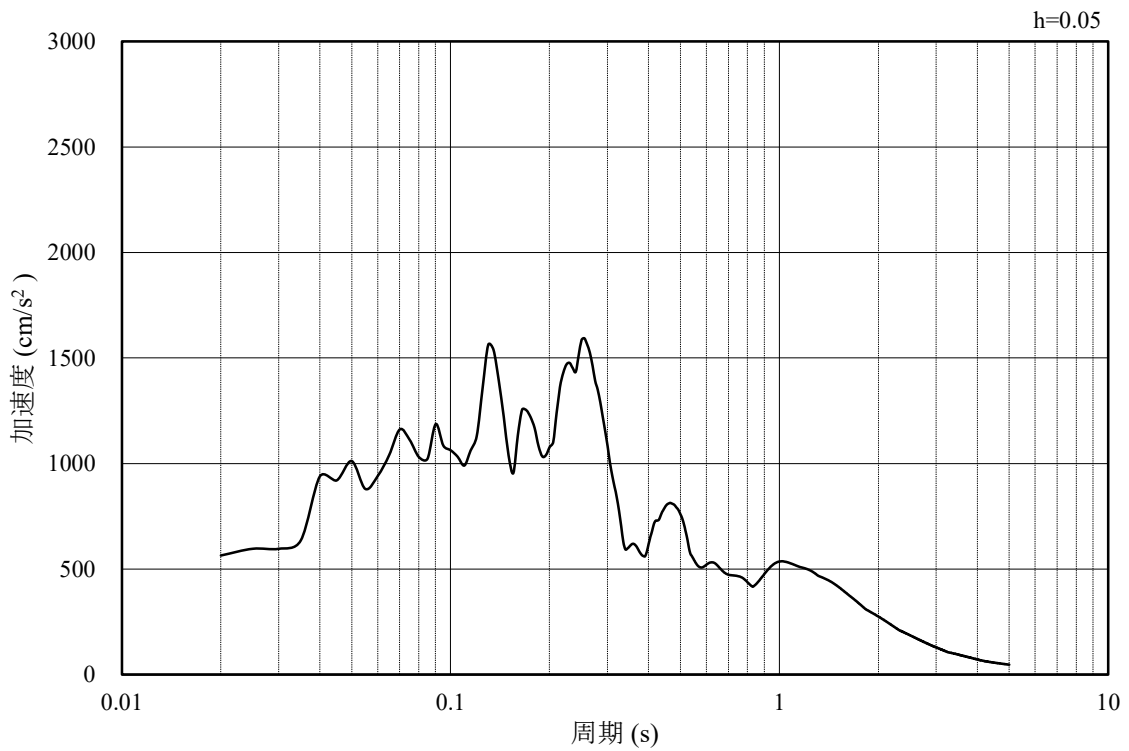


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S<sub>s</sub>-N1)

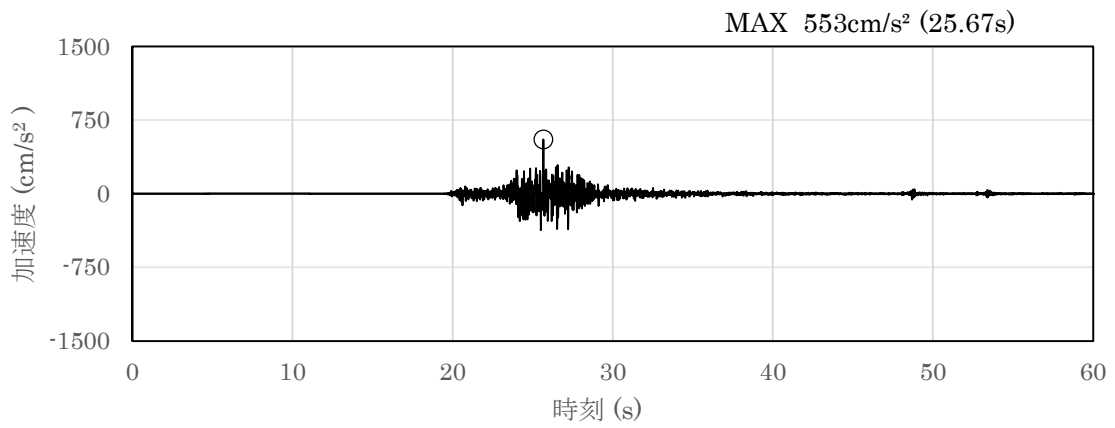


(a) 加速度時刻歴波形

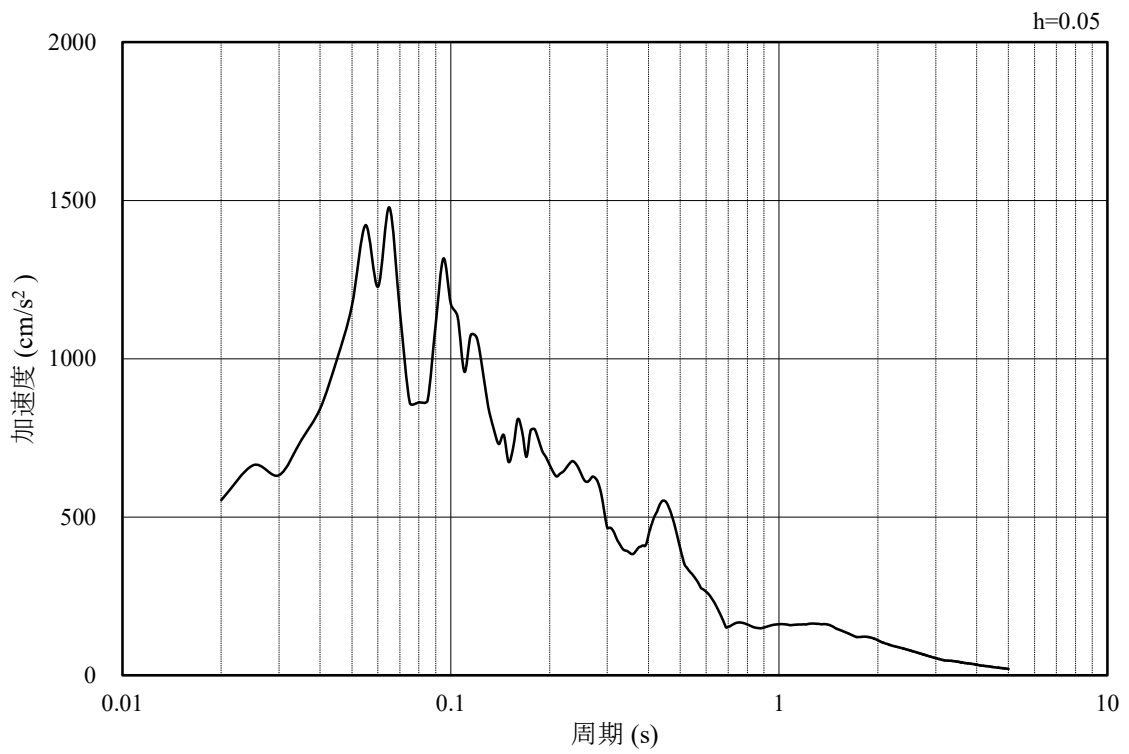


(b) 加速度応答スペクトル

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：Ss-N2, NS方向)



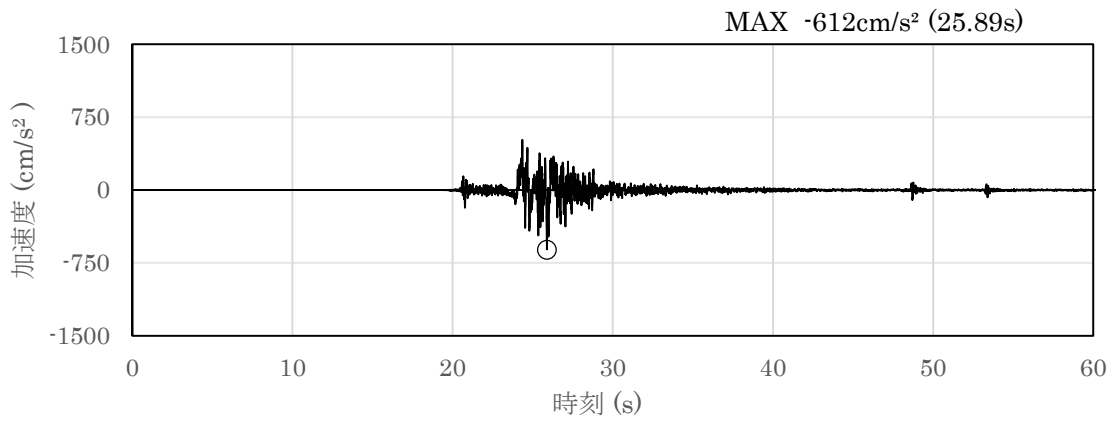
(a) 加速度時刻歴波形



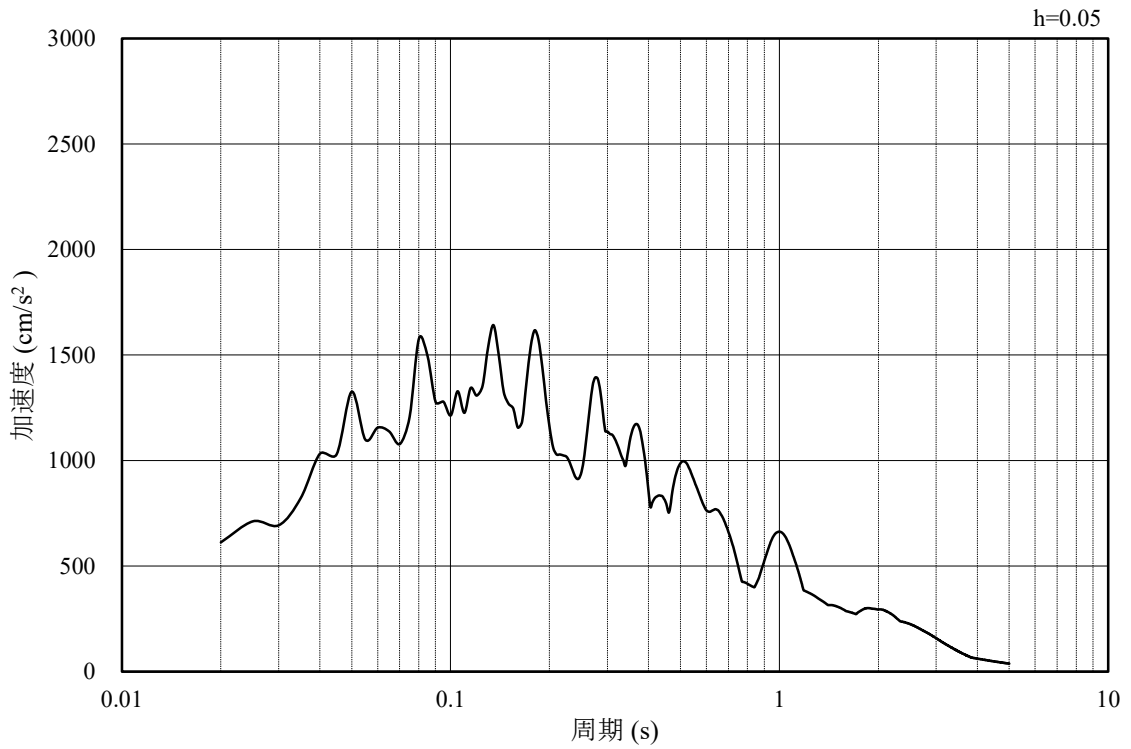
(b) 加速度応答スペクトル

図 3-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s-N 2, N S 方向)



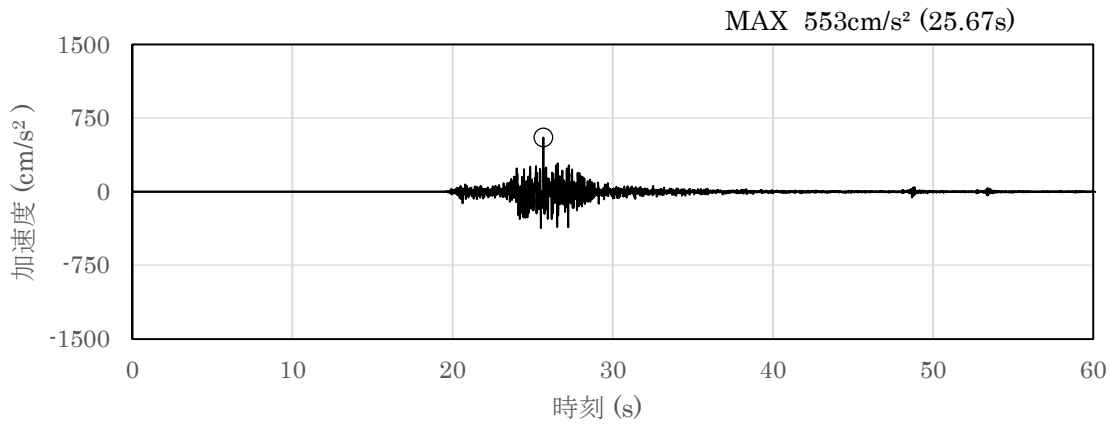


(a) 加速度時刻歴波形

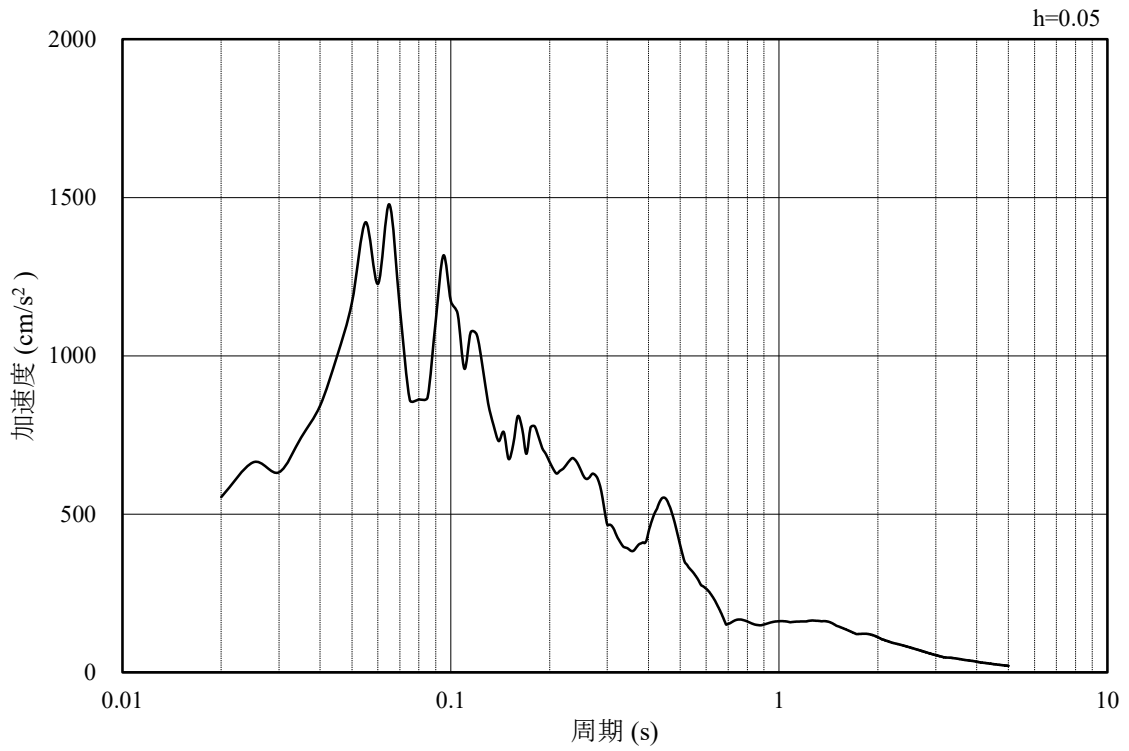


(b) 加速度応答スペクトル

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<sub>s</sub>-N 2，EW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<sub>s</sub>-N 2，EW方向)

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答解析モデルを図 3-34 及び図 3-35 に示す。

##### (1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。

##### (2) 境界条件

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。

##### (3) 構造物のモデル化

逆 T 擁壁は、鉄筋コンクリート造であり、線形はり要素（ビーム要素）でモデル化する。

グラウンドアンカは、非線形ばねでモデル化する。

##### (4) 地盤のモデル化

地盤は、マルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

##### (5) ジョイント要素の設定

地震時の「構造物と改良地盤」、 「埋戻土と改良地盤」、 「構造物と埋戻土」及び「施設護岸の構造間」の接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。



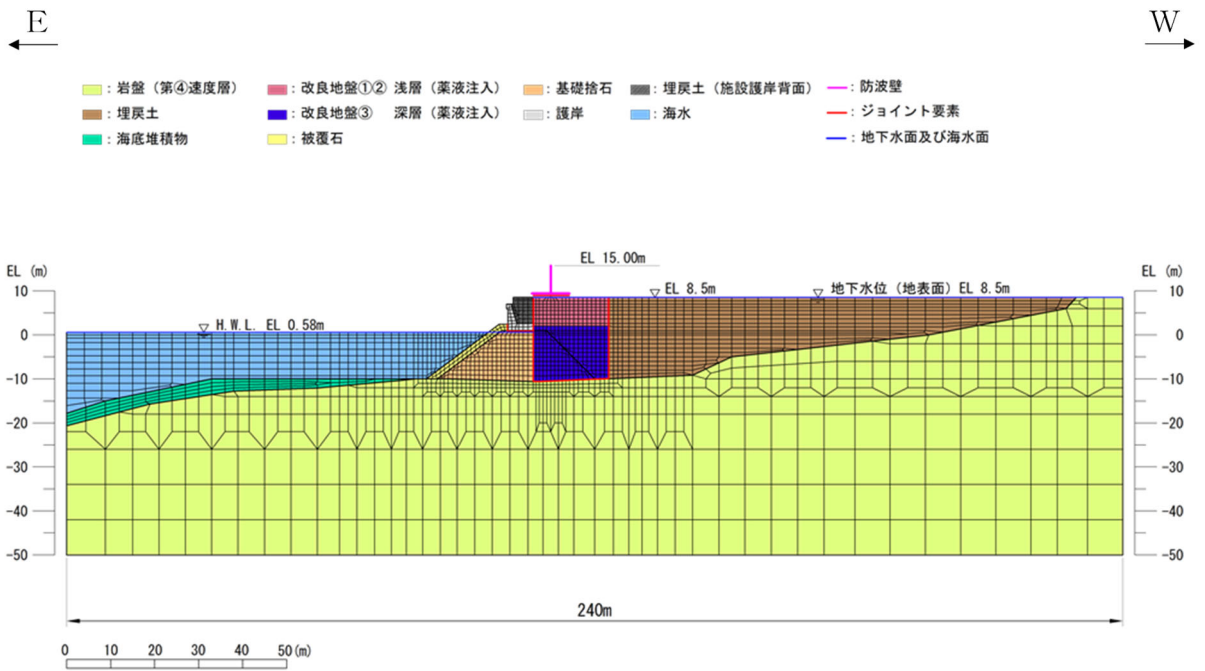


図 3-35 地震応答解析モデル (⑤-⑤断面)

## 3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。使用材料を表 3-4 に、材料の物性値を表 3-5 及び表 3-6 に示す。また、グラウンドアンカにおける非線形ばねモデルの概念図を図 3-36 に示す。

表 3-4 使用材料

材料		諸元
逆 T 擁壁	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm <sup>2</sup>
グラウンドアンカ		アンカー長：22.0m～30.0m, 極限引張り力：2800kN, 降伏引張り力：2400kN

表 3-5 材料の物性値（逆 T 擁壁）

材料		単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
逆 T 擁壁	鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10 <sup>4</sup> *	0.2*

注記\*：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）

表 3-6 材料の物性値（グラウンドアンカ）

材料		引張剛性 k (kN/m)	計画最大荷重 (降伏荷重) (kN)
グラウンドアンカ	①-①断面	20493	2400（陸側）
	⑤-⑤断面	14064	4800（海側）

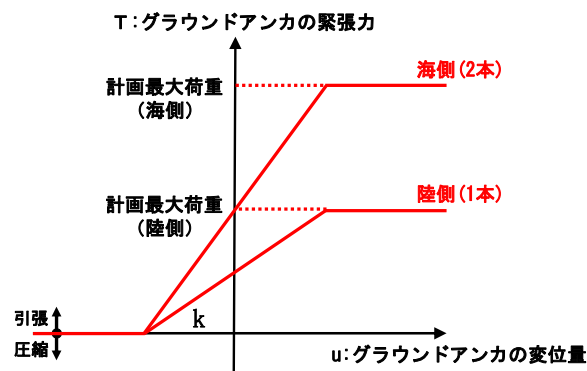


図 3-36 グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

### 3.5.3 地盤及び改良地盤の物性値

地盤の物性値は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

### 3.5.4 地下水位

設計用地地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計用地地下水位を表3-7に示す。

表3-7 設計用地下水位

施設名称	設計用地下水位
防波壁（逆T擁壁）	防波壁より陸側：EL 8.5m* 防波壁より海側：EL 0.58m

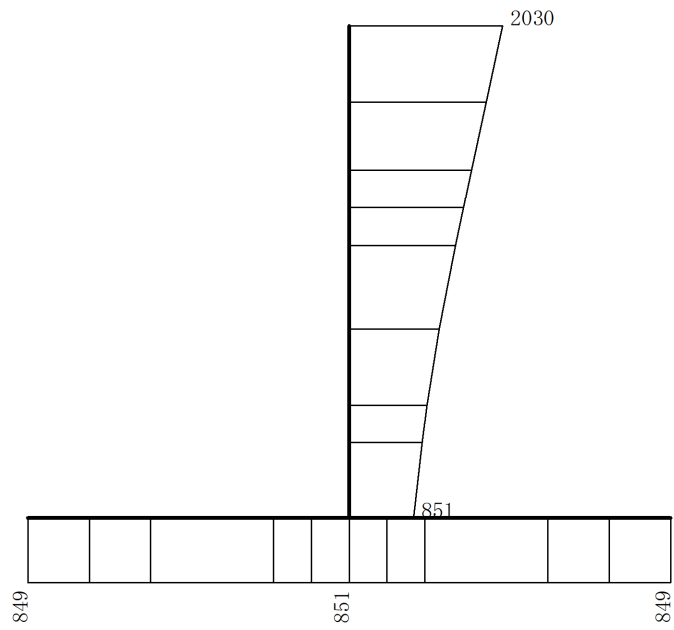
注記\*：地表面がEL 8.5mよりも低い地点については，地下水位を地表面とする。

#### 4. 解析結果

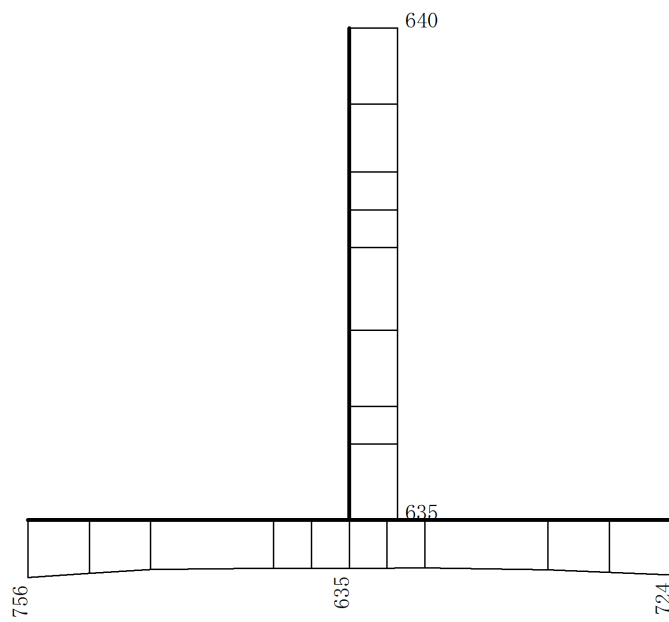
##### 4.1 ①－①断面の解析結果

耐震評価のために用いる応答加速度として、解析ケース①（基本ケース）について、すべての基準地震動  $S_s$  に対する最大加速度分布図を図 4-1～図 4-12 に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図 4-13～図 4-18 に示す。





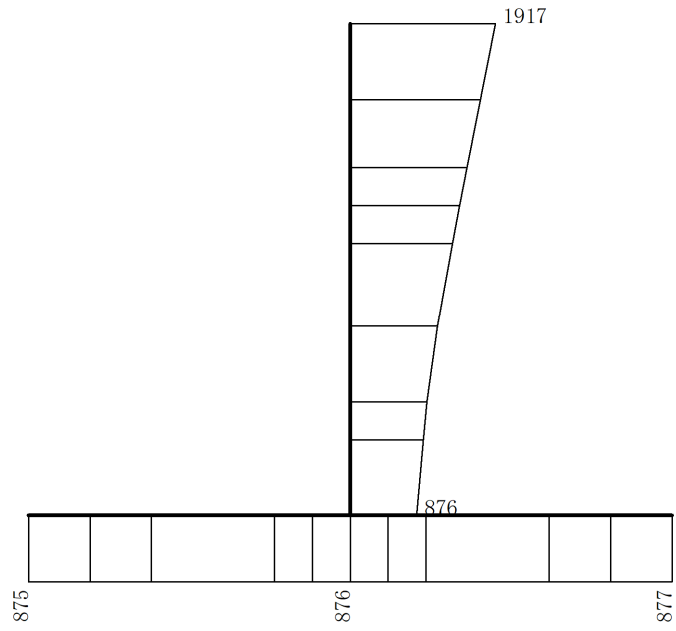
(a)  $S_s-D$  (++) 水平



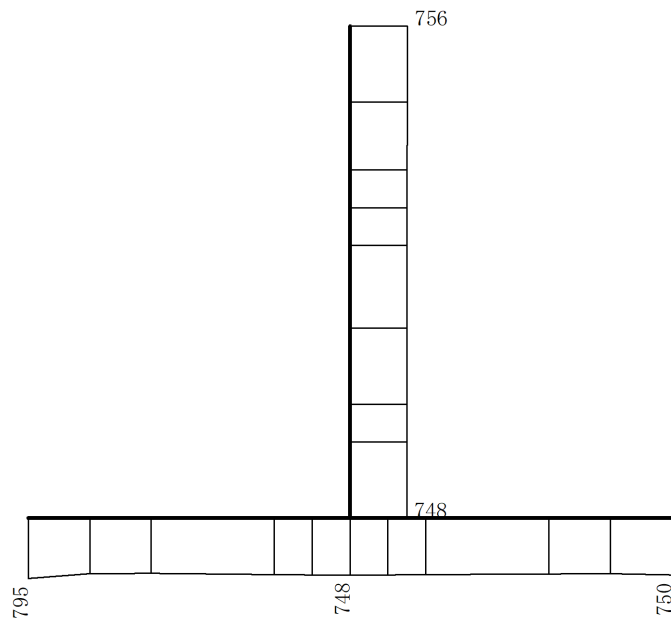
(b)  $S_s-D$  (++) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(m)$       応答値スケール  $0 \quad 1000(cm/s^2)$

図 4-1 最大応答加速度分布図 (1/18) (解析ケース①)



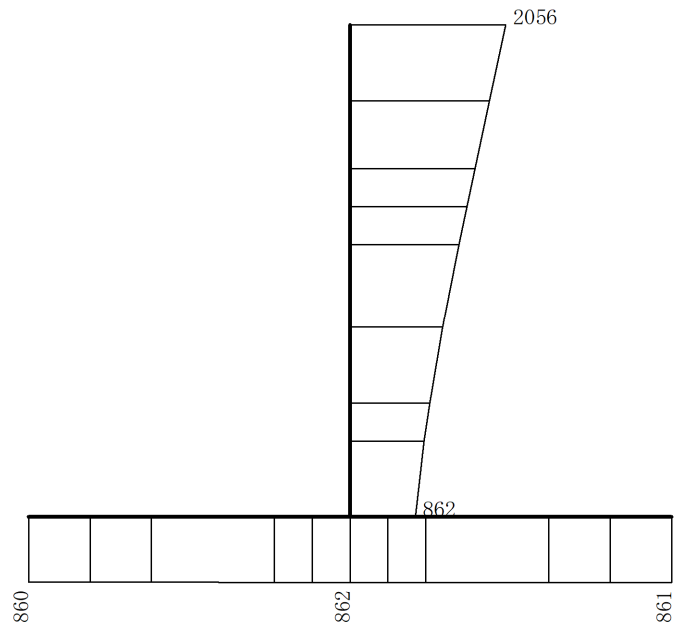
(a) S<sub>s</sub>-D (-+) 水平



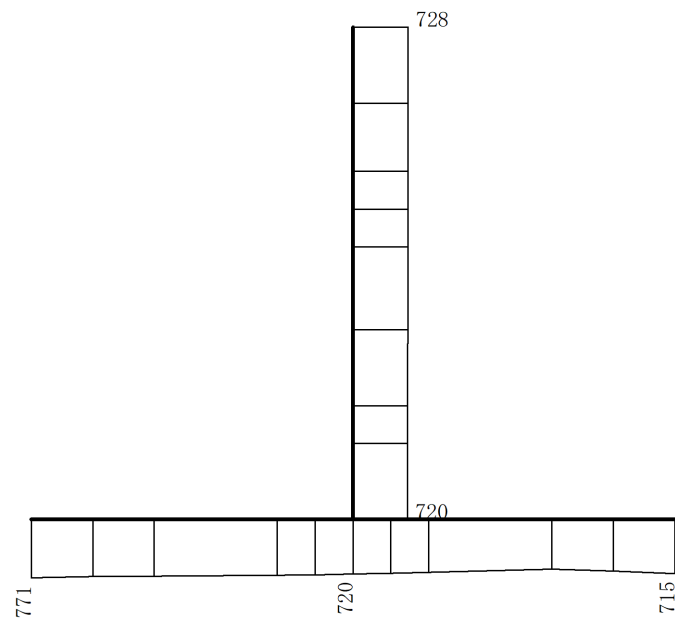
(b) S<sub>s</sub>-D (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m)      応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-2 最大応答加速度分布図 (2/18) (解析ケース①)



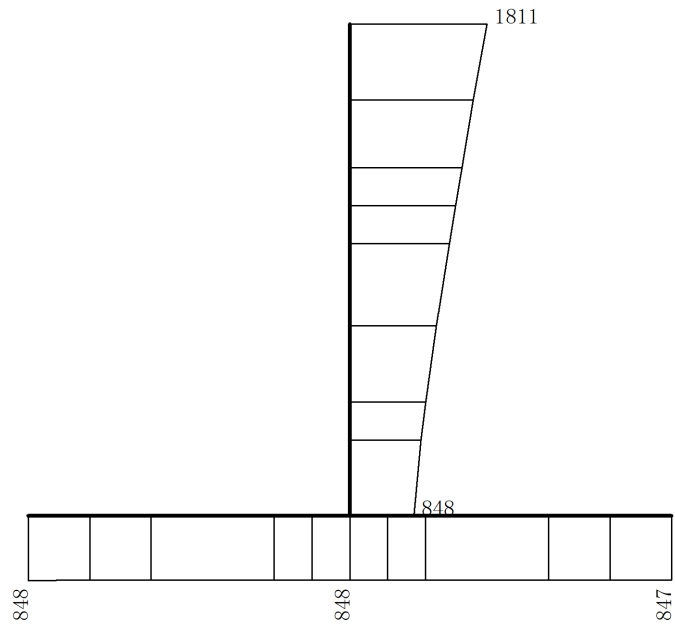
(a) S s - D ( + - ) 水平



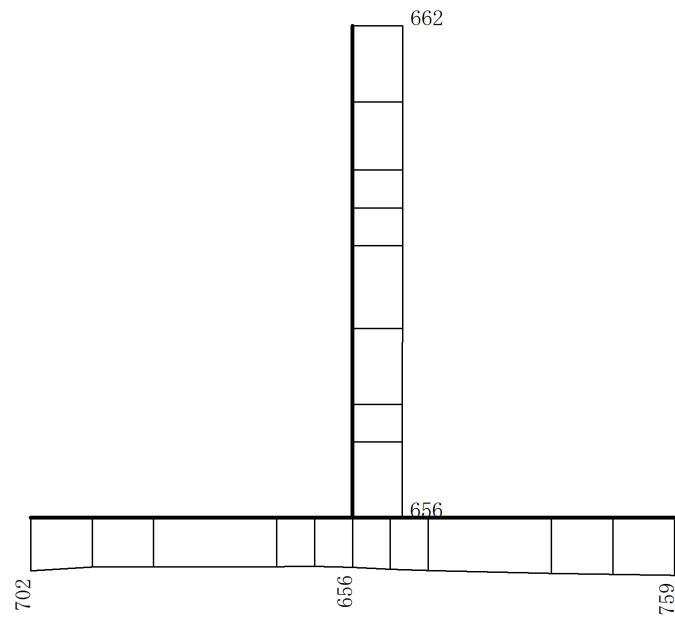
(b) S s - D ( + - ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-3 最大応答加速度分布図 (3/18) (解析ケース①)



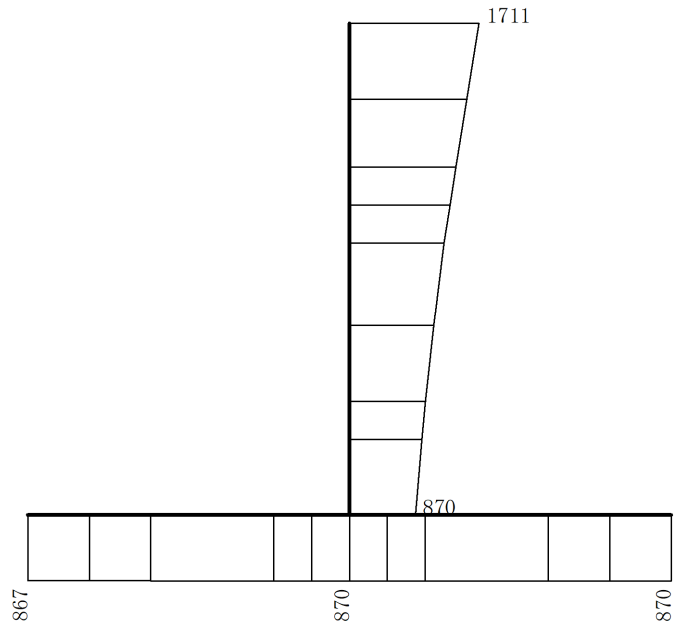
(a) S s - D ( - - ) 水平



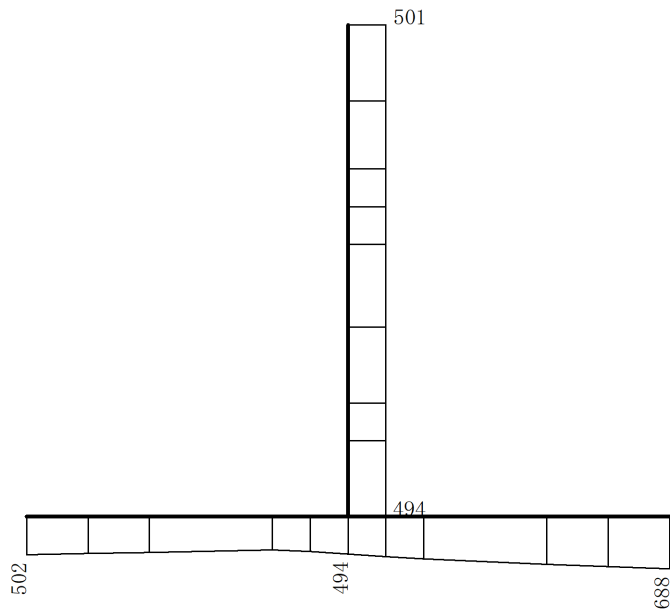
(b) S s - D ( - - ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-4 最大応答加速度分布図 (4/18) (解析ケース①)



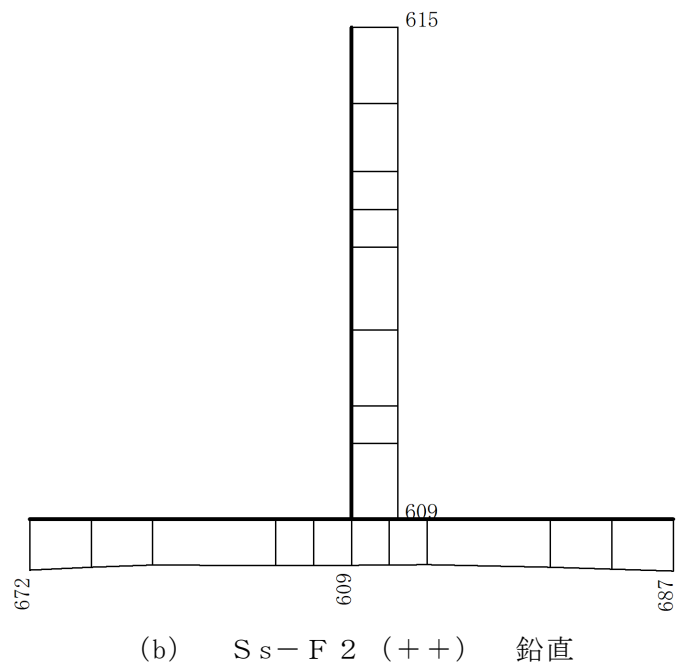
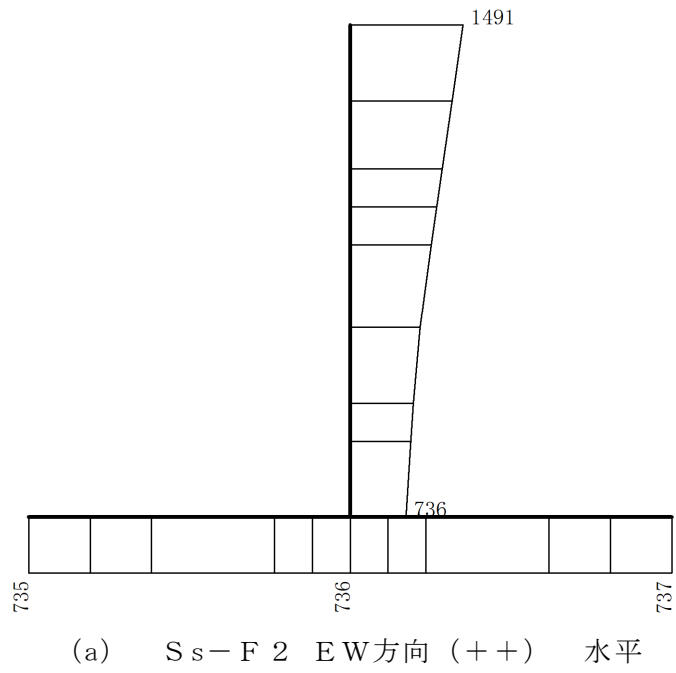
(a) S s - F 1 E W 方向 ( + + ) 水平



(b) S s - F 1 ( + + ) 鉛直

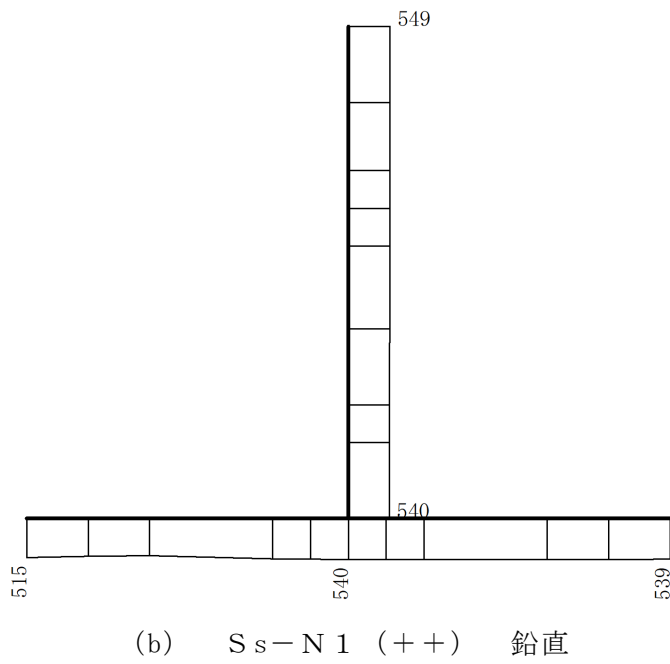
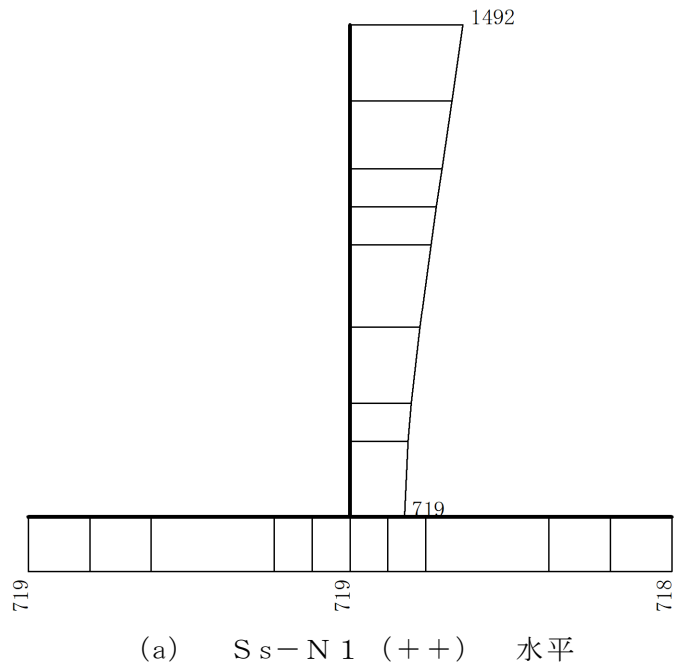
構造スケール  $0 \quad 1(m)$       応答値スケール  $0 \quad 1000(cm/s^2)$

図 4-5 最大応答加速度分布図 (5/18) (解析ケース①)



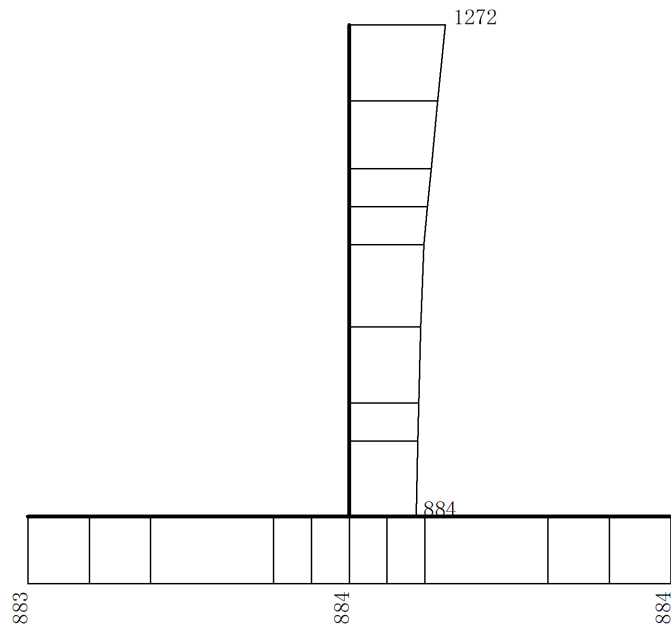
構造スケール  $0 \sim 1(m)$       応答値スケール  $0 \sim 1000(cm/s^2)$

図 4-6 最大応答加速度分布図 (6/18) (解析ケース①)

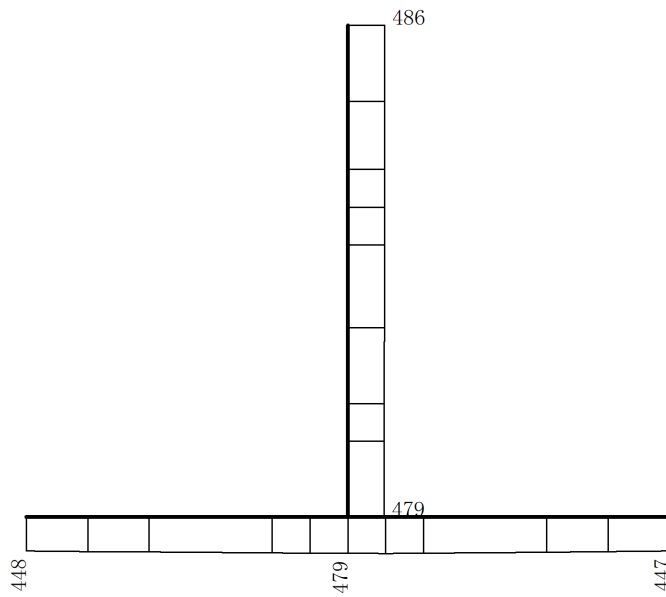


構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-7 最大応答加速度分布図 (7/18) (解析ケース①)



(a) S<sub>s</sub>-N 1 (-+) 水平

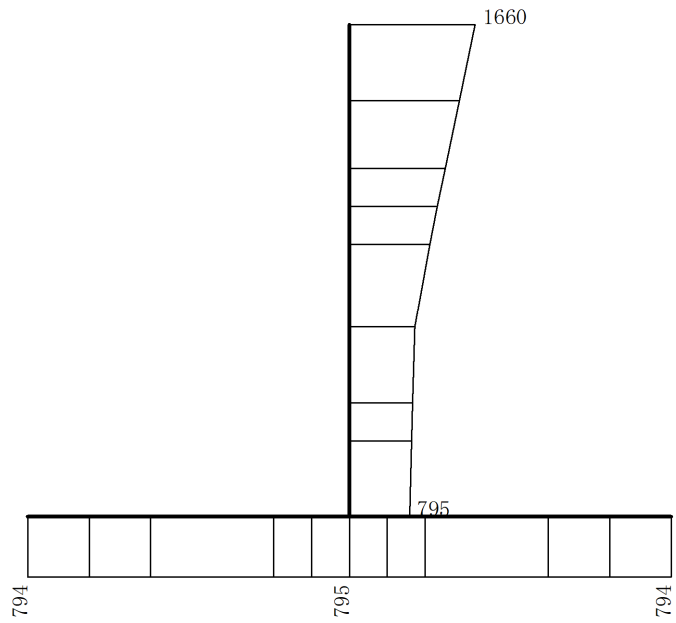


(b) S<sub>s</sub>-N 1 (-+) 鉛直

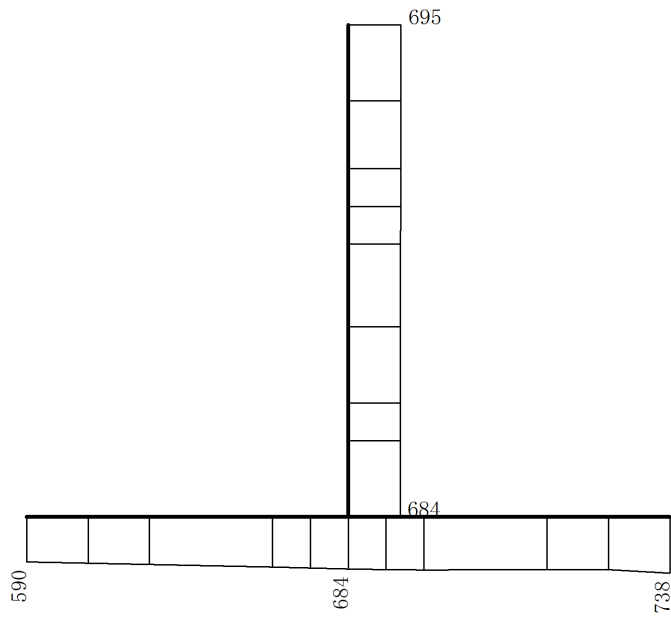
構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-8 最大応答加速度分布図 (8/18) (解析ケース①)





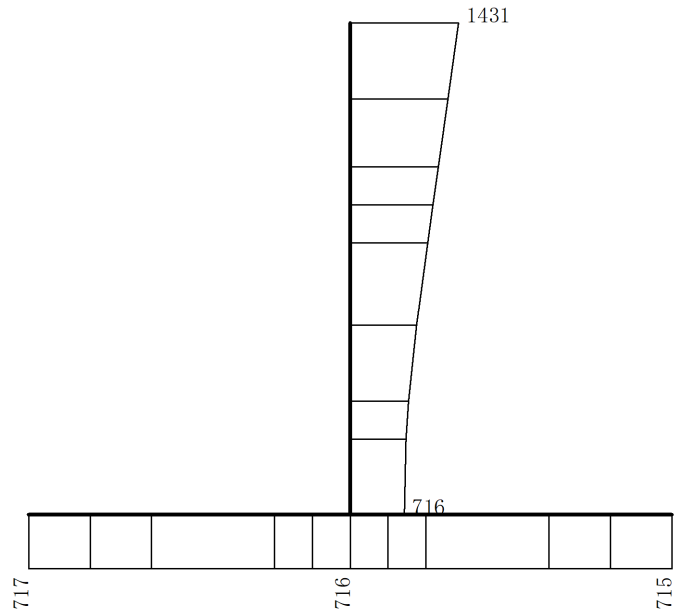
(a) S<sub>s</sub>-N<sub>2</sub> NS 方向 (++) 水平



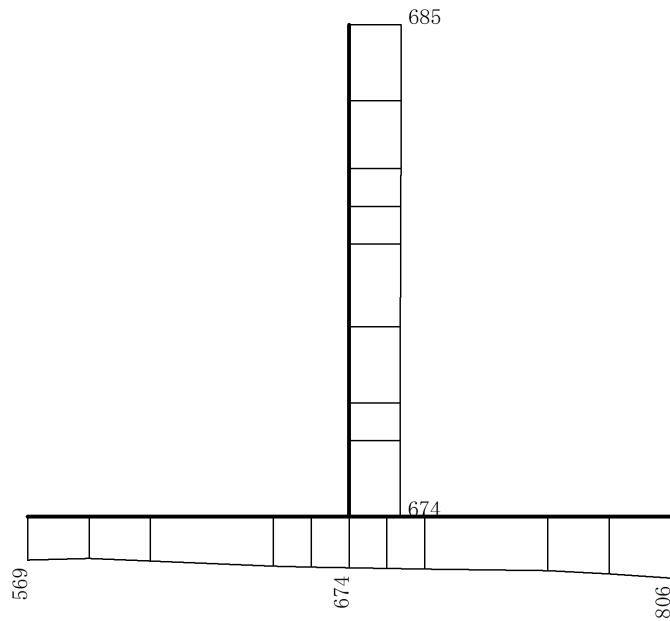
(b) S<sub>s</sub>-N<sub>2</sub> NS 方向 (++) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm/s}^2)$

図 4-9 最大応答加速度分布図 (9/18) (解析ケース①)



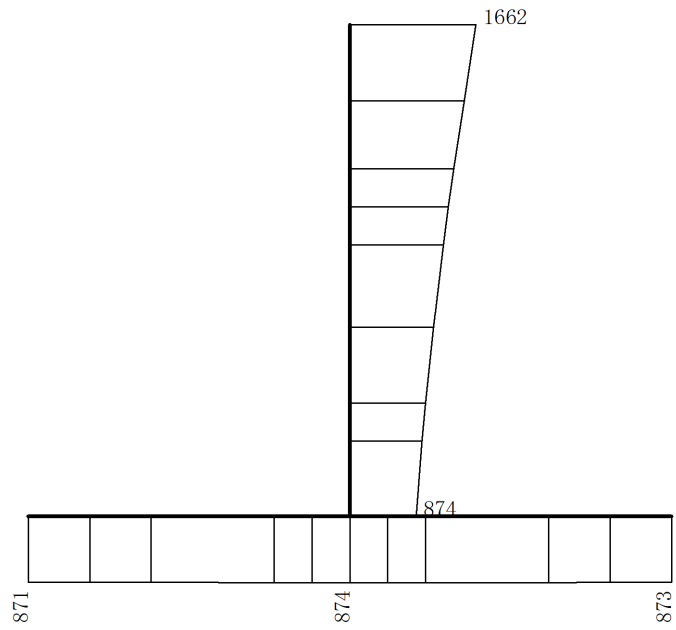
(a) Ss-N2 NS方向 (-+) 水平



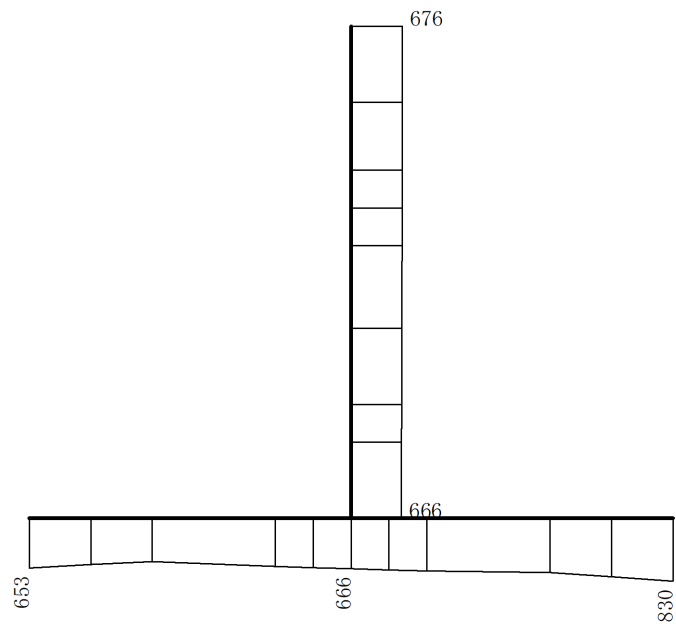
(b) Ss-N2 NS方向 (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m)      応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-10 最大応答加速度分布図 (10/18) (解析ケース①)



(a) S<sub>s</sub>-N<sub>2</sub> EW方向 (++) 水平



(b) S<sub>s</sub>-N<sub>2</sub> EW方向 (++) 鉛直



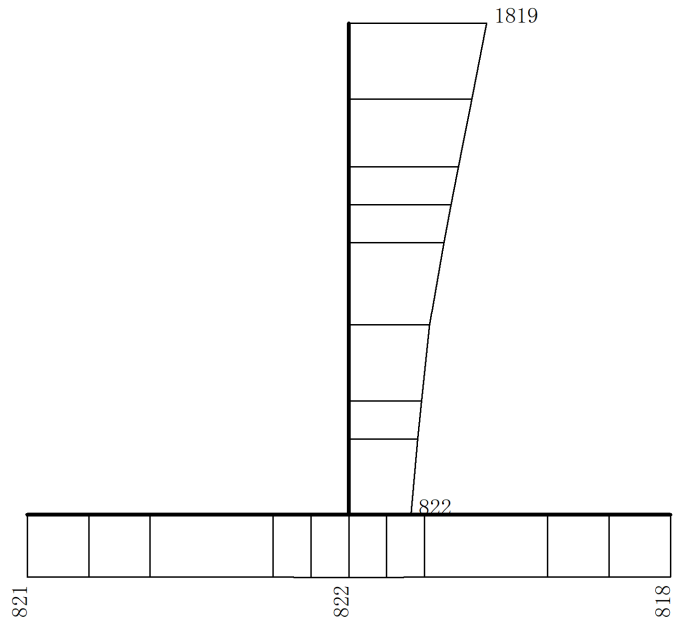
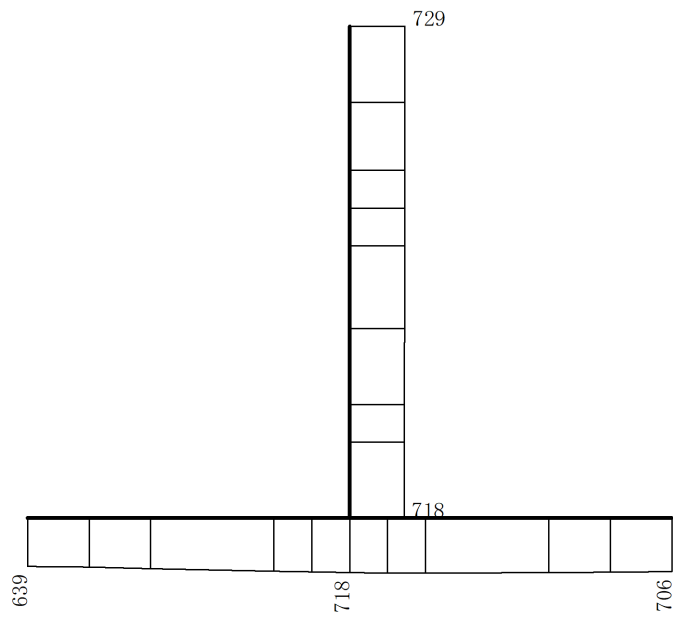
構造スケール 0  1(m)      応答値スケール 0  1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-11 最大応答加速度分布図 (11/18) (解析ケース①)



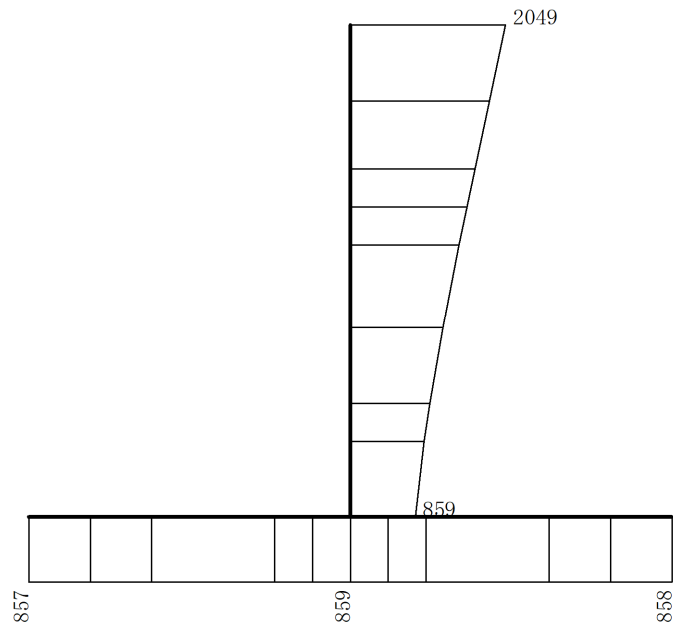
(a) S s - N 2 E W 方向 ( - + ) 水平



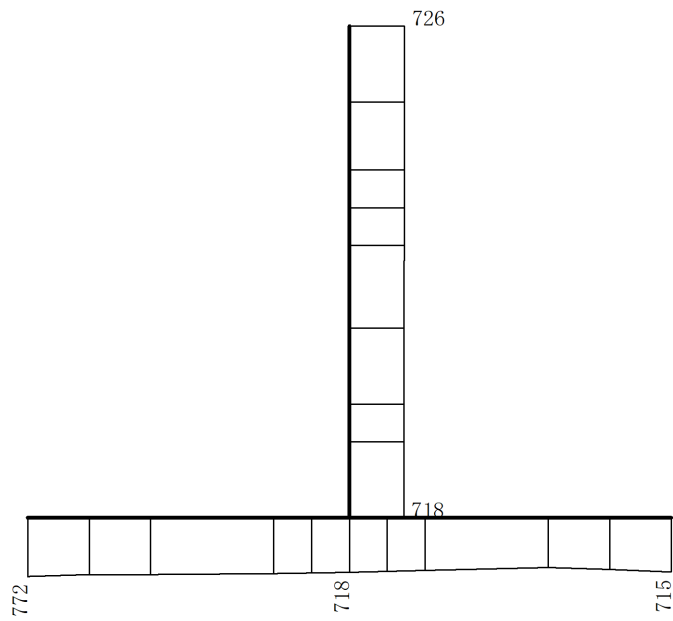
(b) S s - N 2 E W 方向 ( - + ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-12 最大応答加速度分布図 (12/18) (解析ケース①)



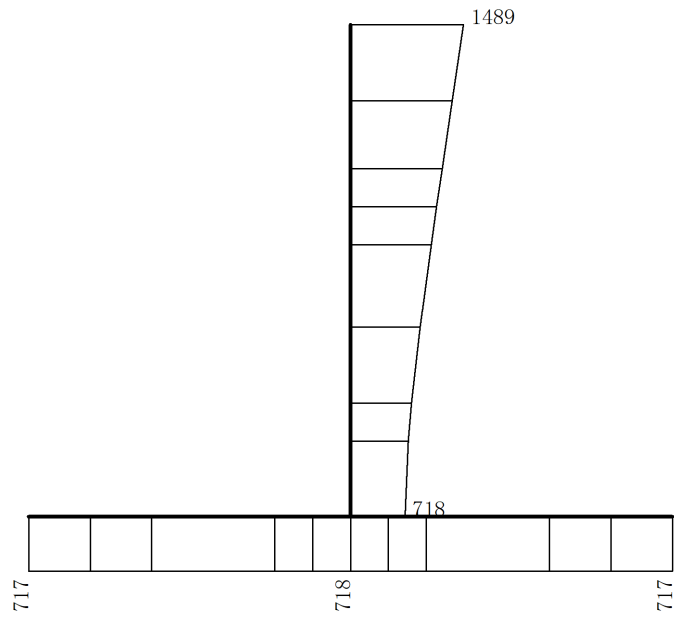
(a)  $S_s - D (+ -)$  水平



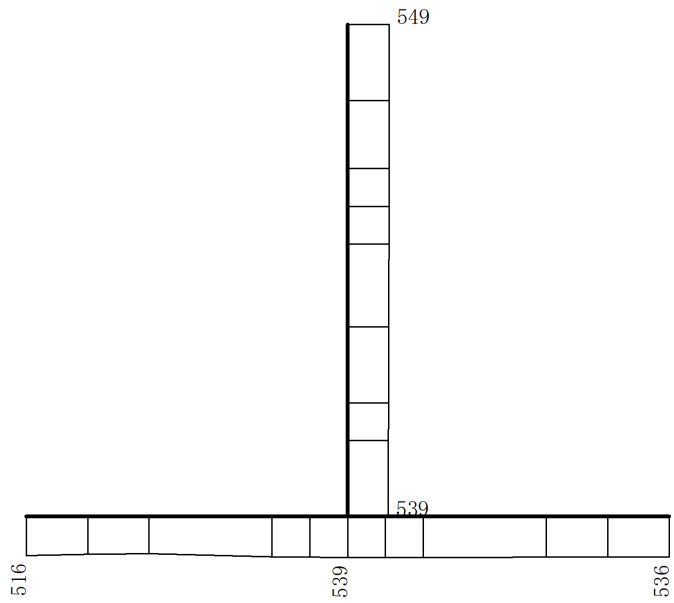
(b)  $S_s - D (+ -)$  鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(m)$       応答値スケール  $0 \quad 1000 (cm/s^2)$

図 4-13 最大応答加速度分布図 (13/18) (解析ケース②)



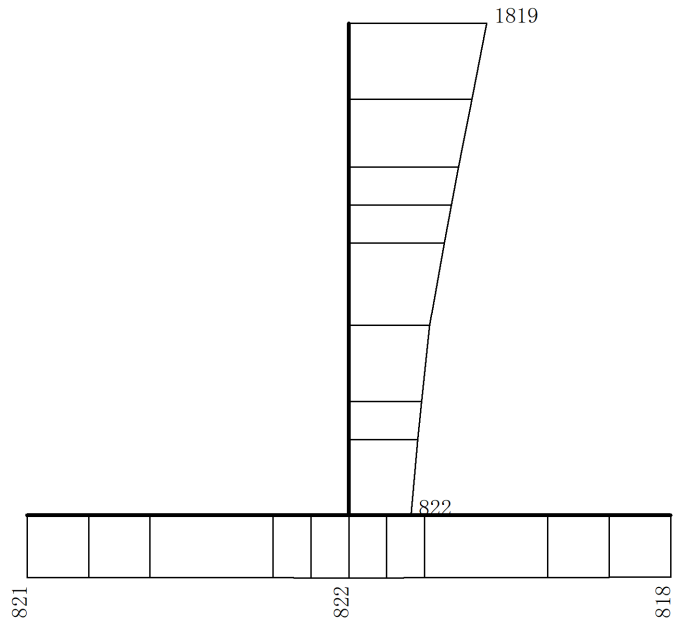
(a) S s - N 1 ( + + ) 水平



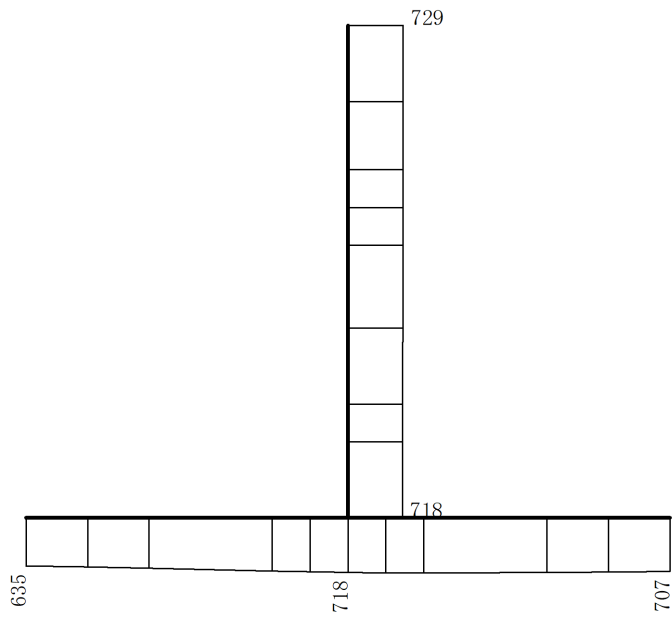
(b) S s - N 1 ( + + ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 1000(\text{cm/s}^2)$

図 4-14 最大応答加速度分布図 (14/18) (解析ケース②)



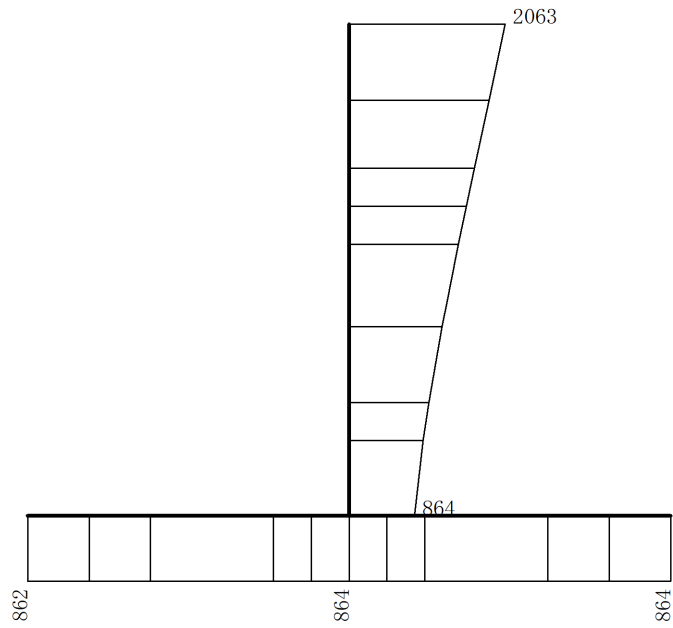
(a) S<sub>s</sub>-N2 EW方向 (-+) 水平



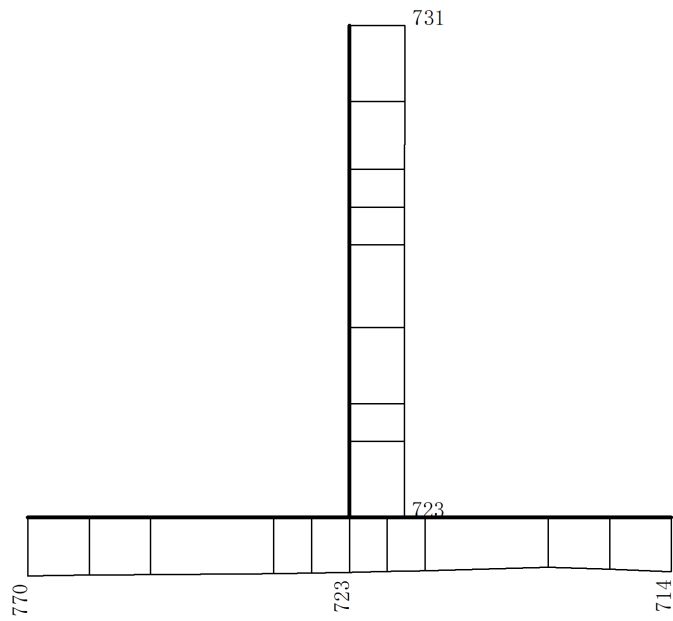
(b) S<sub>s</sub>-N2 EW方向 (-+) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-15 最大応答加速度分布図 (15/18) (解析ケース②)



(a) S<sub>s</sub>-D (+-) 水平



(b) S<sub>s</sub>-D (+-) 鉛直



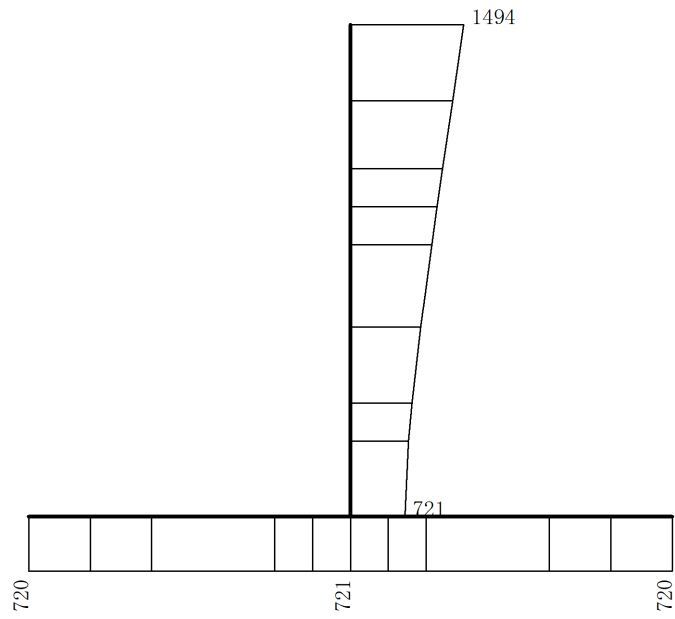
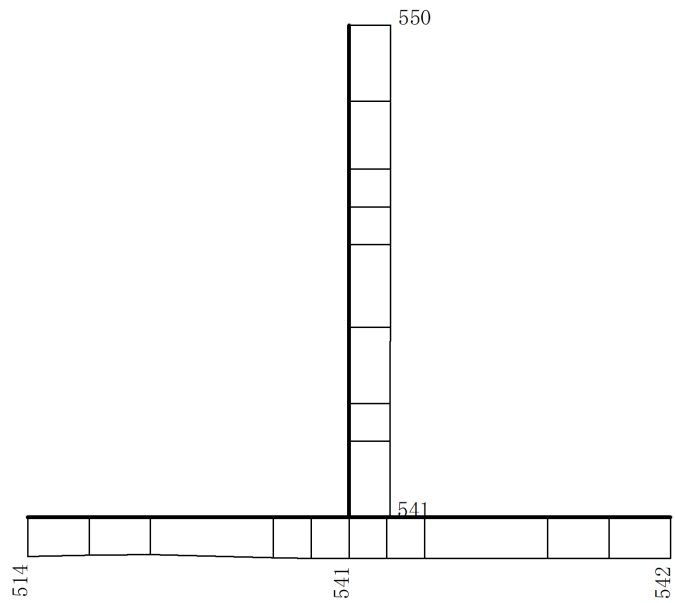
構造スケール 0  1(m)      応答値スケール 0  1000 (cm/s<sup>2</sup>)

図 4-16 最大応答加速度分布図 (16/18) (解析ケース③)





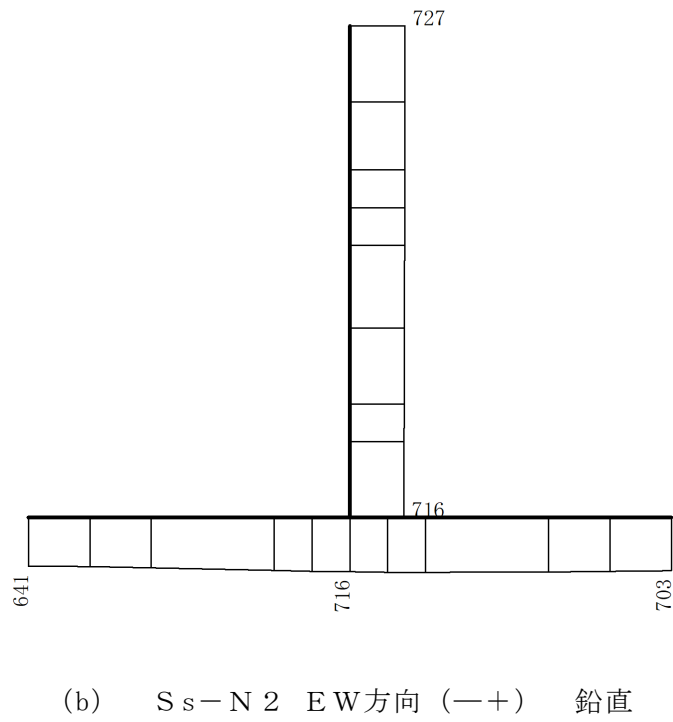
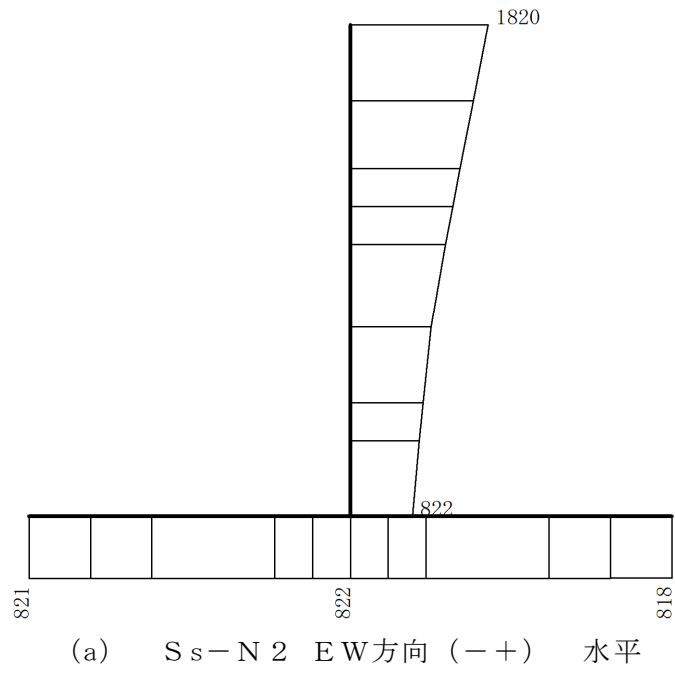
(a) S s - N 1 ( + + ) 水平



(b) S s - N 1 ( + + ) 鉛直

構造スケール  $0 \sim 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \sim 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-17 最大応答加速度分布図 (17/18) (解析ケース③)

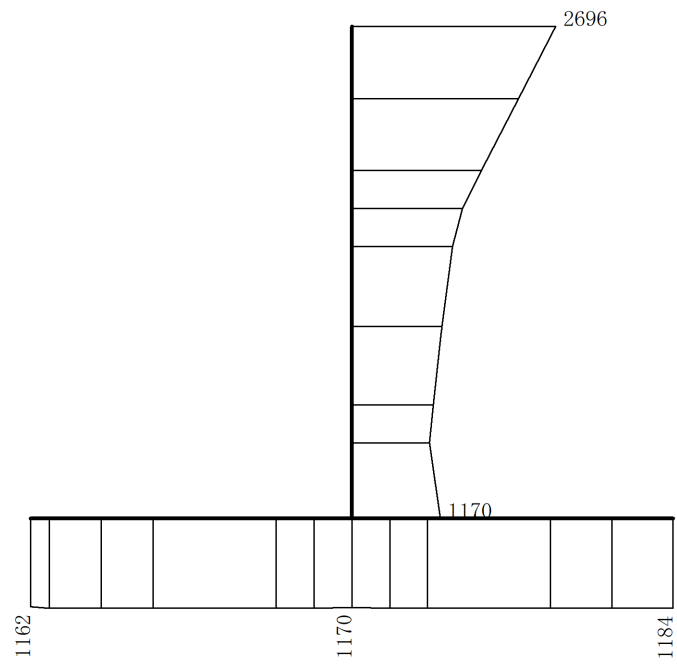


構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

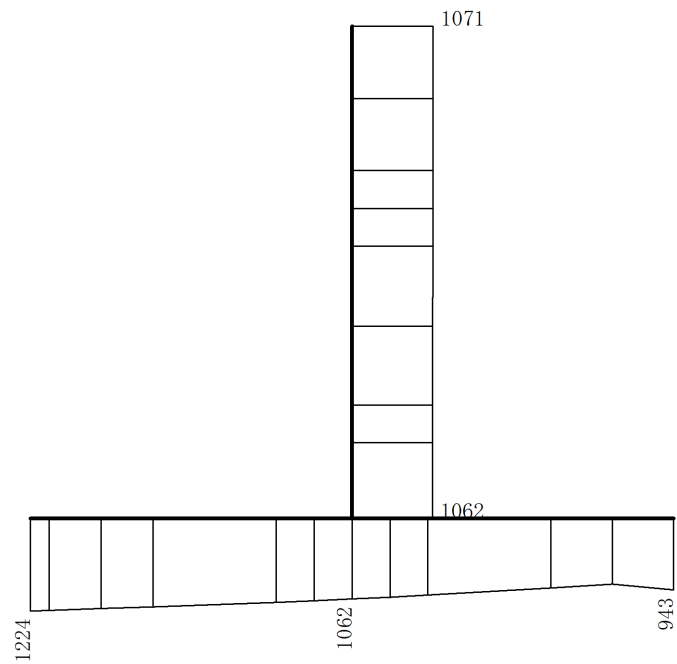
図 4-18 最大応答加速度分布図 (18/18) (解析ケース③)

#### 4.2 ⑤－⑤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4-19～図4-30に示す。また、解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査において照査値が最大となる地震動について、解析ケース②及び③の最大加速度分布図を図4-31～図4-34に示す。



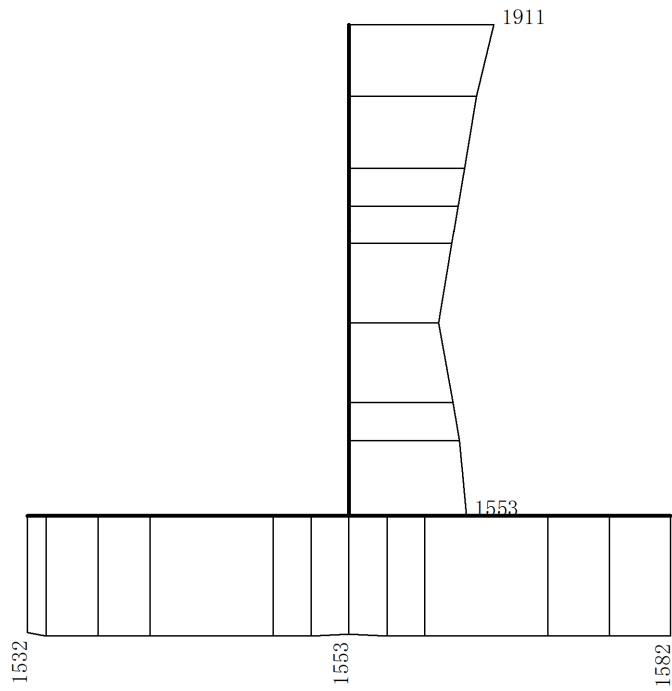
(a) S s - D (++) 水平



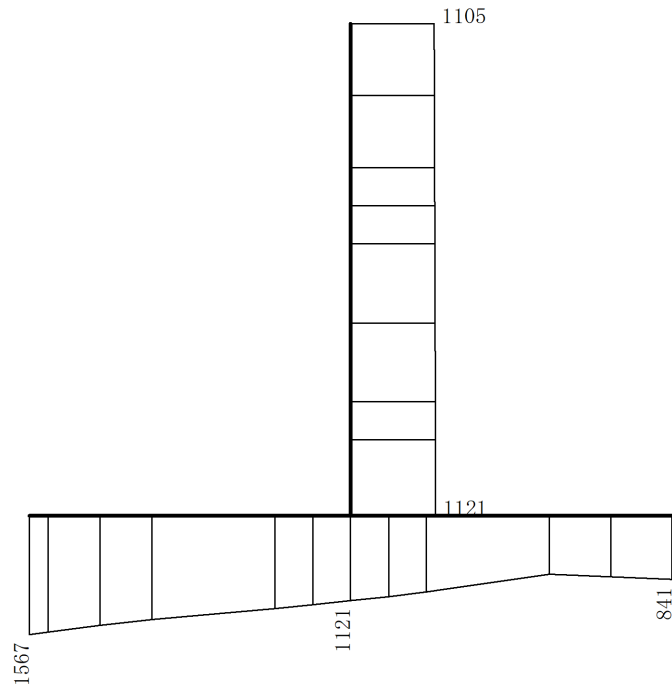
(b) S s - D (++) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-19 最大応答加速度分布図 (1/16) (解析ケース①)



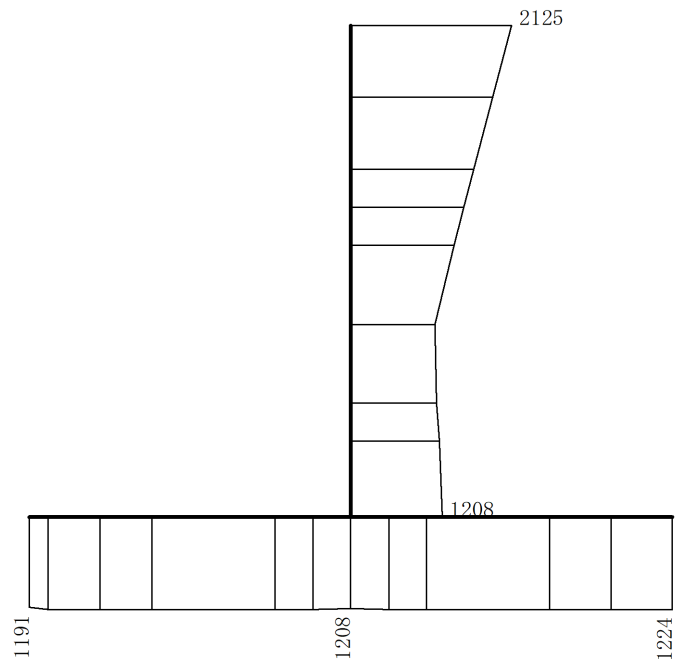
(a) S s - D ( - + ) 水平



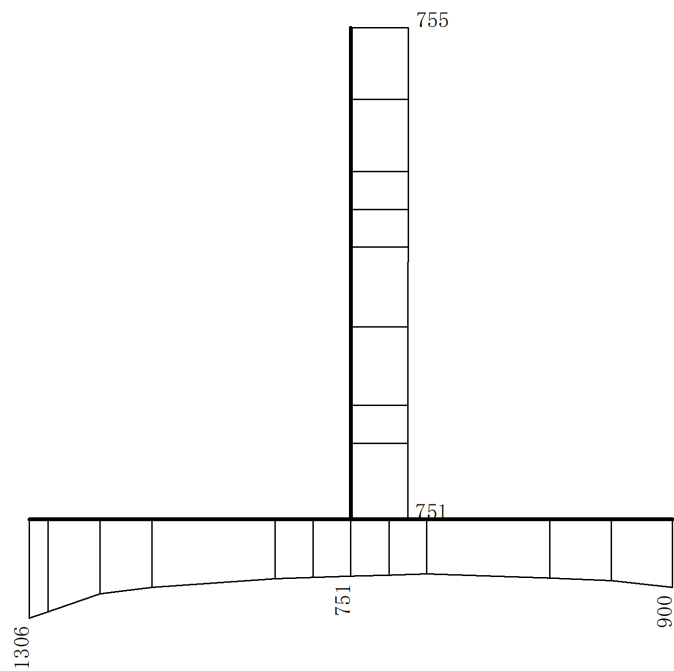
(b) S s - D ( - + ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-20 最大応答加速度分布図 (2/16) (解析ケース①)



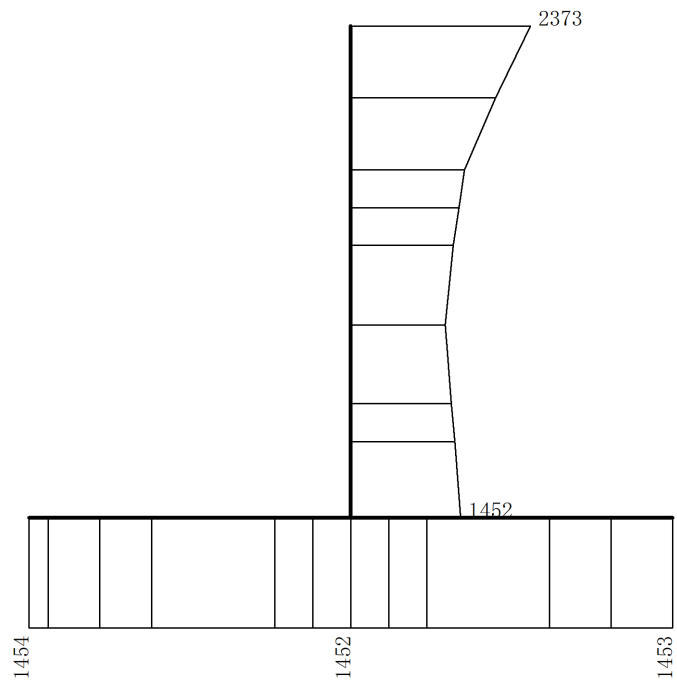
(a) S s - D ( + - ) 水平



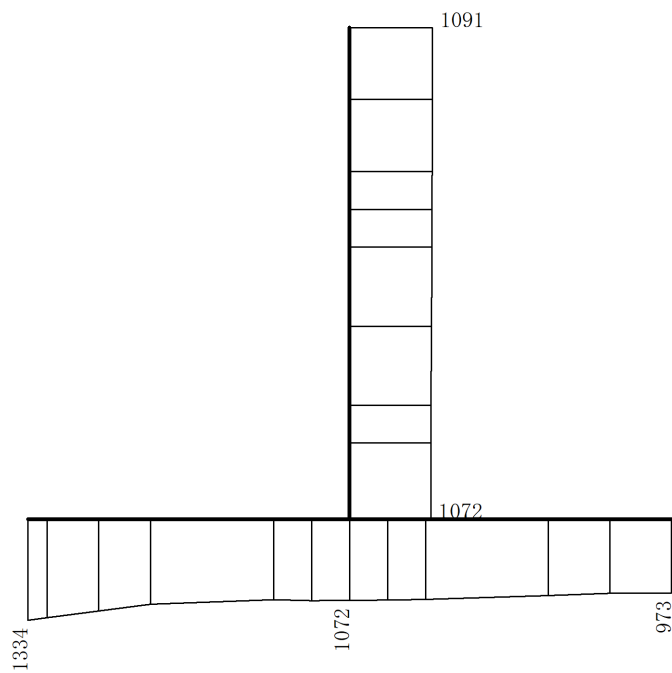
(b) S s - D ( + - ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-21 最大応答加速度分布図 (3/16) (解析ケース①)



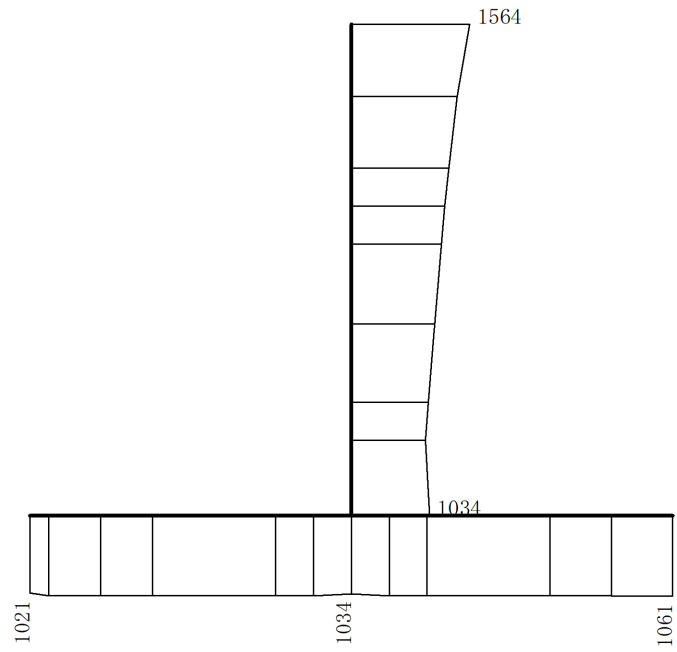
(a) S s - D ( -- ) 水平



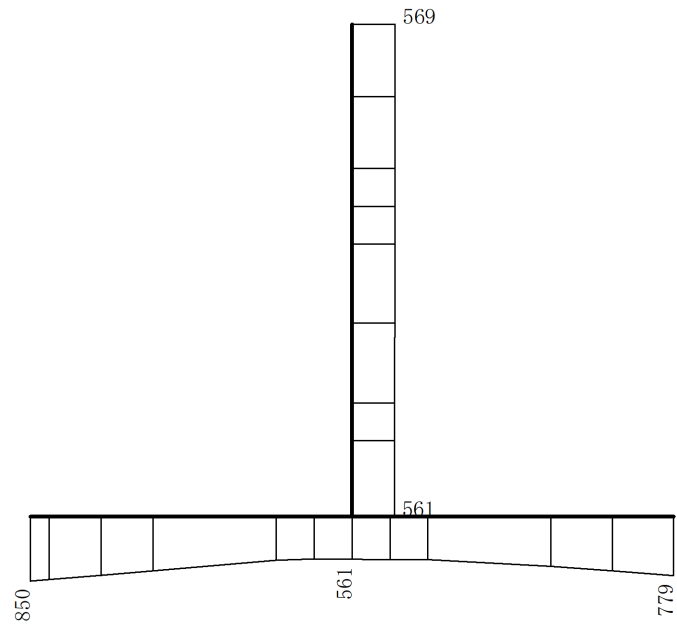
(b) S s - D ( -- ) 鉛直

構造スケール 0 1(m)      応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-22 最大応答加速度分布図 (4/16) (解析ケース①)



(a) S s - F 1 (++) 水平

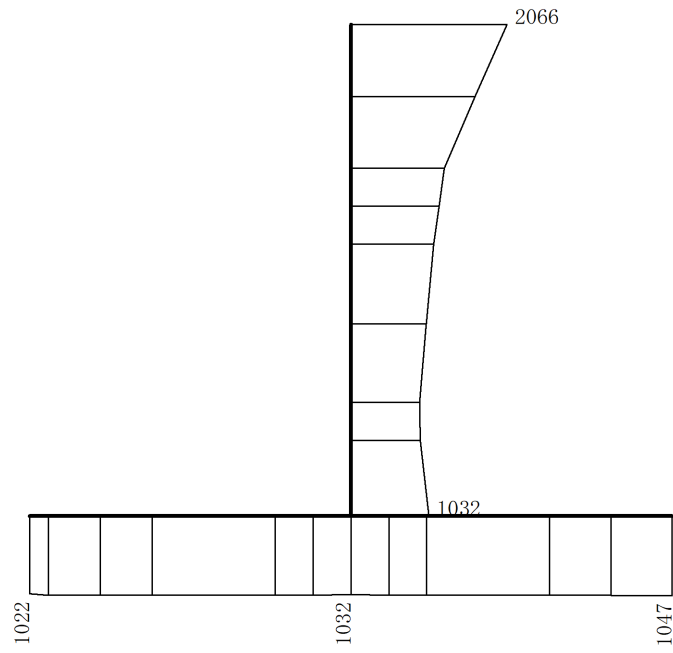


(b) S s - F 1 (++) 鉛直

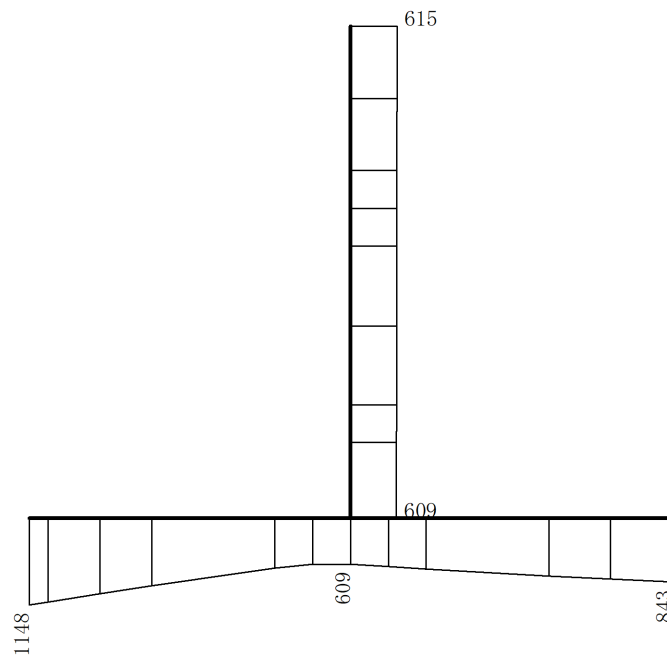
構造スケール 0 1(m)      応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-23 最大応答加速度分布図 (5/16) (解析ケース①)





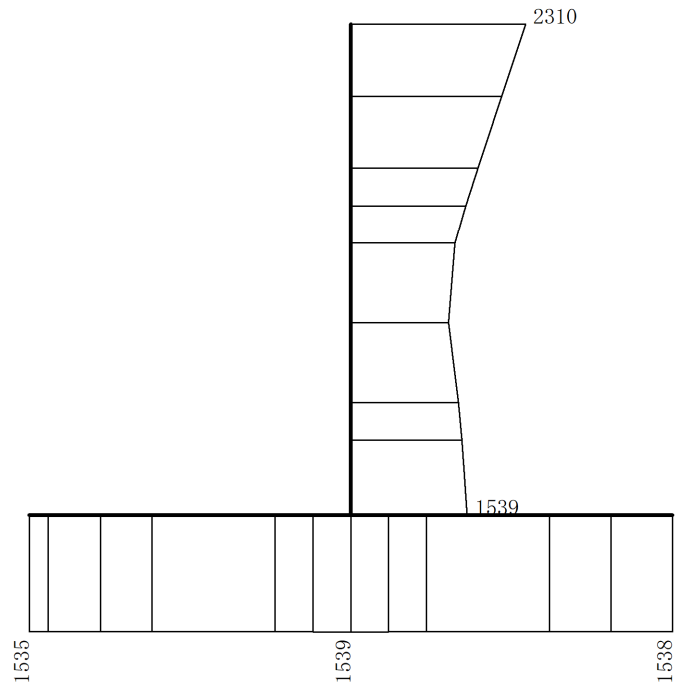
(a) S s - F 2 (++) 水平



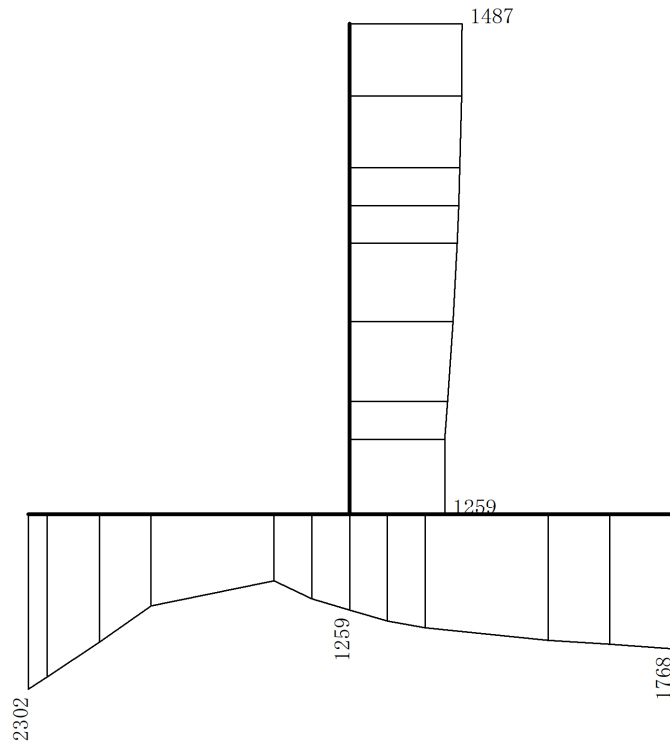
(b) S s - F 2 (++) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-24 最大応答加速度分布図 (6/16) (解析ケース①)



(a) S s - N 1 ( + + ) 水平

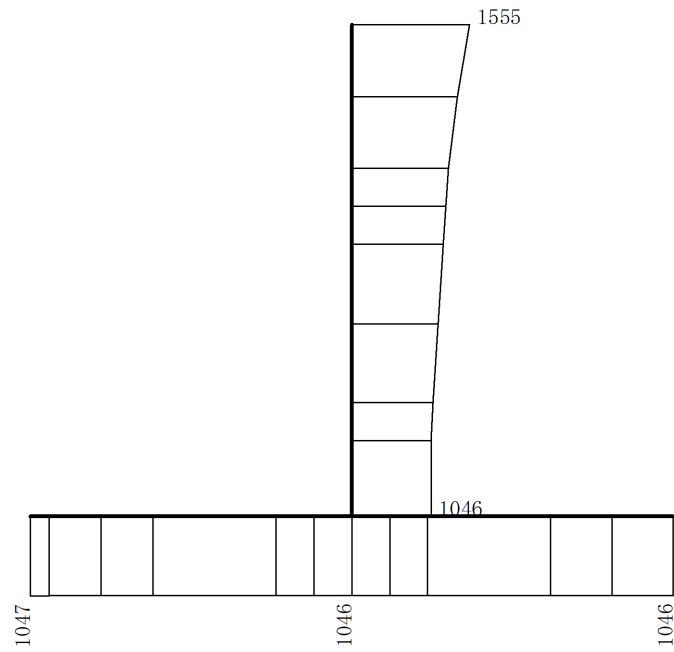


(b) S s - N 1 ( + + ) 鉛直

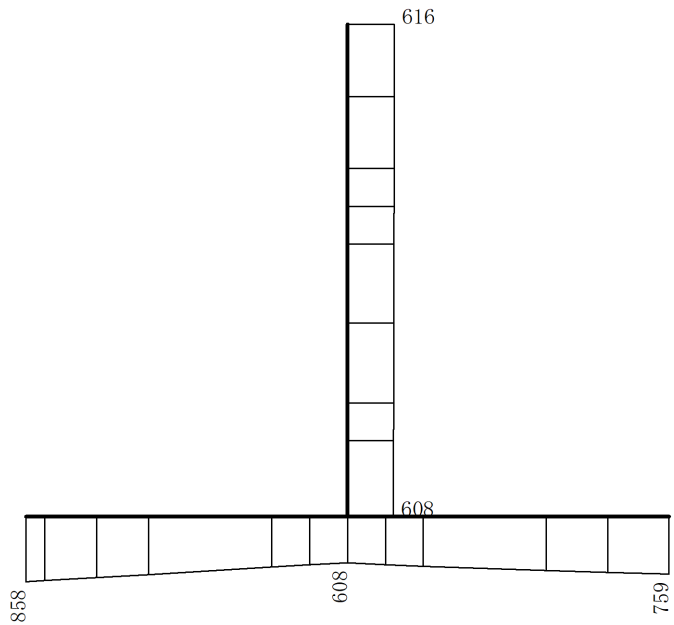
構造スケール 0 1(m)

応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-25 最大応答加速度分布図 (7/16) (解析ケース①)



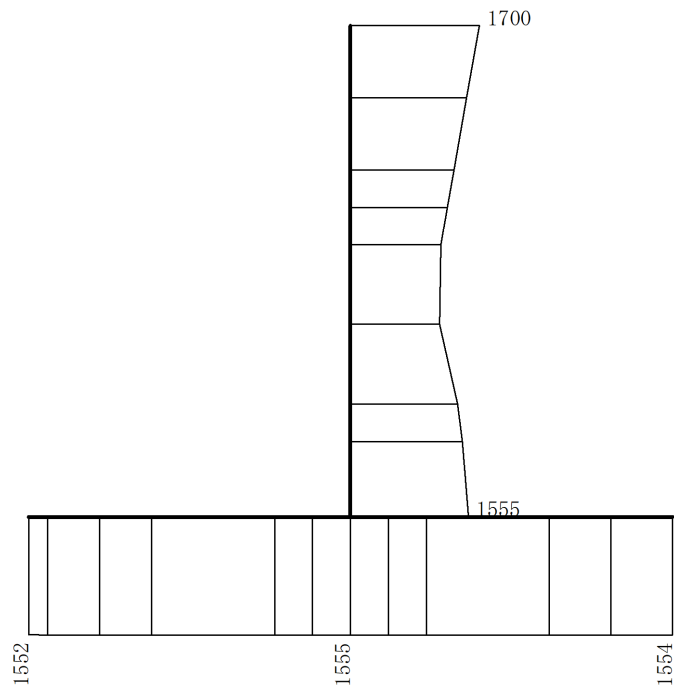
(a) S s - N 1 ( - + ) 水平



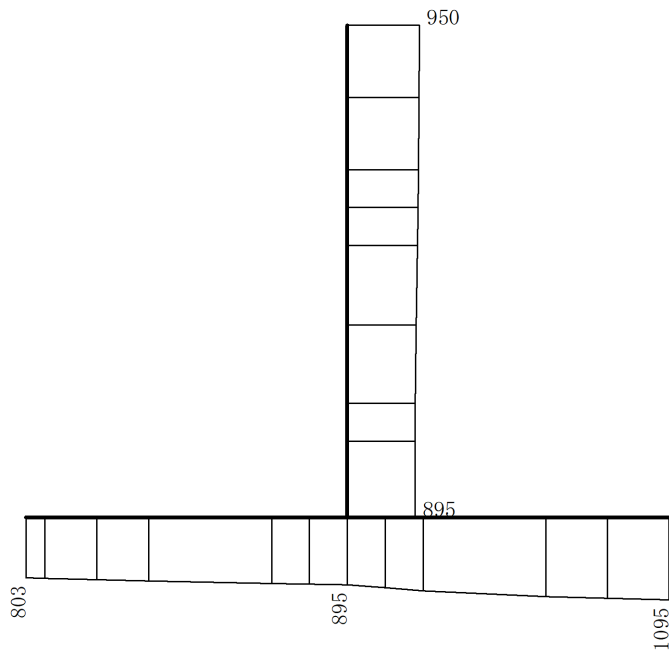
(b) S s - N 1 ( - + ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad \underline{\hspace{1cm}} \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-26 最大応答加速度分布図 (8/16) (解析ケース①)



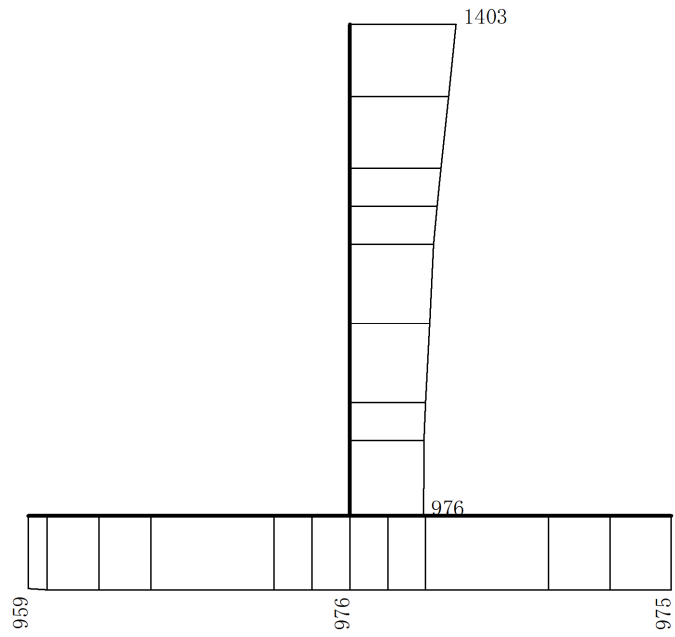
(a) S s - N 2 NS 方向 (++) 水平



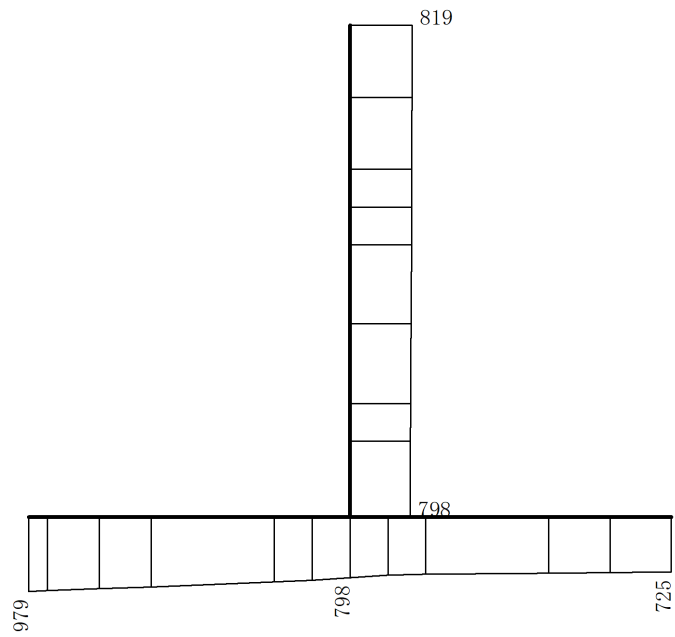
(b) S s - N 2 NS 方向 (++) 鉛直

構造スケール 0 1(m)      応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-27 最大応答加速度分布図 (9/16) (解析ケース①)



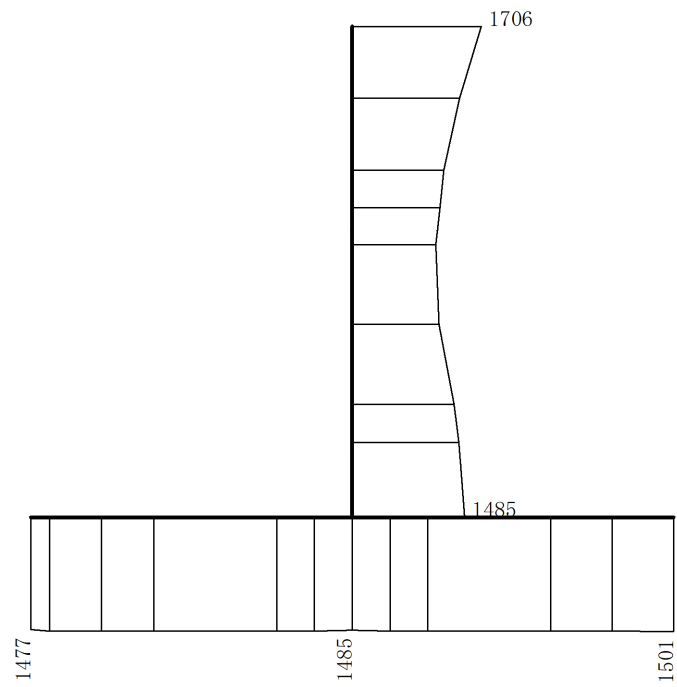
(a) S s - N 2 NS 方向 ( - + ) 水平



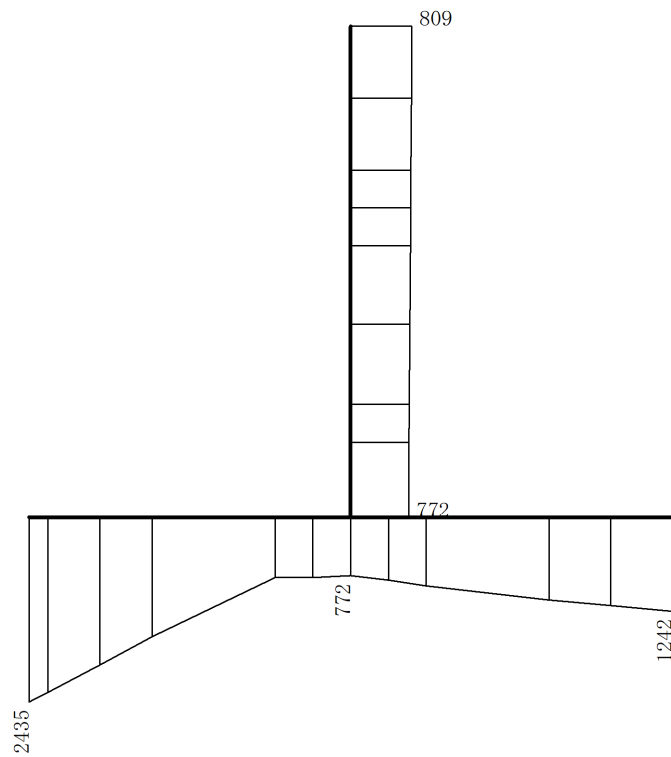
(b) S s - N 2 NS 方向 ( - + ) 鉛直

構造スケール  $0 \sim 1$  (m)      応答値スケール  $0 \sim 1000$  (cm/s<sup>2</sup>)

図 4-28 最大応答加速度分布図 (10/16) (解析ケース①)



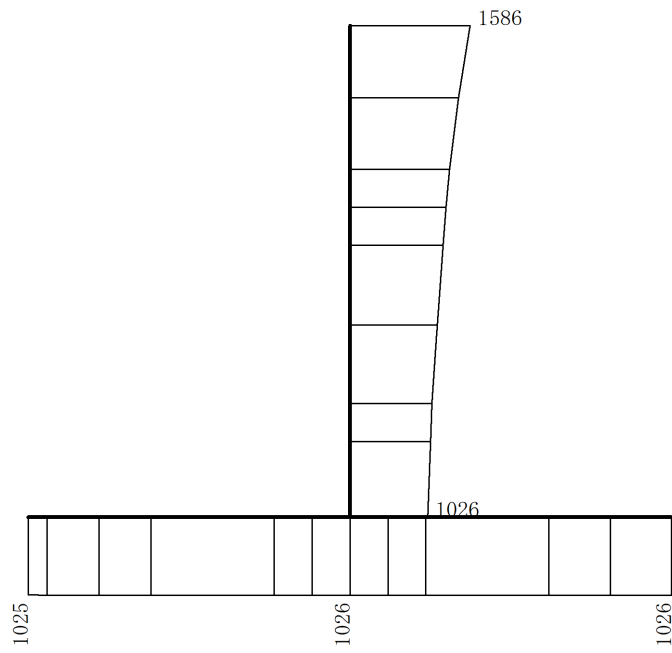
(a) S s - N 2 EW方向 (++) 水平



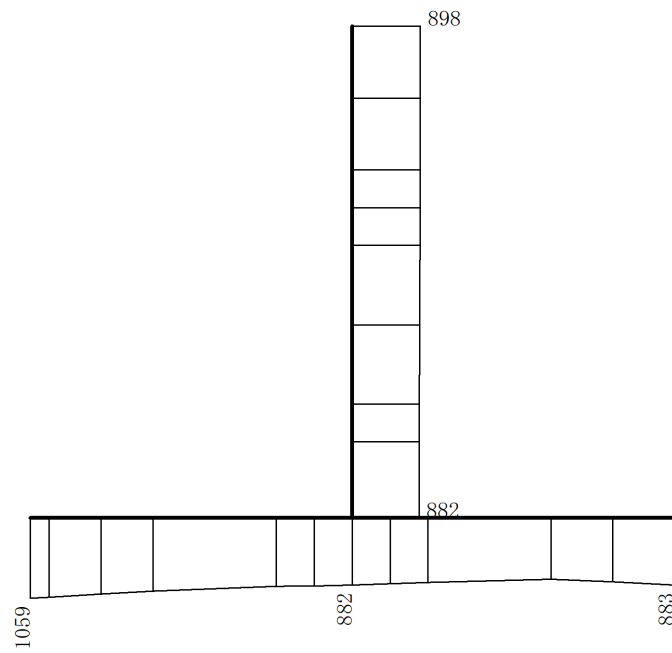
(b) S s - N 2 EW方向 (++) 鉛直

構造スケール  $0 \sim 1$ (m)      応答値スケール  $0 \sim 1000$ ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

図 4-29 最大応答加速度分布図 (11/16) (解析ケース①)



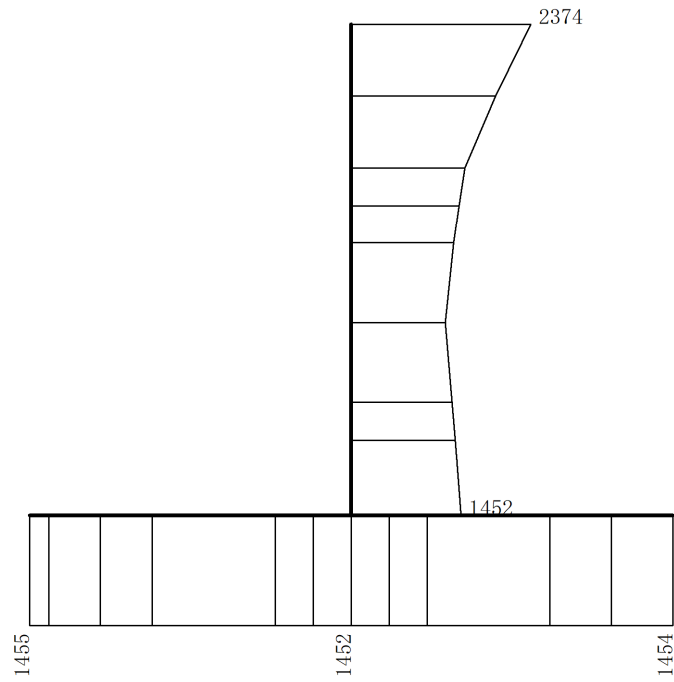
(a) S s - N 2 EW方向 (-+) 水平



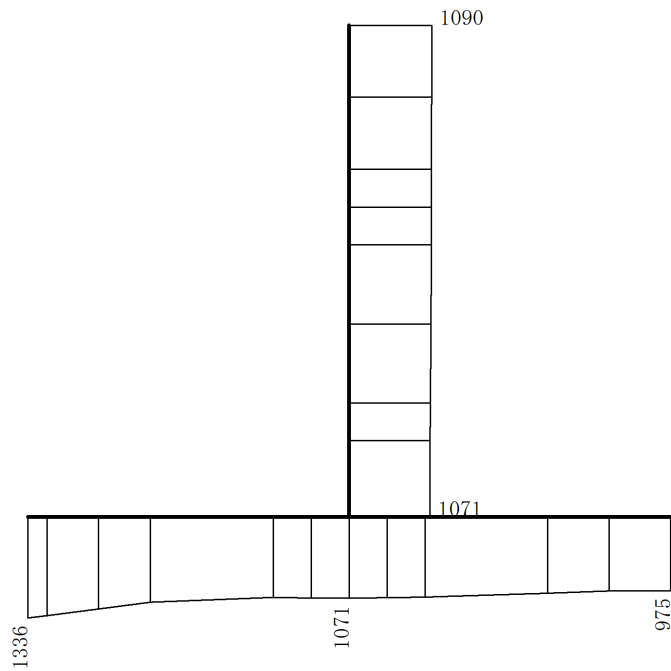
(b) S s - N 2 EW方向 (-+) 鉛直

構造スケール 0 1(m)      応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-30 最大応答加速度分布図 (12/16) (解析ケース①)



(a)  $S_s - D$  (---) 水平



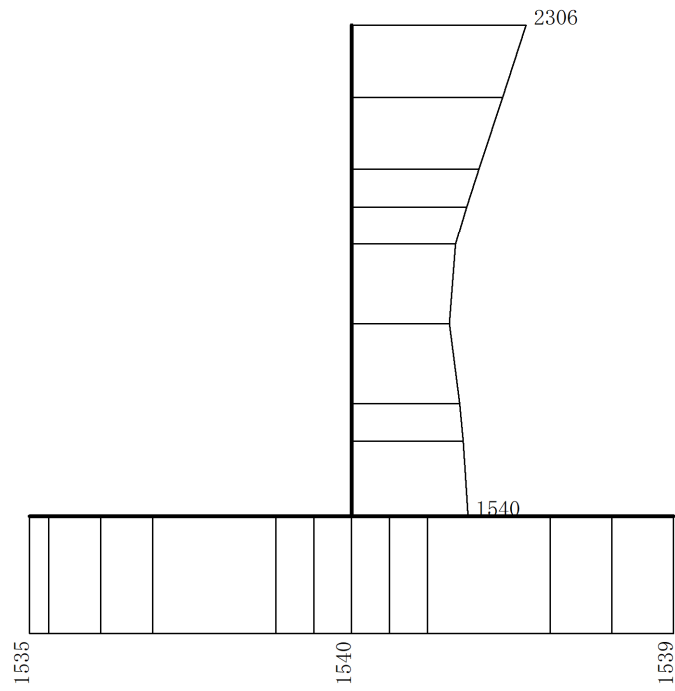
(b)  $S_s - D$  (---) 鉛直

構造スケール 0 1(m)

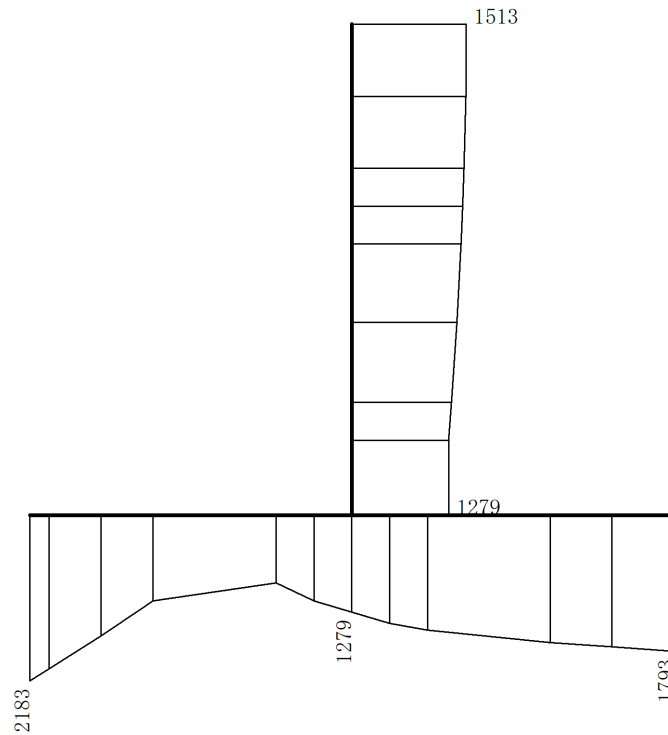
応答値スケール 0 1000( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

図 4-31 最大応答加速度分布図 (13/16) (解析ケース②)





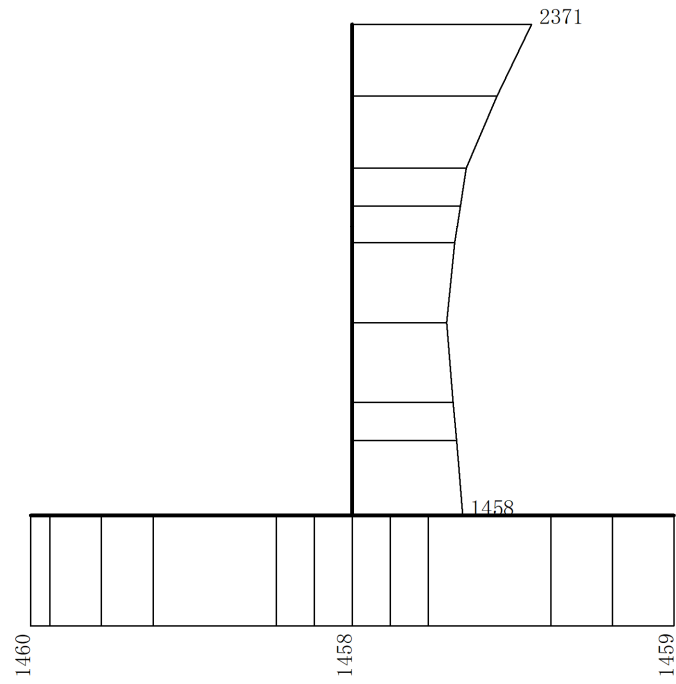
(a) S s - N 1 ( + + ) 水平



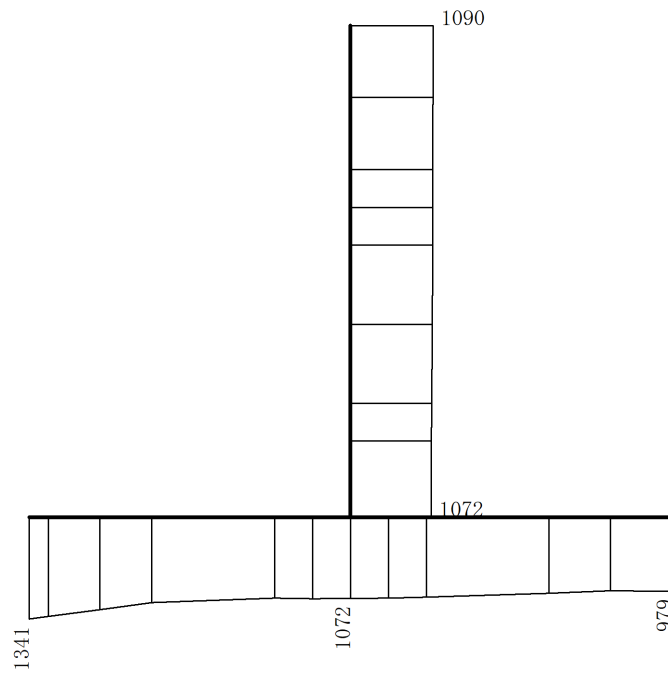
(b) S s - N 1 ( + + ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-32 最大応答加速度分布図 (14/16) (解析ケース②)



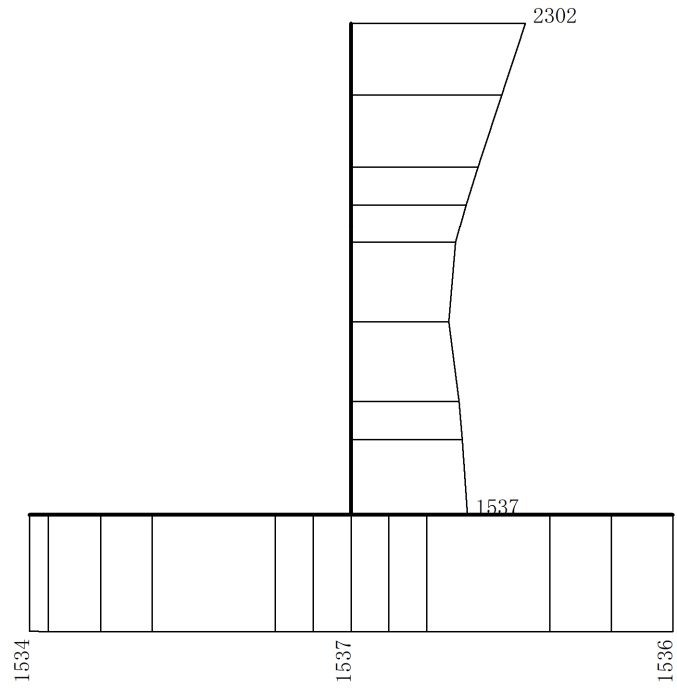
(a) S s - D ( - - ) 水平



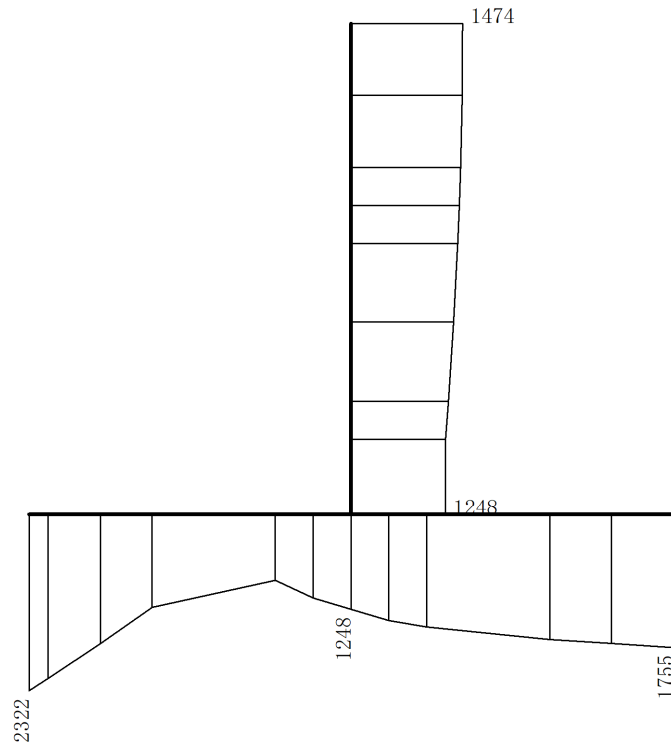
(b) S s - D ( - - ) 鉛直

構造スケール  $0 \quad 1(\text{m})$       応答値スケール  $0 \quad 1000(\text{cm}/\text{s}^2)$

図 4-33 最大応答加速度分布図 (15/16) (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 1(m)      応答値スケール 0 1000(cm/s<sup>2</sup>)

図 4-34 最大応答加速度分布図 (16/16) (解析ケース③)

VI-2-10-2-3 防波壁の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-3-2 防波壁（逆 T 擁壁）の  
耐震性についての計算書

## 目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	9
2.4	適用規格・基準等	14
3.	耐震評価	15
3.1	評価対象断面	15
3.2	解析方法	21
3.3	荷重及び荷重の組合せ	23
3.4	入力地震動	24
3.5	解析モデル及び諸元	26
3.5.1	解析モデル	26
3.5.2	地盤の物性値	27
3.6	評価対象部位	28
3.6.1	施設・地盤の健全性評価	28
3.6.2	施設の変形性評価	28
3.6.3	基礎地盤の支持性能評価	28
3.7	許容限界	29
3.7.1	逆T擁壁	29
3.7.2	グラウンドアンカ	29
3.7.3	改良地盤	30
3.7.4	止水目地	31
3.7.5	基礎地盤	32
3.8	評価方法	33
3.8.1	逆T擁壁	33
3.8.2	グラウンドアンカ	33
3.8.3	改良地盤	34
3.8.4	止水目地	35
3.8.5	基礎地盤	36
4.	耐震評価結果	37
4.1	逆T擁壁	37
4.1.1	曲げ軸力照査	37
4.1.2	せん断力照査	39

4.1.3	グラウンドアンカによる支圧照査	41
4.2	グラウンドアンカ	42
4.3	改良地盤	43
4.4	止水目地	45
4.5	基礎地盤	46

## 1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防波壁（逆 T 擁壁）が基準地震動  $S_s$  に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防波壁（逆 T 擁壁）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価及び施設の変形性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、地震応答解析により基礎地盤に発生した接地圧を確認する。



## 2. 基本方針

### 2.1 位置

防波壁（逆 T 擁壁）の範囲を図 2-1 に示す。

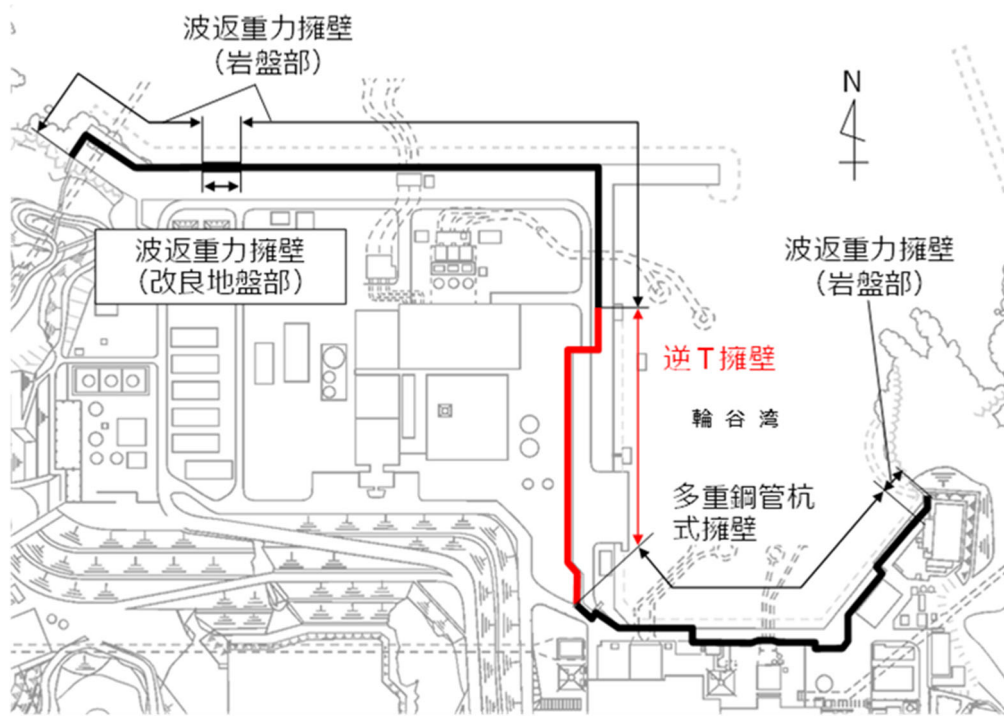


図 2-1 防波壁（逆 T 擁壁）の範囲

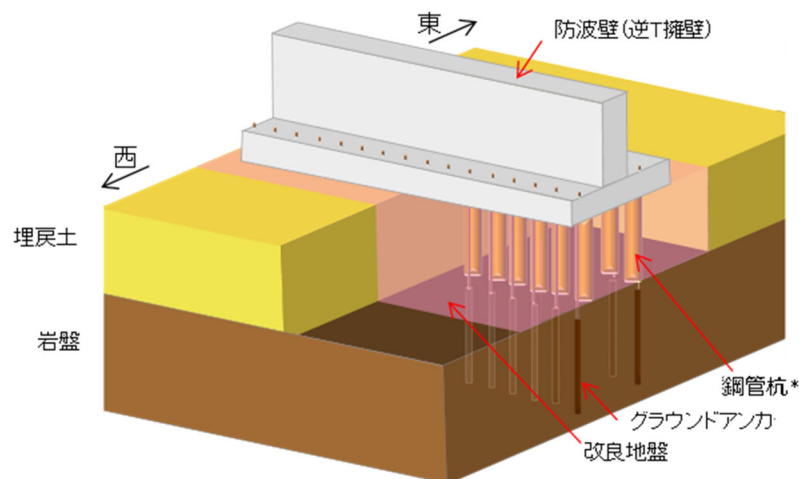
## 2.2 構造概要

防波壁（逆 T 擁壁）の構造概要図及び構造図を図 2-2～図 2-5 に、概略配筋図を図 2-6 に、グラウンドアンカの配置図を図 2-7 に、止水目地の概念図及び配置位置図を図 2-8 及び図 2-9 に示す。

防波壁（逆 T 擁壁）は、入力津波高さ（EL 12.6m）に対して余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

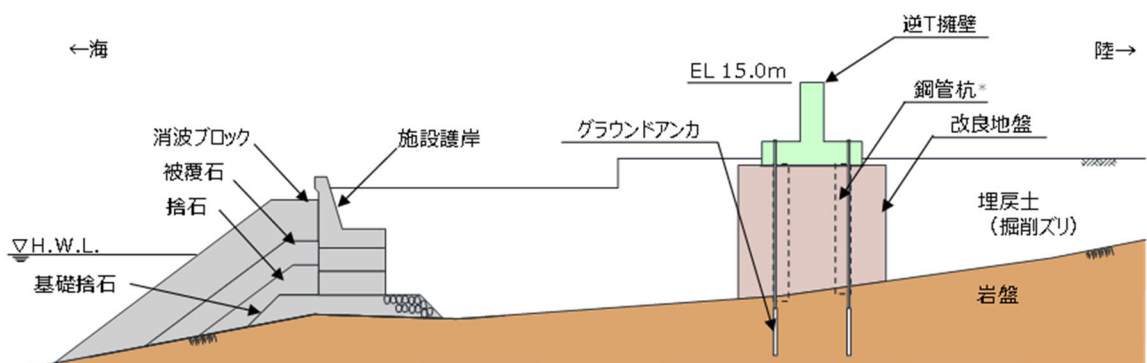
逆 T 擁壁は、改良地盤を介して岩盤に支持される鉄筋コンクリート造の逆 T 擁壁による直接基礎構造で構成される。約 16m を 1 ブロックの標準とした壁体を連続して設置し、ブロック間の境界には止水性を保持するための止水目地を設置する。1 ブロックにおいて海側では 8 本，陸側では 4 本グラウンドアンカを設置している。

なお、構造概要図には鋼管杭を示しているが、その効果を期待せずに耐震評価を行う。



注記\*：防波壁（逆T擁壁）は、鋼管杭の効果を期待せずに耐震評価を行う。

図 2-2 防波壁（逆 T 擁壁）の構造概要図



注記\*：防波壁（逆T擁壁）は、鋼管杭の効果を期待せずに耐震評価を行う。

図 2-3 防波壁（逆 T 擁壁）の構造概要図（断面図）

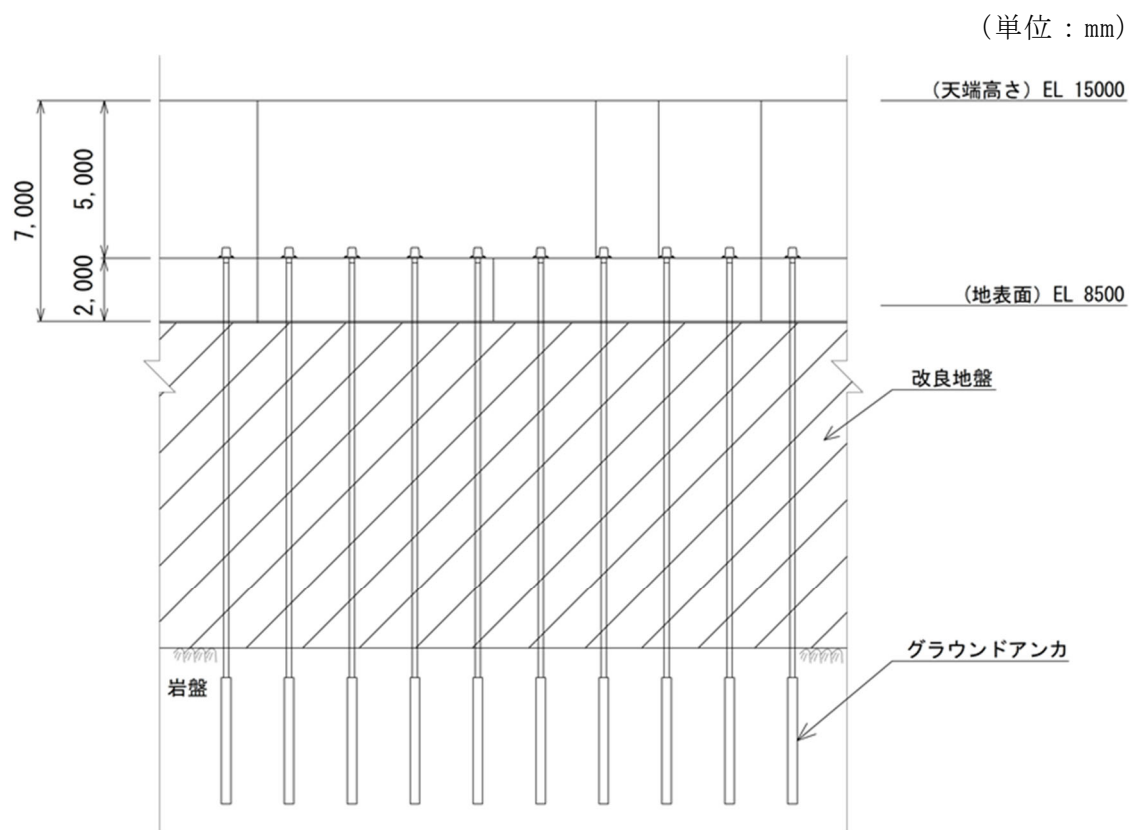


図 2-4 防波壁 (逆 T 擁壁) の構造図 (正面図)

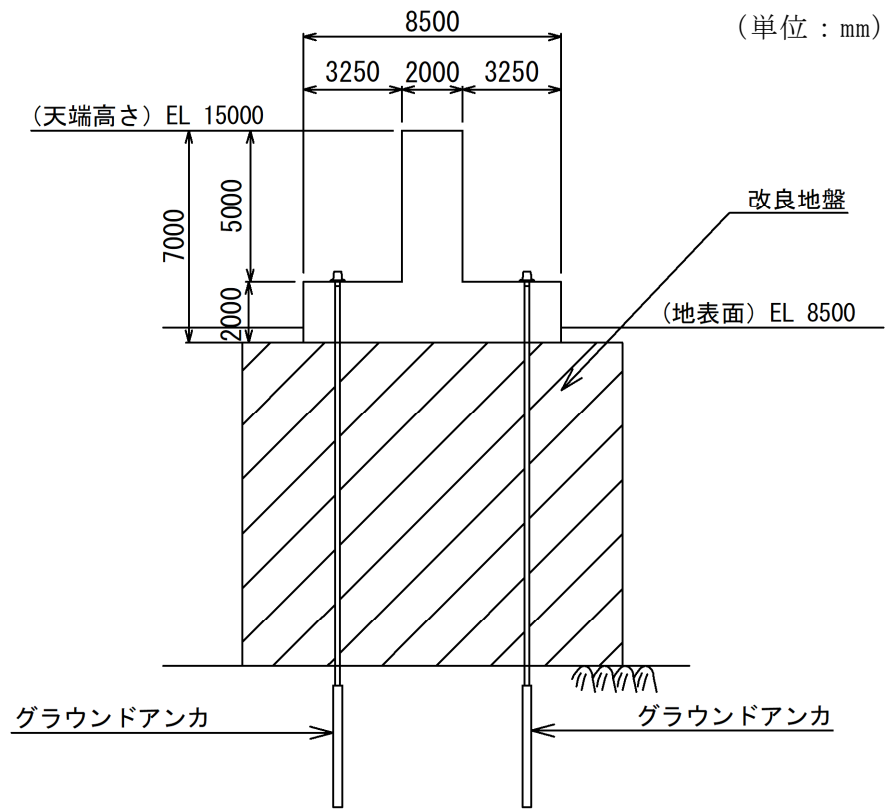


図 2-5 防波壁 (逆 T 擁壁) の構造図 (断面図)

(単位：mm)

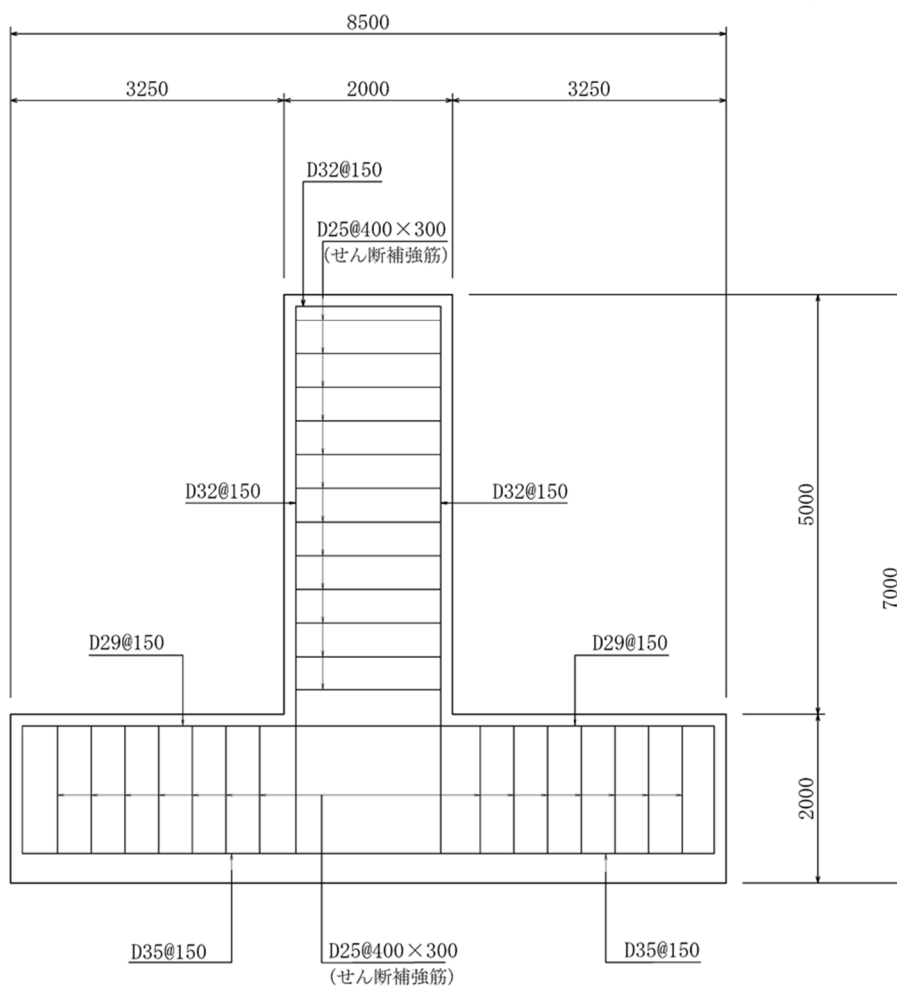
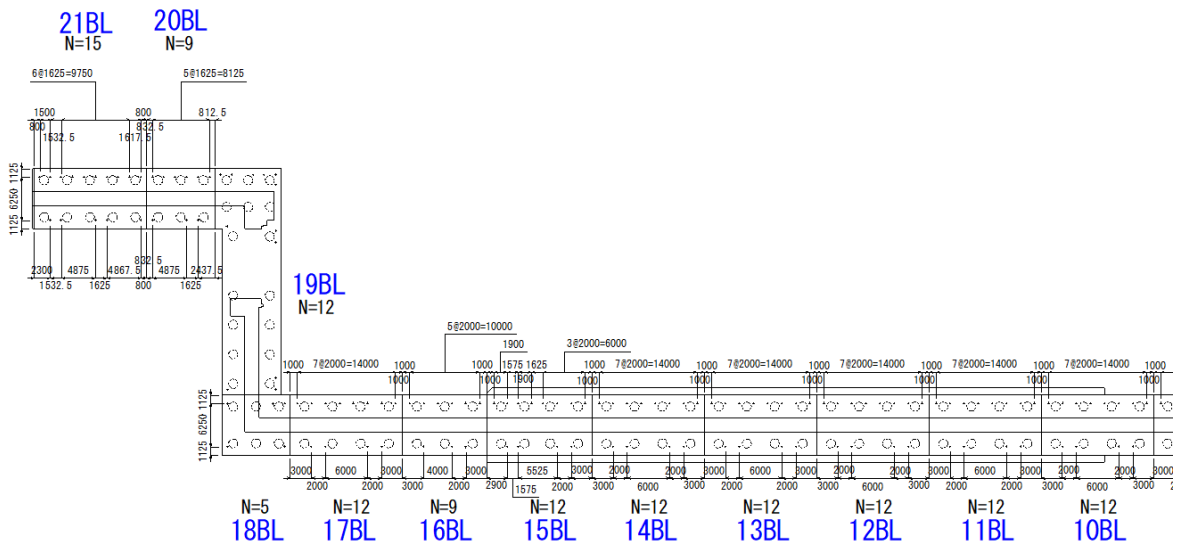
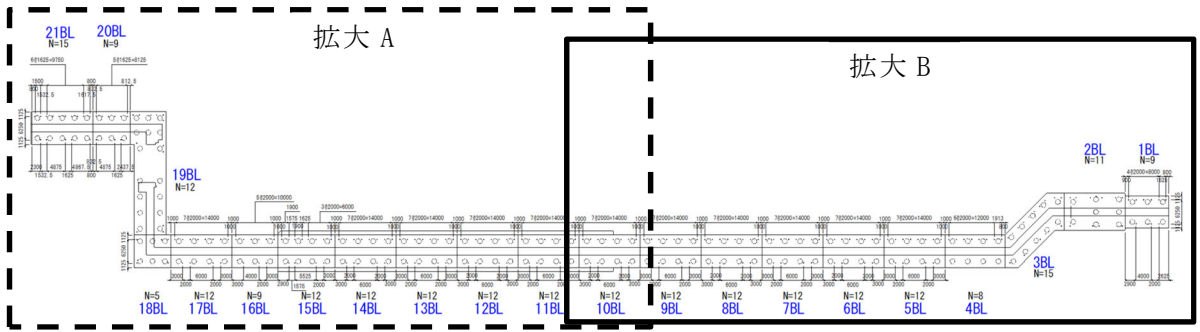
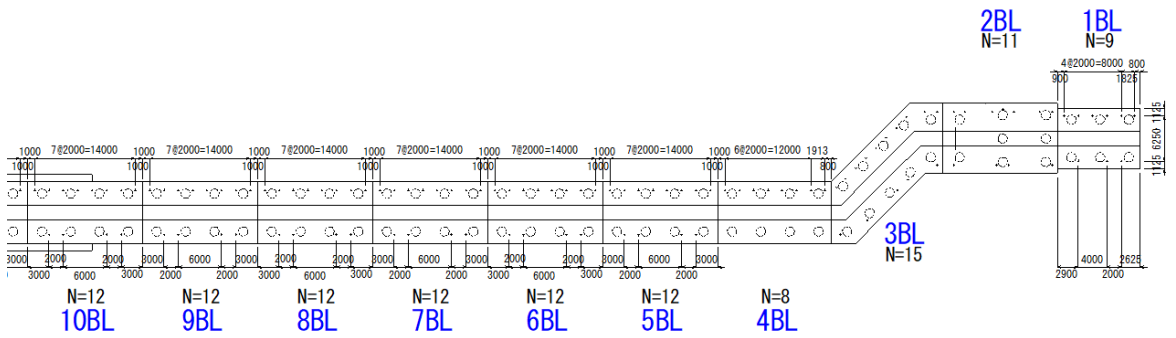


図 2-6 防波壁（逆 T 擁壁）の概略配筋図



(拡大 A)



(拡大 B)

図 2-7 防波壁（逆 T 擁壁）のグラウンドアンカ配置図

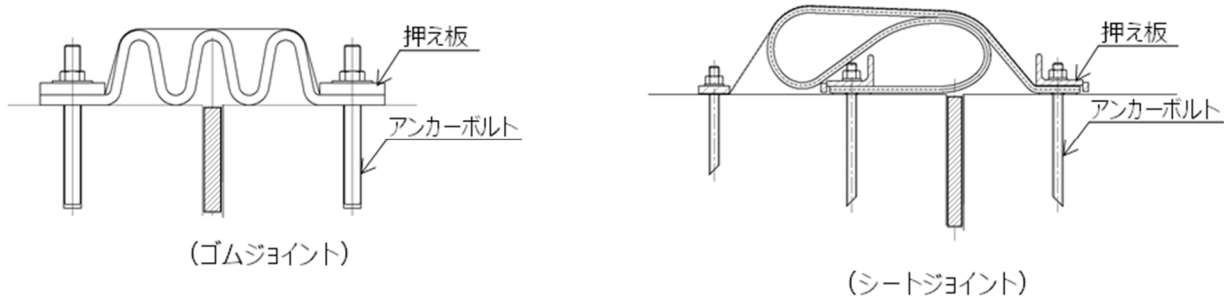


図 2-8 防波壁（逆 T 擁壁）の止水目地の概念図

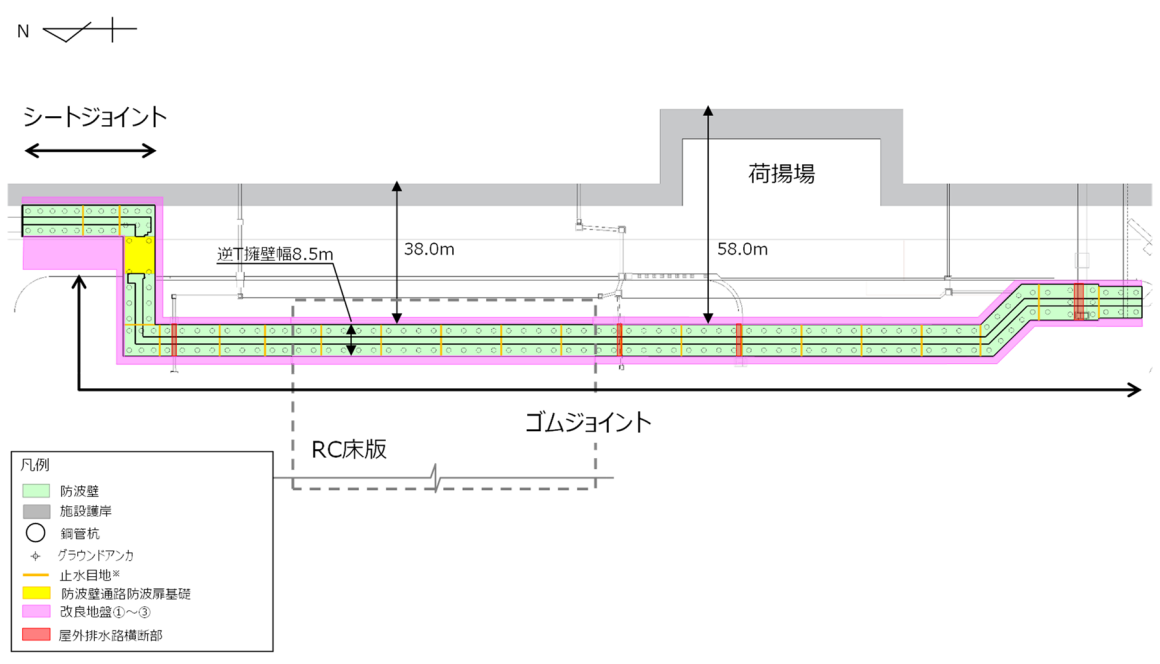


図 2-9 止水目地の設置位置図

S2 補 VI-2-10-2-3-2 R0

### 2.3 評価方針

防波壁（逆 T 擁壁）は，S クラス施設である津波防護施設に分類される。

防波壁（逆 T 擁壁）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

防波壁（逆 T 擁壁）の耐震評価は，地震応答解析の結果に基づき，設計基準対象施設として，表 2-3 に示すとおり，施設・地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

施設・地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することで，構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については，施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力，すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

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

施設の変形性評価については，止水目地の変形量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界を下回ることを確認する。

防波壁（逆 T 擁壁）の耐震評価フローを図 2-10 に示す。



表 2-1 防波壁（逆 T 擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	逆 T 擁壁	・止水目地を支持する。	・止水目地を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・逆 T 擁壁間の変形に追従する。	・逆 T 擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	グラウンドアンカ	・逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。	・逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
	鋼管杭	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
地盤	改良地盤*	・逆 T 擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆 T 擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・逆 T 擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆 T 擁壁を支持する。
	埋戻土	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への相互作用を考慮する）。	・防波壁より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸， 基礎捨石	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する）。	・役割に期待しない。
	被覆石， 捨石		
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

注記\*：RC床版については、保守的に改良地盤として扱う。

表 2-2 防波壁（逆 T 擁壁）の各部位の性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (透水性, 難透水性)
施設	逆 T 擁壁	—	—	構造部材の健全性を保持するために、逆 T 擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。	止水目地の支持機能を喪失して逆 T 擁壁間から有意な漏えいを生じないために、逆 T 擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			逆 T 擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	逆 T 擁壁から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
	グラウンドアンカ			逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために設計アンカー力を確保すること。	逆 T 擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために設計アンカー力を確保すること。
地盤	改良地盤*	逆 T 擁壁を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	—	地盤中からの回り込みによる流入を防止（難透水性を保持）するため改良地盤がすべり破壊しないこと（内的安定を保持）。
	岩盤				—

注記\*：RC床版については、保守的に改良地盤として扱う。

表 2-3 防波壁(逆 T 擁壁)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	逆 T 擁壁	発生する応力（曲げ，軸力，せん断力及びアンカーによる支圧力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	設計アンカー力
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	逆 T 擁壁	発生する応力（曲げ，軸力及びせん断力及びアンカーによる支圧力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	設計アンカー力
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2 以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力*
	施設の変形性	止水目地	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量

注記\*： 妥当な安全余裕を考慮する。

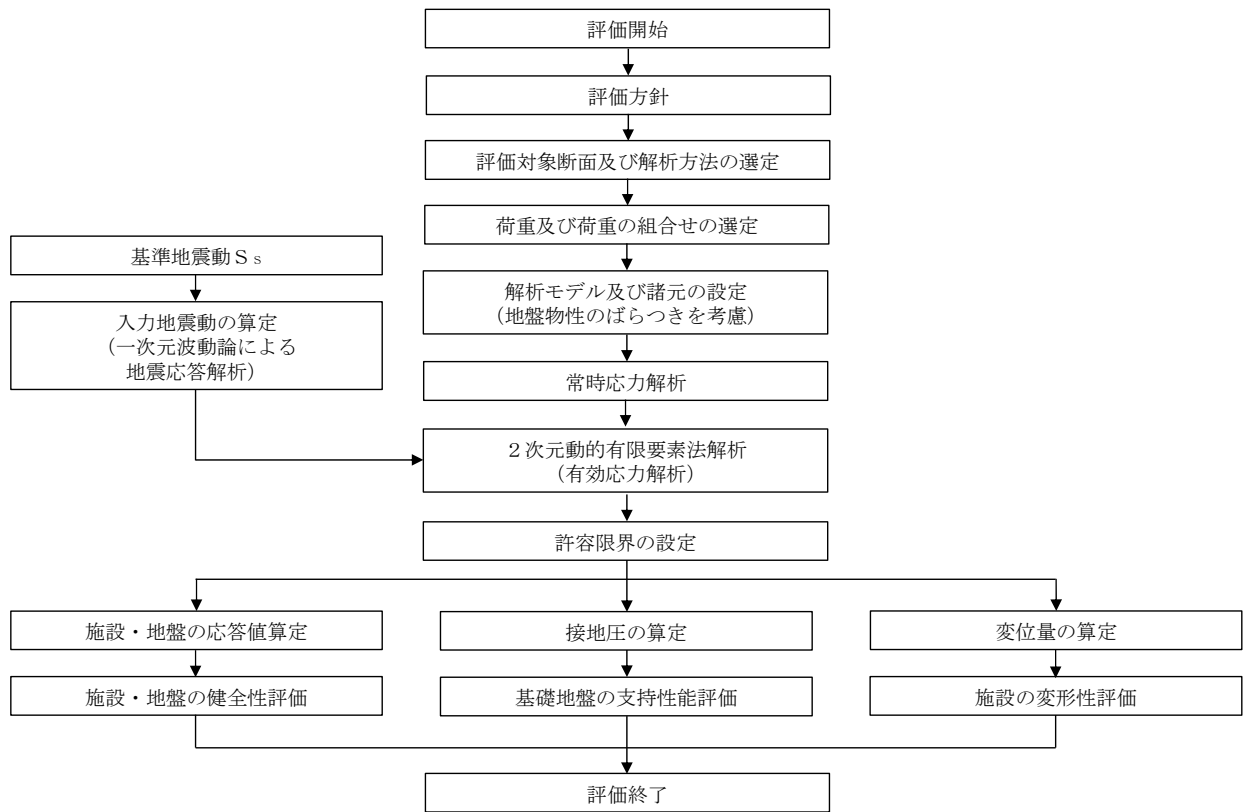


図 2-10 防波壁(逆 T 擁壁)の耐震評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド(平成25年6月19日原管地発第1306196号)
- ・道路橋示方書(I共通編・IV下部構造編)・同解説(日本道路協会 平成14年3月)
- ・防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局 平成27年12月)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針J E A G 4 6 0 1-1987(日本電気協会)
- ・松江市建築基準法施行細則(平成17年3月31日松江市規則第234号)

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

防波壁（逆 T 擁壁）の評価対象断面は，防波壁（逆 T 擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（逆 T 擁壁）の評価対象断面位置図を図 3-1 に，縦断面図を図 3-2 に，防波壁（逆 T 擁壁）の各区分における横断面図を図 3-3～図 3-9 に示す。以下の理由から，①-①断面，⑤-⑤断面及び⑦-⑦断面を評価対象断面として選定する。

- ・①-①断面は荷揚場護岸北側における横断方向の断面である。防波壁（逆 T 擁壁）直下の改良地盤は，幅約 12m，深さ約 10m であり，海側及び陸側に広く埋戻土が分布する標準的な断面であることから，施設・地盤の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価の評価対象断面として選定した。
- ・⑤-⑤断面は防波扉北側における横断方向の断面である。①-①断面と比べ，防波壁（逆 T 擁壁）直下の改良地盤は幅約 19m と広いが，深さ約 15m と深く，防波壁より海側の埋戻土の範囲が狭いため，改良地盤及び防波壁（逆 T 擁壁）の慣性力及び止水目地の変形量が大きくなると考えられることから，施設・地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価及び横断方向の変形性評価の評価対象断面として選定した。
- ・⑦-⑦断面は⑤-⑤断面に直交する縦断方向の断面である。⑤-⑤断面位置における縦断方向の止水目地の変形量を求めるため，変形性評価の評価対象断面に選定した。

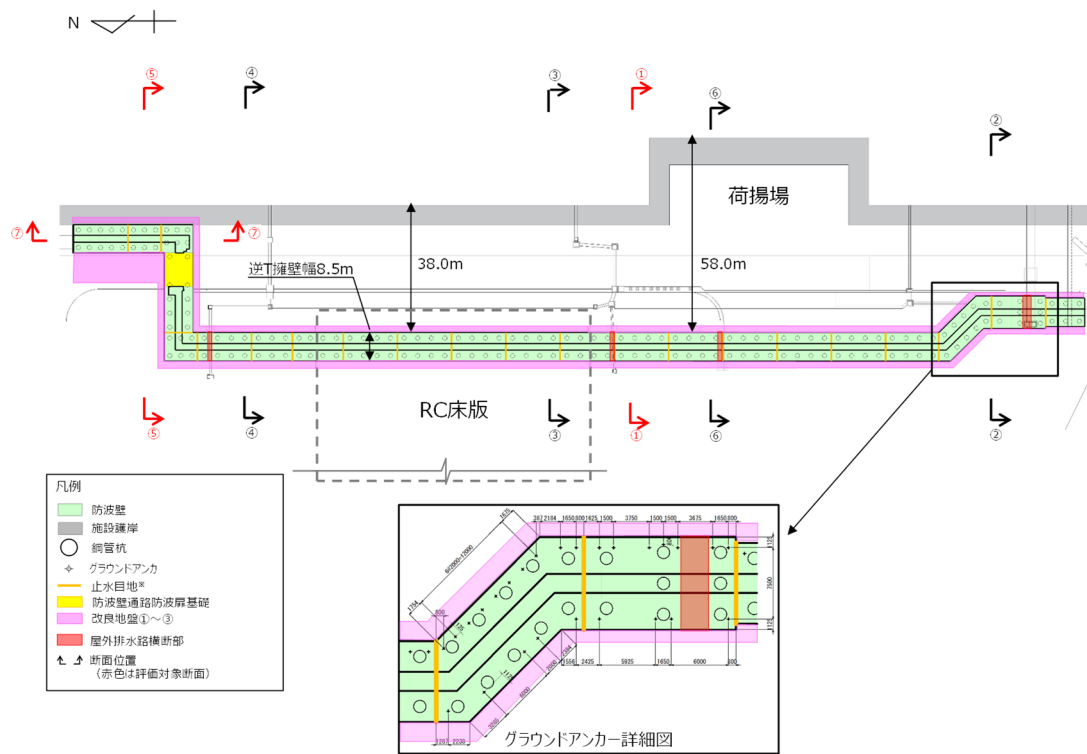


図 3-1 防波壁（逆 T 擁壁）の評価対象断面位置図

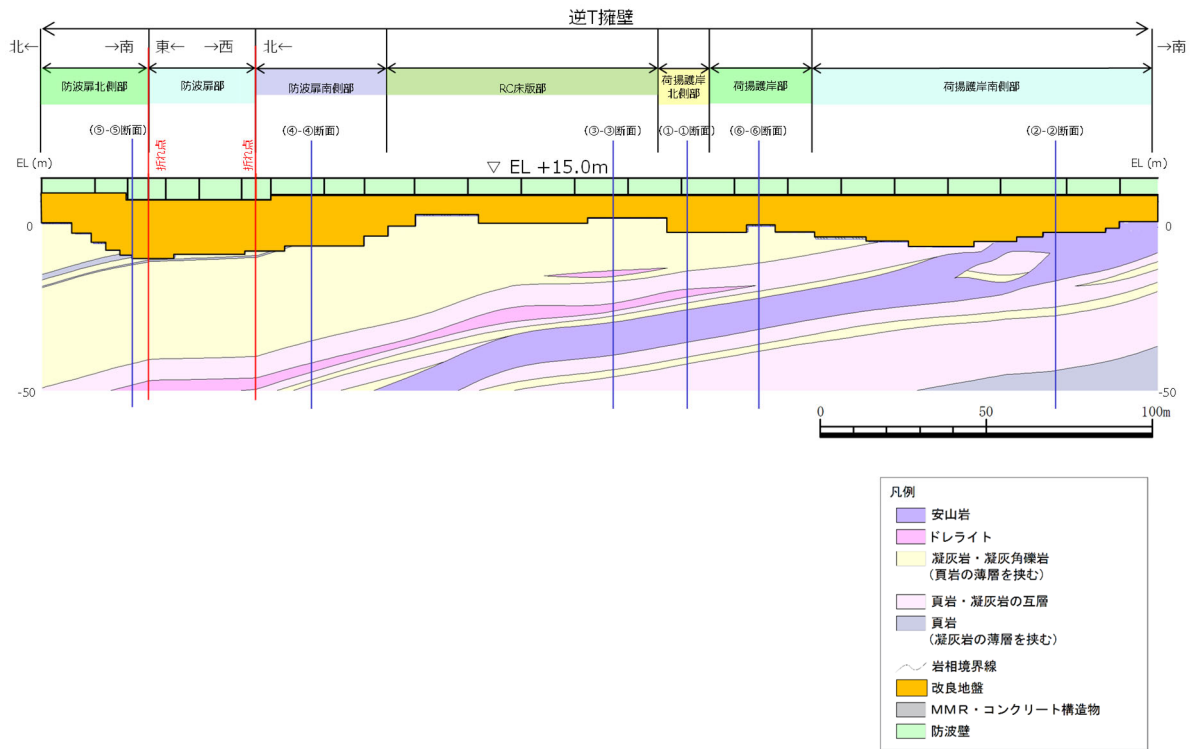


図 3-2 防波壁（逆 T 擁壁）の縦断面図

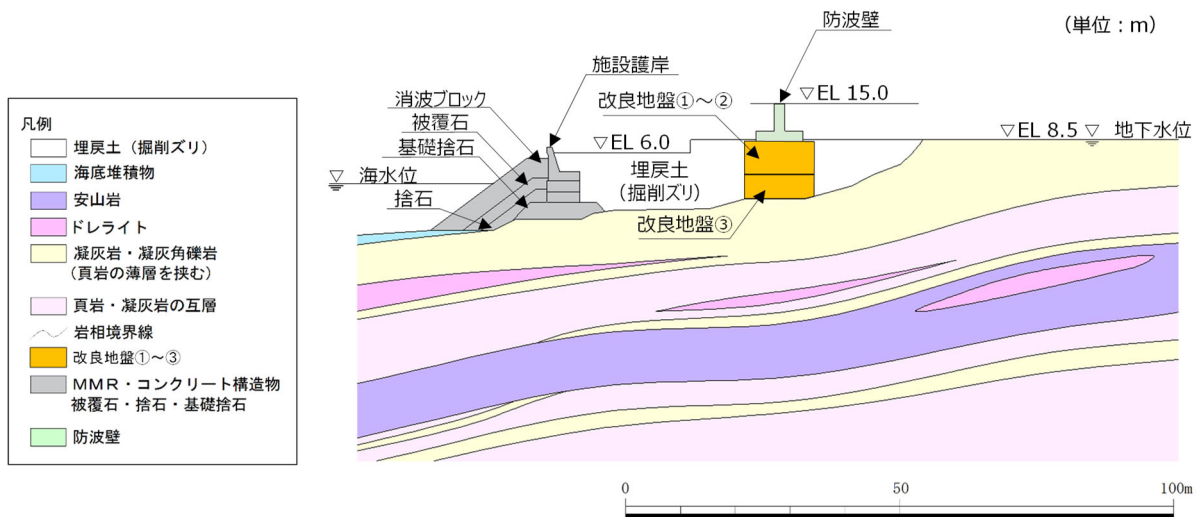


図 3-3 防波壁（逆 T 擁壁）の横断面図（①-①断面）



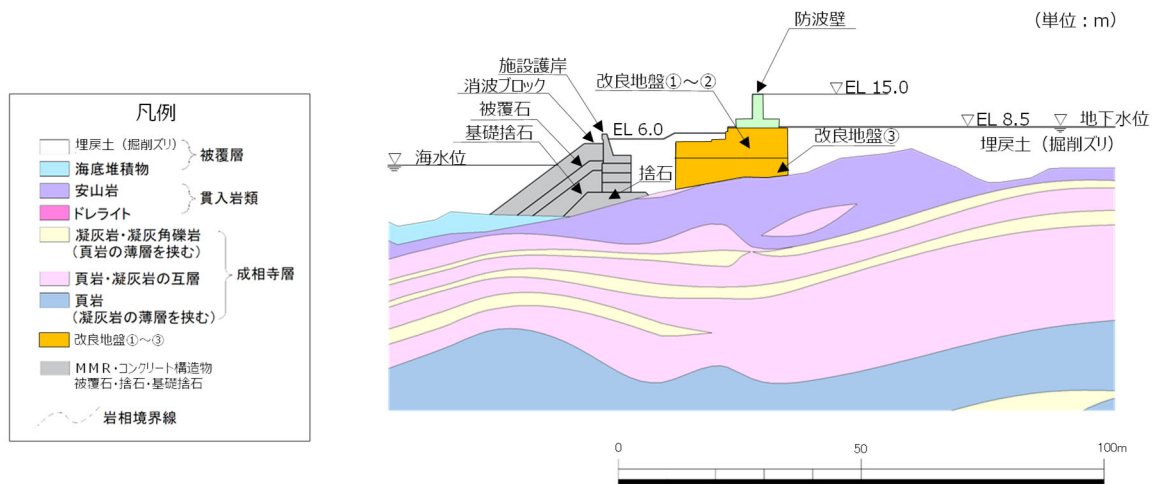


図 3-4 防波壁（逆 T 擁壁）の横断面図（②-②断面）

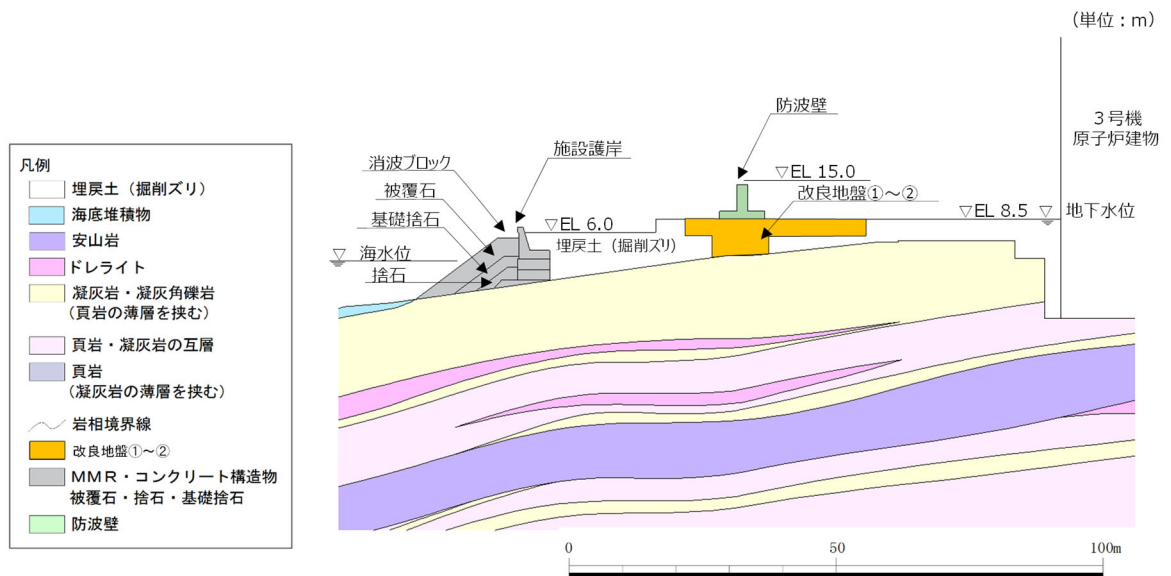


図 3-5 防波壁（逆 T 擁壁）の横断面図（③-③断面）

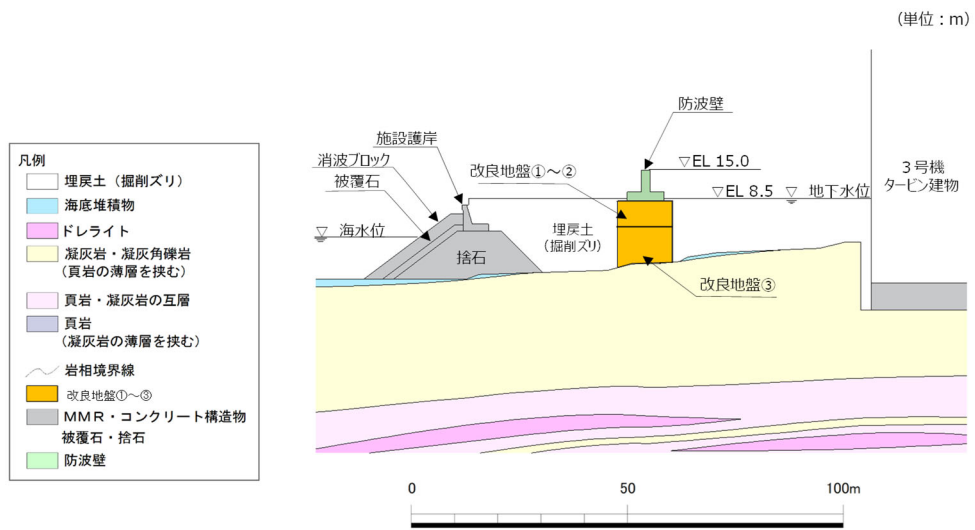


図 3-6 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (④-④断面)

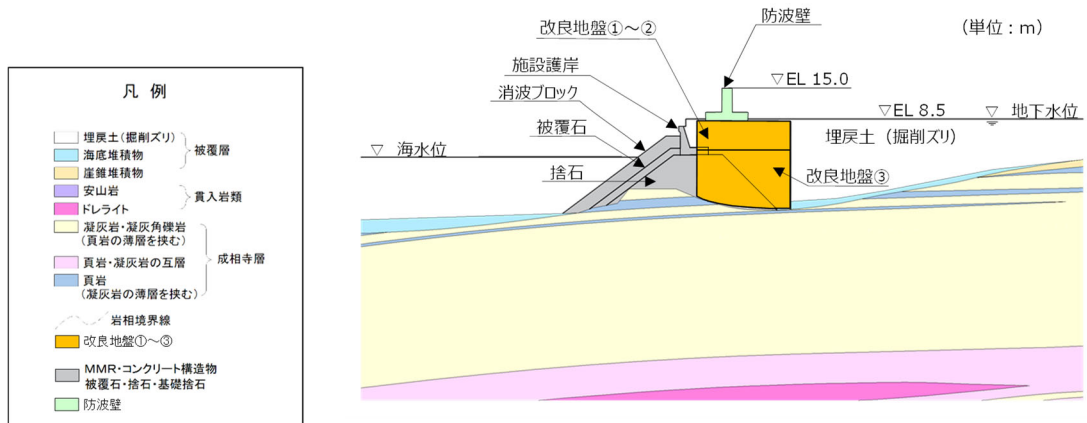


図 3-7 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (⑤-⑤断面)

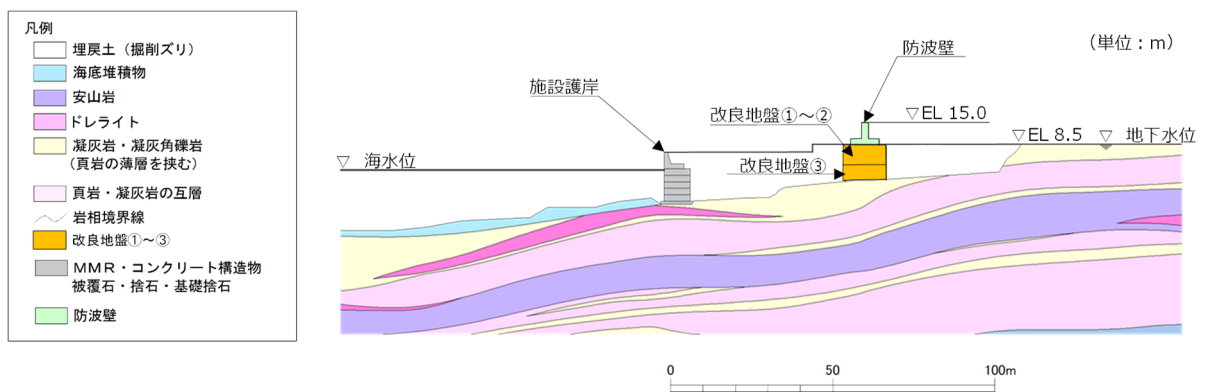


図 3-8 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (⑥-⑥断面)

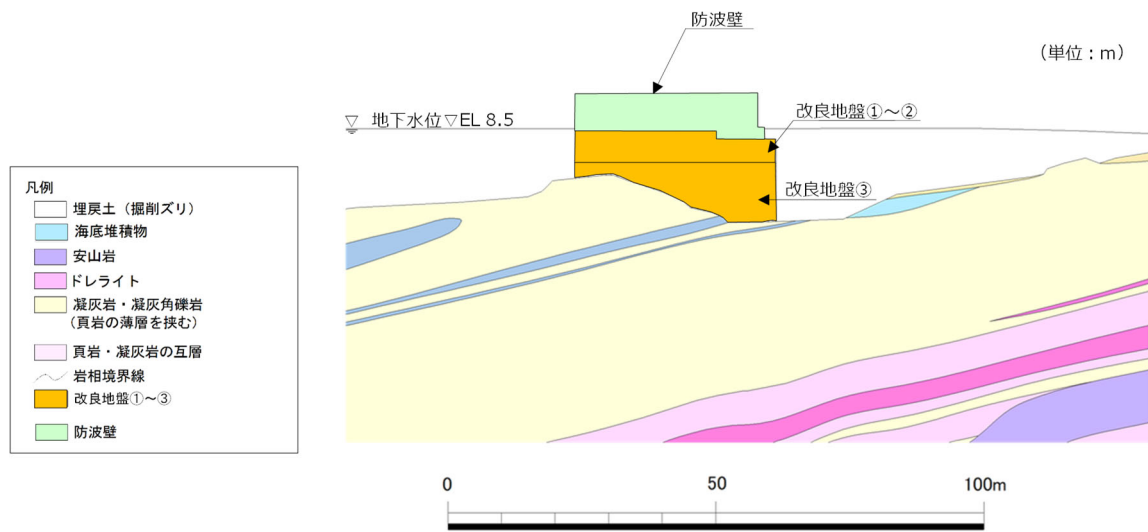


図 3-9 防波壁 (逆 T 擁壁) の横断面図 (⑦-⑦断面)

### 3.2 解析方法

解析方法はVI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」と同様とする。

防波壁（逆T擁壁）の地震時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表3-1に示す解析ケースにおいて考慮する。

図3-3及び図3-7に示すとおり、動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており、これらの地盤のせん断変形が地震時に防波壁（逆T擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち、広範囲に分布しており、応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

表3-1 有効応力解析における解析ケース

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

耐震評価における解析ケースを表3-2に示す。耐震評価においては、全ての基準地震動 $S_s$ に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動 $S_s$ に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②及び③を実施する。

表 3-2 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 (+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 <sub>s</sub> -D	++*	○	基準地震動 S <sub>s</sub> (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。
		-+*	○	
		+ - *	○	
		--*	○	
	S <sub>s</sub> -F 1	++*	○	
	S <sub>s</sub> -F 2	++*	○	
	S <sub>s</sub> -N 1	++*	○	
		-+*	○	
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++*	○	
		-+*	○	
S <sub>s</sub> -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。

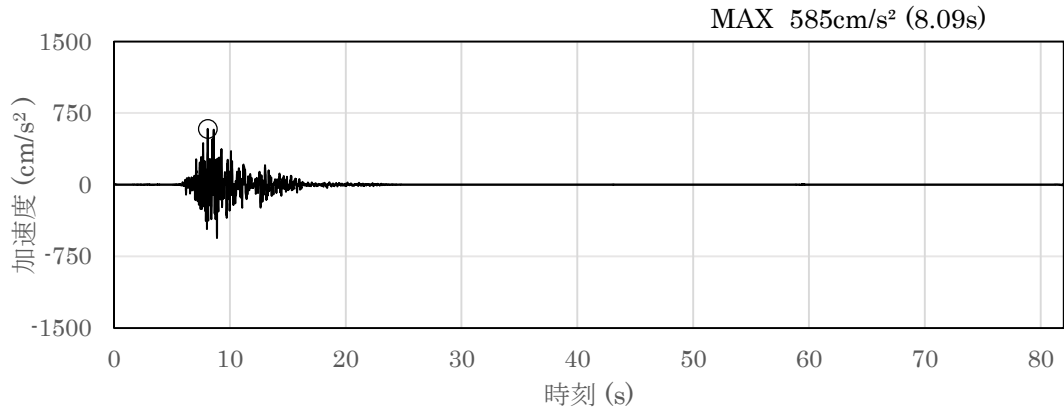
### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは, VI-2-10-2-2-2 「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」  
に示した荷重を考慮する。

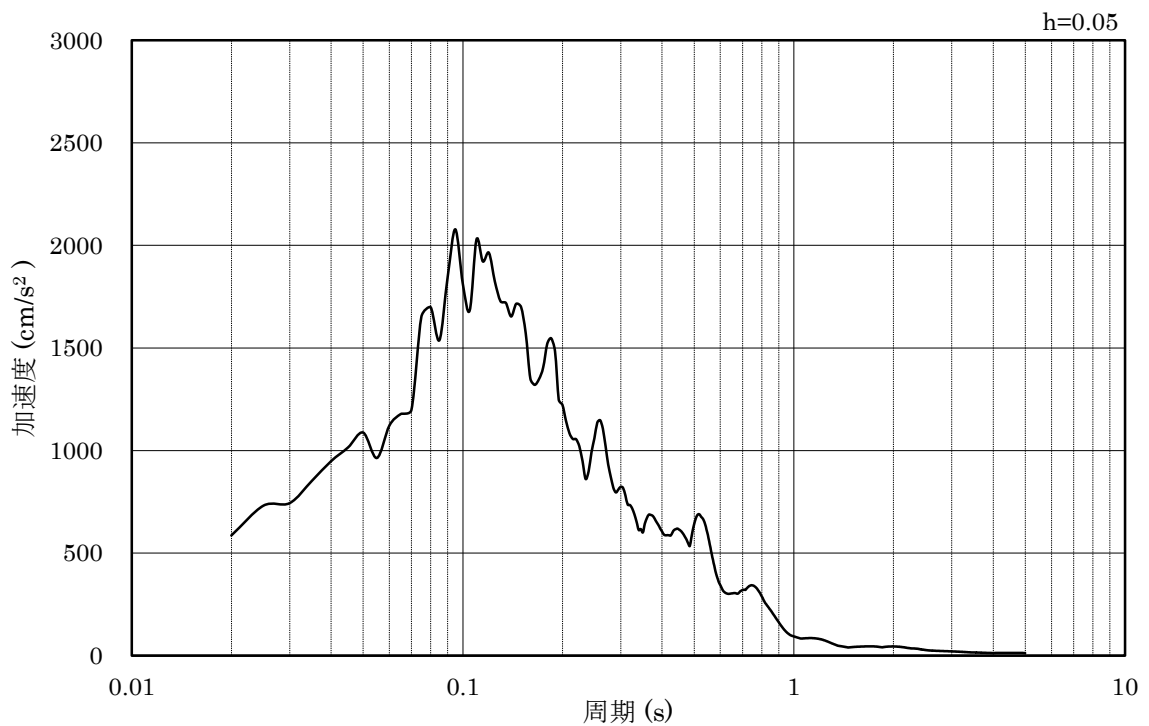
### 3.4 入力地震動

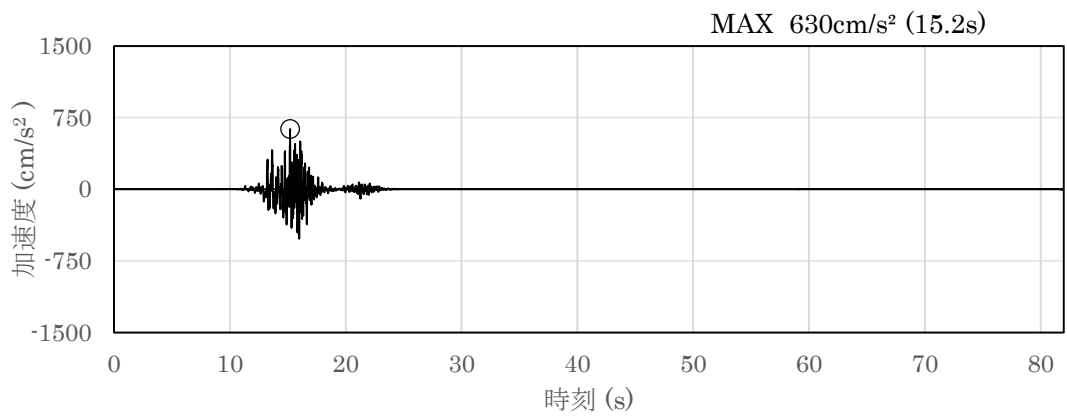
地震応答解析には，VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆 T 擁壁）の地震応答計算書」に示した入力地震動を用いる。

⑦-⑦断面に用いる  $S_s - F1$  の NS 方向及び  $S_s - F2$  の NS 方向について，図 3-10 及び図 3-11 に示す。



(a) 加速度時刻歴波形





(a) 加速度時刻歴波形

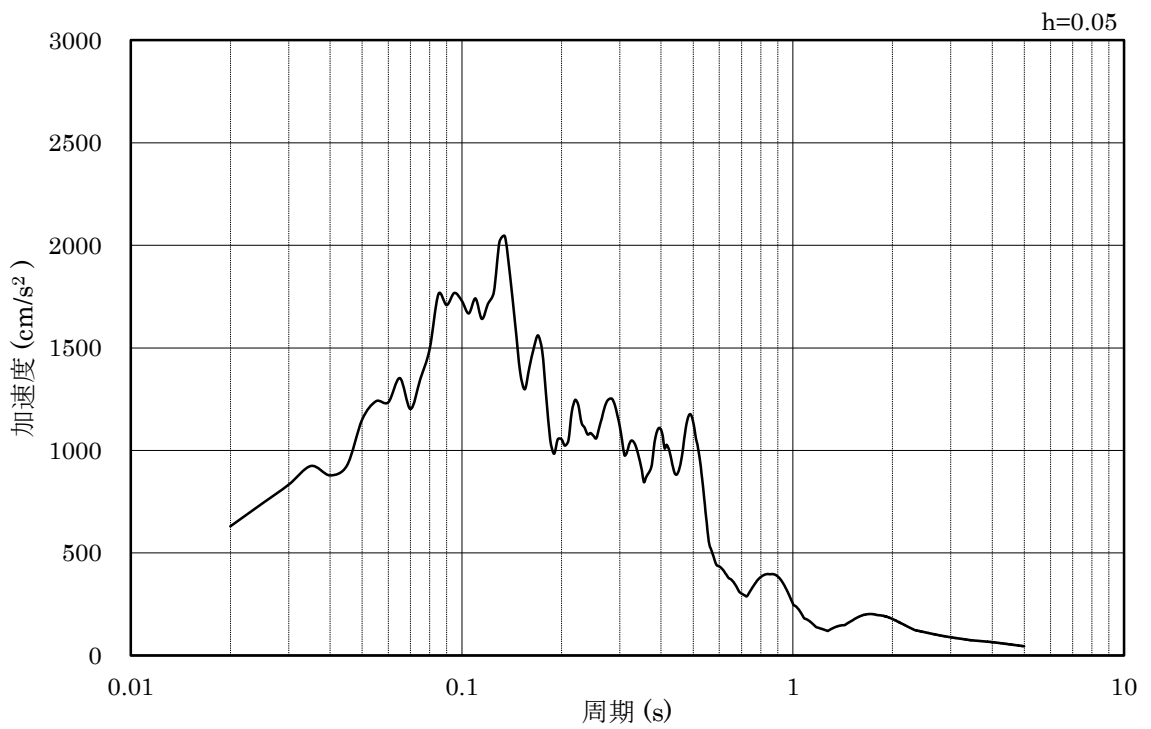


図 3-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平成分：S s - F 2 , N S 方向)



### 3.5 解析モデル及び諸元

使用材料及び材料の物性値並びに地下水位については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について、以下に示す。

#### 3.5.1 解析モデル

評価対象断面のうち①-①断面及び⑤-⑤断面の地震応答解析モデルは、VI-2-10-2-2-2「防波壁（逆T擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

評価対象断面のうち⑦-⑦断面の地震応答解析モデルを図3-12に示す。解析領域、境界条件等の考え方は、①-①断面及び⑤-⑤断面と同様である。

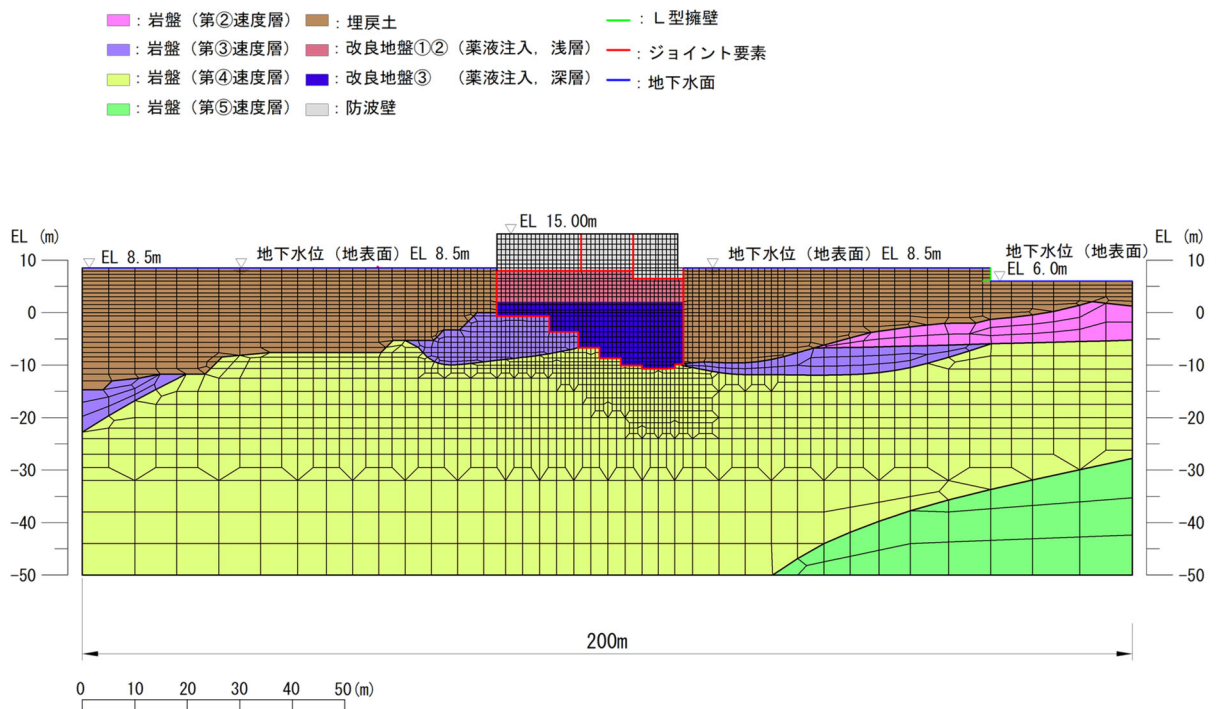


図3-12 地震応答解析モデル（⑦-⑦断面）

### 3.5.2 地盤の物性値

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

地盤のうち改良地盤①～③の残留強度及び引張強度を表3-3のとおり設定する。

表3-3 改良地盤①～③の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$c'$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)	
改良地盤①・②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

### 3.6 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（逆 T 擁壁）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

#### 3.6.1 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、逆 T 擁壁、グラウンドアンカ及び改良地盤①～③とする。

#### 3.6.2 施設の変形性評価

施設の変形性評価に係る評価対象部位は、構造物間に設置する止水目地とする。

#### 3.6.3 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、逆 T 擁壁を支持する基礎地盤（逆 T 擁壁直下の改良地盤及び改良地盤直下の岩盤）とする。

### 3.7 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。

#### 3.7.1 逆T擁壁

逆T擁壁の許容限界は、「コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）」に基づき，短期許容応力度とする。

表 3-4 逆T擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm <sup>2</sup> )		短期許容応力度* (N/mm <sup>2</sup> )
	コンクリート ( $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ )	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}$	9
許容せん断応力度 $\tau_{a1}$		0.45	0.67
支圧応力度 $\sigma_{ba}$ (グラウンドアンカ)		12	18
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 $\sigma_{sa}$	196	294

注記\*：短期許容応力度は，コンクリート標準示方書より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

#### 3.7.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は，「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説JGS4101-2012（地盤工学会）」に基づき，テンドンの許容引張力  $T_{as}$ ，テンドンの許容拘束力  $T_{ab}$  及びテンドンの許容引抜力  $T_{ag}$  を表 3-5 のとおり設定し，この中で最小であるテンドンの許容拘束力  $T_{ab}$  を許容限界として採用する。

表 3-5 グラウンドアンカの許容限界

項目	許容値 (kN)	
	①-①断面	⑤-⑤断面
テンドンの許容引張力 $T_{as}$	2160	2160
テンドンの許容拘束力 $T_{ab}$	<u>1764</u> (採用)	<u>2076</u> (採用)
テンドンの許容引抜力 $T_{ag}$	1802	2120

### 3.7.3 改良地盤

改良地盤の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド」を準用し、表 3-6 に示すすべり安全率を設定する。

表 3-6 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

#### 3.7.4 止水目地

止水目地の許容限界は、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。評価対象断面である⑤-⑤断面及び⑦-⑦断面位置におけるシートジョイントの許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 止水目地の変形量の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変形量	1960

### 3.7.5 基礎地盤

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、支持力試験及び道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解析（日本道路協会，平成 14 年 3 月）により設定する。基礎地盤の許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm <sup>2</sup> )
極限支持力	岩盤	C <sub>H</sub> 級	9.8
		C <sub>M</sub> 級	
		C <sub>L</sub> 級	3.9
	改良地盤		1.4

### 3.8 評価方法

防波壁（逆 T 擁壁）の耐震評価は，地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「3.5 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

#### 3.8.1 逆 T 擁壁

##### (1) 曲げ軸力照査及びせん断力照査

逆 T 擁壁の評価は，コンクリートの曲げ圧縮応力及び部材に作用するせん断応力が許容限界以下であることを確認する。

逆 T 擁壁の応力度算定には，解析コード「EMR G I N G」を使用する。なお，解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

##### (2) グラウンドアンカによる支圧照査

グラウンドアンカによる支圧照査は，発生アンカー力を用いて次式により算定される支圧応力が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = T/S \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

ここで，

$\sigma_b$  : グラウンドアンカにより発生する支圧応力度 (N/mm<sup>2</sup>)

T : 発生アンカー力 (引張) (N)

S : 支圧板の面積 (mm<sup>2</sup>)

#### 3.8.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの耐震評価は，地震応答解析に基づいて算定した発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。



### 3.8.3 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり面のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め、最小すべり安全率を算定する。

また、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示すとおり、改良地盤の解析用物性値のうちせん断強度は、室内配合試験結果よりも保守的な強度を設定していることから、強度特性のばらつきを考慮した評価（平均値 $-1\sigma$ ）は実施しない。

### 3.8.4 止水目地

止水目地の地震時の評価について、法線直角方向及び法線方向ともに、地震荷重による最大変位が許容限界以下であることを確認する。

x 方向（法線直角方向）及び z 方向（深度方向）の変位は、図 3-13 に示すとおり、逆 T 擁壁天端における地震時の変位量とし、保守的に各ブロックの位相が逆になったことを考慮し、時刻歴最大の変位量を 2 倍したものを算定する。

y 方向（法線方向）の変位は、隣接する逆 T 擁壁の天端間の相対変位とする。

x 方向（法線直角方向）の変位  $\delta_x$  :  $\delta_x = |\delta_x(T)| \times 2$

y 方向（法線方向）の変位  $\delta_y$  :  $\delta_y = |\delta_y(T)|$

z 方向（深度方向）の変位  $\delta_z$  :  $\delta_z = |\delta_z(T)| \times 2$

ここで、

$\delta_x(T)$  : x 方向の最大変位

$\delta_y(T)$  : y 方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$  : z 方向の最大変位

法線直角方向、法線方向及び深度方向の変位量を用い、下式のとおり合成方向（3 方向合成）の変位量を求め、止水目地の地震荷重による最大変位とする。

$$\text{最大変位 } \delta : \delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$

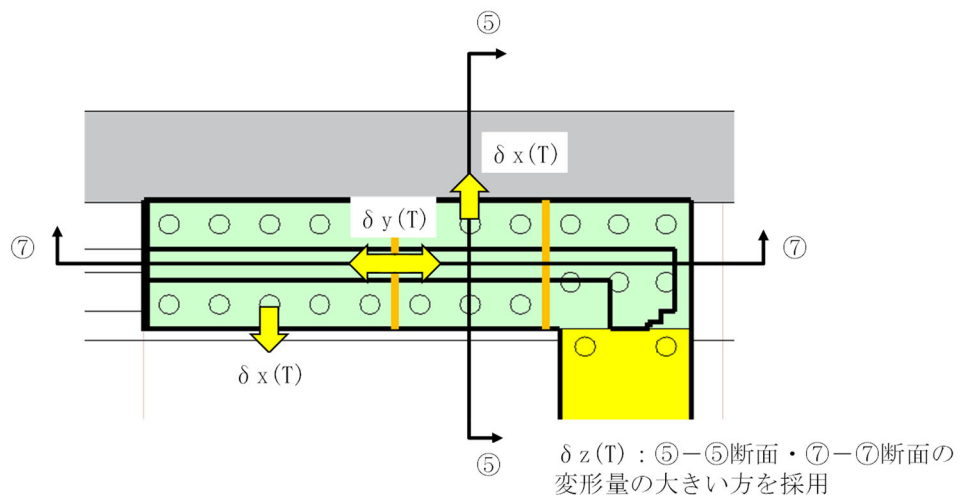


図 3-13 地震時の変位の概念図

### 3.8.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては，底版直下の改良地盤及び改良地盤直下の岩盤に生じる接地圧の最大値が許容限界以下であることを確認する。

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 逆 T 擁壁

##### 4.1.1 曲げ軸力照査

逆 T 擁壁の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 4-1 及び図 4-2 に、曲げ・軸力系の破壊に対する照査値を表 4-1 及び表 4-2 に示す。

この結果から逆 T 擁壁の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

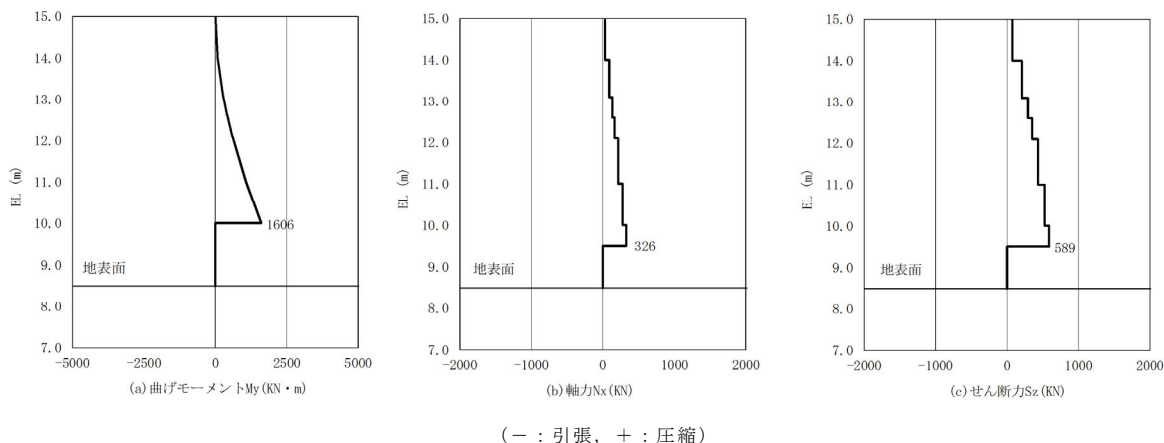


図 4-1 逆 T 擁壁（縦壁）の曲げ・軸力系に対する照査における  
最大照査値の評価時刻での断面力

（①-①断面， $S_s - N_2$  EW方向（-+）， $t=25.96s$ ）

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 -  $1\sigma$ ）

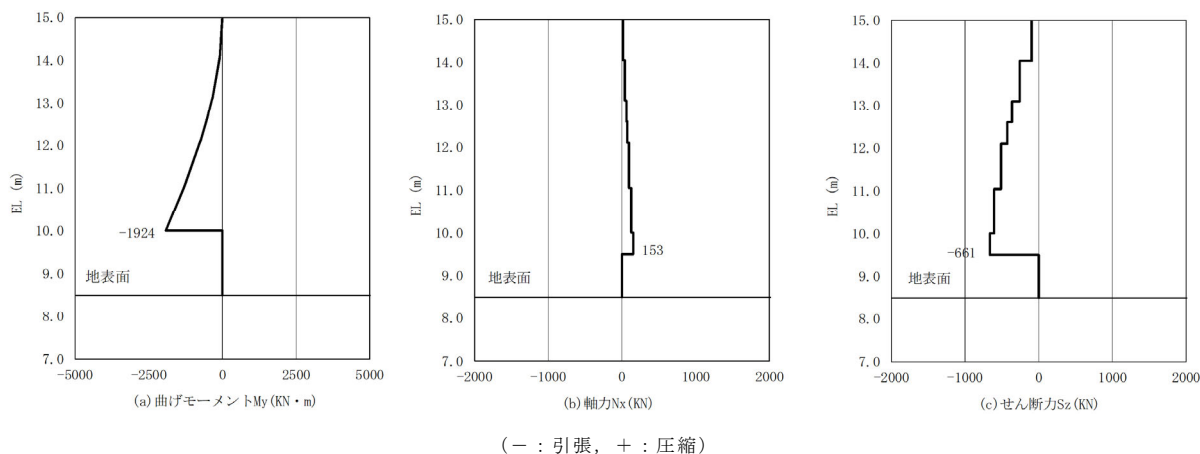


図 4-2 逆 T 擁壁（縦壁）の曲げ・軸力系に対する照査における  
最大照査値の評価時刻での断面力

（⑤-⑤断面， $S_s - N_1$ （++）， $t=7.58s$ ）

解析ケース①：基本ケース

表 4-1 逆 T 擁壁の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N2EW 方向 (-+)	③	1606	326	181.4	294	0.618

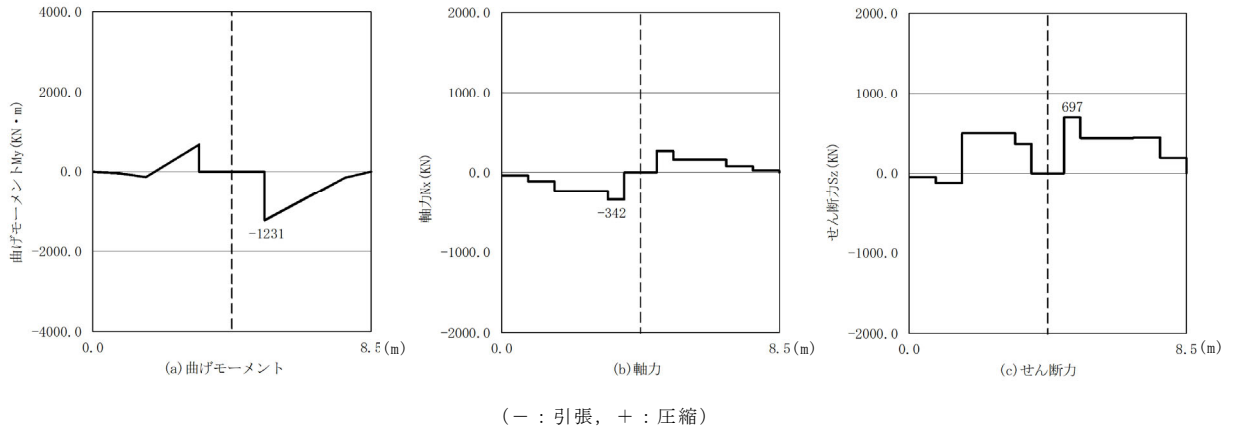
表 4-2 逆 T 擁壁の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 $\sigma_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_s / \sigma_{sa}$
		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)			
S <sub>s</sub> -N1 (++)	①	-1924	153	198.4	294	0.675

#### 4.1.2 せん断力照査

逆 T 擁壁のせん断破壊に対する照査における最大照査値の評価時刻での断面力図を図 4-3 及び図 4-4 に、せん断破壊に対する照査値を表 4-3～表 4-4 に示す。

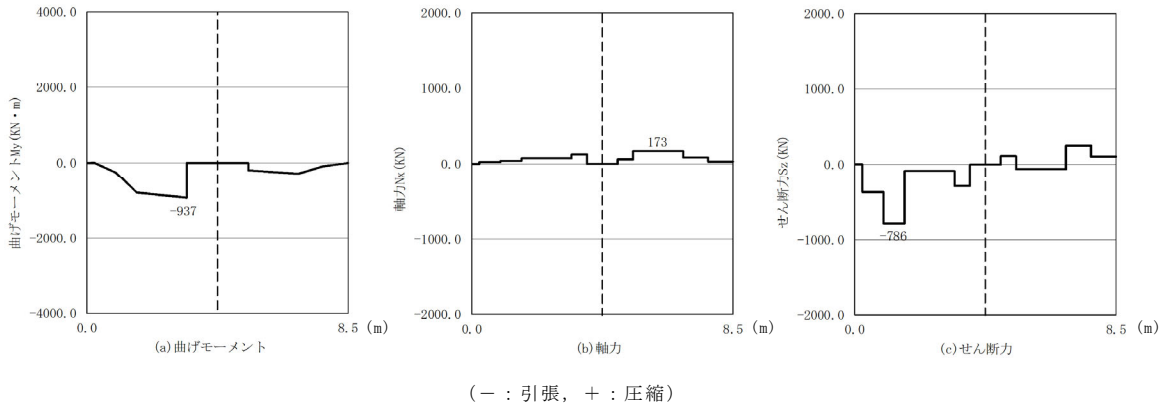
この結果から逆 T 擁壁の発生応力が許容限界以下であることを確認した。



注：逆 T 擁壁（底版）西端をゼロとする。

図 4-3 逆 T 擁壁（底版）のせん断破壊に対する照査における  
最大照査値の評価時刻での断面力  
(①-①断面,  $S_s - D (+)$ ,  $t = 19.18s$ )

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース（平均値 - 1 $\sigma$ ）



注：逆 T 擁壁（底版）西端をゼロとする。

図 4-4 逆 T 擁壁（底版）のせん断破壊に対する照査における  
最大照査値の評価時刻での断面力  
(⑤-⑤断面,  $S_s - D (-)$ ,  $t = 28.12s$ )

解析ケース①：基本ケース

表 4-3 逆 T 擁壁のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
S <sub>s</sub> -D (+-)	③	697	0.47	0.67	0.702

表 4-4 逆 T 擁壁のせん断破壊に対する照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 $\tau_s$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\tau_{sa}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\tau_s / \tau_{sa}$
		せん断力 (kN)			
S <sub>s</sub> -D (--)	①	-786	0.53	0.67	0.792

#### 4.1.3 グラウンドアンカによる支圧照査

逆 T 擁壁のグラウンドアンカによる支圧に対する照査値を表 4-5 及び表 4-6 に示す。

この結果から逆 T 擁壁のグラウンドアンカによる支圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4-5 逆 T 擁壁のグラウンドアンカによる支圧に対する  
照査における最大照査値 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	支圧 応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ba}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_b / \sigma_{ba}$
S s - N 1 (++)	①	10.6	18.0	0.589

表 4-6 逆 T 擁壁のグラウンドアンカによる支圧に対する  
照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	支圧 応力度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 $\sigma_{ba}$ (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 $\sigma_b / \sigma_{ba}$
S s - N 1 (++)	③	12.3	18.0	0.684



#### 4.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査値を表 4-7 及び表 4-8 に示す。  
この結果からグラウンドアンカの発生アンカー力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-7 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する  
照査における最大照査値 (①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生アンカー力 T (KN)	テンドンの 許容拘束力 T <sub>ab</sub> (kN)	照査値 T/T <sub>ab</sub>
S s - N 1 (++)	①	1514	1764	0.859

表 4-8 逆 T 擁壁の発生アンカー力に対する  
照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生アンカー力 T (KN)	テンドンの 許容拘束力 T <sub>ab</sub> (kN)	照査値 T/T <sub>ab</sub>
S s - N 1 (++)	③	1762	2076	0.849

### 4.3 改良地盤

改良地盤におけるすべり安全率による評価結果を表 4-9 及び表 4-10 に、最小すべり安全率となる時刻における局所安全係数分布図を図 4-5～図 4-6 に示す。

これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 4-9 改良地盤のすべり安全率評価結果 (①-①断面)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S <sub>s</sub> -N1(++)	①	7.56	3.43

表 4-10 改良地盤のすべり安全率評価結果 (⑤-⑤断面)

地震動	解析ケース	発生時刻(s)	最小すべり安全率
S <sub>s</sub> -N1(++)	①	7.61	3.12

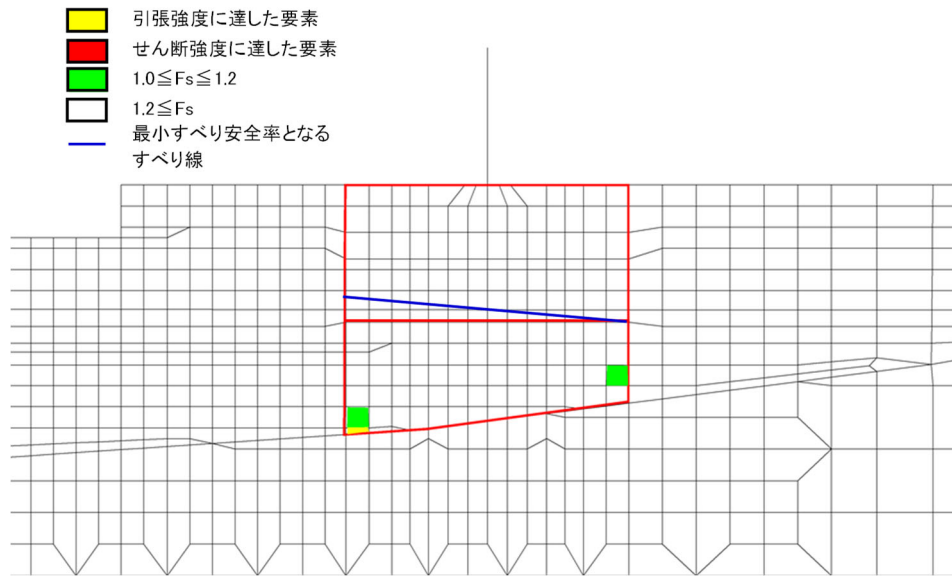


図 4-5 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
 (①-①断面,  $S_s - N1(++)$ ,  $t=7.56s$ )  
 解析ケース①: 基本ケース

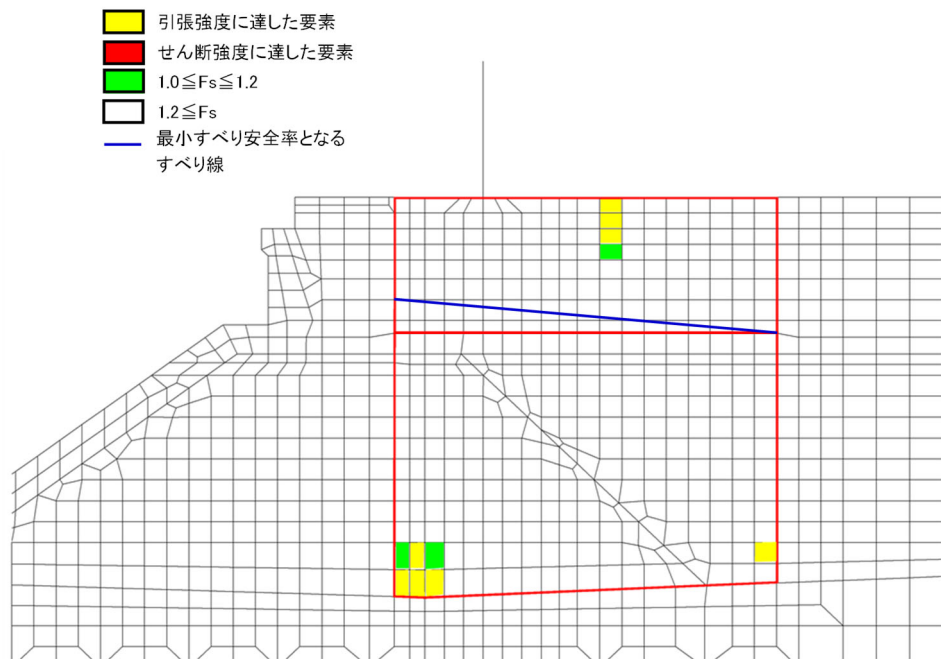


図 4-6 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布  
 (⑤-⑤断面,  $S_s - N1(++)$ ,  $t=7.61s$ )  
 解析ケース①: 基本ケース

#### 4.4 止水目地

地震時の止水目地の変位量に対する照査結果を表 4-11 に示す。

地震時の止水目地の変位量に対する照査を行った結果、変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 4-11 止水目地設置箇所地震時変位量

方向	地震動	解析 ケース	地震時 変位量 (mm)	許容限界 (mm)
$\delta x$ : ⑤-⑤断面 (横断方向)	S s - D (- +)	③	157.0	-
$\delta y$ : ⑦-⑦断面 (縦断方向)	S s - D (- +)	①	3.32	-
$\delta z$ : ⑤-⑤断面 (横断方向)	S s - D (+ -)	①	27.72	-
合成方向 (3方向合成)	-	-	159.47	1960

#### 4.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 4-12 に、支持地盤の接地圧分布図を図 4-7 及び図 4-8 に示す。

防波壁（逆 T 擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力以下であることを確認した。

表 4-12 (1) 基礎地盤の支持性能評価結果（①-①断面，改良地盤①～③）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P / P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -D (--)	①	0.5	1.4	0.358

表 4-12 (2) 基礎地盤の支持性能評価結果（①-①断面，岩盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P / P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -D (+-)	③	1.2	9.8	0.123

表 4-12 (3) 基礎地盤の支持性能評価結果（⑤-⑤断面，改良地盤①～③）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P / P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -N 2 E W 方向 (-+)	①	0.6	1.4	0.429

表 4-12 (4) 基礎地盤の支持性能評価結果（⑤-⑤断面，岩盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm <sup>2</sup> )	極限支持力 P <sub>u</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	照査値 P / P <sub>u</sub>
S <sub>s</sub> -N 1 (-+)	③	1.5	3.9	0.385

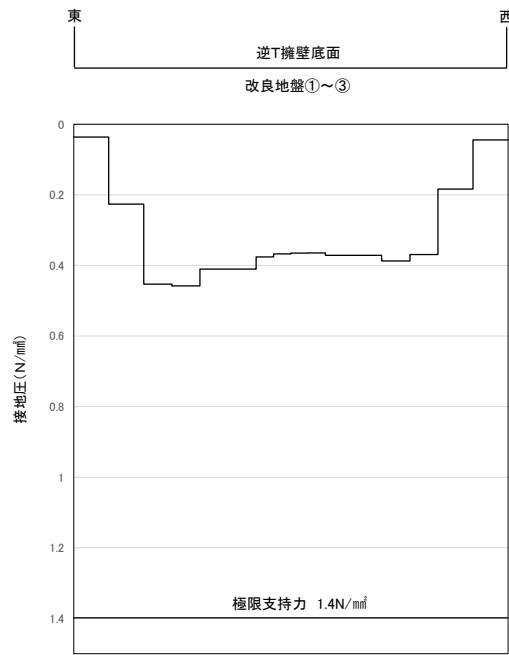


図 4-7(1) 支持地盤の接地圧分布図 (①-①断面, 改良地盤①～③)  
 (S<sub>s</sub>-D (-))  
 解析ケース①: 基本ケース

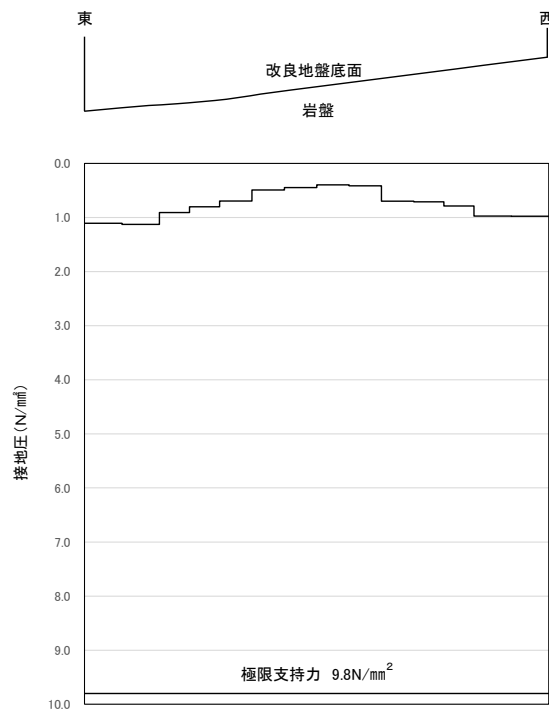


図 4-7(2) 支持地盤の接地圧分布図 (①-①断面, 岩盤)  
 (S<sub>s</sub>-D (+))

解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

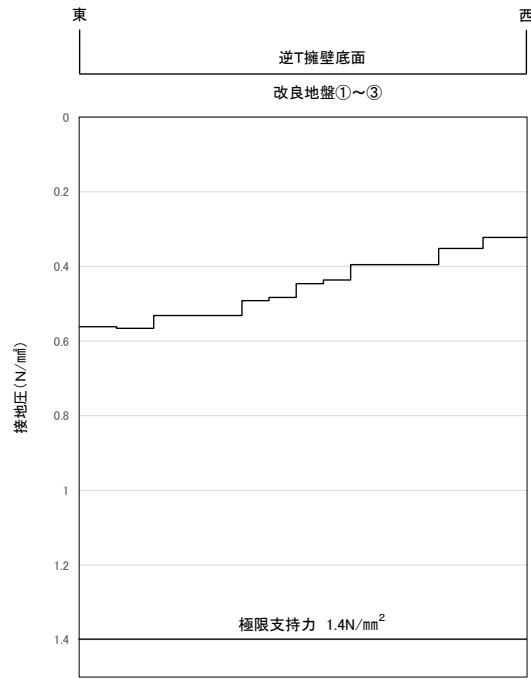


図 4-8(1) 支持地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 改良地盤①～③)  
 (S<sub>s</sub>-N<sub>2</sub>EW方向 (-+))  
 解析ケース①: 基本ケース

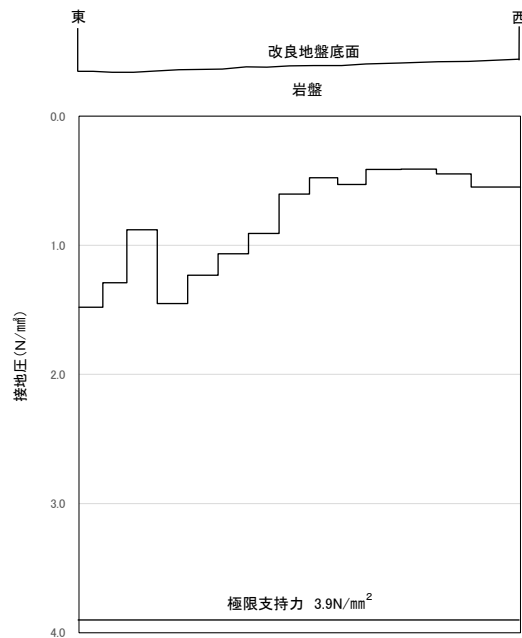


図 4-8(2) 支持地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)  
 (S<sub>s</sub>-N<sub>1</sub>(-+))

解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

なお、グラウンドアンカによる変形抑制効果等を確認するため、逆 T 擁壁の底版の傾斜を算出した結果を表 4-13 に示す。

表 4-13(1) 逆 T 擁壁の底版の傾斜 (①-①断面)

地震動	解析ケース	傾斜
S <sub>s</sub> -D (+-)	③	1/1258

表 4-13(2) 逆 T 擁壁の底版の傾斜 (⑤-⑤断面)

地震動	解析ケース	傾斜
S <sub>s</sub> -N1 (-+)	②	1/699



VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性に関する  
説明書

VI-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての  
計算書

VI-2-11-2-1 建物の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-3 免震重要棟遮蔽壁の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	7
3. 耐震評価	8
3.1 評価対象断面	8
3.2 解析方法	9
3.2.1 地盤物性のばらつき	9
3.2.2 減衰定数	10
3.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定	11
3.3 荷重及び荷重の組合せ	12
3.3.1 荷重	12
3.3.2 荷重の組合せ	12
3.4 入力地震動	13
3.5 解析モデル	26
3.5.1 解析モデル	26
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	28
3.5.3 地盤の物性値	28
3.5.4 地下水位	29
3.6 許容限界	30
3.7 評価方法	34
4. 耐震評価結果	35
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	35

## 1. 概要

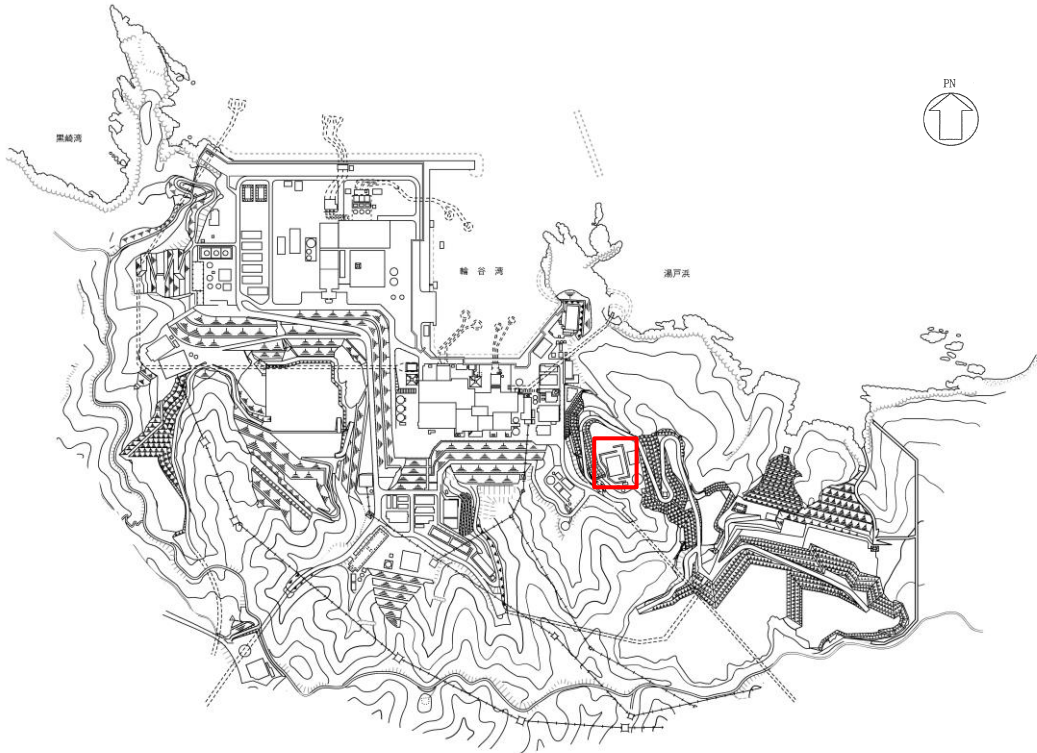
本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、免震重要棟遮蔽壁が、上位クラス施設である緊急時対策所に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

波及的影響の評価として、上位クラス施設の機能が保持されることを $S_s$ を用いた地震応答解析を行い、構造部材の健全性評価を実施することにより、免震重要棟遮蔽壁が十分な構造強度を有することを確認する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

免震重要棟遮蔽壁の位置を図 2-1 に、波及的影響範囲を図 2-2 に示す。




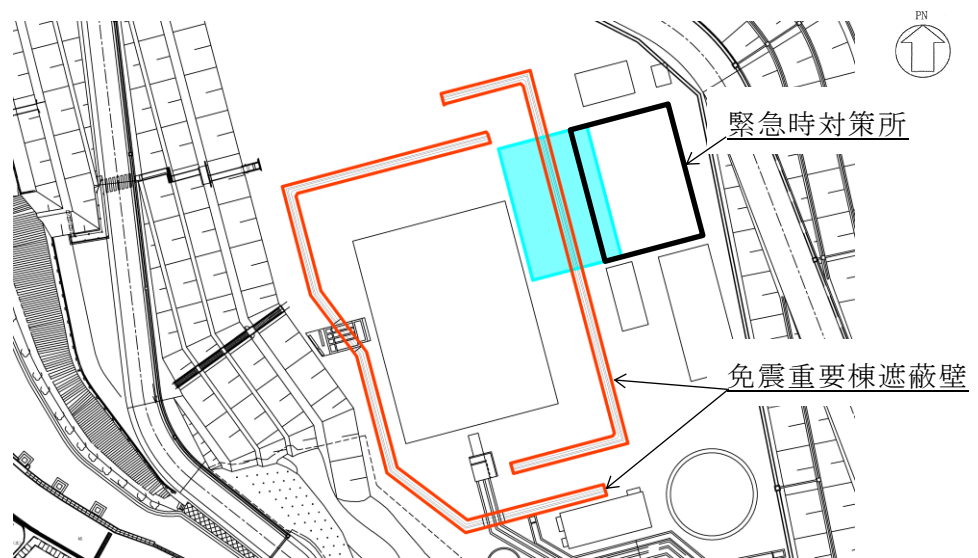
 免震重要棟遮蔽壁

図 2-1 免震重要棟遮蔽壁の設置位置




 : 免震重要棟遮蔽壁の波及的影響範囲 (約 10m)

図 2-2 免震重要棟遮蔽壁の波及的影響範囲

## 2.2 構造概要

免震重要棟遮蔽壁の平面図を図 2-3 に、断面図を図 2-4 に示す。

免震重要棟遮蔽壁は、鉄筋コンクリート造の杭基礎（鋼管杭）構造であり、幅 0.5～2.4m、高さ 10.3m の鉄筋コンクリート造の壁部と、径 1.2m、高さ 6m の鋼管杭の地下部により構成される。

また、免震重要棟遮蔽壁は、十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

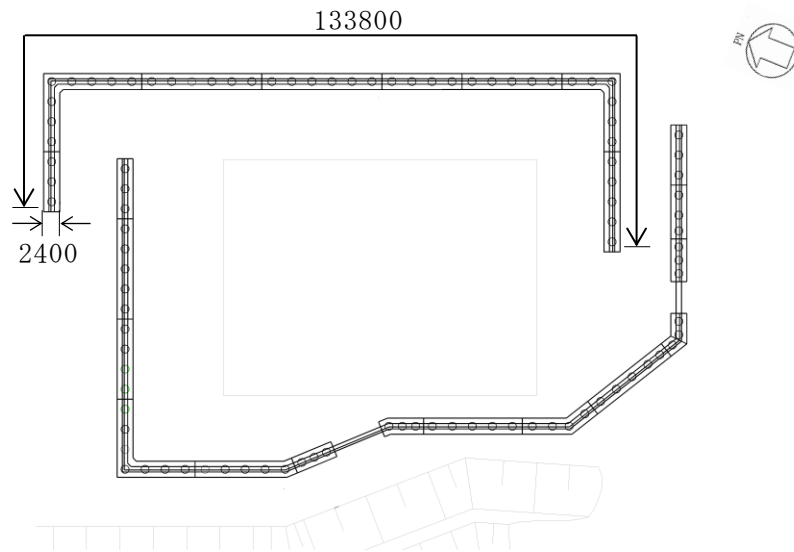


図 2-3 免震重要棟遮蔽壁の概要図（平面図）（単位：mm）

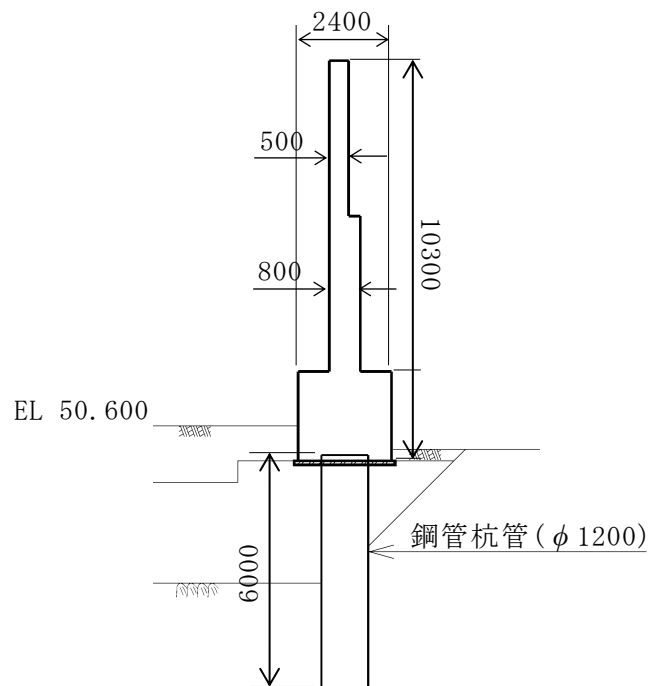


図 2-4 免震重要棟遮蔽壁の概要図（断面図）（単位：mm）



### 2.3 評価方針

図 2-5 に免震重要棟遮蔽壁の波及的影響の評価フローを示す。

免震重要棟遮蔽壁の波及的影響評価は、地震応答解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 の免震重要棟遮蔽壁の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊については構造部材の圧縮縁コンクリートひずみが許容限界以下であることを確認する。せん断破壊に対してはせん断力が許容限界以下であることを確認する。

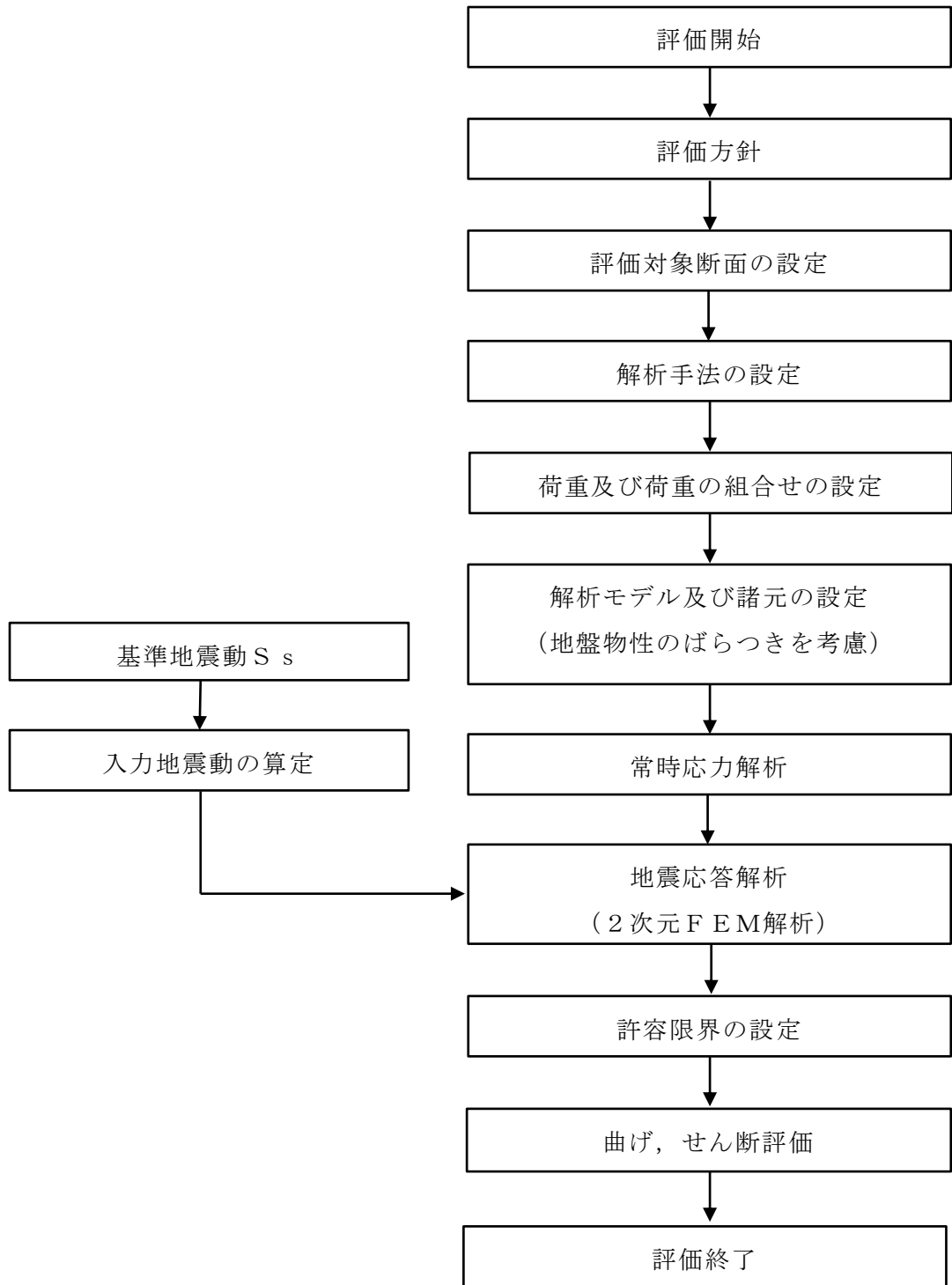


図 2-5 免震重要棟遮蔽壁の耐震評価フロー

表 2-1 免震重要棟遮蔽壁の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	遮蔽壁	圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ・軸力	圧縮縁コンクリートひずみ*
				せん断力	短期許容せん断応力度

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。

- ・ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（原子力安全委員会，2006.9）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会，1987）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（日本電気協会，1991）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008（日本電気協会，2008）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術規定 JEAC4601-2008（日本電気協会，2009）
- ・ 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針（土木学会・原子力土木委員会，2005.6）（以下「土木学会マニュアル」という。）
- ・ コンクリート標準示方書（土木学会，2002）

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象断面

免震重要棟遮蔽壁の評価対象断面位置図を図3-1に示す。免震重要棟遮蔽壁のうち、波及的影響を及ぼす恐れのある範囲から、評価対象断面を選定する。

評価対象断面は、免震重要棟遮蔽壁の弱軸方向である、免震重要棟遮蔽壁の直交断面を選定する。

免震重要棟遮蔽壁の評価対象断面図を図3-2に示す。

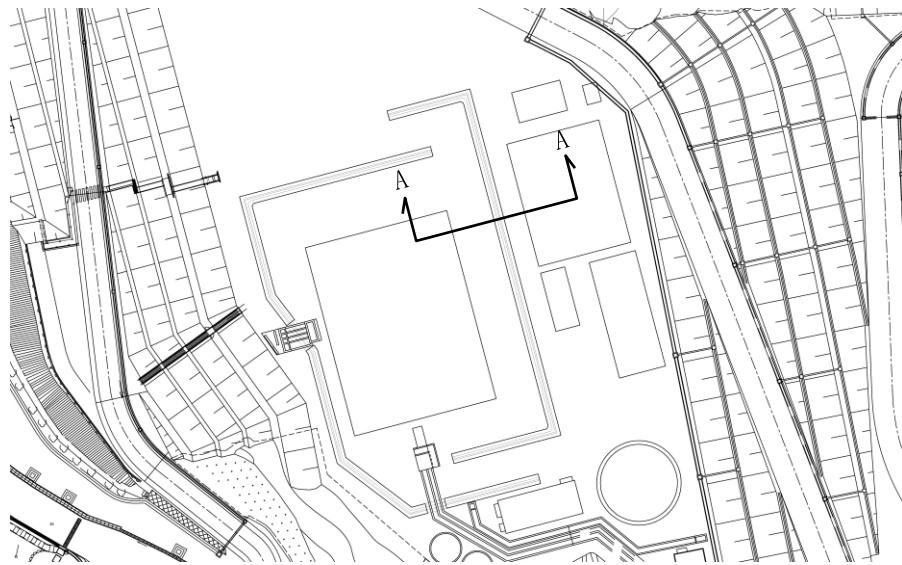


図3-1 免震重要棟遮蔽壁の評価対象断面位置図

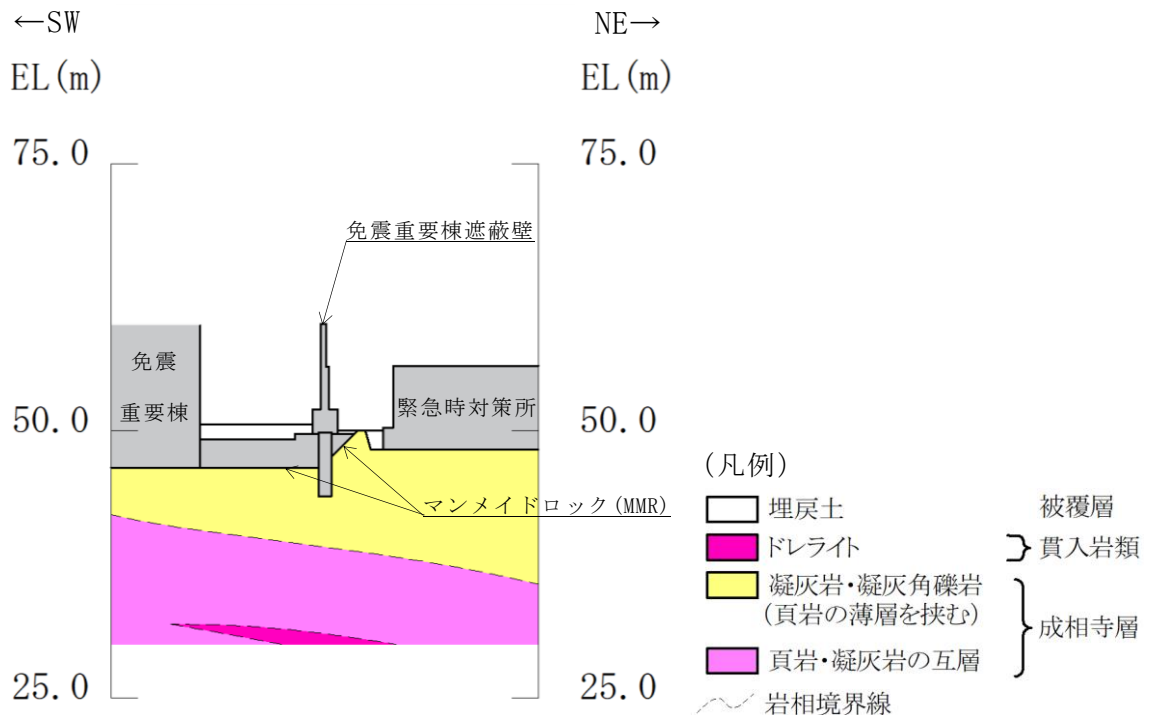


図3-2 評価対象断面図 (A-A断面)

### 3.2 解析方法

地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法により、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を行う。免震重要棟遮蔽壁周辺の地下水位が免震重要棟遮蔽壁下端より低いことから、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析には、解析コード「TDA P Ver. 3.04」を使用する。

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

#### 3.2.1 地盤物性のばらつき

図3-2に示すとおり、免震重要棟遮蔽壁の周辺には、主として岩盤が分布しており、この岩盤のせん断変形が地震時に免震重要棟遮蔽壁の応答に影響を与えることと判断されることから、この地盤の物性(せん断弾性係数)のばらつきについて影響を確認する。

解析ケースを表3-1に示す。

せん断弾性係数の標準偏差 $\sigma$ を用いて設定した解析ケース②～③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。

表3-1 解析ケース(免震重要棟遮蔽壁)

解析ケース	埋戻土	岩盤
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+ $1\sigma$
ケース③	平均値	平均値- $1\sigma$

### 3.2.2 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  $\alpha$ 、 $\beta$  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

$\alpha$ 、 $\beta$  : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$ 、 $\beta$  の設定結果

$\alpha$	$\beta$
2.638	$2.527 \times 10^{-4}$

### 3.2.3 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊の照査項目ごとに照査値が 0.5 以上となる照査項目に対して、最も厳しい地震動を用いて、表 3-1 に示す解析ケース②及び③を実施する。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 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース		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		平均値		平均値 + 1 $\sigma$		平均値 - 1 $\sigma$	
地震動 (位相)	S <sub>s</sub> -D	++*	○				
		-+*	○				
		+ - *	○				
		--*	○				
	S <sub>s</sub> -F1	++*	○				
	S <sub>s</sub> -F2	++*	○				
	S <sub>s</sub> -N1	++*	○				
		-+*	○				
	S <sub>s</sub> -N2 (NS)	++*	○				
		-+*	○				
	S <sub>s</sub> -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、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊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。

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 荷重

免震重要棟遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

##### (1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

##### (2) 積雪荷重 (P<sub>s</sub>)

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<sup>2</sup>の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

##### (3) 風荷重 (P<sub>k</sub>)

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

##### (4) 地震荷重 (S<sub>s</sub>)

基準地震動S<sub>s</sub>による荷重を考慮する。

#### 3.3.2 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 <sub>s</sub> )	G + P <sub>s</sub> + P <sub>k</sub> + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

P<sub>s</sub> : 積雪荷重

P<sub>k</sub> : 風荷重

S<sub>s</sub> : 地震荷重 (基準地震動S<sub>s</sub>)

### 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3-15に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「micrOSHAKe Ver. 2.3.1」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。

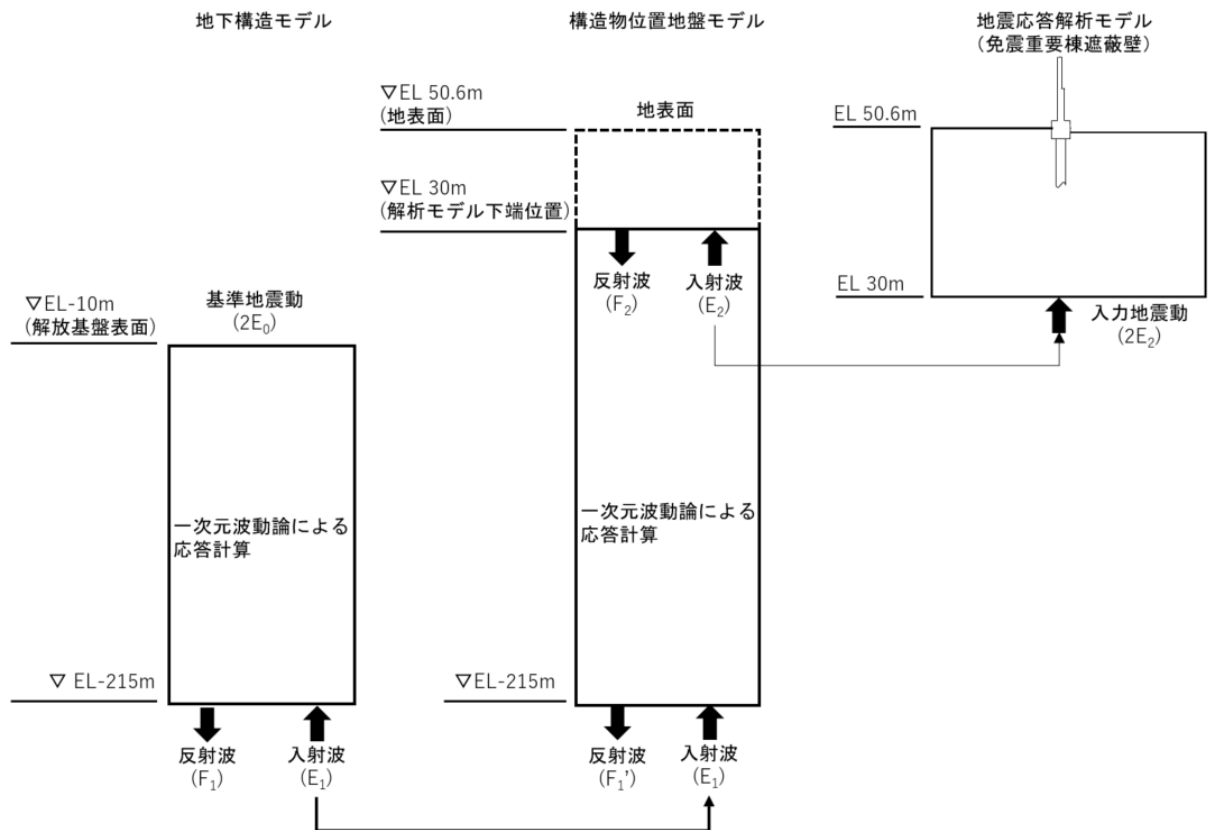
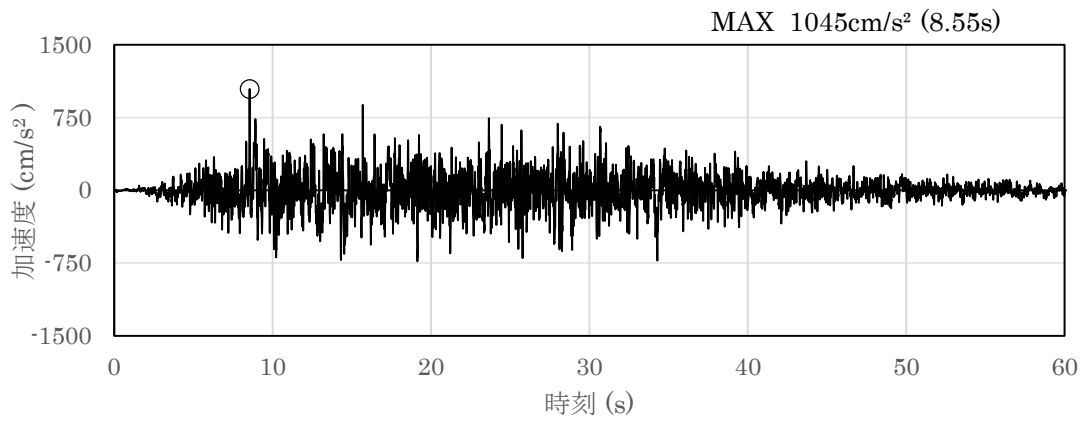
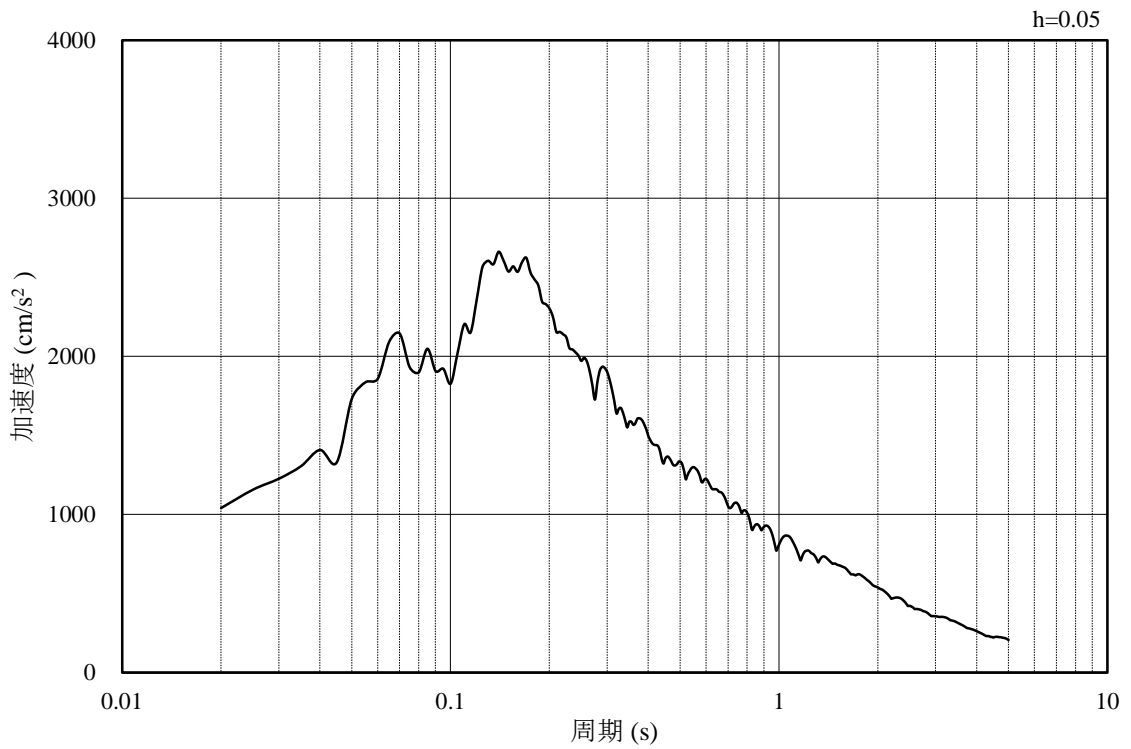


図3-3 入力地震動算定の概念図

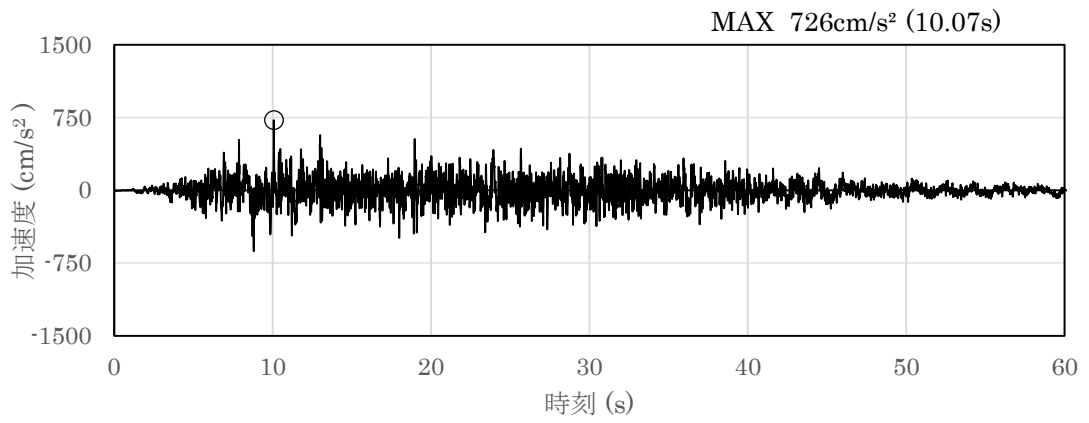


(a) 加速度時刻歴波形

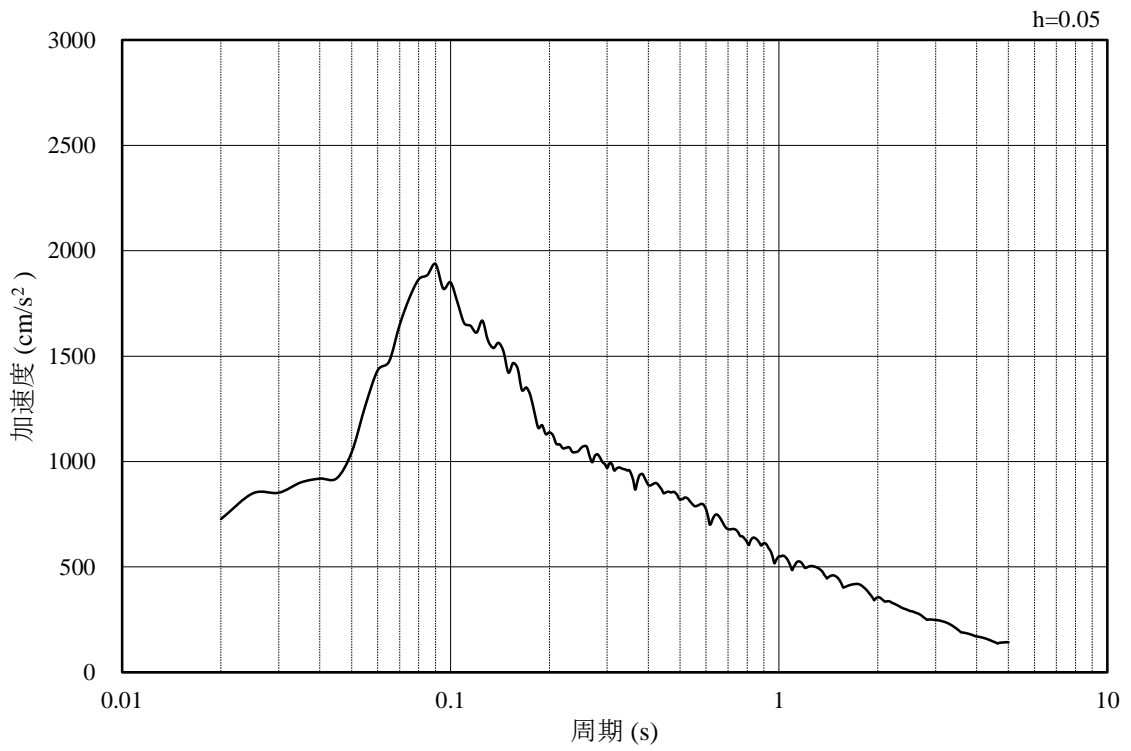


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(水平成分：S s - D)

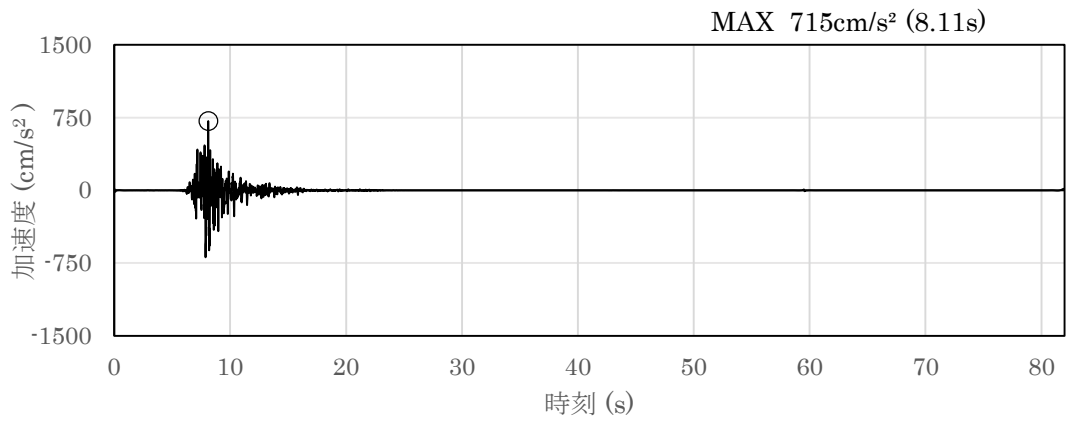


(a) 加速度時刻歴波形

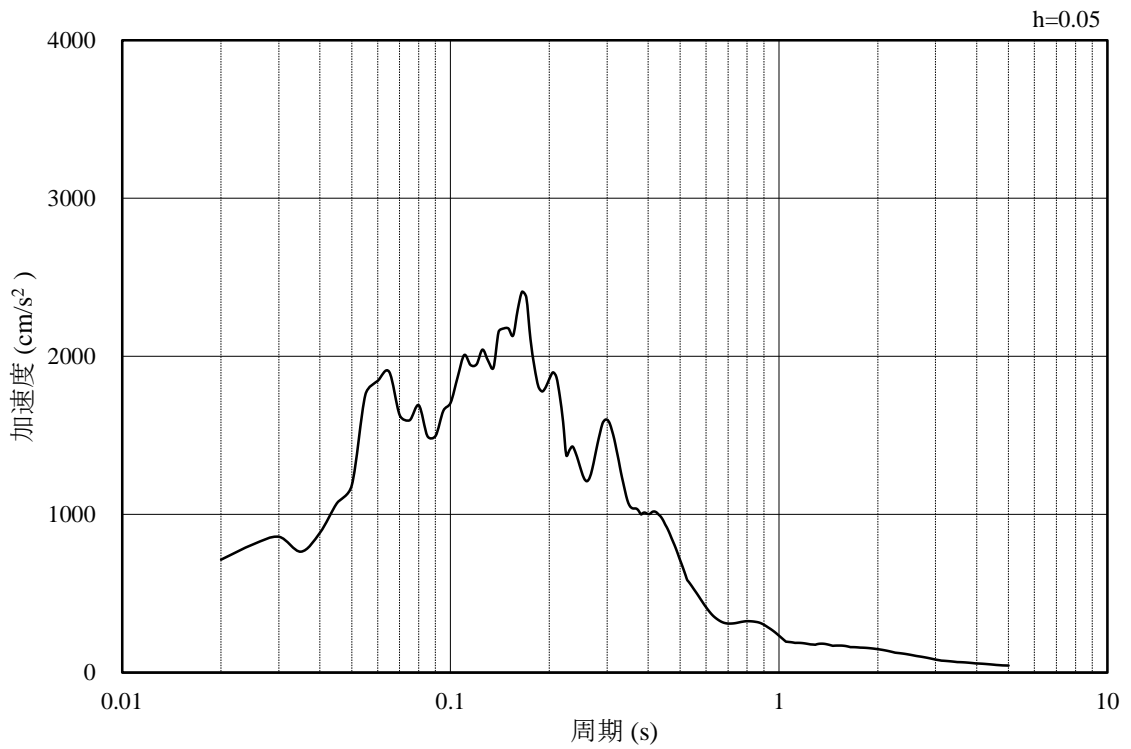


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - D)

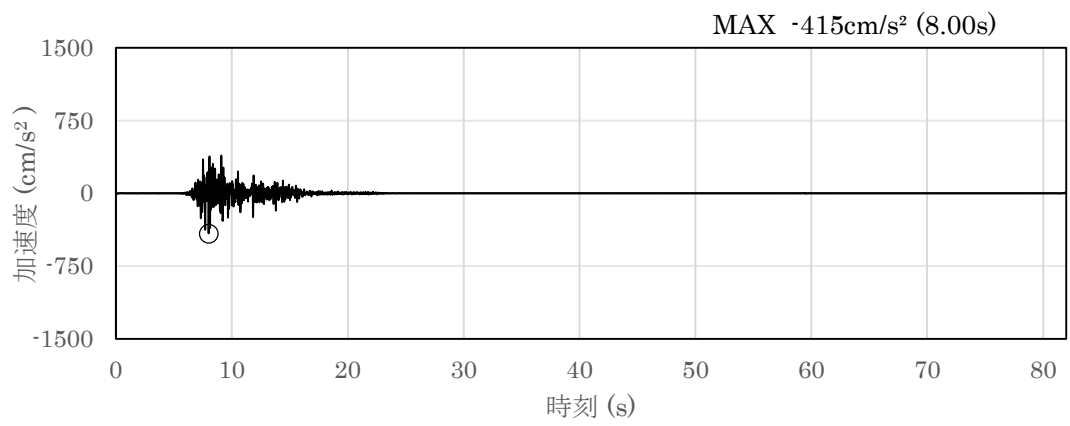


(a) 加速度時刻歴波形

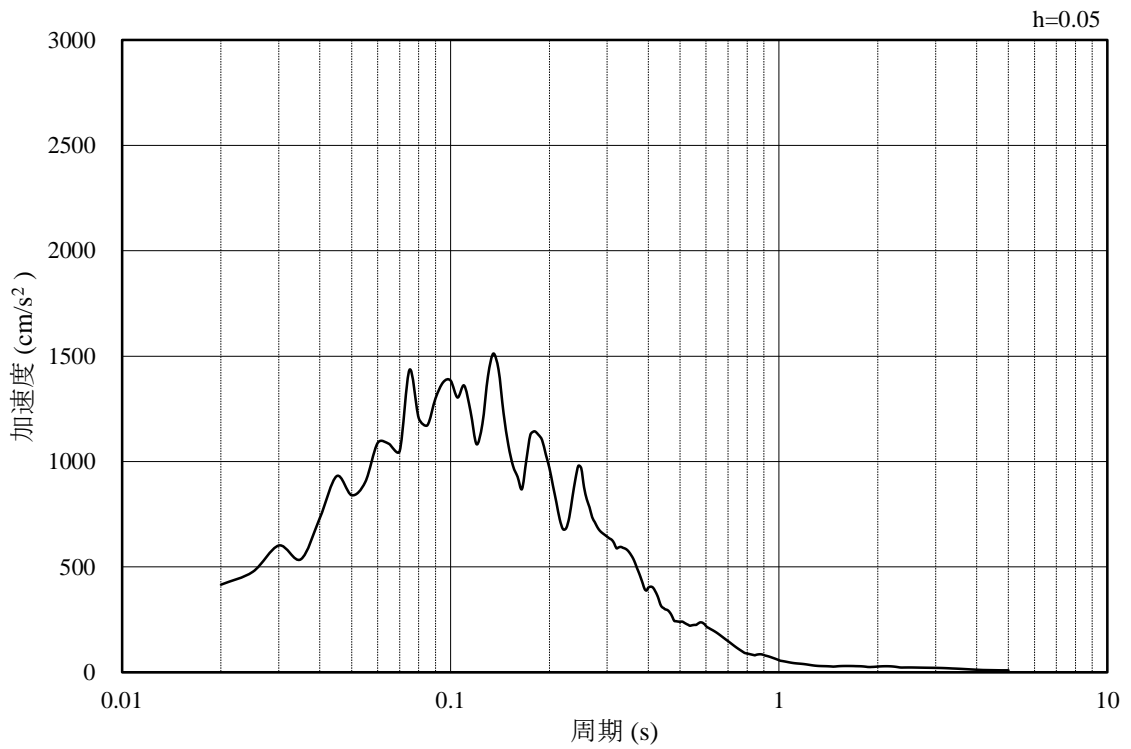


(b) 加速度応答スペクトル

図 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  
(水平成分 : S s - F 1)

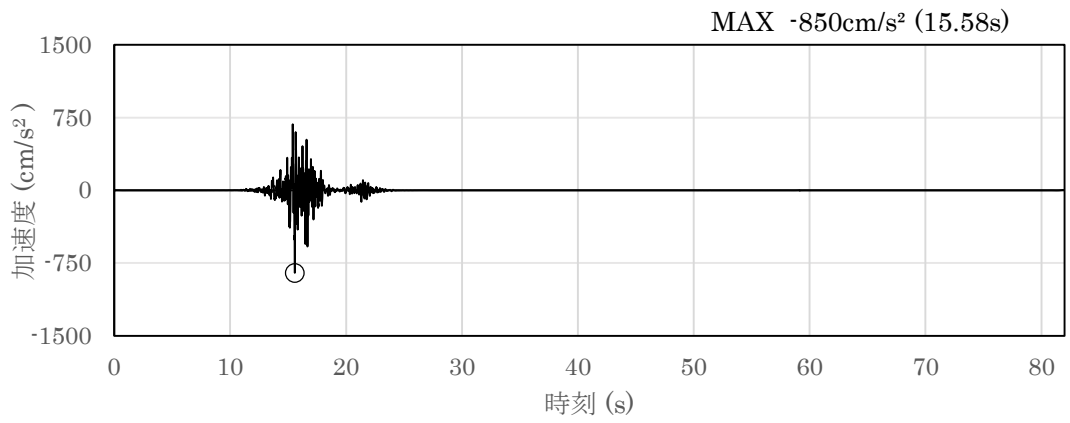


(a) 加速度時刻歴波形

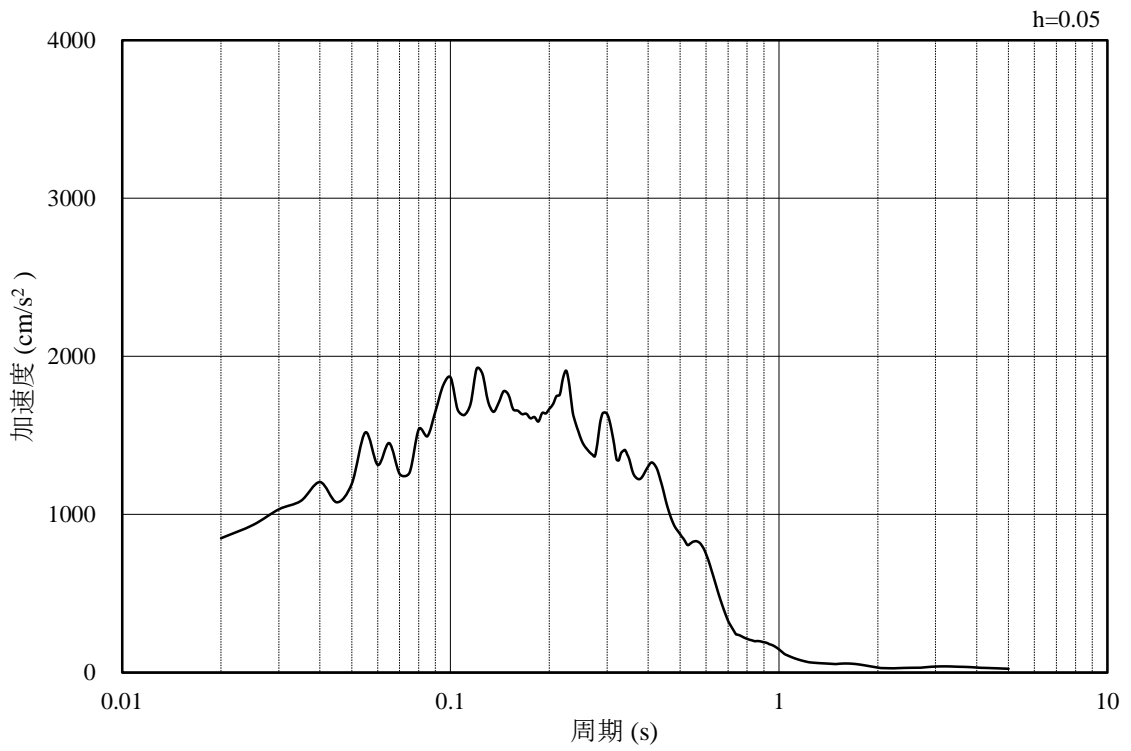


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - F 1)

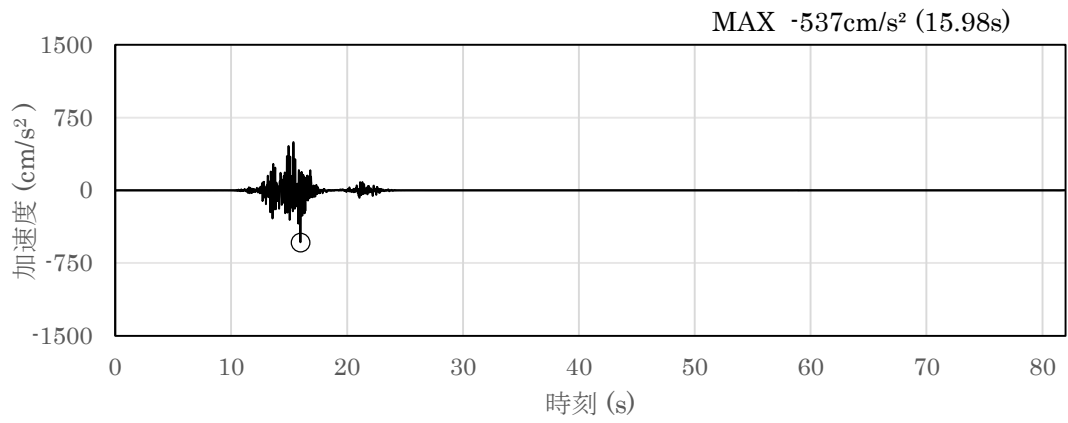


(a) 加速度時刻歴波形

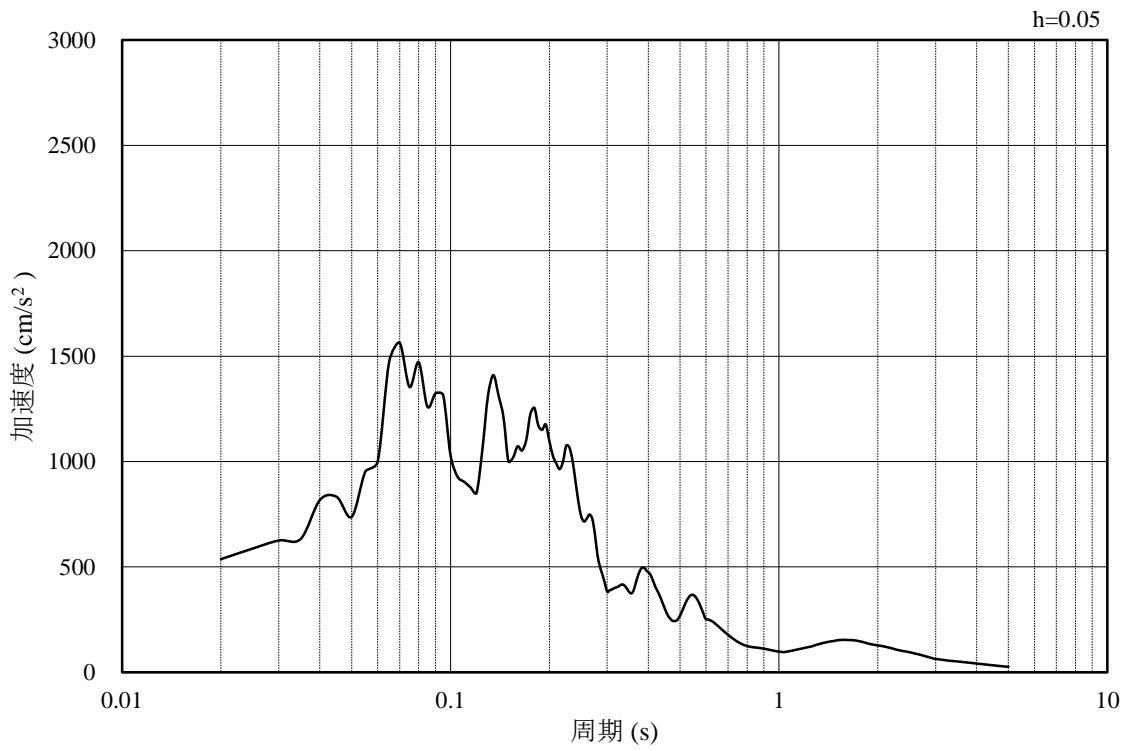


(b) 加速度応答スペクトル

図 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 - F 2)



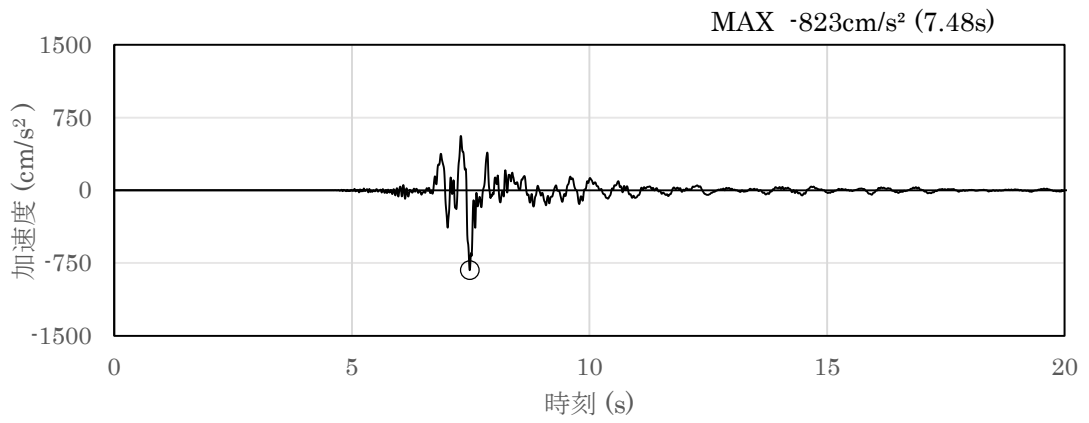
(a) 加速度時刻歴波形



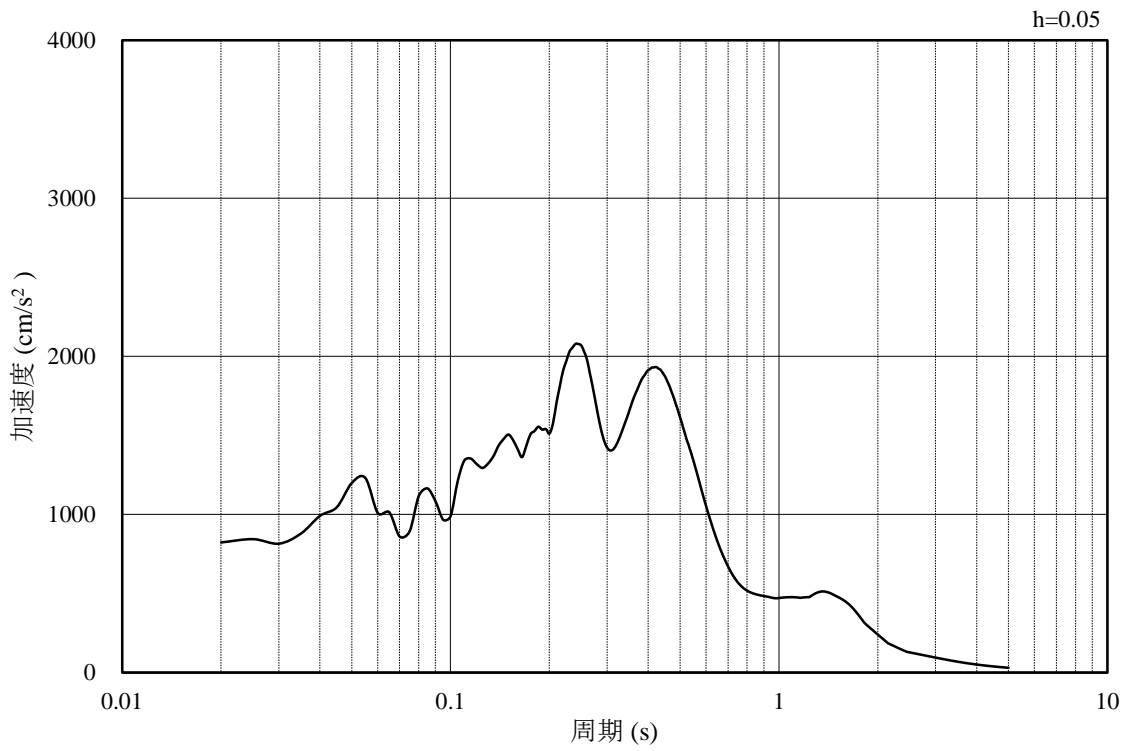
(b) 加速度応答スペクトル

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 - F 2)



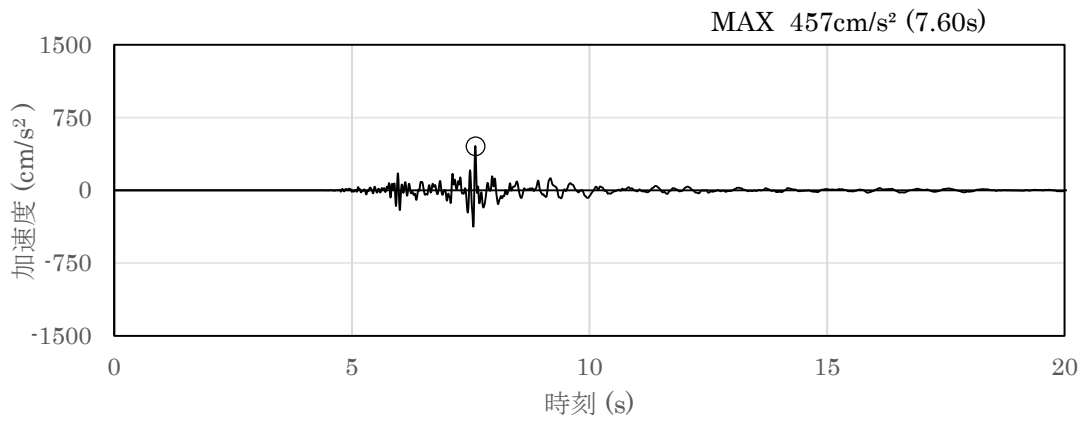


(a) 加速度時刻歴波形

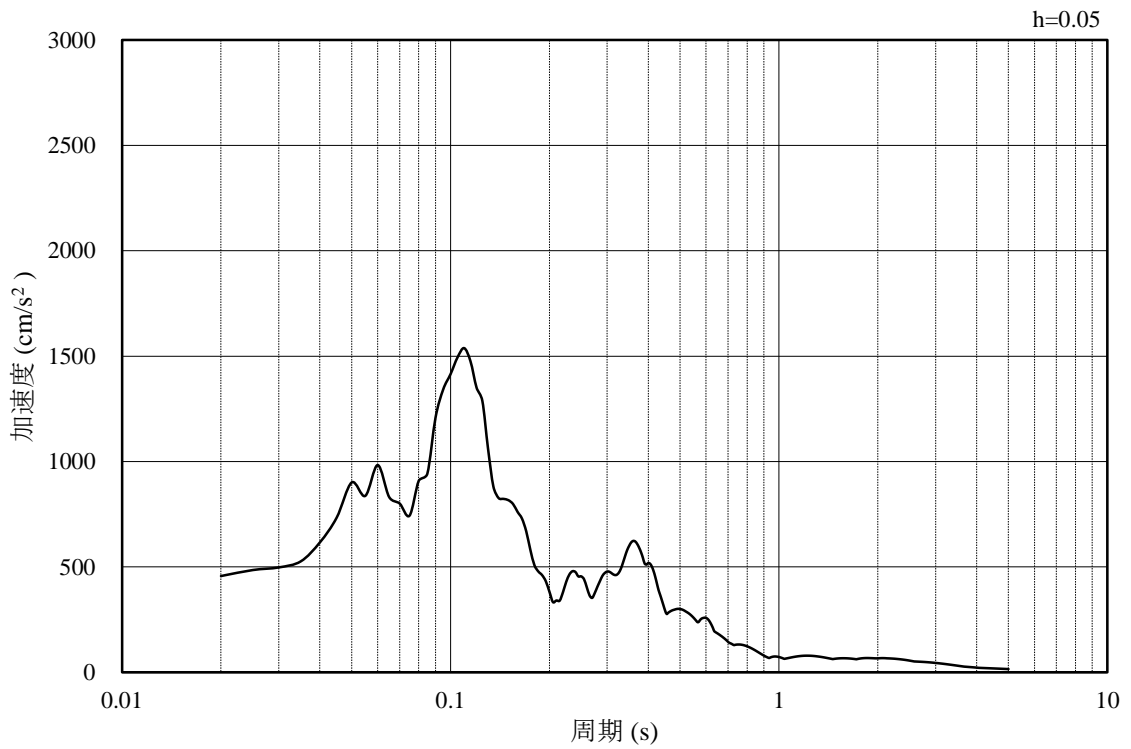


(b) 加速度応答スペクトル

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 - N 1)

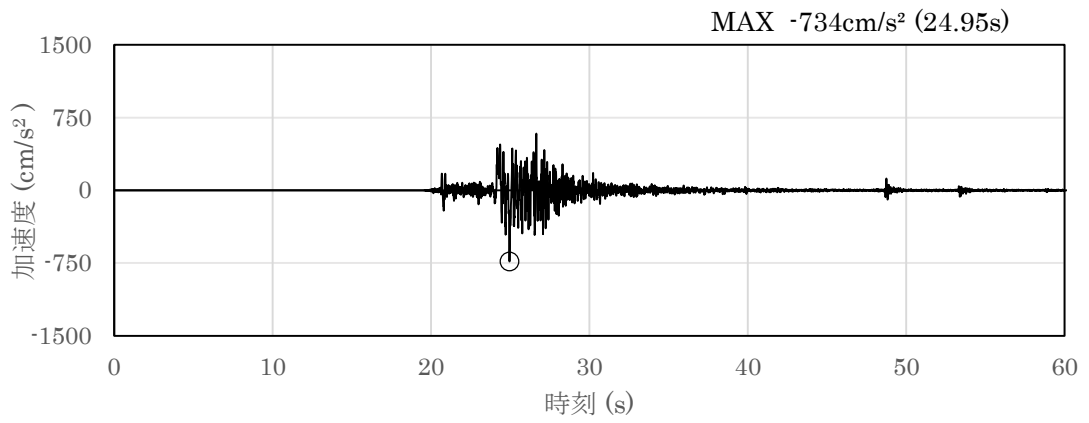


(a) 加速度時刻歴波形

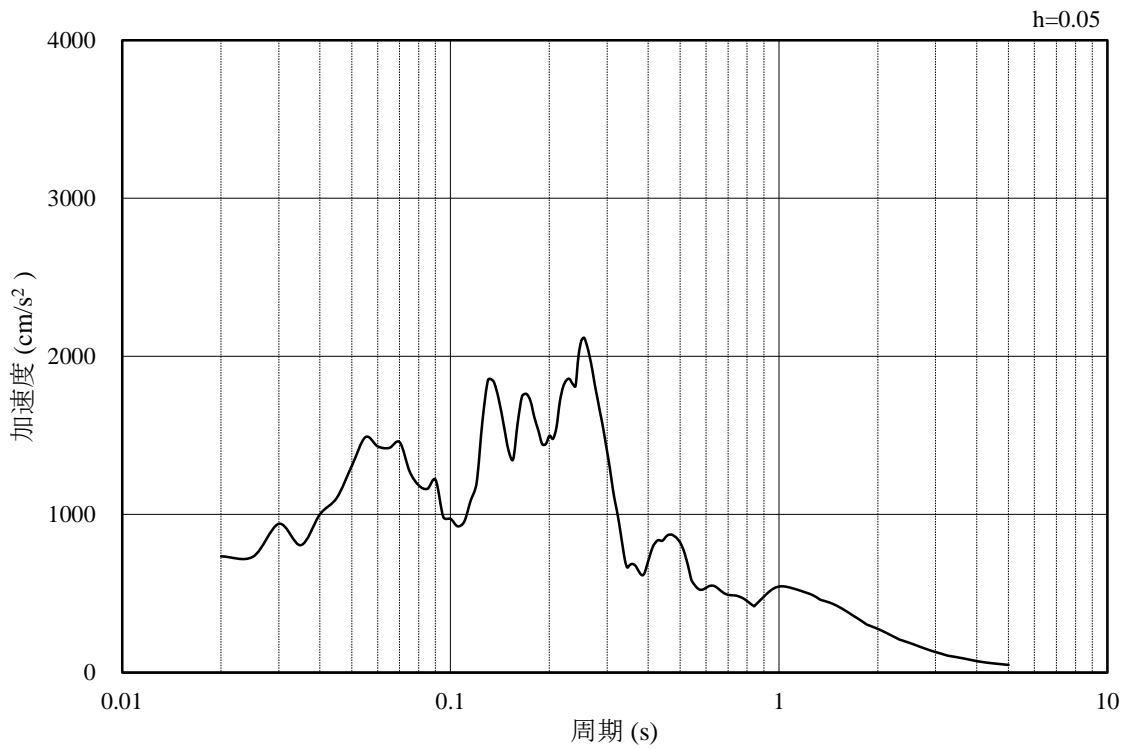


(b) 加速度応答スペクトル

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 - N 1)

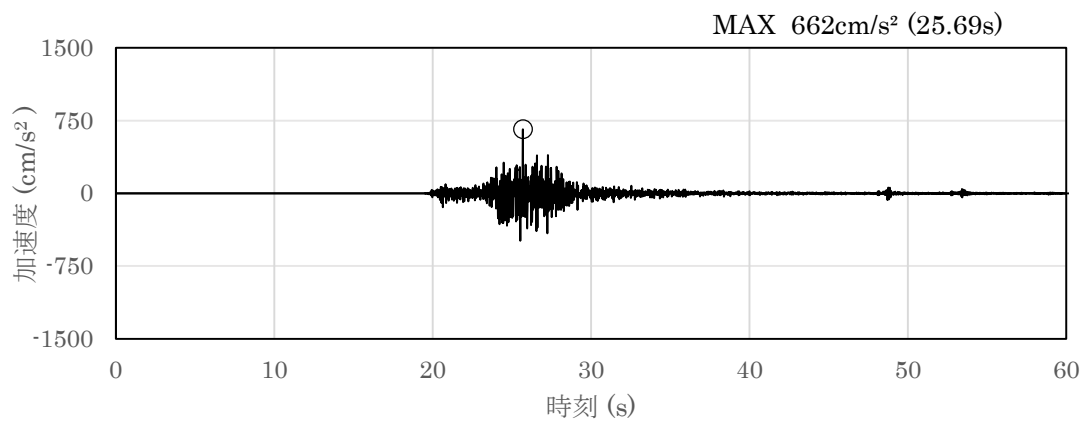


(a) 加速度時刻歴波形

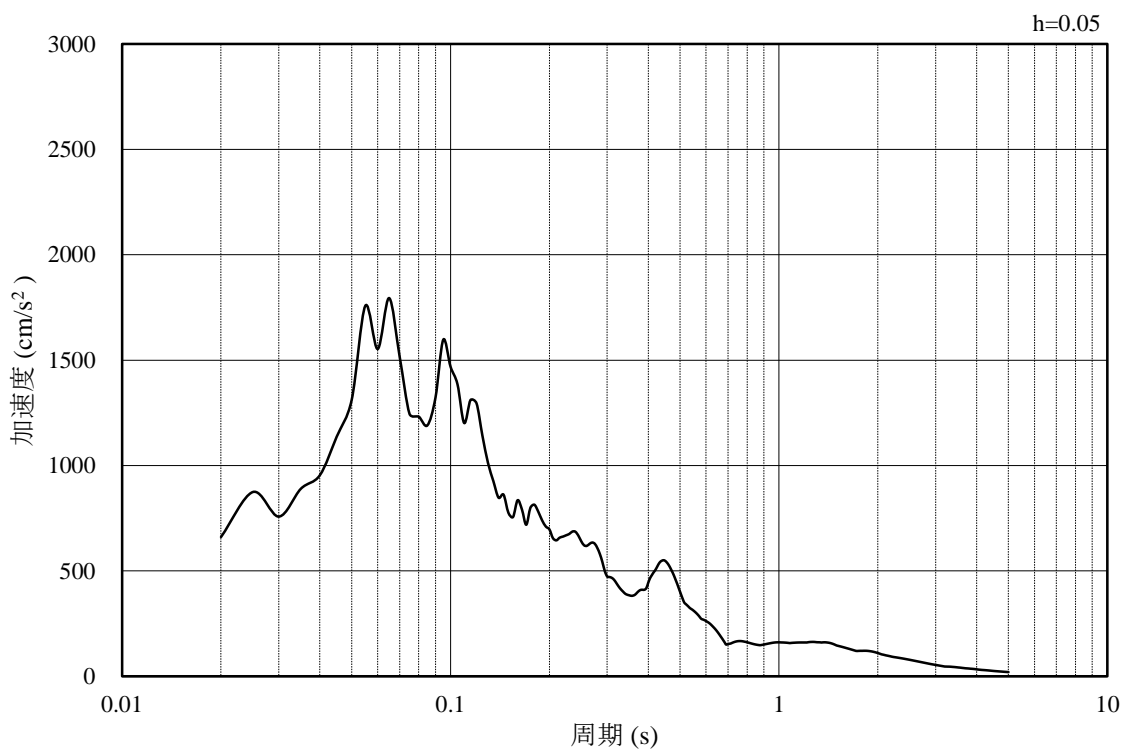


(b) 加速度応答スペクトル

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 - N 2, N S 方向)

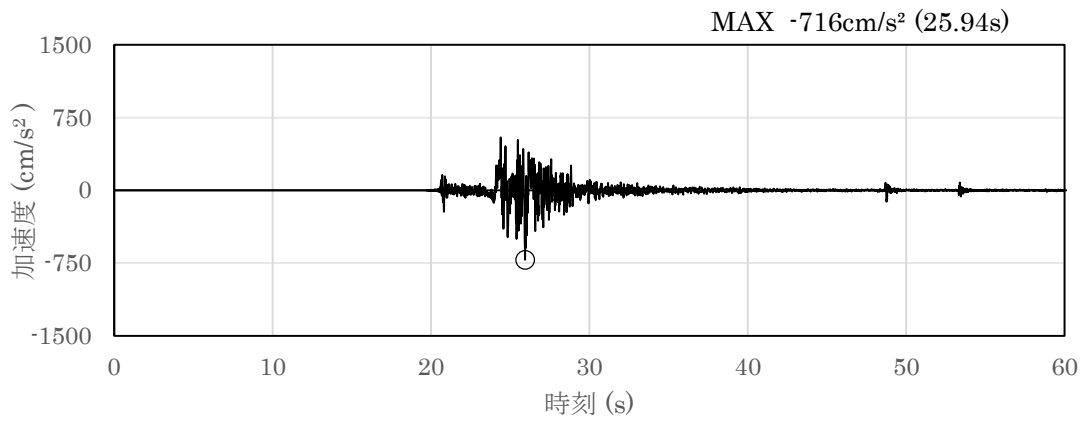


(a) 加速度時刻歴波形

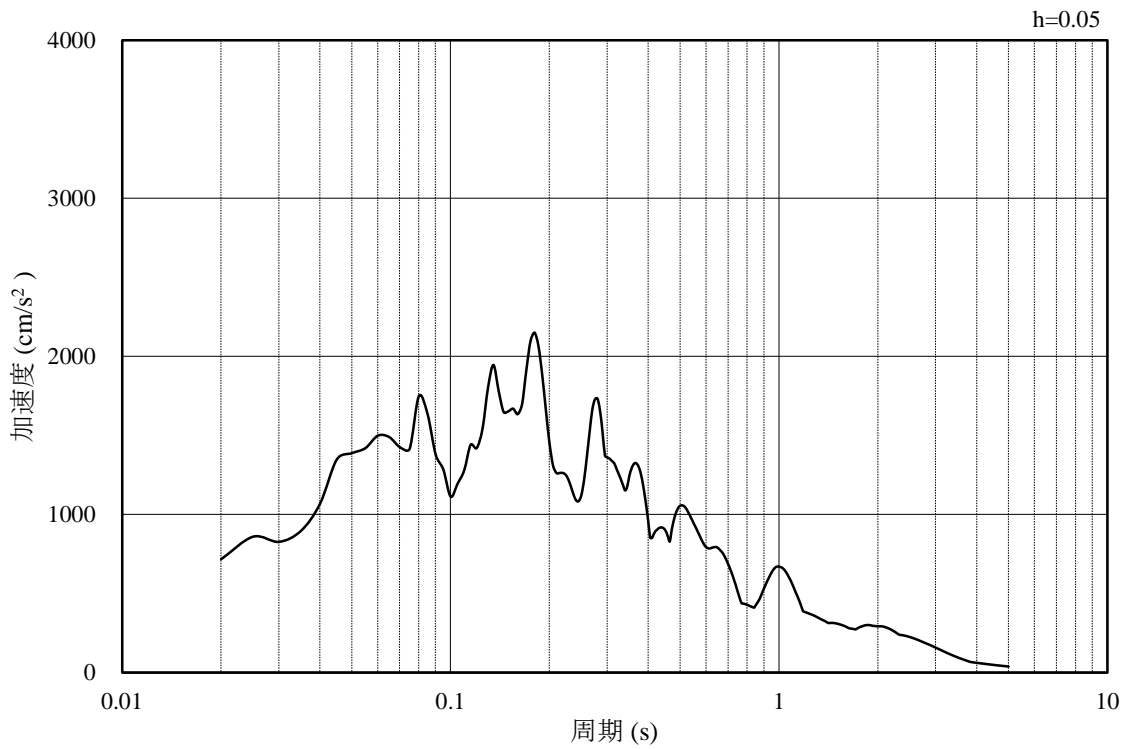


(b) 加速度応答スペクトル

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

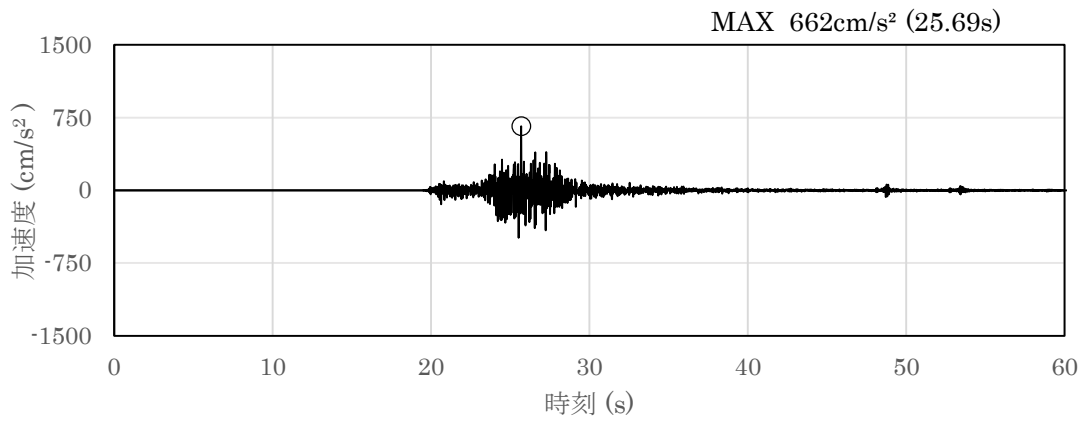


(a) 加速度時刻歴波形

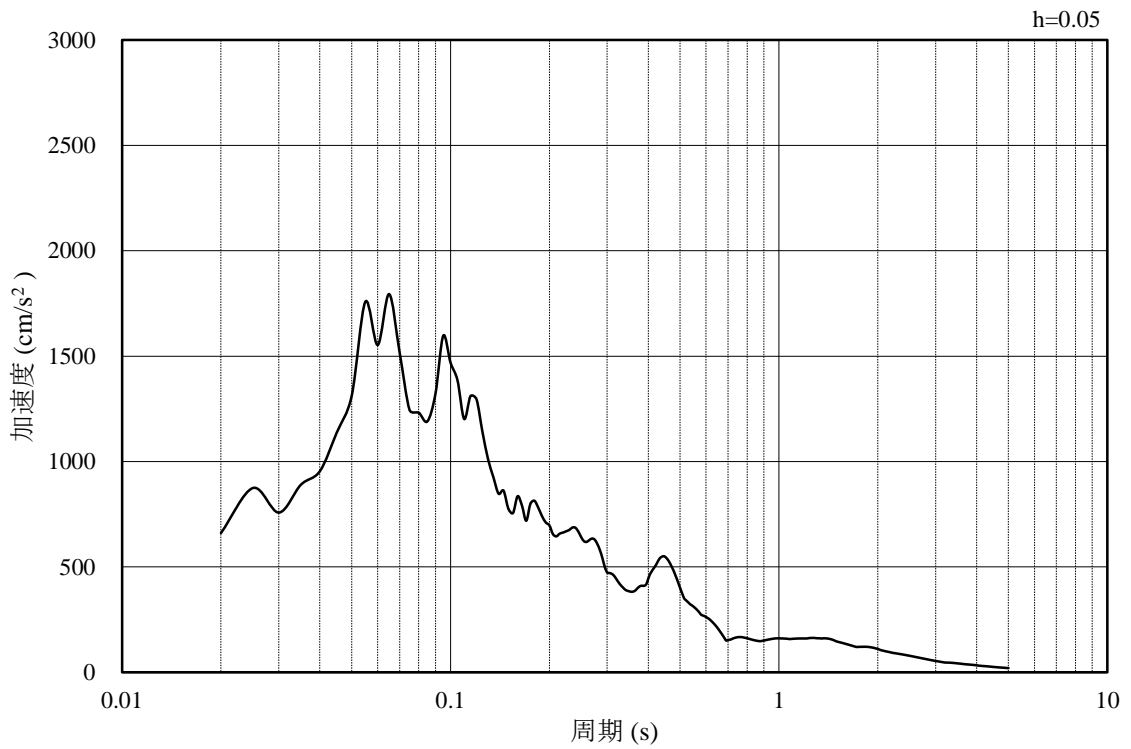


(b) 加速度応答スペクトル

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

### 3.5 解析モデル

#### 3.5.1 解析モデル

地震解析モデルを図 3-16 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

構造部材のうち、遮蔽壁については非線形はり要素及び線形はり要素、鋼管杭については線形はり要素によりモデル化する。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。埋戻土は、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。なお、MMRは周辺岩盤と同様とし、線形の平面ひずみ要素としてモデル化する。

##### (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。

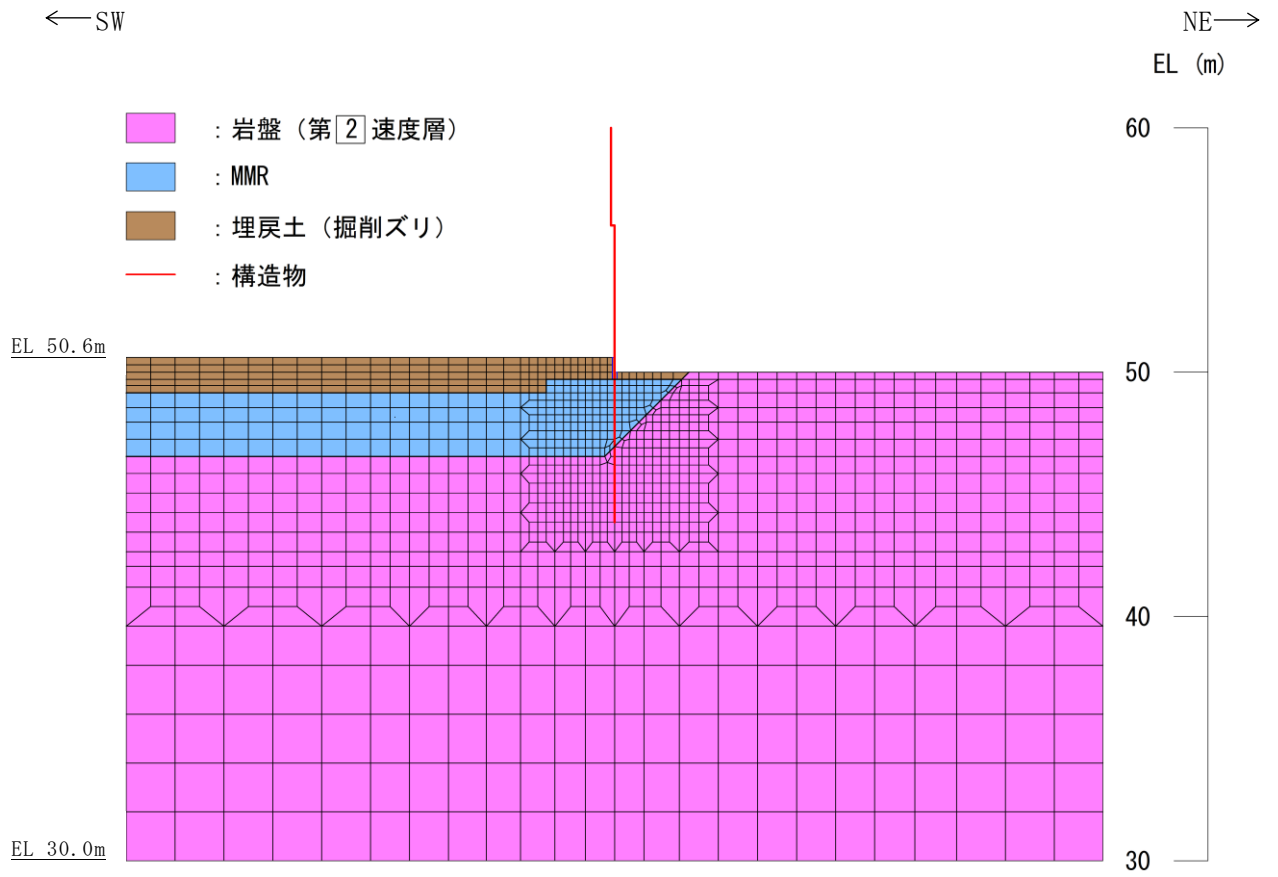


図 3-16 免震重要棟遮蔽壁の解析モデル



## 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

材料	仕様
鉄筋	SD345
コンクリート	設計基準強度 30.0N/mm <sup>2</sup>
鋼管杭	SKK490

表 3-6 材料の物性値 (構造部材)

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	24.5
鉄筋	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	77.0
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.00×10 <sup>5</sup>
	ポアソン比	0.3
コンクリート	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.80×10 <sup>4</sup>
	ポアソン比	0.2
MMR	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	22.6
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.20×10 <sup>4</sup>
	ポアソン比	0.2
鋼管杭 (SKK490)	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	77.0
	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.00×10 <sup>5</sup>
	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。

#### 3.5.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表3-7に示す。

なお、免震重要棟遮蔽壁直下の地下水位は、免震重要棟遮蔽壁下端より低いことから、地下水による浮力は考慮しない。

表3-7 設計用地下水位

施設名称	解析断面	設計用地下水位 (EL m)
免震重要棟遮蔽壁	A-A断面	23.0

### 3.6 許容限界

免震重要棟遮蔽壁の緊急時対策所に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき設定する。

#### (1) 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

構造部材の曲げ軸力に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、圧縮縁コンクリート限界ひずみ 1.0%とする。

鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界を表 3-8 に示す。

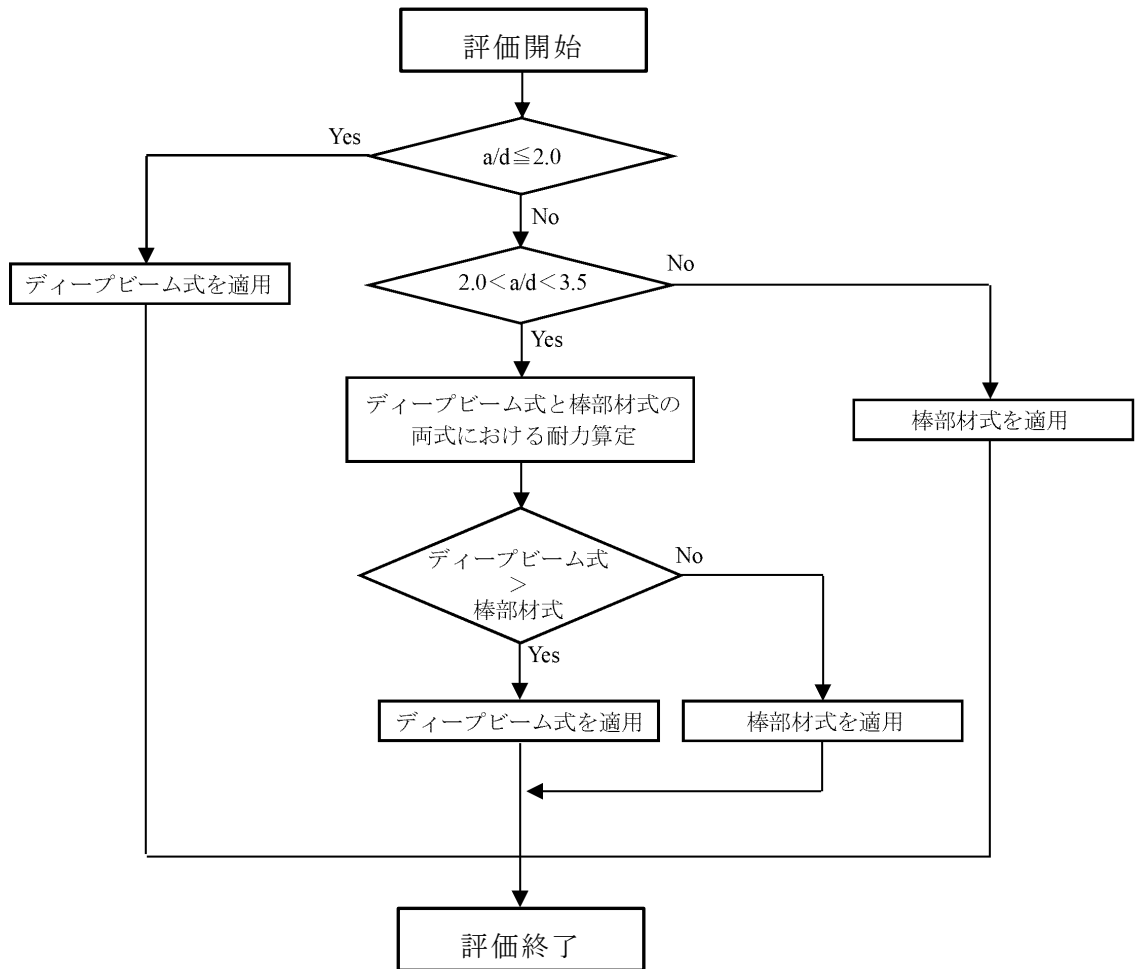
表 3-8 曲げ・軸力系の破壊に対する許容限界

確認項目	許容限界	
構造強度を有すること	圧縮縁コンクリート限界ひずみ	1.0% (10000 $\mu$ )

#### (2) せん断破壊に対する許容限界

構造強度を有することの確認における構造部材（遮蔽壁）のせん断破壊に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づくせん断耐力とする。せん断耐力は、土木学会マニュアルに基づき「(1)棒部材式」，「(2)ディープビーム式」のせん断耐力式で求まるせん断耐力のうちいずれか大きい方とする。

せん断破壊に対する耐力評価フローを図 3-18 に示す。



せん断スパン比 (a/d) の一般的な目安設定

- 0 < a/d ≤ 2.0 ディープビーム式の適用範囲
- 2.0 < a/d < 3.5 ディープビーム式 or 棒部材式の耐力が大きい方 (遷移領域)
- 3.5 ≤ a/d 棒部材式の適用範囲

図 3-18 せん断破壊に対する耐力評価フロー

(1) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、 $V_{yd}$  : せん断耐力

$V_{cd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sd}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72 [N/mm^2]$  となる場合は

$$f_{vcd} = 0.72 [N/mm^2]$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d[m])$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$  となる場合は  $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$  となる場合は  $\beta_p = 1.5$

$$\begin{aligned} \beta_n &= 1 + M_0 / M_d (N'_d \geq 0) \\ &= 1 + 2M_0 / M_d (N'_d < 0) \end{aligned}$$

ただし、 $\beta_n > 2.0$  となる場合は  $\beta_n = 2.0$

ただし、 $\beta_n < 0$  となる場合は  $\beta_n = 0$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$  となる場合は  $\beta_a = 1.0$

(本検討では保守的に  $\beta_a = 1.0$  とする)

ここで、 $f'_{cd}$

: コンクリートの設計圧縮強度  $[N/mm^2]$

$d$

: 部材の有効高さ

$p_v$

: 引張鉄筋比  $p_v = A_s / (b_w \cdot d)$

$A_s$

: 引張側鋼材の断面積

$b_w$

: 部材の有効幅

$N'_d$

: 設計軸圧縮力

$M_d$

: 設計曲げモーメント

$M_0$

:  $M_d$  に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$$M_0 = N'_d \cdot D / 6$$

$D$

: 断面高さ

$a/d$

: せん断スパン比

$\gamma_{bc}$

: 部材係数

$$V_{sd} = \{A_w \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} \cdot z / \gamma_{bs}$$

- ここで、 $A_w$  : 区間  $s$  におけるせん断補強鉄筋の総断面積  
 $f_{wyd}$  : せん断補強鉄筋の降伏強度で、 $400\text{N/mm}^2$  以下とする。  
 ただし、コンクリート圧縮強度の特性値  $f'_{ck}$  が  
 $60\text{N/mm}^2$  以上の場合、 $800\text{N/mm}^2$  以下とする。  
 $\alpha$  : せん断補強鉄筋と部材軸のなす角度  
 $s$  : せん断補強鉄筋の配置間隔  
 $z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの  
 距離で、 $d/1.15$  とする。  
 $\gamma_{bs}$  : 部材係数

(2) ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

- ここで、 $V_{ydd}$  : せん断耐力  
 $V_{cdd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力  
 $V_{sdd}$  : せん断補強鉄筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d[\text{m}]) \quad \text{ただし、} \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_d = 1.5$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100p_v} \quad \text{ただし、} \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } \beta_p = 1.5$$

$$\beta_a = \frac{5}{1 + (a/d)^2}$$

- ここで、 $\gamma_{bc}$  : 部材係数

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$$\phi = -0.17 + 0.3a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし、} 0 \leq \phi \leq 1$$

- ここで、 $p_{wb}$  : せん断補強鉄筋比[%]

### 3.7 評価方法

免震重要棟遮蔽壁の耐震評価は，地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.6 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

構造強度を有することの確認については，鉄筋コンクリートの曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する照査において，地震応答解析により算定した圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

#### 4. 耐震評価結果

##### 4.1 構造部材の健全性に対する評価結果

鉄筋コンクリート部材の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値を表 4-1 に、せん断破壊に対する照査における最大照査値を表 4-2 に示す。また、遮蔽壁の評価位置を図 4-1 に示す。

免震重要棟遮蔽壁の圧縮縁コンクリートひずみ及びせん断力が、構造部材の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		照査用圧縮縁 コンクリート ひずみ*	圧縮縁コンク リート限界ひ ずみ	照査値
①	S <sub>s</sub> -D	++	506 μ	10000 μ	0.06
		-+	471 μ	10000 μ	0.05
		+-	491 μ	10000 μ	0.05
		--	458 μ	10000 μ	0.05
	S <sub>s</sub> -F 1	++	389 μ	10000 μ	0.04
	S <sub>s</sub> -F 2	++	374 μ	10000 μ	0.04
	S <sub>s</sub> -N 1	++	484 μ	10000 μ	0.05
		-+	413 μ	10000 μ	0.05
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	425 μ	10000 μ	0.05
		-+	419 μ	10000 μ	0.05
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	402 μ	10000 μ	0.05
		-+	334 μ	10000 μ	0.04

注記\*：照査用圧縮縁コンクリートひずみ＝圧縮縁コンクリートひずみ×構造解析係数  $\gamma_a$



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		照査用 せん断力* $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{yd}$
①	S <sub>s</sub> -D	++	89	444	0.21
		-+	178	755	0.24
		+-	85	440	0.20
		--	171	759	0.23
	S <sub>s</sub> -F 1	++	77	442	0.18
	S <sub>s</sub> -F 2	++	146	760	0.20
	S <sub>s</sub> -N 1	++	177	754	0.24
		-+	147	756	0.20
	S <sub>s</sub> -N 2 (NS)	++	144	758	0.19
		-+	86	443	0.20
	S <sub>s</sub> -N 2 (EW)	++	86	443	0.20
		-+	121	767	0.16

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

VI-2-11-2-7 機器の耐震性についての計算書

VI-2-11-2-7-7 原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	3
2.4 適用規格・基準等	4
2.5 記号の説明	5
2.6 計算精度と数値の丸め方	12
3. 評価部位	13
4. 地震応答解析及び構造強度評価	13
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	13
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	20
4.6 計算方法	21
4.7 計算条件	32
4.8 応力の評価	32
5. 評価結果	34
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	34
6. 引用文献	34

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設である原子炉浄化系補助熱交換器（Bクラス施設）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ことで、接続している上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

原子炉浄化系補助熱交換器は、原子炉建物2階に設置されている。原子炉浄化系補助熱交換器は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉補機冷却系配管が接続していることから、地震時に本機器が損傷又は転倒した場合は原子炉補機冷却系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

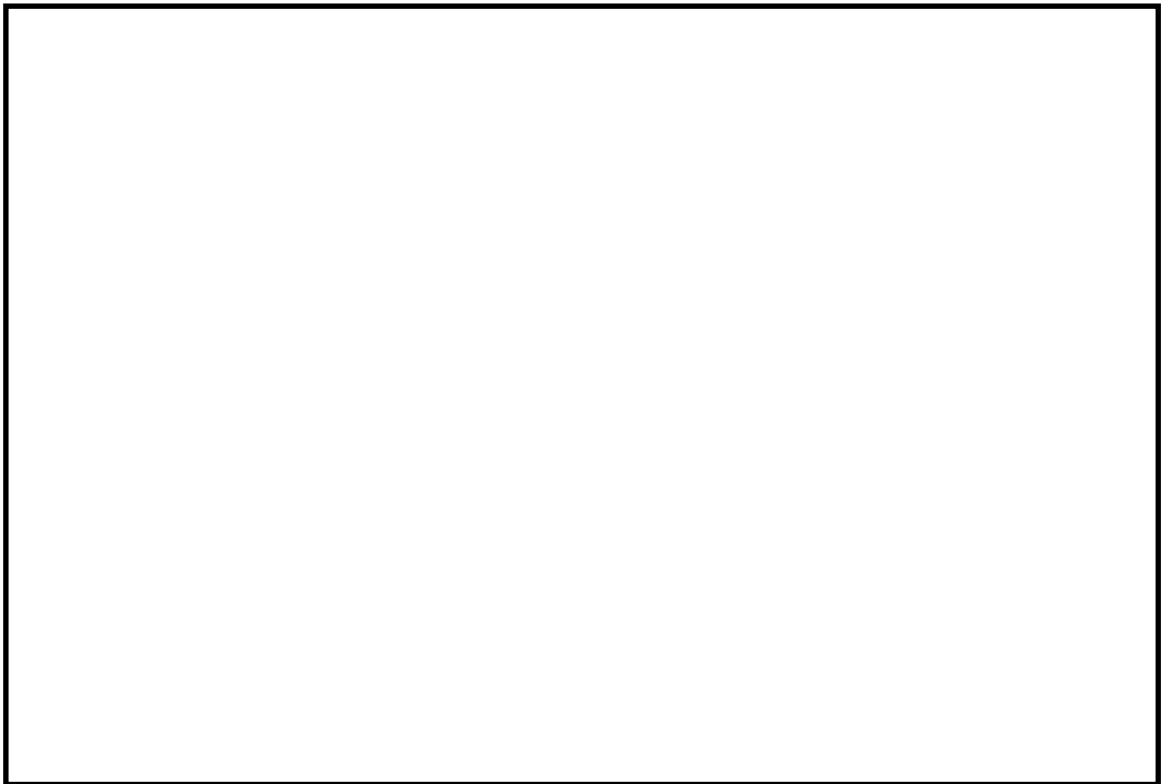


図2-1 原子炉浄化系補助熱交換器と上位クラス施設の位置関係図

### 2.2 構造計画

原子炉浄化系補助熱交換器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴は2個の脚で支持する。脚は基礎ボルトで基礎に据え付ける。また、耐震補強サポートは脚を支持し、追設基礎ボルトで床面に固定する。	横置 U 字管式 (横置一胴円筒形容器)	

### 2.3 評価方針

原子炉浄化系補助熱交換器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2 構造計画」にて示す原子炉浄化系補助熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価フローを図 2-2 に示す。

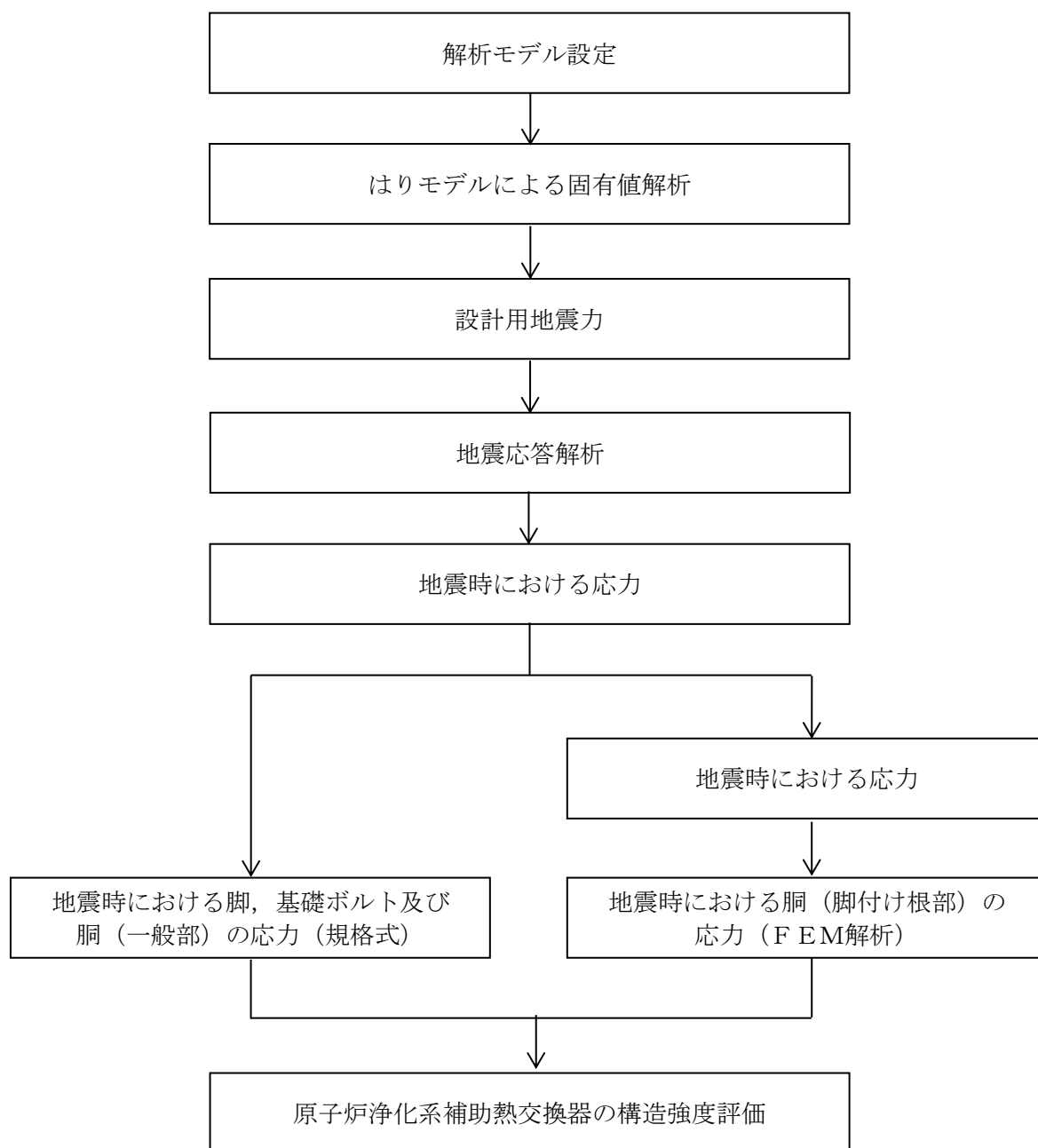


図 2-2 原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価フロー

## 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 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。）



2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b a</sub>	追設基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	第1脚の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s 1</sub>	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s 2</sub>	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s 3</sub>	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s 4</sub>	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm <sup>2</sup>
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C <sub>1</sub>	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の横方向)	mm
C <sub>2</sub>	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1 (胴の長手方向)	mm
C <sub>HNS</sub>	水平方向設計震度 (NS方向)	—
C <sub>HEW</sub>	水平方向設計震度 (EW方向)	—
C <sub>v</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>i</sub>	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d <sub>1</sub>	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d <sub>2</sub>	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	mm
d <sub>a</sub>	追設基礎ボルトの呼び径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E <sub>s</sub>	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F <sub>1X</sub>	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する長手方向荷重	N
F <sub>1Y</sub>	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する横方向荷重	N
F <sub>1Z</sub>	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する鉛直方向荷重	N
F <sub>2X</sub>	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する長手方向荷重	N
F <sub>2Y</sub>	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する横方向荷重	N
F <sub>2Z</sub>	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポ ートに作用する鉛直方向荷重	N

記号	記号の説明	単位
$F_b$	基礎ボルトに作用する引張力	N
$F_c$	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する水平方向荷重	N
$F_{c b}$	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用する水平方向荷重	N
$F_{c s}$	横方向地震により第1脚底面に作用する水平方向荷重	N
$F_l$	長手方向地震により胴に生じる鉛直方向荷重	N
$F_{l1}$	長手方向地震により胴に生じる水平方向荷重	N
$F_{l2}$	長手方向地震により胴の第1脚付根部に作用する水平方向荷重	N
$F_{l b}$	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用する水平方向荷重	N
$F_{l s}$	長手方向地震により第1脚底面に作用する水平方向荷重	N
$f_{s b}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{s b a}$	せん断力のみを受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t o}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t o a}$	引張力のみを受ける追設基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{t m}$	脚の許容引張応力	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
$f_{t s a}$	引張力とせん断力を同時に受ける追設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 <sup>2</sup>
$h_1$	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
$h_2$	基礎から胴の中心までの高さ	mm
$I_{s x}$	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_{s y}$	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$j_1$	荷重分布で分割する荷重の数	—
$l_0$	脚中心間距離	mm
$l_i$	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（ $i=1, 2, 3 \cdots j_1$ ）	mm
$l_{1 a}$	長手方向の追設基礎ボルト間距離	mm
$l_{2 a}$	横方向の追設基礎ボルト間距離	mm
$M$	第1脚底板に作用するモーメント	N・mm
$M_1$	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
$M_{11}$	長手方向地震により胴に作用する長手方向曲げモーメント	N・mm
$M_{12}$	横方向地震により胴に作用する横方向曲げモーメント	N・mm
$M_{13}$	横方向地震により胴に作用するねじりモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
$M_{14}$	運転時質量により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M_{14v}$	鉛直方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M_{1v}$	第1脚付け根部における胴の鉛直方向地震によるモーメント	N・mm
$M_3$	胴の脚付け根部に生じるねじりモーメント	N・mm
$M_{3b}$	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
$M_{3s}$	横方向地震により第1脚底面に作用するねじりモーメント	N・mm
$M_{1x}$	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメント	N・mm
$M_{1y}$	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメント	N・mm
$M_{1z}$	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメント	N・mm
$M_{2x}$	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメント	N・mm
$M_{2y}$	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメント	N・mm
$M_{2z}$	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメント	N・mm
$M_c$	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{c1}$	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M_{cs}$	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M_l$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N・mm
$M_{l1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$m_0$	容器の運転時質量	kg
$m_i$	容器各部の質量 ( $i=1, 2, 3\cdots j_1$ )	kg
$m_{s1}$	第1脚の質量	kg
$m_{s2}$	第2脚の質量	kg
$n$	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
$n_a$	せん断力を受ける追設基礎ボルトの本数	—
$n_1$	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
$n_{1ax}$	長手方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
$n_{1ay}$	長手方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
$n_{1az}$	長手方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—

記号	記号の説明	単位
$n_2$	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
$n_{2ax}$	横方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する長手方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
$n_{2ay}$	横方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する横方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
$n_{2az}$	横方向及び鉛直方向地震時に追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する鉛直方向軸周りのモーメントにより引張を受ける追設基礎ボルトの本数	—
$P$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
$P_e$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
$P_\ell$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直方向荷重	N
$P_r$	最高使用圧力	MPa
$P_s$	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
$P_{s1}$	横方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
$R_1$	第1脚の受ける荷重	N
$R_{1v}$	鉛直方向地震により第1脚の受ける荷重	N
$r_m$	第1脚付け根部における胴の平均半径	mm
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_a$	胴の許容応力	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
$s$	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
$T_1$	長手方向固有周期	s
$t$	第1脚側胴板の厚さ	mm
$t_e$	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
$X_n$	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
$X_{na}$	床が圧縮力を受ける幅	mm
$Z$	引用文献(1)による胴の断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sx}$	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sy}$	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sp}$	第1脚のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$\theta$	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad

記号	記号の説明	単位
$\theta_0$	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
$\theta_w$	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
$\pi$	円周率	—
$\sigma_0$	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0c}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0cx}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0l}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0lx}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_1$	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{1c}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1cx}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1lx}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_2$	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{2c}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2cx}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2lx}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2l\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1}$	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b2}$	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{ba}$	追設基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{ba1}$	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{ba2}$	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_s$	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_{sc}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s1}$	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{s2}$	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
$\sigma_{s3}$	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{s4}$	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{x1}$	内圧により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x2}$	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x21}$	長手方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x22}$	横方向地震による横方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x41}, \sigma_{x42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{x411}, \sigma_{x421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x412}, \sigma_{x422}$	長手方向地震による鉛直方向荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x413}$	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x51}, \sigma_{x52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{x6}$	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{x71}, \sigma_{x72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}, \sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}, \sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}, \sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}, \sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}, \sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{b1}$	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b2}$	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{ba}$	追設基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{ba1}$	長手方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{ba2}$	横方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_c$	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{c1}$	横方向地震により胴に作用するねじりモーメントにより第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{c2}$	横方向地震により脚に作用するねじりモーメントにより第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_\ell$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{\ell1}$	長手方向地震により胴に作用する鉛直方向荷重により生じるせん断応力	MPa
$\tau_{s2}$	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{s3}$	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

## 2.6 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
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*2</sup>
角度		rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

\*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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



### 3. 評価部位

原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価は「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、原子炉浄化系補助熱交換器の損傷や転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、耐震評価上厳しくなる胴、脚、基礎ボルト及び追設基礎ボルトについて評価を実施する。原子炉浄化系補助熱交換器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

## 4. 地震応答解析及び構造強度評価

### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析モデルにより固有周期を求める。
- (2) 「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析モデルにより求めた地震時の評価荷重（各部の反力及びモーメント）をもとに、脚、基礎ボルト及び胴の応力評価を行う。
- (3) 胴の局部応力については、「4.3.2 シェル要素モデル」に示す解析モデルにより求める。
- (4) 地震力は、原子炉浄化系補助熱交換器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、応力の算出において組み合わせるものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (5) 脚は同形状であるため、作用する荷重の大きい脚についての評価を計算書に記載する。
- (6) 追設基礎ボルトについては、計算結果の厳しい箇所（許容値／発生値の小さい箇所をいう。）を評価対象とする。
- (7) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉浄化系補助熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

#### 4.2.2 許容応力

原子炉浄化系補助熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 及び表 4-3 に示す。

#### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉浄化系補助熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉冷却材 浄化設備	原子炉浄化系補助 熱交換器	B	クラス 3 容器*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV <sub>A</sub> S

注記\*：クラス 3 容器の支持構造物を含む。

表 4-2 許容応力（クラス 2， 3 容器）

許容応力状態	許容限界*			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋ 二次＋ピーク応力
IV <sub>A</sub> S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は基準地震動 $S_s$ のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要	

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

表 4-3 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IV A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
胴板	SB42*1	最高使用温度	85	—	205	394	—
脚	SM41A*2 (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	85	—	218	377	—
基礎ボルト	SS41*3 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
追設基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記\*1：SB410 相当

\*2：SM400A 相当

\*3：SS400 相当

### 4.3 解析モデル及び諸元

#### 4.3.1 はり要素モデル

原子炉浄化系補助熱交換器のはり要素での解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 原子炉浄化系補助熱交換器の胴，脚及び耐震補強サポートをはり要素でモデル化した FEMモデルを用いる。



- (4) 解析コードは、「SAP-IV」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 4-1 原子炉浄化系補助熱交換器のはり要素での解析モデル

#### 4.3.2 シェル要素モデル

原子炉浄化系補助熱交換器のシェル要素での解析モデルを図4-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 原子炉浄化系補助熱交換器の脚及び胴（胴板及び当板）について、脚付け根部の応力を評価するために十分な範囲をシェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。なお、胴の応力が大きくなるように脚底面は剛体とする。



- (3) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、胴の応力のうち脚付け根部の応力をFEM解析により求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

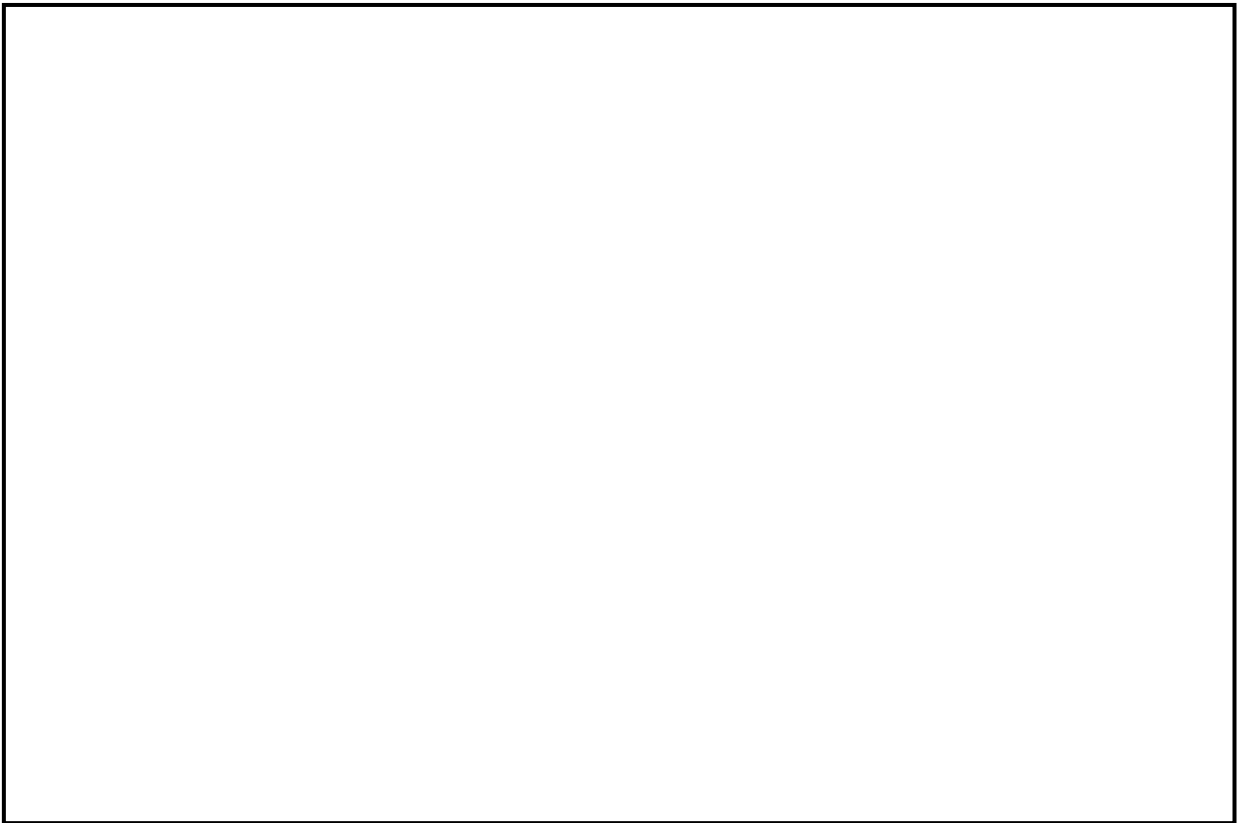


図4-2 原子炉浄化系補助熱交換器のシェル要素での解析モデル

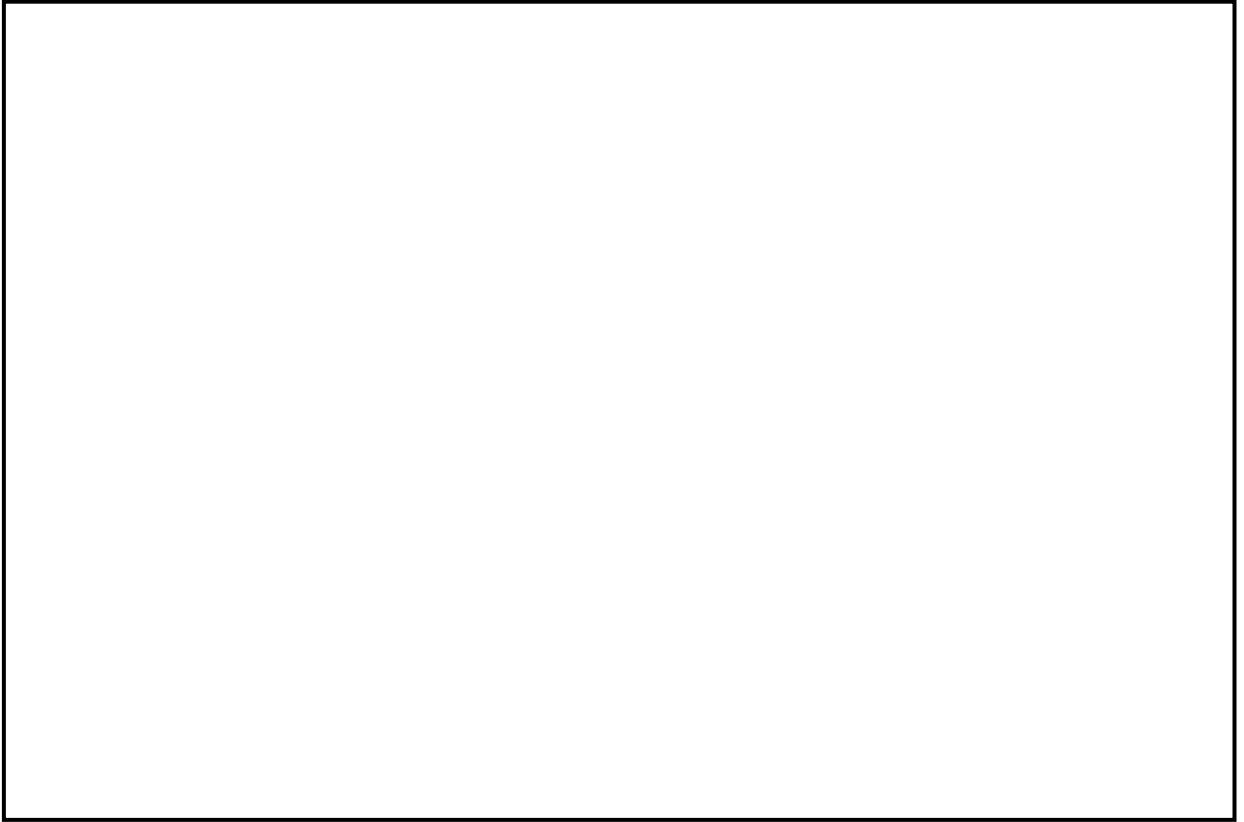


図 4-3 荷重作用点並びに荷重及びモーメントの入力方向（下から見た図）

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表 4-5, 振動モード図を図 4-4 に示す。固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 4-5 固有値解析結果

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



図 4-4 原子炉浄化系補助熱交換器の振動モード図 (一次モード)

#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-6 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 4-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 23.8 <sup>*1</sup>			—	—	$C_{HNS}=1.44^{*2}$ $C_{HEW}=1.73^{*2}$	$C_V=1.54^{*2}$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る震度



## 4.6 計算方法

## 4.6.1 応力の計算方法

## 4.6.1.1 胴の計算方法

## (1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2} = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{x 1} = \frac{P_r \cdot (D_i + 1.2 \cdot t)}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

## (2) 運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント $M_1$ により胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。 $M_1$ は「4.3.1 はり要素モデル」により求める。

引用文献(1)によれば、この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく、脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ、胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上 $\frac{\theta_0}{6}$ の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図4-5に $2 \cdot \theta$ で示される円殻である。したがって、運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 2} = \frac{M_1}{Z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

また、鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 6} = \frac{M_{1v}}{Z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

ここで、

$$r_m = \frac{D_i + t_e}{2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

$$Z = r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{ \frac{\theta + \sin \theta \cdot \cos \theta - 2 \cdot \sin^2 \theta / \theta}{(\sin \theta / \theta) - \cos \theta} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

であり、脚付け根部における胴の有効板厚 $t_e$ は胴板の厚さとする。

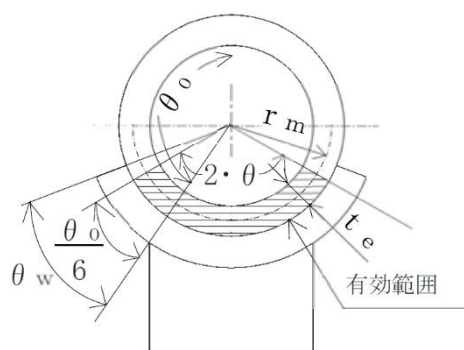


図 4-5 脚付け根部の有効範囲

- (3) 長手方向地震により生じる長手方向曲げモーメント及び鉛直方向荷重による応力  
 長手方向地震により胴に作用する長手方向曲げモーメント $M_{11}$ により胴の脚付け根部に生じる応力は次式で求める。なお、 $M_{11}$ は「4.3.1 はり要素モデル」で求める。

$$\sigma_{x21} = \frac{M_{11}}{Z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

また、長手方向地震により胴に作用する鉛直方向荷重 $F_l$ によるせん断応力は次式で求める。 $F_l$ は「4.3.1 はり要素モデル」で求める。

$$\tau_{l1} = \frac{2 \cdot F_l}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

- (4) 横方向地震により生じる横方向曲げモーメント及びねじりモーメントによる応力  
 横方向地震により胴に作用する横方向曲げモーメント $M_{12}$ 及びねじりモーメント $M_{13}$ により胴に生じる応力は次式で求める。なお、 $M_{12}$ 及び $M_{13}$ は「4.3.1 はり要素モデル」で求める。

$$\sigma_{x22} = \frac{4 \cdot M_{12}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.10)$$

$$\tau_{c1} = \frac{2 \cdot M_{13}}{\pi \cdot (D_i + t)^2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.6.1.1.11)$$

## (5) 運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

運転時質量によって胴の脚付け根部に生じる反力P及び鉛直方向地震によって胴の脚付け根部に生じる $P_e$ は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。反力Pにより生じる一次応力 $\sigma_{\phi 3}$ ,  $\sigma_{x 3}$ , 反力 $P_e$ により生じる一次応力 $\sigma_{\phi 71}$ ,  $\sigma_{x 71}$ 及び二次応力 $\sigma_{\phi 72}$ ,  $\sigma_{x 72}$ は、「4.3.2 シェル要素モデル」に示す解析モデルを入力し、解析による計算で求める。

## (6) 長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震が作用した場合、曲げモーメント $M_{\ell}$ 及び鉛直荷重 $P_{\ell}$ は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。曲げモーメント $M_{\ell}$ により生じる一次応力 $\sigma_{\phi 411}$ ,  $\sigma_{x 411}$ 及び二次応力 $\sigma_{\phi 421}$ ,  $\sigma_{x 421}$ , 鉛直荷重 $P_{\ell}$ により生じる一次応力 $\sigma_{\phi 412}$ ,  $\sigma_{x 412}$ 及び二次応力 $\sigma_{\phi 422}$ ,  $\sigma_{x 422}$ は、「4.3.2 シェル要素モデル」に示す解析モデルを入力し、解析による計算で求める。胴に生じる水平方向荷重 $F_{\ell 1}$ は、「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

胴に生じる引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{x 413} = \frac{F_{\ell 1}}{\pi \cdot (D_i + t) \cdot t} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.12)$$

したがって、曲げモーメント、鉛直荷重及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41} = \sigma_{\phi 411} + \sigma_{\phi 412} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.13)$$

$$\sigma_{x 41} = \sigma_{x 411} + \sigma_{x 412} + \sigma_{x 413} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.14)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42} = \sigma_{\phi 421} + \sigma_{\phi 422} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.15)$$

$$\sigma_{x 42} = \sigma_{x 421} + \sigma_{x 422} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.16)$$

また、長手方向地震が作用した場合、第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。なお、脚付け根部に生じる水平方向荷重 $F_{\ell 2}$ は「4.3.1 はり要素モデル」で求める。

$$\tau_{\ell} = \frac{F_{\ell 2}}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \dots \dots \dots (4.6.1.1.17)$$

## (7) 横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震が作用した場合、曲げモーメント $M_c$ は「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。一次応力 $\sigma_{\phi 51}$ ,  $\sigma_{x 51}$ 及び二次応力 $\sigma_{\phi 52}$ ,  $\sigma_{x 52}$ は、「4.3.2 シェル要素モデル」に示す解析モデルに曲げモーメント $M_c$ を入力し、解析による計算で求める。胴の脚付け根部に生じるせん断荷重 $F_c$ 及び胴の脚付け根部に生じるねじりモーメント $M_3$ は、「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

せん断荷重により脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c = \frac{F_c}{4 \cdot C_1 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.18)$$

ねじりモーメントにより脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{c2} = \frac{M_3}{2 \cdot \pi \cdot C_2^2 \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.19)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{ol} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{ol\phi} + \sigma_{olx}) + \sqrt{(\sigma_{ol\phi} - \sigma_{olx})^2 + 4 \cdot \tau_{l1}^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.20)$$

ここで,

$$\sigma_{ol\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{olx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x6}^2 + (\sigma_{x413} + \sigma_{x21})^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.22)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{oc} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{oc\phi} + \sigma_{ocx}) + \sqrt{(\sigma_{oc\phi} - \sigma_{ocx})^2 + 4 \cdot \tau_{c1}^2} \right\} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.23)$$

ここで,

$$\sigma_{oc\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.24)$$

$$\sigma_{ocx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sqrt{\sigma_{x6}^2 + \sigma_{x22}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.25)$$

したがって、胴に生じる一次一般膜応力の最大値は,

$$\sigma_o = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{ol}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{oc}) \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.26)$$

とする。

## b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1\ell\phi} + \sigma_{1\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{1\ell\phi} - \sigma_{1\ell x})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell} + \tau_{\ell 1})^2} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.27)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 41}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{1\ell x} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{(\sigma_{x41} + \sigma_{x21})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.29)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{1c\phi} + \sigma_{1cx}) + \sqrt{(\sigma_{1c\phi} - \sigma_{1cx})^2 + 4 \cdot (\tau_c + \tau_{c1} + \tau_{c2})^2} \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.30)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 3} + \sqrt{\sigma_{\phi 51}^2 + (\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.31)$$

$$\sigma_{1cx} = \sigma_{x1} + \sigma_{x2} + \sigma_{x3} + \sqrt{(\sigma_{x51} + \sigma_{x22})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.32)$$

したがって、胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_1 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{1\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{1c}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.1.33)$$

とする。

## c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell} = (\sigma_{2\ell\phi} + \sigma_{2\ell x}) + \sqrt{(\sigma_{2\ell\phi} - \sigma_{2\ell x})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell} + \tau_{\ell 1})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.34)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 41} + \sigma_{\phi 42})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{2\ell x} = \sqrt{(\sigma_{x41} + \sigma_{x42} + \sigma_{x21})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.36)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c} = (\sigma_{2c\phi} + \sigma_{2cx}) + \sqrt{(\sigma_{2c\phi} - \sigma_{2cx})^2 + 4 \cdot (\tau_c + \tau_{c1} + \tau_{c2})^2}$$

..... (4.6.1.1.37)

ここで,

$$\sigma_{2c\phi} = \sqrt{(\sigma_{\phi 2} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72})^2 + (\sigma_{\phi 51} + \sigma_{\phi 52})^2}$$

..... (4.6.1.1.38)

$$\sigma_{2cx} = \sqrt{(\sigma_{x51} + \sigma_{x52} + \sigma_{x22})^2 + (\sigma_{x6} + \sigma_{x71} + \sigma_{x72})^2}$$

..... (4.6.1.1.39)

したがって、胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2 = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c}) \}$$

..... (4.6.1.1.40)

とする。

## 4.6.1.2 脚の計算方法

「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で得られる各要素端での荷重  $R_1$ ,  $R_{1V}$ ,  $P_\ell$ ,  $F_{\ell s}$ ,  $F_{cs}$ , 曲げモーメント  $M_{14}$ ,  $M_{14V}$ ,  $M_{\ell 1}$ ,  $M_{cs}$  及びねじりモーメント  $M_{3s}$  より各応力を次のように求める。

- (1) 運転時質量による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{M_{14}}{Z_{sy}} + \frac{R_1}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{M_{14V}}{Z_{sy}} + \frac{R_{1V}}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は、次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}} + \frac{P_\ell}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{F_{\ell s}}{A_{s3}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{M_{cs}}{Z_{sx}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{M_{3s}}{Z_{sp}} + \frac{F_{cs}}{A_{s4}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.8)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{sc}) \} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.2.9)$$

とする。

4.6.1.3 基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

第1脚底板に作用するモーメントMと鉛直荷重P<sub>s</sub>の比を

$$e = M / P_s \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

とする。なお、M及びP<sub>s</sub>は「4.3.1 はり要素モデル」で求める。

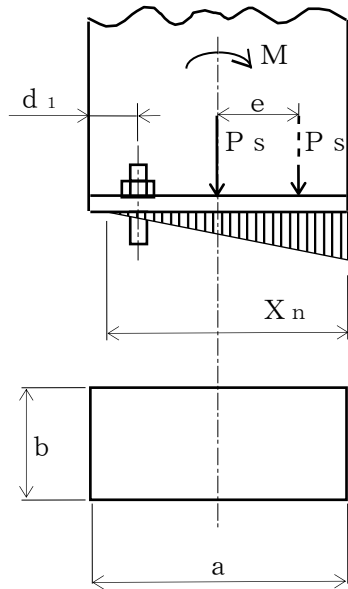


図4-6 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その1)

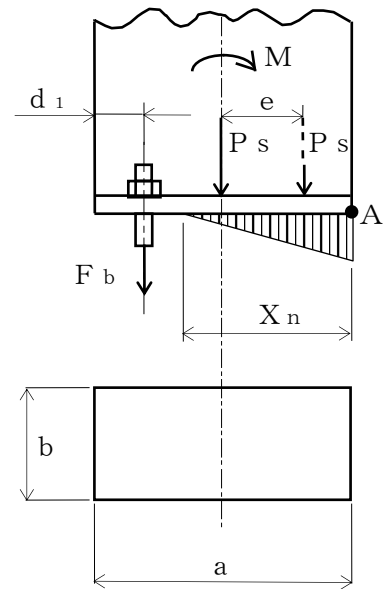


図4-7 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その2)

図4-6のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図4-7のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

の場合及びeが負の場合に、基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図4-7において、鉛直方向荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置X<sub>n</sub>は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{a}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_b \cdot n_1}{b} \cdot \left(e + \frac{a}{2} - d_1\right) \cdot (a - d_1 - X_n) = 0 \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

より求めることができ、基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b = \frac{P_s \cdot \left(e - \frac{a}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{a - d_1 - \frac{X_n}{3}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.4)$$

となる。



したがって、基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_b}{n_1 \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.5)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.6)$$

b. せん断応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力 $F_{\ell b}$ は、「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b1} = \frac{F_{\ell b}}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.7)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

(1)と同様にして求められるが、 $M$ を $M_{c1}$ 、 $P_s$ を $P_{s1}$ 、 $d_1$ を $d_2$ 、 $a$ を $b$ 、 $b$ を $a$ 及び $n_1$ を $n_2$ に置き換え、得られた基礎ボルトの応力を $\sigma_{b2}$ とする。なお、 $M_{c1}$ 及び $P_{s1}$ は「4.3.1 はり要素モデル」で求める。

b. せん断応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力 $F_{cb}$ 及びねじりモーメント $M_{3b}$ は、「4.3.1 はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b2} = \frac{F_{cb}}{n \cdot A_b} + \frac{M_{3b}}{n \cdot A_b \cdot \sqrt{\left(\frac{a - 2 \cdot d_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{b - 2 \cdot d_2}{2}\right)^2}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.8)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものを $\sigma_b$ 及び $\tau_b$ とする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.3.9)$$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \dots\dots\dots (4.6.1.3.10)$$

4.6.1.4 追設基礎ボルトの計算方法

追設基礎ボルトの応力は、解析で得られた荷重及びモーメントから理論式により、引張応力及びせん断応力を算出する。

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

計算モデルを図4-8に、解析で得られた追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメントを表4-7に示す。



図4-8 追設基礎ボルトの計算モデル

表4-7 追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメント (その1)

荷重 (N)			モーメント (N・mm)		
F <sub>1X</sub>	F <sub>1Y</sub>	F <sub>1Z</sub>	M <sub>1X</sub>	M <sub>1Y</sub>	M <sub>1Z</sub>
1.481×10 <sup>4</sup>	1.287×10 <sup>3</sup>	1.595×10 <sup>4</sup>	1.122×10 <sup>6</sup>	5.229×10 <sup>6</sup>	1.121×10 <sup>5</sup>

a. 引張応力

長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力は、次式により求める。

$$\sigma_{ba1} = \frac{F_{1Z}}{n_{1aZ} \cdot A_{ba}} + \frac{M_{1X}}{l_{2a} \cdot n_{1aX} \cdot A_{ba}} + \frac{M_{1Y}}{l_{1a} \cdot n_{1aY} \cdot A_{ba}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.1)$$

ここで、追設基礎ボルトの軸断面積A<sub>ba</sub>は次式により求める。

$$A_{ba} = \frac{\pi}{4} \cdot d_a^2 \dots\dots\dots (4.6.1.4.2)$$

b. せん断応力

長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力は、次式により求める。

$$\tau_{ba1} = \frac{\sqrt{F_{1X}^2 + F_{1Y}^2}}{n_a \cdot A_{ba}} + \frac{M_{1Z}}{n_a \cdot A_{ba} \cdot \frac{\sqrt{l_{1a}^2 + l_{2a}^2}}{2}}$$

..... (4.6.1.4.3)

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

計算モデルは図4-8と同様だが、 $F_{1X}$ を $F_{2X}$ 、 $F_{1Y}$ を $F_{2Y}$ 、 $F_{1Z}$ を $F_{2Z}$ 、 $M_{1X}$ を $M_{2X}$ 、 $M_{1Y}$ を $M_{2Y}$ 及び $M_{1Z}$ を $M_{2Z}$ に置き換える。解析で得られた追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメントを表4-8に示す。

表4-8 追設基礎ボルト部の耐震補強サポートに作用する荷重とモーメント (その2)

荷重 (N)			モーメント (N・mm)		
$F_{2X}$	$F_{2Y}$	$F_{2Z}$	$M_{2X}$	$M_{2Y}$	$M_{2Z}$
$3.255 \times 10^2$	$3.647 \times 10^3$	$7.965 \times 10^3$	$2.764 \times 10^6$	$7.976 \times 10^4$	$1.058 \times 10^5$

a. 引張応力

(1) a. と同様にして求められるが、 $F_{1Z}$ を $F_{2Z}$ 、 $M_{1X}$ を $M_{2X}$ 、 $M_{1Y}$ を $M_{2Y}$ 、 $n_{1aX}$ を $n_{2aX}$ 、 $n_{1aY}$ を $n_{2aY}$ 及び $n_{1aZ}$ を $n_{2aZ}$ に置き換え、得られた追設基礎ボルトの応力を $\sigma_{ba2}$ とする。

b. せん断応力

(1) b. と同様にして求められるが、 $M_{1Z}$ を $M_{2Z}$ 、 $F_{1X}$ を $F_{2X}$ 、 $F_{1Y}$ を $F_{2Y}$ に置き換え、得られた追設基礎ボルトの応力を $\tau_{ba2}$ とする。

(3) 追設基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた追設基礎ボルトの応力のうち最大のものを $\sigma_{ba}$ 及び $\tau_{ba}$ とする。

a. 追設基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_{ba} = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{ba1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{ba2}) \}$$

..... (4.6.1.4.4)

b. 追設基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_{ba} = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{ba1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{ba2}) \}$$

..... (4.6.1.4.5)

#### 4.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

#### 4.8 応力の評価

##### 4.8.1 胴の応力評価

4.6.1.1項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力  $S_a$  以下であること。ただし、 $S_a$  は下表による。

応力の種類	許容応力 $S_a$
	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	$0.6 \cdot S_u$
一次応力 (一次膜応力+ 一次曲げ応力)	上記の 1.5 倍の値
一次+二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要とする。
一次+二次 +ピーク応力	

##### 4.8.2 脚の応力評価

4.6.1.2項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力  $f_{tm}$  以下であること。ただし、 $f_{tm}$  は下表による。

	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 $f_{tm}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.3 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3項で求めた基礎ボルトの引張応力  $\sigma_b$  は次式より求めた許容組合せ応力  $f_{ts}$  以下であること。ただし、 $f_{to}$  は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.3.1)$$

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

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

4.8.4 追設基礎ボルトの応力評価

4.6.1.4項で求めた追設基礎ボルトの引張応力  $\sigma_{ba}$  は次式より求めた許容組合せ応力  $f_{tsa}$  以下であること。ただし、 $f_{toa}$  は下表による。

$$f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_{ba}, f_{toa}] \quad \dots\dots\dots (4.8.4.1)$$

せん断応力  $\tau_{ba}$  はせん断力のみ受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力  $f_{sba}$  以下であること。ただし、 $f_{sba}$  は下表による。

	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 $f_{toa}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sba}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉浄化系補助熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

## 6. 引用文献

- (1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

【原子炉浄化系補助熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
原子炉浄化系補助 熱交換器	B	原子炉建物 EL 23.8*1	0.025	0.05 以下	—	—	$C_{HNS}=1.44^{*2}$ $C_{HEW}=1.73^{*2}$	$C_v=1.54^{*2}$	1.37	85	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る震度

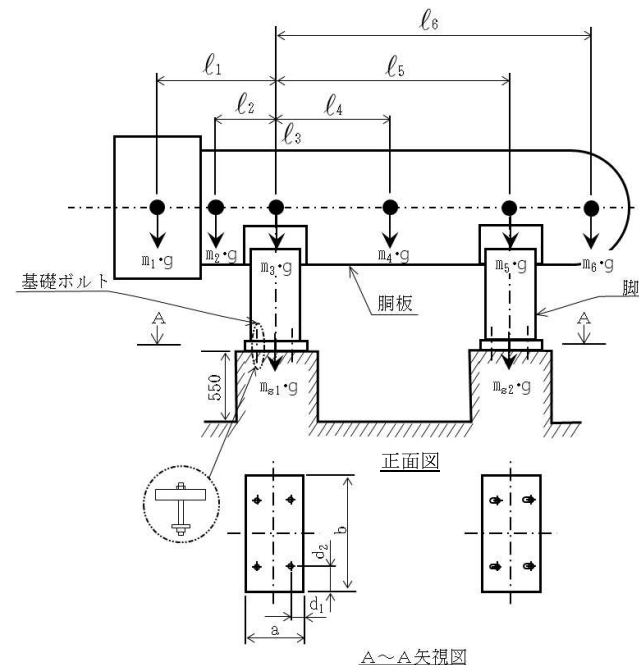
1.2 機器要目

$m_1$ (kg)	$m_2$ (kg)	$m_3$ (kg)	$m_4$ (kg)	$m_5$ (kg)	$m_6$ (kg)
2220	1160	340	2040	340	600

$l_1$ (mm)	$l_2$ (mm)	$l_3$ (mm)	$l_4$ (mm)	$l_5$ (mm)	$l_6$ (mm)
-1037	-501	0	1249	2500	3049

$m_0$ (kg)	$m_{s1}$ (kg)	$m_{s2}$ (kg)	$D_i$ (mm)	$t$ (mm)	$t_e$ (mm)	$l_0$ (mm)	$h_1$ (mm)	$h_2$ (mm)	$\theta_w$ (rad)
7160	230	230	750	12.0	12.0	2500	740	950	0.321

$C_1$ (mm)	$C_2$ (mm)	$I_{sx}$ (mm <sup>4</sup> )	$I_{sy}$ (mm <sup>4</sup> )	$Z_{sx}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{sy}$ (mm <sup>3</sup> )	$Z_{sp}$ (mm <sup>3</sup> )	$\theta_0$ (rad)	$\theta$ (rad)
325	150	$1.710 \times 10^9$	$9.954 \times 10^7$	$5.262 \times 10^6$	$6.636 \times 10^5$	$1.945 \times 10^5$	2.145	1.354



$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$2.653 \times 10^4$	199000*1	$1.274 \times 10^4$	$1.390 \times 10^4$	$8.897 \times 10^3$	$1.221 \times 10^4$

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
15	4	2	2	350	700	20 (M20)	314.2	75	150

$n_a$	$n_{1ax}$	$n_{1ay}$	$n_{1az}$	$n_{2ax}$	$n_{2ay}$	$n_{2az}$	$\ell_{1a}$ (mm)	$\ell_{2a}$ (mm)	$d_a$ (mm)	$A_{ba}$ ( $\text{mm}^2$ )

$S_y$ (胴板) (MPa)	$S_u$ (胴板) (MPa)	$S_y$ (脚) (MPa)	$S_u$ (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)
205*1	394*1	218*1 (16mm<厚さ≤40mm)	377*1 (16mm<厚さ≤40mm)	261

$S_y$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_y$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (追設基礎ボルト) (MPa)
231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2 (16mm<径≤40mm)	276	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2 (16mm<径≤40mm)	276

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
運転時質量による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} = 53$	—	$\sigma_{x 2} = 53$
鉛直方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} = 82$	—	$\sigma_{x 6} = 82$
長手方向地震により 胴軸断面全面に生じる 応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{x 2 1} = 87$ $\sigma_{x 4 1 3} = 5$	—	—
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\phi 1} = 2$	—	$\tau_{c 1} = 1$
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{0 \phi} = 197$	—	$\sigma_{0 c} = 157$	—

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$	$\sigma_{\phi 1} = 44$	$\sigma_{x 1} = 22$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	
運転時質量による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2} = 53$	—	$\sigma_{x 2} = 53$	
鉛直方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6} = 82$	—	$\sigma_{x 6} = 82$	
運転時質量による 脚反力により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x 3} = 1$	$\sigma_{\phi 3} = 2$	$\sigma_{x 3} = 2$	
鉛直方向地震による 脚反力により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1} = 2$	$\sigma_{x 7 1} = 2$	$\sigma_{\phi 7 1} = 3$	$\sigma_{x 7 1} = 2$	
長手方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2 1} = 87$	—	—	
横方向地震による 横方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2 2} = 8$	
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1} = 9$ $\sigma_{\phi 4 1 2} = 1$	$\sigma_{x 4 1 1} = 5$ $\sigma_{x 4 1 2} = 1$ $\sigma_{x 4 1 3} = 5$	$\sigma_{\phi 5 1} = 3$	$\sigma_{x 5 1} = 1$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1} = 9$	$\sigma_{x 4 1} = 9$		
せん断	—	—	—	—	—	$\tau_{\phi} = 17, \tau_{\phi 1} = 2$	—	$\tau_c = 6, \tau_{c 1} = 1$	
組合せ応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{1 \phi} = 204$	—	$\sigma_{1 c} = 160$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—	$\sigma_{\phi 2} = 0$	—
鉛直方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6} = 82$	—	$\sigma_{x6} = 82$
鉛直方向地震による 脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71} = 4$ $\sigma_{\phi 72} = 15$	$\sigma_{x71} = 1$ $\sigma_{x72} = 7$	$\sigma_{\phi 71} = 7$ $\sigma_{\phi 72} = 15$	$\sigma_{x71} = 1$ $\sigma_{x72} = 7$
長手方向地震による 長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x21} = 87$	—	—
横方向地震による 横方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	—	—	$\sigma_{x22} = 8$
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41} = 18$	$\sigma_{x41} = 8$	$\sigma_{\phi 51} = 4$ $\sigma_{\phi 52} = 15$	$\sigma_{x51} = 2$ $\sigma_{x52} = 7$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421} = 39$ $\sigma_{\phi 422} = 3$	$\sigma_{x421} = 26$ $\sigma_{x422} = 2$		
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42} = 42$	$\sigma_{x42} = 28$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\theta} = 17, \tau_{\theta 1} = 2$		$\tau_c = 6, \tau_{c1} = 1, \tau_{c2} = 0$	
組合せ応力		—	—	—	—	$\sigma_{2\theta} = 308$		$\sigma_{2c} = 182$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 4$	$\sigma_{s4} = 4$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 35$	$\sigma_{s3} = 9$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 9$	$\tau_{s3} = 7$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\theta} = 41$	$\sigma_{sc} = 17$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 187$	$\sigma_{b2} = 179$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 62$	$\tau_{b2} = 62$

1.3.4 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{ba1} = 36$	$\sigma_{ba2} = 13$
	せん断	—	—	$\tau_{ba1} = 8$	$\tau_{ba2} = 2$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	

1.4.2 応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SB42	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 197$	$S_a = 236$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 204$	$S_a = 355$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 308$	$S_a = 410$
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 41$	$f_{tm} = 261$
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 187$	$f_{ts} = 191^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 62$	$f_{sb} = 159$
追設基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_{ba} = 36$	$f_{tsa} = 165^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_{ba} = 8$	$f_{sba} = 127$

すべて許容応力以下である。

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

\*2:  $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_{ba}, f_{toa}]$

1.5 その他の機器要目

1.5.1 はり要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
胴の縦弾性係数	E	MPa	199000*
要素数	—	個	135
節点数	—	個	172

注記\*: 最高使用温度

1.5.2 シェル要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
胴の縦弾性係数	E	MPa	199000*
要素数	—	個	2854
節点数	—	個	2932

注記\*: 最高使用温度

VI-2-11-2-7-8 グランド蒸気排ガスフィルタの耐震性  
についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	2
2.3 適用規格・基準等	4
3. 固有周期	5
3.1 固有周期の計算	5
4. 構造強度評価	6
4.1 構造強度評価方法	6
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
4.3 計算条件	6
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるグラウンド蒸気排ガスフィルタ（Bクラス施設）が基準地震動 $S_s$ による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することで、隣接している上位クラスである非常用ガス処理系配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料配管等に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

グラウンド蒸気排ガスフィルタは，タービン建物1階に設置されている。グラウンド蒸気排ガスフィルタは，図2-1の位置関係図に示すように，上位クラス施設である非常用ガス処理系配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料配管及び非常用ディーゼル発電設備 A-燃料配管に隣接していることから，地震時に本機器が転倒した場合は，非常用ガス処理系配管，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備 燃料配管及び非常用ディーゼル発電設備 A-燃料配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

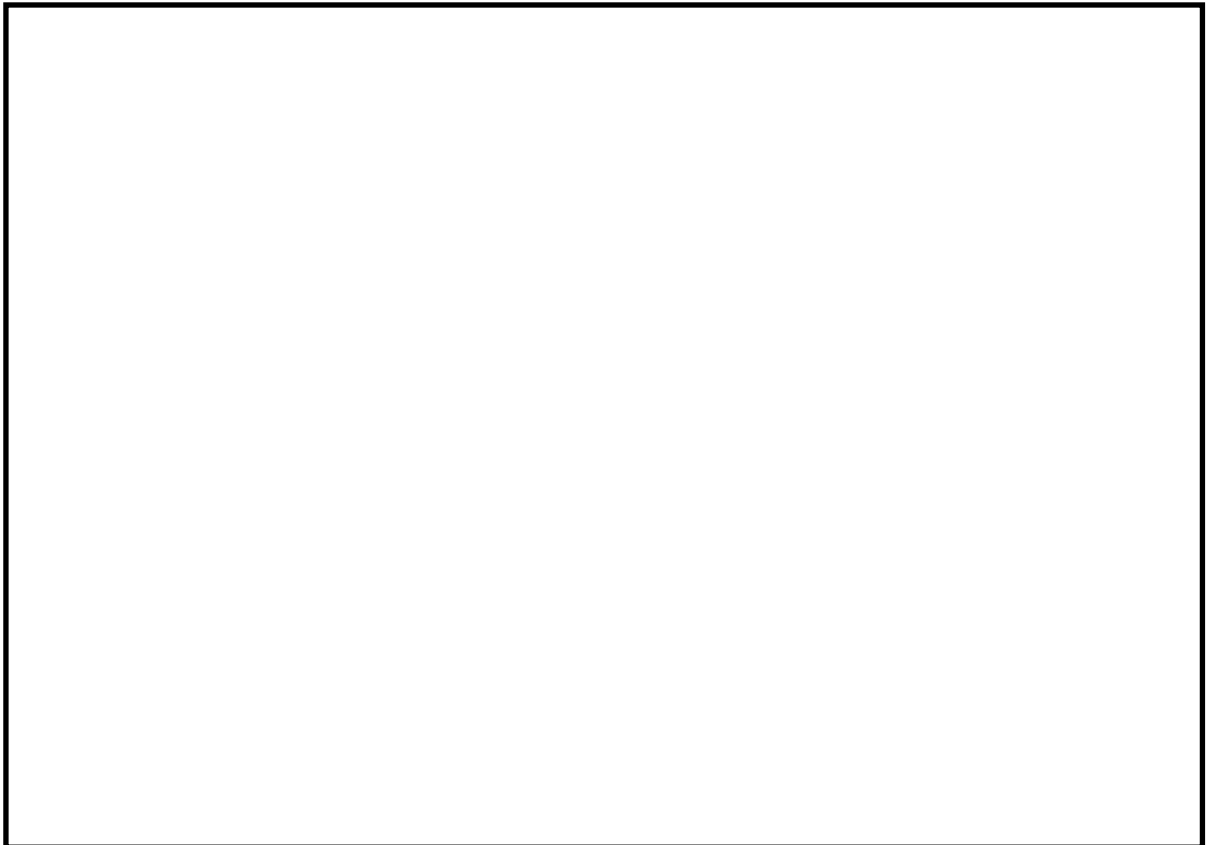


図2-1 グラウンド蒸気排ガスフィルタと上位クラス施設の位置関係図

## 2.2 構造計画

グラント蒸気排ガスフィルタの構造計画を表2-1に示す。



表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴を2個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	横置円筒形 (両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器)	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

### 3. 固有周期

#### 3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【グラ  
ンド蒸気排ガスフィルタの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

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

表3-1 固有周期 (単位：s)

水平		
鉛直		

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

グラント蒸気排ガスフィルタの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき、グラント蒸気排ガスフィルタの転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、支持機能に関連する脚及び基礎ボルトについて評価を実施する。

また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

##### 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

###### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

グラント蒸気排ガスフィルタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

###### 4.2.2 許容応力

グラント蒸気排ガスフィルタの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表4-3のとおりとする。

###### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

グラント蒸気排ガスフィルタの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

##### 4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【グラント蒸気排ガスフィルタの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（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
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、液体又は固体廃棄物処理設備	グラウンド蒸気排ガスフィルタ	B	— *	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、液体又は固体廃棄物処理設備	グラウンド蒸気排ガスフィルタ	—	— *	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
IVAS	1.5・f <sub>t</sub> * <sup>*</sup>	1.5・f <sub>t</sub> * <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> * <sup>*</sup>
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)			

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

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

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
脚	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記\*：SS400相当

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
脚	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	—	241	394	—
基礎ボルト	SS41* (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記\*：SS400相当

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

グラント蒸気排ガスフィルタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。  
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

グラント蒸気排ガスフィルタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

#### (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。



【グラウンド蒸気排ガスフィルタの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
グラウンド蒸気 排ガスフィルタ	B	タービン建物 EL 5.5*1			-	-	C <sub>H</sub> =2.18*2	C <sub>V</sub> =1.05*2	-	-	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S<sub>s</sub>）

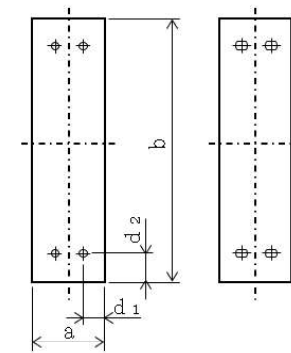
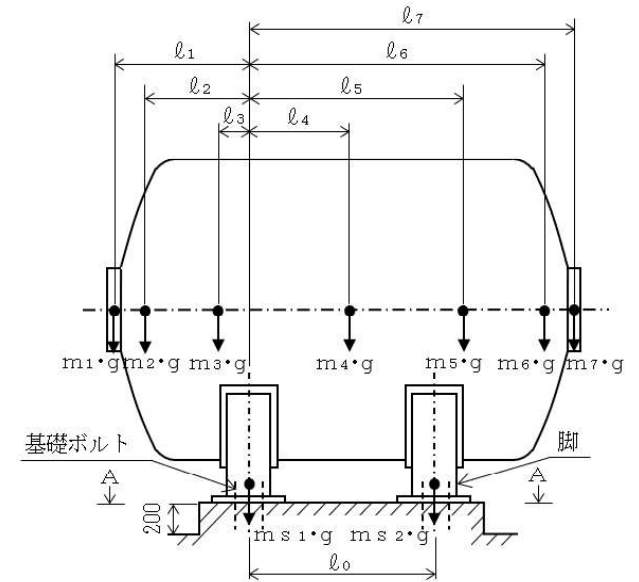
1.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)	l <sub>3</sub> (mm)	l <sub>4</sub> (mm)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	l <sub>7</sub> (mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)
-940	-795	-225	650	1525	2095	2240	2.010×10 <sup>4</sup>	2.010×10 <sup>4</sup>

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	l <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)
			1300	800	1364

I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )
1.500×10 <sup>10</sup>	1.351×10 <sup>8</sup>	1.667×10 <sup>7</sup>	9.007×10 <sup>5</sup>



A~A矢視図

S2 補 VI-2-11-2-7-8 R0

$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$3.540 \times 10^4$	201000*	77300*	$1.599 \times 10^4$	$1.679 \times 10^4$	$1.202 \times 10^4$	$1.418 \times 10^4$

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
15	4	2	2	500	2000	24 (M24)	452.4	150	250

$S_y$ (脚) (MPa)	$S_u$ (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	F* (脚) (MPa)	$S_y$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
241* (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	394* (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	—	276	231* ( $16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$ )	394* ( $16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$ )	—	276

注記\* : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		地震の方向	長手方向	横方向	長手方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=50$	$\sigma_{s3}=5$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=9$	$\tau_{s3}=4$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell}=53$	$\sigma_{sc}=9$

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		地震の方向	長手方向	横方向	長手方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1}=183$	$\sigma_{b2}=50$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=59$	$\tau_{b2}=30$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SS41	組合せ	—	—	$\sigma_s=53$	$f_{tm}=276$
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b=183$	$f_{ts}=195^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=59$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

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

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
グラウンド蒸気 排ガスフィルタ	—	タービン建物 EL 5.5*1			—	—	C <sub>H</sub> =2.18*2	C <sub>V</sub> =1.05*2	—	—	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）

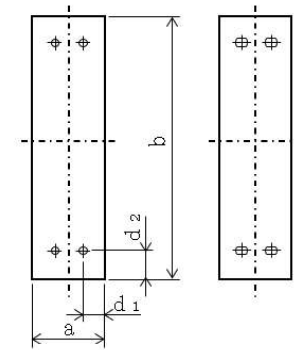
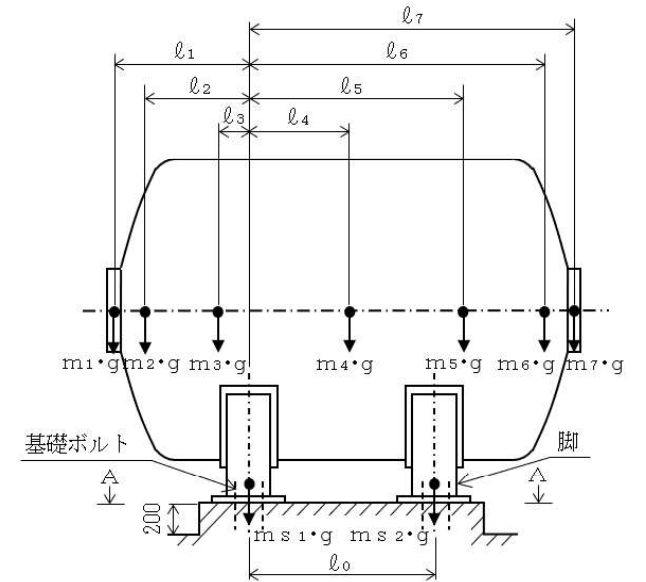
2.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)	l <sub>3</sub> (mm)	l <sub>4</sub> (mm)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	l <sub>7</sub> (mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)
-940	-795	-225	650	1525	2095	2240	2.010×10 <sup>4</sup>	2.010×10 <sup>4</sup>

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	l <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)
			1300	800	1364

I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )
1.500×10 <sup>10</sup>	1.351×10 <sup>8</sup>	1.667×10 <sup>7</sup>	9.007×10 <sup>5</sup>



A~A矢视图

S2 補 VI-2-11-2-7-8 R0

$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$3.540 \times 10^4$	201000*	77300*	$1.599 \times 10^4$	$1.679 \times 10^4$	$1.202 \times 10^4$	$1.418 \times 10^4$

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)
15	4	2	2	500	2000	24 (M24)	452.4	150	250

$S_y$ (脚) (MPa)	$S_u$ (脚) (MPa)	F (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)	$S_y$ (基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (基礎ボルト) (MPa)
241* (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	394* (厚さ $\leq 16\text{mm}$ )	—	276	231* ( $16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$ )	394* ( $16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$ )	—	276

注記\* : 周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		地震の方向	長手方向	横方向	長手方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=1$	$\sigma_{s1}=1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=50$	$\sigma_{s3}=5$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=9$	$\tau_{s3}=4$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell}=53$	$\sigma_{sc}=9$

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		地震の方向	長手方向	横方向	長手方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1}=183$	$\sigma_{b2}=50$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=59$	$\tau_{b2}=30$

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

2.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SS41	組合せ	—	—	$\sigma_s=53$	$f_{tm}=276$
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b=183$	$f_{ts}=195^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=59$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

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

VI-2-11-2-7-11 タービン補機冷却系熱交換器の  
耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	1
2.3 評価方針	4
2.4 適用規格・基準等	5
2.5 記号の説明	6
2.6 計算精度と数値の丸め方	10
3. 評価部位	11
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	13
5. 構造強度評価	14
5.1 構造強度評価方法	14
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3 設計用地震力	18
5.4 計算方法	19
5.5 計算条件	26
5.6 応力の評価	26
6. 評価結果	28
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
6.2 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-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき、下位クラス施設であるタービン補機冷却系熱交換器（Cクラス施設）が基準地震動 $S_s$ による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することで、隣接している上位クラス施設である原子炉補機海水系配管（放水配管）に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

## 2. 一般事項

### 2.1 配置概要

タービン補機冷却系熱交換器は、タービン建物地下1階に設置されている。タービン補機冷却系熱交換器は、図2-1の位置関係図に示すように、上位クラス施設である原子炉補機海水系配管（放水配管）に隣接していることから、地震時に本機器が転倒した場合は原子炉補機海水系配管（放水配管）に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

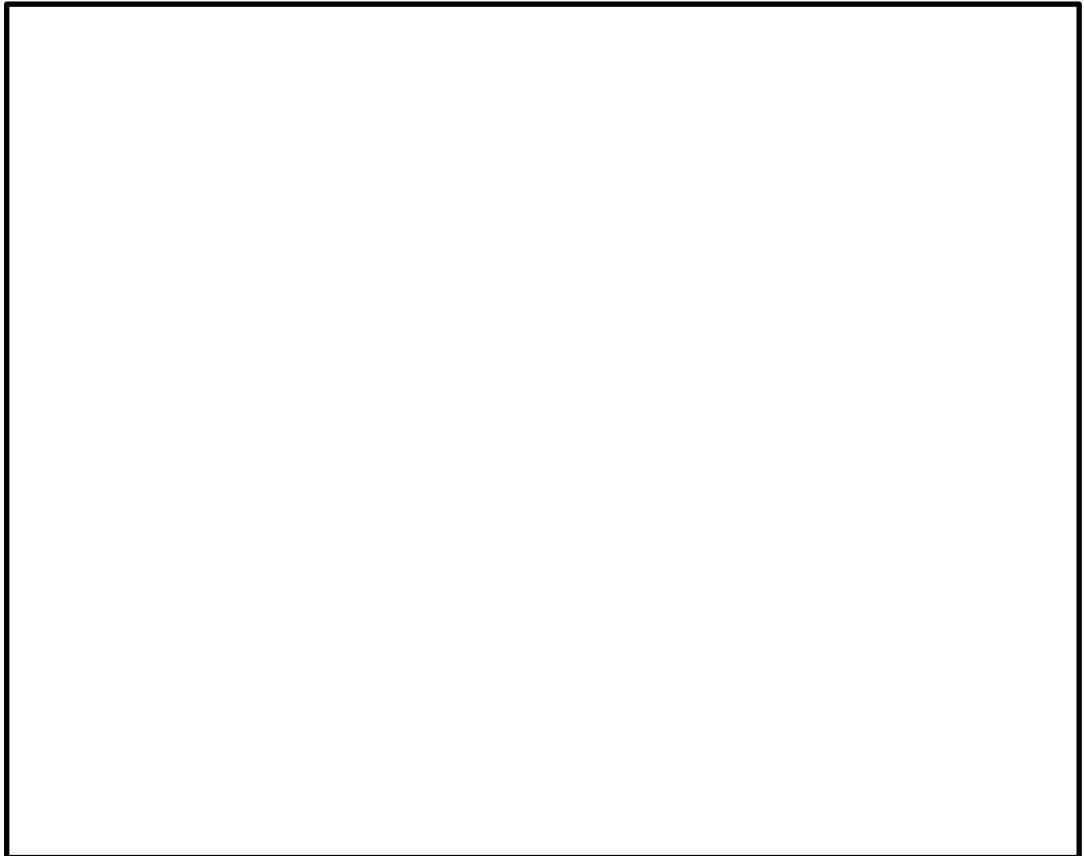


図2-1 タービン補機冷却系熱交換器と上位クラス施設の位置関係図

### 2.2 構造計画

タービン補機冷却系熱交換器の構造計画を表2-1及び表2-2に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

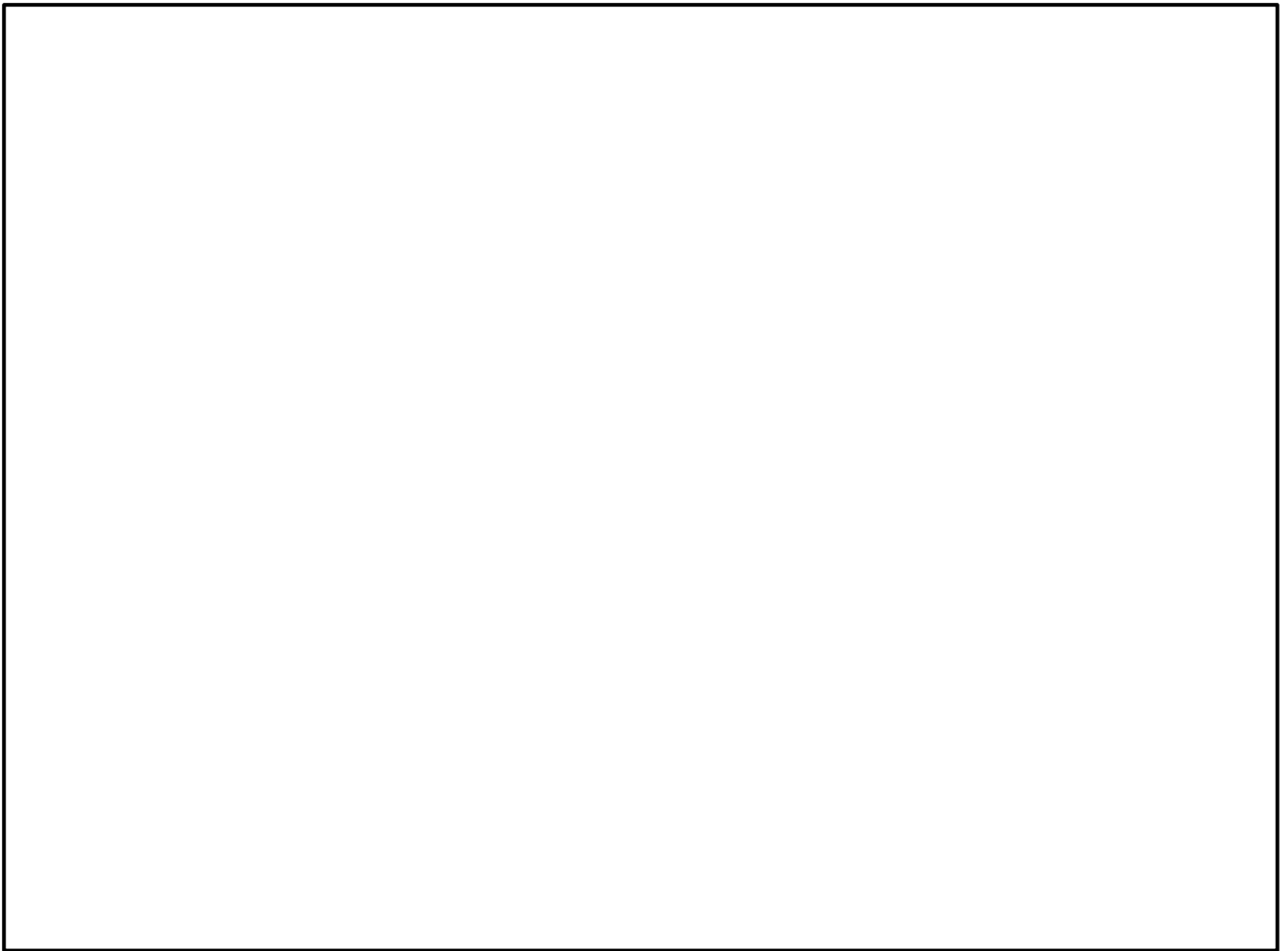
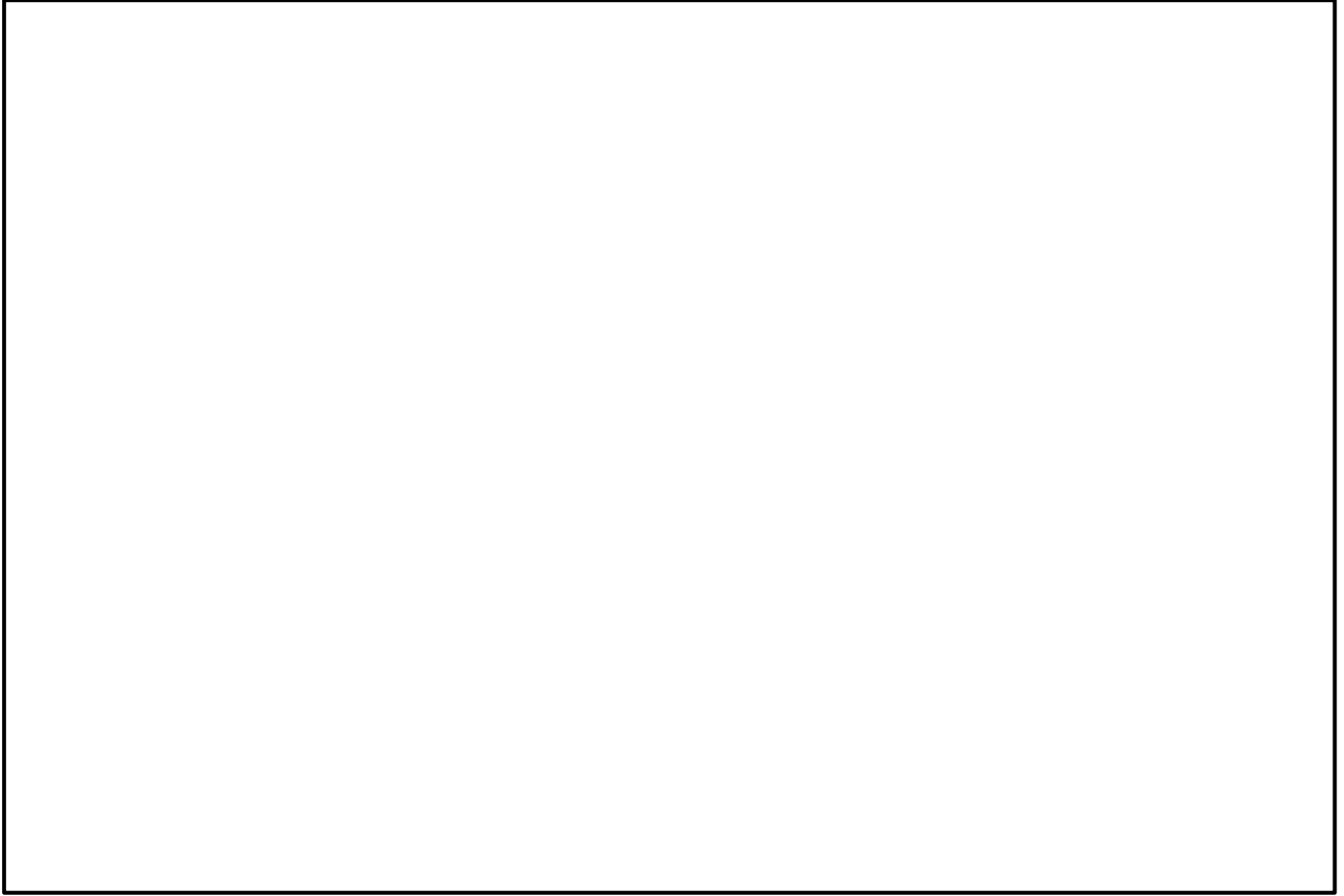
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>           胴を 2 個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。            第 1 脚（固定脚）は脚底板と溶接した耐震補強サポートを介して追設基礎ボルトで床面に固定する。         </p>	<p>           横置直管式（横置一胴円筒形容器）         </p>	

表 2-2 構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>           胴を 2 個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。            第 1 脚（固定脚）は脚底板と溶接した耐震補強サポートを介して追設基礎ボルトで床面に固定する。         </p>	<p>           横置直管式（横置一胴円筒形容器）         </p>	

### 2.3 評価方針

タービン補機冷却系熱交換器の応力評価は、IV-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」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 構造計画」にて示すタービン補機冷却系熱交換器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価フローを図2-2に示す。

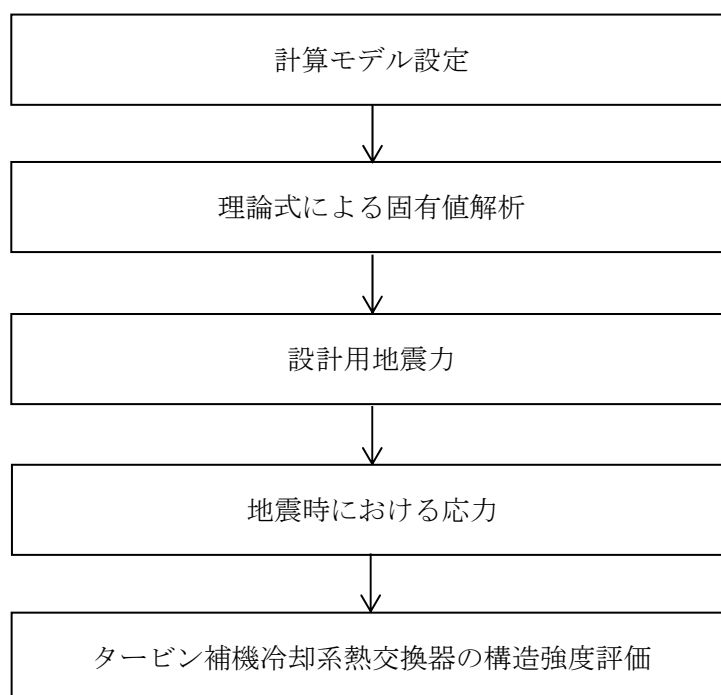


図2-2 タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価フロー

## 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 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。）

2.5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_a$	追設基礎ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A_b$	第1脚の基礎ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A_c$	第2脚の基礎ボルトの断面積	$\text{mm}^2$
$A_s$	第1脚の断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s1}$	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s2}$	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s3}$	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	$\text{mm}^2$
$A_{s4}$	第1脚の横方向に対するせん断断面積	$\text{mm}^2$
$a$	第1脚底板の長手方向幅	$\text{mm}$
$b$	第1脚底板の横方向幅	$\text{mm}$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_v$	鉛直方向設計震度	—
$d_a$	追設基礎ボルトの呼び径	$\text{mm}$
$d_b$	第1脚の基礎ボルトの呼び径	$\text{mm}$
$d_c$	第2脚の基礎ボルトの呼び径	$\text{mm}$
$d_1$	第2脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	$\text{mm}$
$d_2$	第2脚底板端面から基礎ボルト中心までの横方向の距離	$\text{mm}$
$E_s$	脚の縦弾性係数	$\text{MPa}$
$F$	設計・建設規格 SSB-3121. 1(1)に定める値	$\text{MPa}$
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121. 3又はSSB-3133に定める値	$\text{MPa}$
$F_{cb}$	横方向地震により第1脚の基礎ボルトに発生する引張力	$\text{N}$
$F_{ca}$	横方向地震により第1脚の追設基礎ボルトに発生する引張力	$\text{N}$
$F_{cc}$	横方向地震により第2脚の基礎ボルトに発生する引張力	$\text{N}$
$F_{ci}$	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 ( $i = 1, 2, 3 \dots N_c$ )	$\text{N}$
$F_{la}$	長手方向地震により追設基礎ボルトに発生する引張力	$\text{N}$
$F_{lb}$	長手方向地震により第1脚の基礎ボルトに発生する引張力	$\text{N}$
$F_{li}$	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 ( $i = 1, 2, 3 \dots N_l$ )	$\text{N}$
$f_{sb}$	せん断力のみを受ける第1脚の基礎ボルトの許容せん断応力	$\text{MPa}$
$f_{sba}$	せん断力のみを受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力	$\text{MPa}$
$f_{sbc}$	せん断力のみを受ける第2脚の基礎ボルトの許容せん断応力	$\text{MPa}$
$f_{to}$	引張力のみを受ける第1脚の基礎ボルトの許容引張応力	$\text{MPa}$
$f_{toa}$	引張力のみを受ける追設基礎ボルトの許容引張応力	$\text{MPa}$
$f_{toc}$	引張力のみを受ける第2脚のボルトの許容引張応力	$\text{MPa}$
$f_{tm}$	脚の許容引張応力	$\text{MPa}$

記号	記号の説明	単位
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受ける第1脚の基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
$f_{tsa}$	引張力とせん断力を同時に受ける追設基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
$f_{tsc}$	引張力とせん断力を同時に受ける第2脚の基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
$G_s$	脚のせん断弾性係数	MPa
$g$	重力加速度（=9.80665）	m/s <sup>2</sup>
$h_1$	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
$h_2$	基礎から胴の中心までの高さ	mm
$I_{sx}$	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_{sy}$	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
$j_1$	荷重分布で分割する荷重の数	—
$K_c$	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
$K^l$	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
$K_v$	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
$l_0$	脚中心間距離	mm
$l_{ca}$	横方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する追設基礎ボルト列の間の距離	mm
$l_{cb}$	横方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離	mm
$l_{ci}$	横方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離（ $i=1, 2, 3\cdots N_c$ ）	mm
$l_i$	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	mm
$l_{la}$	長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する追設基礎ボルト列の間の距離	mm
$l_{lb}$	長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離	mm
$l_{li}$	長手方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離（ $i=1, 2, 3\cdots N^l$ ）	mm
$M$	第1脚底板に作用するモーメント	N・mm
$M_1$	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
$M_2$	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N・mm
$M_c$	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M_{cc}$	横方向地震により第2脚底面に作用するモーメント	N・mm
$M^l$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N・mm
$m_0$	容器の運転時質量	kg
$m_i$	容器各部の質量（ $i=1, 2, 3\cdots j_1$ ）	kg
$m_{s1}$	第1脚の質量	kg
$m_{s2}$	第2脚の質量	kg

記号	記号の説明	単位
$N_c$	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の数	—
$N^l$	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の数	—
$n_a$	脚1個当たりの追設基礎ボルトの本数	—
$n_b$	脚1個当たりの第1脚の基礎ボルトの本数	—
$n_c$	脚1個当たりの第2脚の基礎ボルトの本数	—
$n_1$	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける第2脚の基礎ボルトの本数	—
$n_2$	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける第2脚の基礎ボルトの本数	—
$n_{ci}$	横方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列でのボルト本数 ( $i=1, 2, 3 \dots N_c$ )	—
$n^{li}$	長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列でのボルト本数 ( $i=1, 2, 3 \dots N^l$ )	—
$P_{sc}$	鉛直方向と横方向地震が作用した場合に第2脚底面に作用する鉛直荷重	N
$R_1$	第1脚の受ける荷重	N
$R_2$	第2脚の受ける荷重	N
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
$s$	第2脚の基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
$T_1$	長手方向固有周期	s
$T_2$	横方向固有周期	s
$T_3$	鉛直方向固有周期	s
$Z_{sx}$	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_{sy}$	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm <sup>3</sup>
$\pi$	円周率	—
$\sigma_a$	追設基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{a1}$	長手方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{a2}$	横方向及び鉛直方向地震により追設基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_b$	第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{b1}$	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_{b2}$	横方向及び鉛直方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa



記号	記号の説明	単位
$\sigma_c$	第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\sigma_{c2}$	横方向及び鉛直方向地震により第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_s$	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_{s1}$	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{s2}$	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
$\sigma_{s3}$	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{s4}$	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{sc}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{sl}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\tau_a$	追設基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{a1}$	長手方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{a2}$	横方向地震により追設基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_b$	第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{b1}$	長手方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{b2}$	横方向地震により第1脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_c$	第2脚の基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
$\tau_{c2}$	横方向地震により第2脚の基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\tau_{s2}$	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{s3}$	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

## 2.6 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-3に示すとおりである。

表2-3 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
角度		rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

\*2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

### 3. 評価部位

タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価は耐震評価は「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、タービン補機冷却系熱交換器の転倒により、上位クラス施設が損傷することを防止するために、支持機能に関連するもののうち、脚、第1脚の基礎ボルト、追設基礎ボルト及び第2脚の基礎ボルトについて評価を実施する。タービン補機冷却系熱交換器の耐震評価部位については、表2-1及び表2-2の概略構造図に示す。

### 4. 固有周期

#### 4.1 固有周期の計算方法

##### (1) 計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

- 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。
- 容器の胴は2個の脚で支持され、脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- 胴は剛体とし、脚をはりと考え、変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。
- 脚が長手方向に変形する場合、脚を基礎に取り付ける基礎ボルトは、固定支持とする。
- 第2脚は長手方向にスライドできるものとし、その方向の力はすべて第1脚で受けるものとする。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図4-1～図4-4に示す。

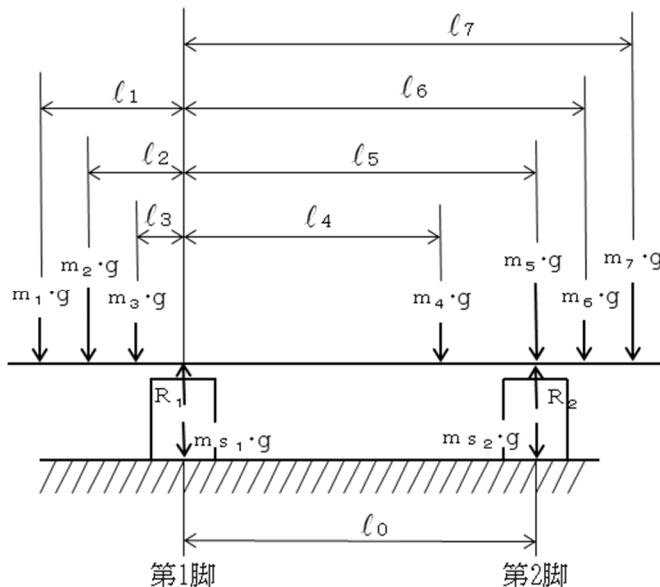


図4-1 荷重状態

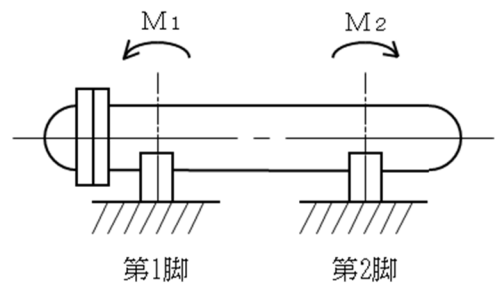


図4-2 脚の位置での曲げモーメント

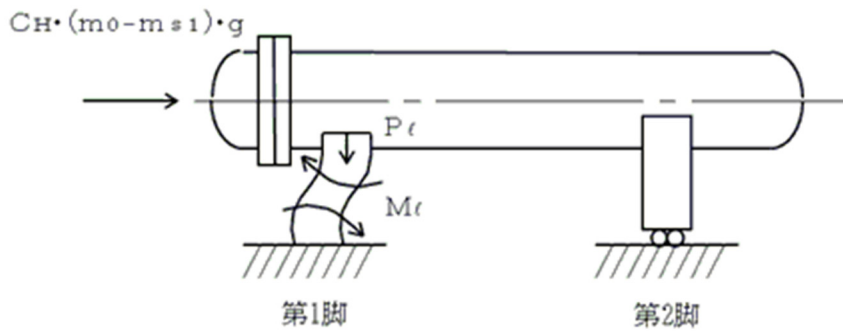


図4-3 長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

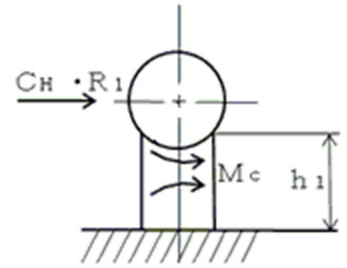


図4-4 横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

本容器は、前記の条件より図4-5、図4-6及び図4-7のような1質点系振動モデルとして考える。

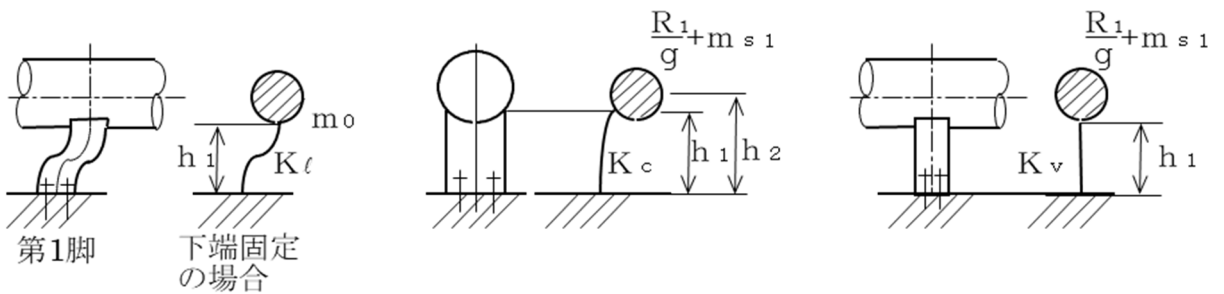


図4-5 長手方向の固有周期計算モデル

図4-6 横方向の固有周期計算モデル

図4-7 鉛直方向の固有周期計算モデル

(2) 脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図4-1において第1脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i - R_2 \cdot l_0 = 0 \quad \dots \dots \dots (4.1.1)$$

したがって、脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot l_i / l_0 \quad \dots \dots \dots (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g - R_2 \quad \dots \dots \dots (4.1.3)$$

## (3) 長手方向の固有周期

図4-5におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\ell} = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{s y}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 1}}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_{\ell}}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

## (4) 横方向の固有周期

図4-6におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{s x}} + \frac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1 / 2)}{E_s \cdot I_{s x}} + \frac{h_1}{G_s \cdot A_{s 2}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_c}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

## (5) 鉛直方向の固有周期

図4-7におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{\frac{R_1}{g} + m_{s 1}}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

## 4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【タービン補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

## 4.3 固有周期の計算結果

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

表4-1 固有周期 (単位：s)

水平	0.042
鉛直	0.05以下

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項a.～f.のほか、次の条件で計算する。概要図を図5-1に示す。

- (1) 地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。ここで、水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を適用する。
- (2) 第1脚と第2脚は同形状であり、受ける荷重の大きい第1脚についての評価を計算書に記載する。

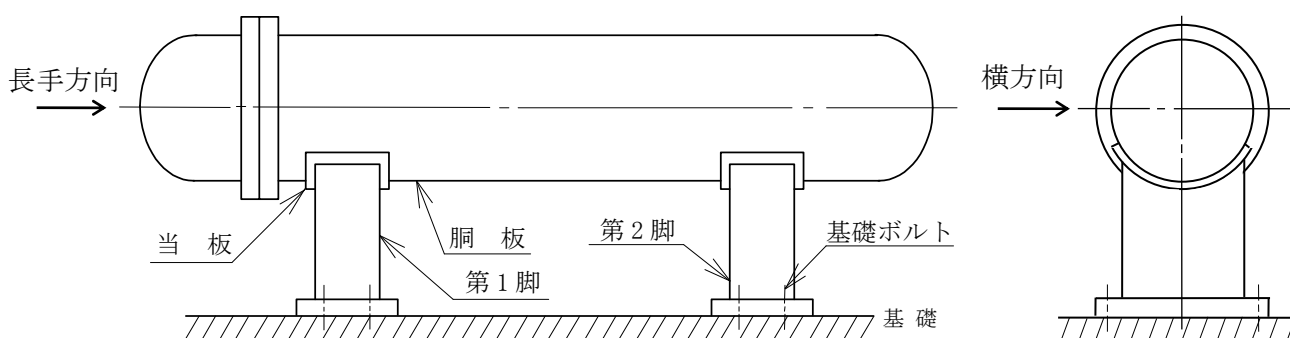


図5-1 概要図

### 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

タービン補機冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

#### 5.2.2 許容応力

タービン補機冷却系熱交換器の許容応力は、IV-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表5-3に示す。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-4に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	タービン補機冷却系熱交換器	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	$IV_{AS}$

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	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
その他	タービン補機冷却系熱交換器	—	—*	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として、 $IV_{AS}$ の許容限界を用いる。)

注記\*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IVAS	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>t</sub> <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> <sup>*</sup>
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 5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設及び重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
脚	SM41A* <sup>1</sup> (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第1脚の 基礎ボルト	SS41* <sup>2</sup> (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
追設基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
第2脚の 基礎ボルト	SS41* <sup>2</sup> (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記\*1：SM400A 相当

\*2：SS400 相当

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動 S<sub>s</sub>」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 5-5 設計用地震力（設計基準対象施設及び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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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
タービン建物 EL 2.0 <sup>*1</sup>	0.042	0.05 以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.30 <sup>*2</sup>	C <sub>V</sub> =0.75 <sup>*2</sup>

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る震度

## 5.4 計算方法

## 5.4.1 応力の計算方法

## 5.4.1.1 脚の計算方法

- (1) 運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

- (2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4} = \frac{R_1 + m_{s1} \cdot g}{A_s} \cdot C_v \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

- (3) 長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2} = \frac{M_\ell}{Z_{sy}} + \frac{P_\ell}{A_s} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、

$$M_\ell = \frac{1}{2} \cdot C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot h_1 \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

また、第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4-3のように変形し、脚付け根部に生じる曲げモーメントは次式で求める。

$$P_\ell = C_H \cdot (m_0 - m_{s1}) \cdot g \cdot \frac{h_2 - \frac{1}{2} \cdot h_1}{l_0} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g}{A_{s3}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

- (4) 横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2}{Z_{sx}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{A_{s4}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

- (5) 組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s2}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_{s1} + \sqrt{\sigma_{s3}^2 + \sigma_{s4}^2})^2 + 3 \cdot \tau_{s3}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

したがって、脚に生じる最大応力は、

$$\sigma_s = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{s\ell}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{sc}) \} \dots\dots\dots (5.4.1.2.11)$$

とする。

5.4.1.2 第1脚の基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

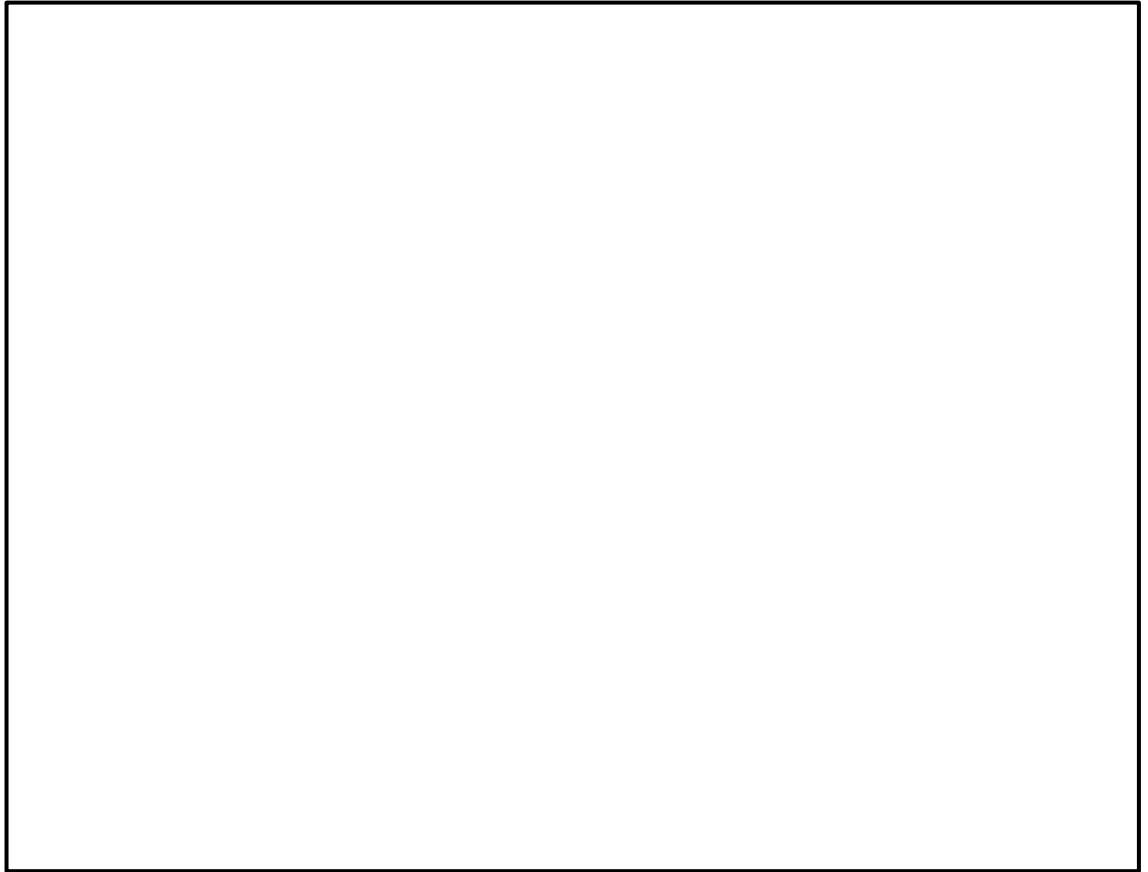


図5-2 計算モデル（長手方向転倒の場合）

図5-2でボルト端列を支点とし、長手方向転倒における第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列に発生する引張力 $F_{\ell_i}$ 、第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列での本数 $n_{\ell_i}$ とボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離 $\ell_{\ell_i}$ により、脚底面に作用するモーメント $M$ は次式で求める。

$$M = \sum_{i=1}^{N_{\ell}} F_{\ell_i} \cdot n_{\ell_i} \cdot \ell_{\ell_i} \cdots \cdots \cdots \quad (5.4.1.2.1)$$

各ボルトに作用する力は支点からの距離に比例するものとし、第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力 $F_{\ell_b}$ と長手方向地震により転倒支点となるボルト列と最大引張力が作用する第1脚の基礎ボルト列の間の距離 $\ell_{\ell_b}$ により、モーメントの釣合い式は次式となる。

$$M = \frac{F_{\ell_b}}{\ell_{\ell_b}} \sum_{i=1}^{N_{\ell}} n_{\ell_i} \cdot \ell_{\ell_i}^2 \cdots \cdots \cdots \quad (5.4.1.2.2)$$

脚底面に作用するモーメント $M$ は、長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメント $M_{\ell}$ に等しいため、

$$M = M_{\ell} \cdots \cdots \cdots \quad (5.4.1.2.3)$$

となる。したがって、第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力  $F_{\ell b}$  は次式となる。

$$F_{\ell b} = \frac{M_{\ell} \cdot \ell_{\ell b}}{\sum_{i=1}^{N_{\ell}} n_{\ell i} \cdot \ell_{\ell i}^2} \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

第1脚の基礎ボルトに生じる引張応力  $\sigma_{b1}$  は第1脚の基礎ボルトに発生する1本当たりの引張力  $F_{\ell b}$  から次のようになる。

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{\ell b}}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ここで、第1脚の基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_b^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{C_H \cdot m_o \cdot g}{n_b \cdot A_b + n_a \cdot A_a} \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

ここで、第1脚の追設基礎ボルトの軸断面積  $A_a$  は次式により求める。

$$A_a = \frac{\pi}{4} \cdot d_a^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

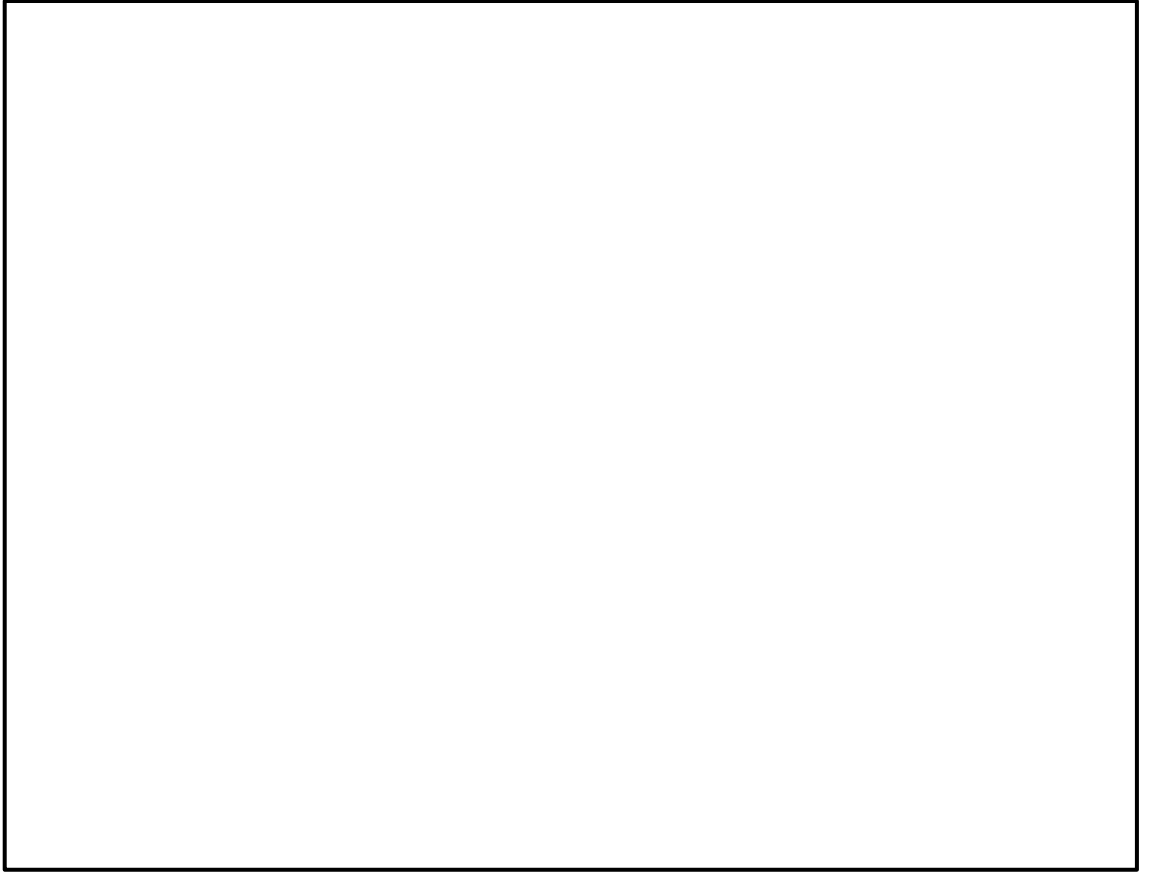


図5-3 計算モデル（横方向転倒の場合）

(1)と同様にして引張応力 $\sigma_{b2}$ は求められるが、 $M$ を $M_c$ 、 $F_{lb}$ を $F_{cb}$ 、 $l_{lb}$ を $l_{cb}$ 、 $N_l$ を $N_c$ 、 $n_{li}$ を $n_{ci}$ 、 $l_{li}$ を $l_{ci}$ とする。横方向転倒におけるボルト端列と第1脚の基礎ボルト及び追設基礎ボルトの列の間の距離 $l_{ci}$ は図5-3に示すボルト端列を支点とした距離である。

ただし、鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式により求める。

$$M_c = C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g) \cdot h_2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{C_H \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)}{n_b \cdot A_b + n_a \cdot A_a} \dots\dots\dots (5.4.1.2.10)$$

## (3) 第1脚の基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた第1脚の基礎ボルトの応力のうち最大のものを $\sigma_b$ 及び $\tau_b$ とする。

## a. 第1脚の基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{b2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.2.11)$$

## b. 第1脚の基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_b = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{b1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{b2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.2.12)$$

## 5.4.1.3 追設基礎ボルトの計算方法

## (1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

## a. 引張応力

5.4.1.2(1)a.と同様にして引張応力は求められるが、 $F_{lb}$ を $F_{la}$ 、 $ll_b$ を $lla$ 、 $A_b$ を $A_a$ 、 $d_b$ を $d_a$ として追設基礎ボルトに生じる引張応力 $\sigma_{a1}$ を求める。

## b. せん断応力

5.4.1.2(1)b.と同様にしてせん断応力 $\tau_{a1}$ を求める。

## (2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

## a. 引張応力

5.4.1.2(2)a.と同様にして引張応力 $\sigma_{a2}$ は求められるが、 $M$ を $M_c$ 、 $F_{la}$ を $F_{ca}$ 、 $lla$ を $lca$ 、 $N_l$ を $N_c$ 、 $n_{li}$ を $n_{ci}$ 、 $lli$ を $lci$ として追設基礎ボルトに生じる引張応力 $\sigma_{a2}$ を求める。

## b. せん断応力

5.4.1.2(2)b.と同様にしてせん断応力 $\tau_{a2}$ を求める。

## (3) 追設基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた追設基礎ボルトの応力のうち最大のものを $\sigma_a$ 及び $\tau_a$ とする。

## a. 追設基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_a = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\sigma_{a1}), \text{横方向地震時応力}(\sigma_{a2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

## b. 追設基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_a = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力}(\tau_{a1}), \text{横方向地震時応力}(\tau_{a2}) \} \\ \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

5.4.1.4 第2脚の基礎ボルトの計算方法

(1) 鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

第2脚は摺動脚のため、第2脚の基礎ボルトに引張応力及びせん断応力は生じない。

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M_{c c} = C_H \cdot (R_2 + m_{s 2} \cdot g) \cdot h_2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.1)$$

鉛直荷重は

$$P_{s c} = (1 - C_v) \cdot (R_2 + m_{s 2} \cdot g) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.2)$$

である。ここで、モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M_{c c} / P_{s c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.3)$$

とする。

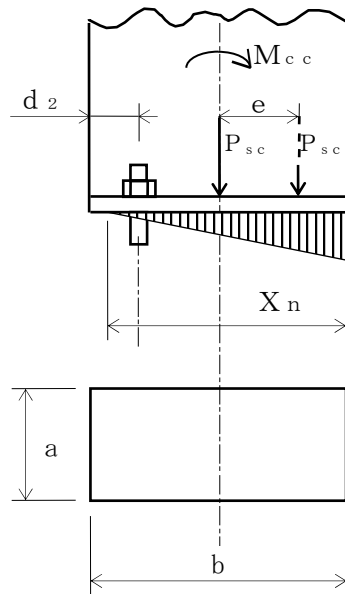


図 5-4 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 1)

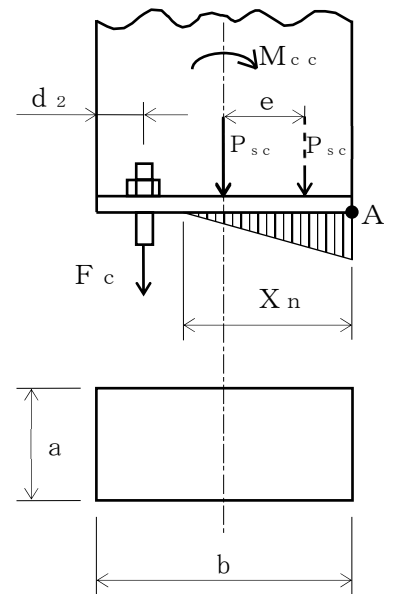


図 5-5 基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係 (その 2)



図5-4のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では第2脚の基礎ボルトに引張力は作用しないため、引張力の評価は行わない。

一方、図5-5のように、ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{b}{6} + \frac{d_2}{3} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.4)$$

の場合及びeが負の場合に、第2脚の基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5-5において、鉛直荷重の釣合い、A点回りのモーメントの釣合い、第2脚の基礎ボルトの伸びと第2脚の基礎の縮みの関係から中立軸の位置X<sub>n</sub>は

$$X_n^3 + 3 \cdot \left(e - \frac{b}{2}\right) \cdot X_n^2 - \frac{6 \cdot s \cdot A_c \cdot n_2}{a} \cdot \left(e + \frac{b}{2} - d_2\right) \cdot (b - d_2 - X_n) = 0 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.5)$$

より求めることができ、第2脚の基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_{cc} = \frac{P_{sc} \cdot \left(e - \frac{b}{2} + \frac{X_n}{3}\right)}{b - d_2 - \frac{X_n}{3}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.6)$$

となる。

したがって、第2脚の基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{c2} = \frac{F_{cc}}{n_2 \cdot A_c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.7)$$

ここで、第2脚の基礎ボルトの軸断面積A<sub>c</sub>は次式により求める。

$$A_c = \frac{\pi}{4} \cdot d_c^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{c2} = \frac{C_H \cdot (R_2 + m_{s2} \cdot g)}{n_c \cdot A_c} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.9)$$

(3) 第2脚の基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より第2脚の基礎ボルトに生じる最大応力は次のようになる。

a. 第2脚の基礎ボルトの最大引張応力

$$\sigma_c = \text{横方向地震時応力} (\sigma_{c2}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.10)$$

b. 第2脚の基礎ボルトの最大せん断応力

$$\tau_c = \text{横方向地震時応力} (\tau_{c2}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4.11)$$

5.5 計算条件

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

5.6 応力の評価

5.6.1 脚の応力評価

5.4.1.1項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 $f_{tm}$ 以下であること。ただし、 $f_{tm}$ は下表による。

	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 $f_{tm}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.2 第1脚の基礎ボルトの応力評価

5.4.1.2項で求めた第1脚の基礎ボルトの引張応力 $\sigma_b$ 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.2.1)$$

せん断応力 $\tau_b$ はせん断力のみ受ける第1脚の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 $f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5.6.3 追設基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3項で求めた追設基礎ボルトの引張応力 $\sigma_a$ は次式より求めた許容組合せ応力 $f_{tsa}$ 以下であること。ただし、 $f_{toa}$ は下表による。

$$f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}] \quad \dots\dots\dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 $\tau_a$ はせん断力のみ受ける追設基礎ボルトの許容せん断応力 $f_{sba}$ 以下であること。ただし、 $f_{sba}$ は下表による。

	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 $f_{toa}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sba}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 5.6.4 第2脚の基礎ボルトの応力評価

5.4.1.4項で求めた第2脚の基礎ボルトの引張応力 $\sigma_c$ は次式より求めた許容組合せ応力 $f_{tsc}$ 以下であること。ただし、 $f_{toc}$ は下表による。

$$f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}] \quad \dots\dots\dots (5.6.4.1)$$

せん断応力 $\tau_c$ はせん断力のみ受ける第2脚の基礎ボルトの許容せん断応力 $f_{sbc}$ 以下であること。ただし、 $f_{sbc}$ 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 $f_{toc}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sbc}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機冷却系熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

タービン補機冷却系熱交換器の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		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	
タービン補機冷却系 熱交換器	C	タービン建物 EL 2.0*1	0.042	0.05 以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.30*2	C <sub>V</sub> =0.75*2	50

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I を上回る設計震度

1.2 機器要目

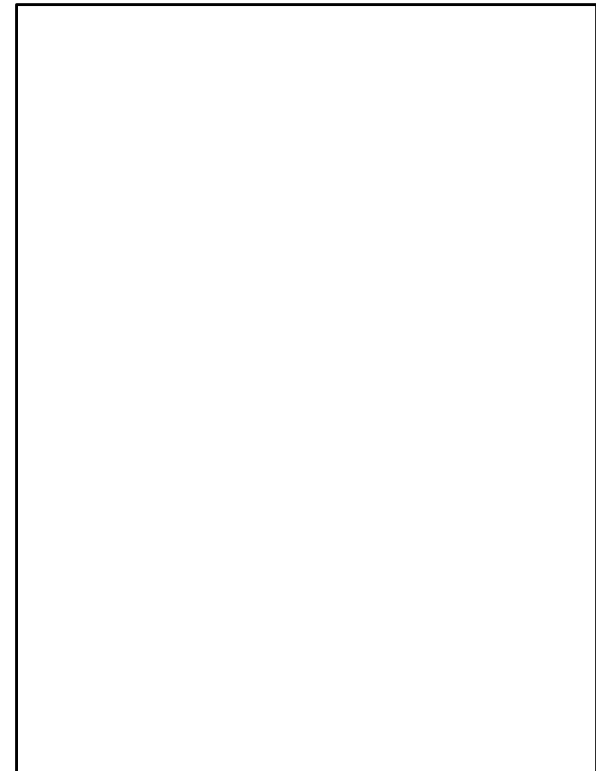
m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	m <sub>0</sub> (kg)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	ℓ <sub>5</sub> (mm)	ℓ <sub>6</sub> (mm)	ℓ <sub>7</sub> (mm)
										-1710	-740	0	1150	2300	2920	3650

ℓ <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s1</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s2</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s3</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>s4</sub> (mm <sup>2</sup> )
2300	999	1350	3.237×10 <sup>10</sup>	6.584×10 <sup>8</sup>	3.481×10 <sup>7</sup>	2.863×10 <sup>6</sup>	1.080×10 <sup>5</sup>	3.730×10 <sup>4</sup>	6.018×10 <sup>4</sup>	2.508×10 <sup>4</sup>	4.818×10 <sup>4</sup>

ℓ <sub>ℓ1</sub> (mm)	ℓ <sub>ℓ2</sub> (mm)	ℓ <sub>ℓ3</sub> (mm)	ℓ <sub>c1</sub> (mm)	ℓ <sub>c2</sub> (mm)	ℓ <sub>c3</sub> (mm)	ℓ <sub>c4</sub> (mm)	ℓ <sub>c5</sub> (mm)

n <sub>ℓ1</sub>	n <sub>ℓ2</sub>	n <sub>ℓ3</sub>	n <sub>c1</sub>	n <sub>c2</sub>	n <sub>c3</sub>	n <sub>c4</sub>	n <sub>c5</sub>

ℓ <sub>ℓb</sub> (mm)	ℓ <sub>ℓa</sub> (mm)	ℓ <sub>ca</sub> (mm)	ℓ <sub>cb</sub> (mm)	n <sub>b</sub>	n <sub>a</sub>	n <sub>c</sub>	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	d <sub>b</sub> (mm)	d <sub>a</sub> (mm)	d <sub>c</sub> (mm)
				4		4	2	2	42 (M42)		42 (M42)



S2 補 VI-2-11-2-7-11 R0

$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	$A_a$ (mm <sup>2</sup> )	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$a$ (mm)	$b$ (mm)	$s$	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)
1385		1385	75	100	500	1900	15	201000*	77300*

$S_y$ (脚) (MPa)	$S_u$ (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)	$S_y$ (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (第1脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

$S_y$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$S_y$ (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (第2脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

注記\*：周囲環境温度で算出

## 1.3 計算数値

## 1.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 103$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 23$	$\tau_{s3} = 8$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s0} = 113$	$\sigma_{sc} = 22$

## 1.3.2 第1脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 25$	$\sigma_{b2} = 43$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 63$	$\tau_{b2} = 40$

## 1.3.3 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{a1} = 113$	$\sigma_{a2} = 118$
	せん断	—	—	$\tau_{a1} = 63$	$\tau_{a2} = 40$

## 1.3.4 第2脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{c2} = 56$
	せん断	—	—	—	$\tau_{c2} = 38$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 = 0.042$
横方向	$T_2 = 0.020$
鉛直方向	$T_3 = 0.007$

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 113$	$f_{tm} = 276$
第1脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 163^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 63$	$f_{sb} = 146$
追設 基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_a = 118$	$f_{tsa} = 130^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_a = 63$	$f_{sba} = 127$
第2脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_c = 56$	$f_{tsc} = 189^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_c = 38$	$f_{sbc} = 146$

すべて許容応力以下である。

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

\*2:  $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}]$

\*3:  $f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}]$



2. 重大事故等対処設備

2.1 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	
タービン補機冷却系 熱交換器	C	タービン建物 EL 2.0*1	0.042	0.05 以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.30*2	C <sub>V</sub> =0.75*2	50

注記\*1：基準床レベルを示す。  
\*2：設計用震度 I を上回る設計震度

2.2 機器要目

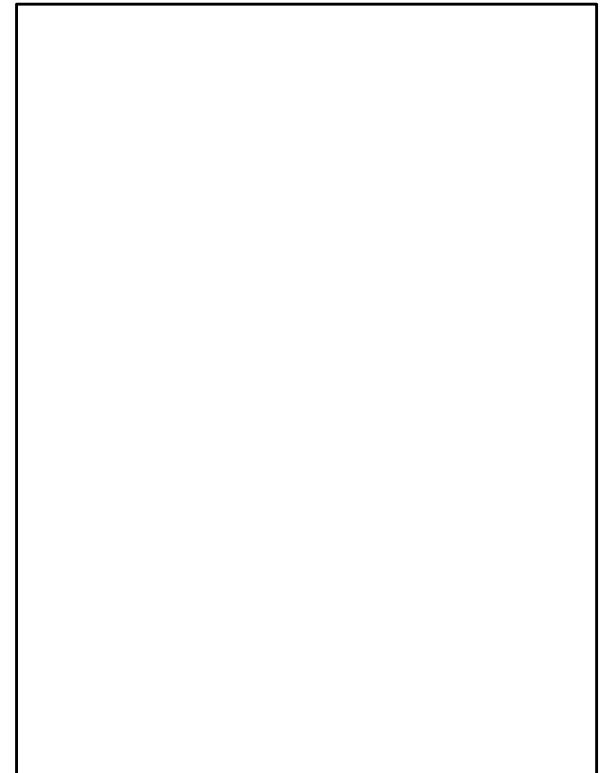
m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	m <sub>0</sub> (kg)	ℓ <sub>1</sub> (mm)	ℓ <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>3</sub> (mm)	ℓ <sub>4</sub> (mm)	ℓ <sub>5</sub> (mm)	ℓ <sub>6</sub> (mm)	ℓ <sub>7</sub> (mm)
										-1710	-740	0	1150	2300	2920	3650

ℓ <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	Λ <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	Λ <sub>s1</sub> (mm <sup>2</sup> )	Λ <sub>s2</sub> (mm <sup>2</sup> )	Λ <sub>s3</sub> (mm <sup>2</sup> )	Λ <sub>s4</sub> (mm <sup>2</sup> )
2300	999	1350	3.237×10 <sup>10</sup>	6.584×10 <sup>8</sup>	3.481×10 <sup>7</sup>	2.863×10 <sup>6</sup>	1.080×10 <sup>5</sup>	3.730×10 <sup>4</sup>	6.018×10 <sup>4</sup>	2.508×10 <sup>4</sup>	4.818×10 <sup>4</sup>

ℓ <sub>ℓ1</sub> (mm)	ℓ <sub>ℓ2</sub> (mm)	ℓ <sub>ℓ3</sub> (mm)	ℓ <sub>c1</sub> (mm)	ℓ <sub>c2</sub> (mm)	ℓ <sub>c3</sub> (mm)	ℓ <sub>c4</sub> (mm)	ℓ <sub>c5</sub> (mm)

n <sub>ℓ1</sub>	n <sub>ℓ2</sub>	n <sub>ℓ3</sub>	n <sub>c1</sub>	n <sub>c2</sub>	n <sub>c3</sub>	n <sub>c4</sub>	n <sub>c5</sub>

ℓ <sub>ℓb</sub> (mm)	ℓ <sub>ℓa</sub> (mm)	ℓ <sub>ca</sub> (mm)	ℓ <sub>cb</sub> (mm)	n <sub>b</sub>	n <sub>a</sub>	n <sub>c</sub>	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	d <sub>b</sub> (mm)	d <sub>a</sub> (mm)	d <sub>c</sub> (mm)
				4		4	2	2	42 (M42)		42 (M42)



S2 補 VI-2-11-2-7-11 R0

$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	$A_a$ (mm <sup>2</sup> )	$A_c$ (mm <sup>2</sup> )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$a$ (mm)	$b$ (mm)	$s$	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)
1385		1385	75	100	500	1900	15	201000*	77300*

$S_y$ (脚) (MPa)	$S_u$ (脚) (MPa)	$F^*$ (脚) (MPa)	$S_y$ (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (第1脚の基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (第1脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

$S_y$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (追設基礎ボルト) (MPa)	$S_y$ (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	$S_u$ (第2脚の基礎ボルト) (MPa)	$F^*$ (第2脚の基礎ボルト) (MPa)
231* (16mm<厚さ≤40mm)	394* (16mm<厚さ≤40mm)	276*	211* (40mm<厚さ≤100mm)	394* (40mm<厚さ≤100mm)	253*

注記\*：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1} = 3$	$\sigma_{s1} = 3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4} = 2$	$\sigma_{s4} = 2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2} = 103$	$\sigma_{s3} = 15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2} = 23$	$\tau_{s3} = 8$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s0} = 113$	$\sigma_{sc} = 22$

2.3.2 第1脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 25$	$\sigma_{b2} = 43$
	せん断	—	—	$\tau_{b1} = 63$	$\tau_{b2} = 40$

2.3.3 追設基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{a1} = 113$	$\sigma_{a2} = 118$
	せん断	—	—	$\tau_{a1} = 63$	$\tau_{a2} = 40$

2.3.4 第2脚の基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び 水平方向地震による応力	引張	—	—	—	$\sigma_{c2} = 56$
	せん断	—	—	—	$\tau_{c2} = 38$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 = 0.042$
横方向	$T_2 = 0.020$
鉛直方向	$T_3 = 0.007$

2.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
脚	SM41A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 113$	$f_{tm} = 276$
第1脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_b = 43$	$f_{ts} = 163^{*1}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 63$	$f_{sb} = 146$
追設 基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_a = 118$	$f_{tsa} = 130^{*2}$
		せん断	—	—	$\tau_a = 63$	$f_{sba} = 127$
第2脚の 基礎ボルト	SS41	引張	—	—	$\sigma_c = 56$	$f_{tsc} = 189^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_c = 38$	$f_{sbc} = 146$

すべて許容応力以下である。

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

\*2:  $f_{tsa} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toa} - 1.6 \cdot \tau_a, f_{toa}]$

\*3:  $f_{tsc} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toc} - 1.6 \cdot \tau_c, f_{toc}]$

VI-2-11-2-12 復水貯蔵タンク遮蔽壁の耐震性についての計算書

## 目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造及び補強の概要	3
2.3	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	8
3.	地震応答解析	9
3.1	地震時荷重算出断面	9
3.2	解析方法	11
3.2.1	構造部材	11
3.2.2	地盤物性のばらつき	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	荷重	14
3.3.2	荷重の組合せ	14
3.4	入力地震動	15
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	30
3.5.4	地下水位	31
3.6	地震応答解析結果	32
3.6.1	地震応答解析結果	32
4.	応力解析	49
4.1	評価対象部位	49
4.2	解析方法	49
4.3	荷重及び荷重の組合せ	49
4.3.1	荷重	49
4.3.2	荷重の組合せ	50
4.4	解析モデル及び諸元	51
5.	耐震評価	53
5.1	許容限界	53
6.	耐震評価結果	54

## 1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、復水貯蔵タンク遮蔽壁がB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価として、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の有する機能が保持されることを確認するために、施設の損傷による影響では、復水貯蔵タンク遮蔽壁の構造部材の健全性評価を実施する。構造部材の健全性評価にあたっては、地震応答解析により算定した荷重を3次元構造解析モデルに作用させて確認する。

## 2. 基本方針

### 2.1 位置

復水貯蔵タンク遮蔽壁の位置図を図2-1に示す。



図2-1 復水貯蔵タンク遮蔽壁 位置図



## 2.2 構造及び補強の概要

復水貯蔵タンク遮蔽壁の平面図を図 2-2 に，断面図を図 2-3 に，耐震補強箇所を図 2-4 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は，鉄筋コンクリート造であり，荷重は遮蔽壁に作用し，基礎へ伝達する構造である。基礎は，幅 22m（東西）×22m（南北），遮蔽壁は，内径 17.5m，壁厚 0.5m，高さ 12m の円筒状の地上構造物で，十分な支持性能を有する岩盤に直接設置している。

なお，復水貯蔵タンク遮蔽壁については，耐震性を確保するために耐震補強を実施する。

せん断破壊に対する耐震補強として，後施工せん断補強工法（ポストヘッドバー工法）（以下「PHb 工法」という。）による補強を行っている。

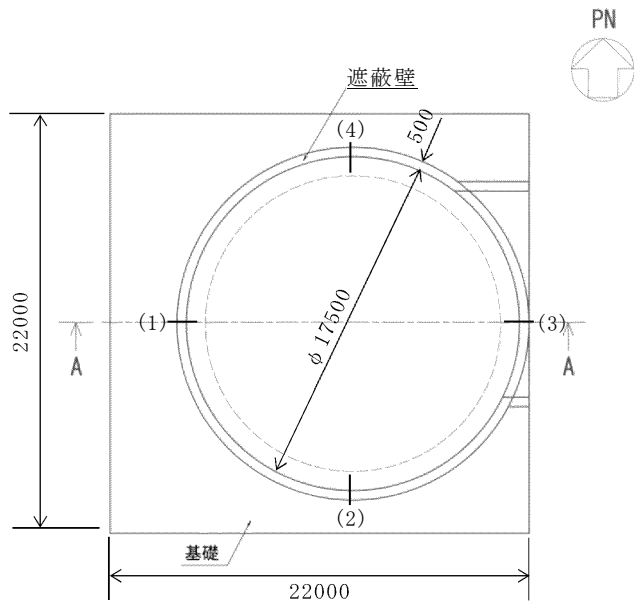


図 2-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁 平面図 (単位:mm)

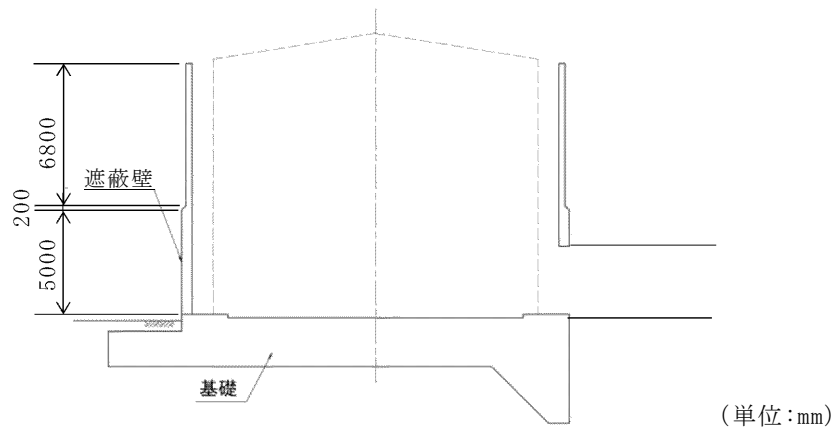
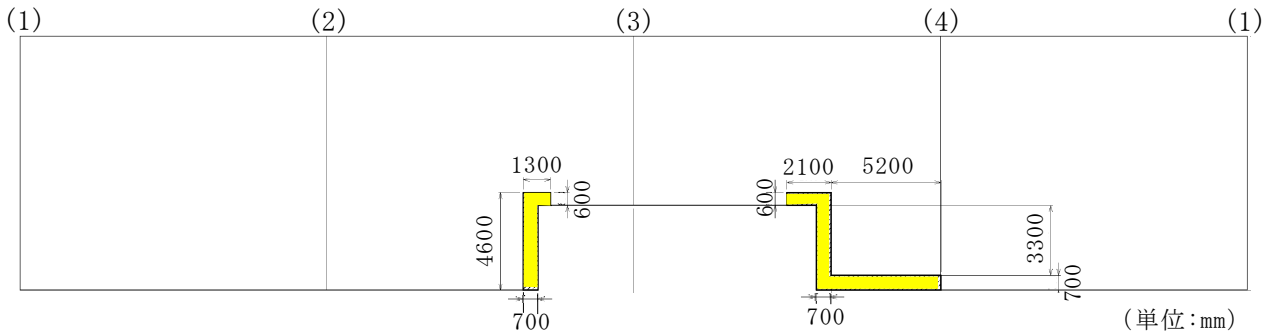


図 2-3 復水貯蔵タンク遮蔽壁 断面図 (A-A 断面, 南北)



■ : PHb による補強箇所

図 2-4 PHb による耐震補強箇所 (展開図)

### 2.3 評価方針

復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響の評価フローを図 2-5 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響評価は、地震応答解析及び 3 次元構造解析により得られた解析結果に基づき、表 2-1 の復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目に示すとおり、構造部材の健全性評価を行う。

構造部材の健全性評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、「3. 地震応答解析」より得られた、水平方向及び鉛直方向の荷重を用いて、3次元構造解析により応答値を算定し、「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊に対する評価を行い、照査用応答値が許容限界を下回ることを確認する。なお、せん断破壊に対する補強として PHb 工法を用いる場合には、構造部材に対して PHb 工法の適用条件を満たしていることを確認し、PHb 工法を採用する。

表 2-1 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	遮蔽壁	曲げ軸力，せん断力に対する発生応力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	終局耐力*
				せん断力	短期許容応力度

注記\*： 妥当な安全余裕を考慮する。

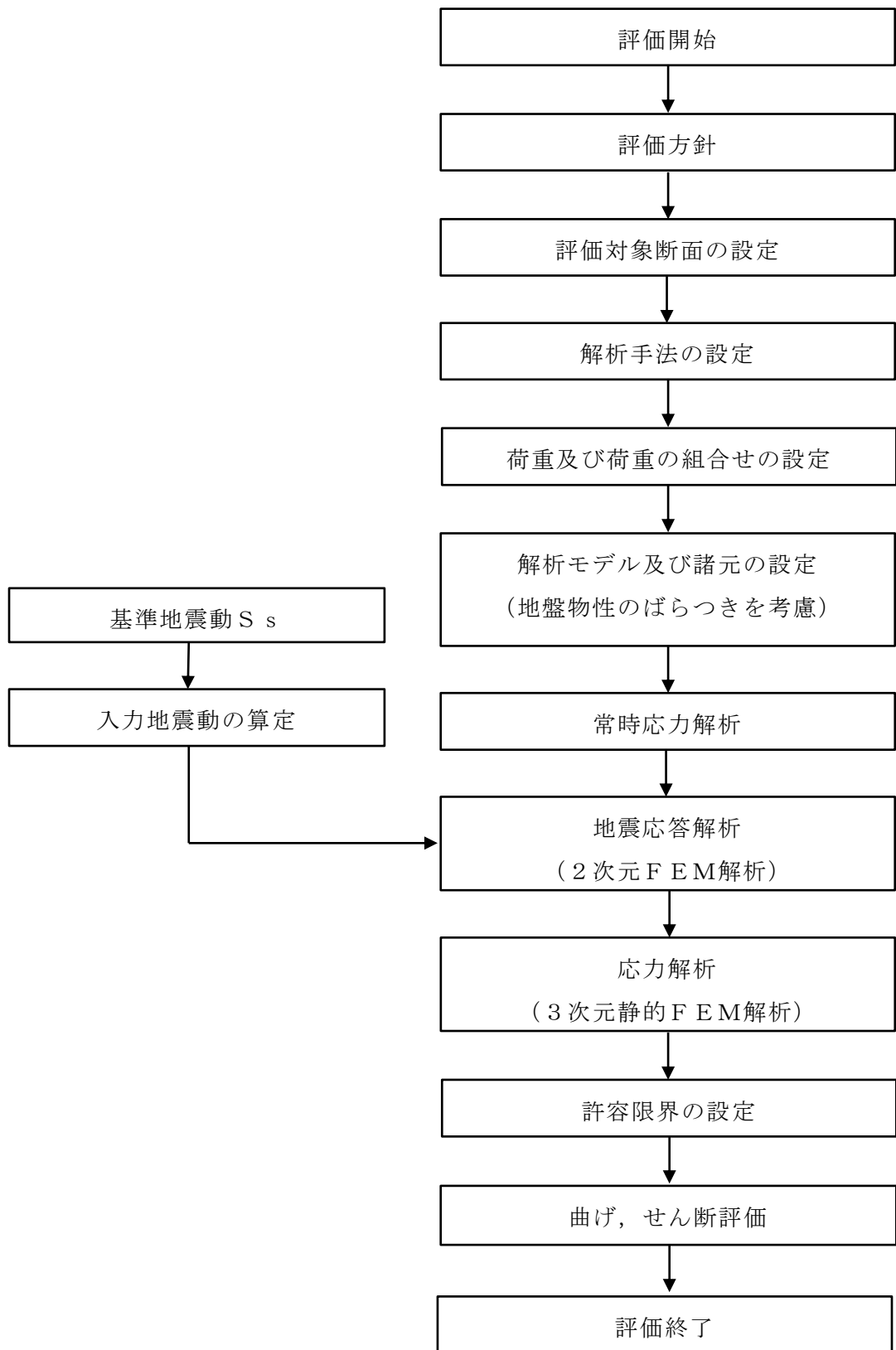


図 2-5 復水貯蔵タンク遮蔽壁の波及的影響の評価フロー

## 2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（原子力安全委員会，2006.9）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987（日本電気協会，1987）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版（日本電気協会，1991）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008（日本電気協会，2008）
- ・原子力発電所耐震設計技術規定 JEAC4601-2008（日本電気協会，2009）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針（土木学会・原子力土木委員会，2005.6）
- ・コンクリート標準示方書（土木学会，2002）（以下「RC示方書」という。）

### 3. 地震応答解析

#### 3.1 地震時荷重算出断面

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震時荷重算出断面位置図を図 3-1 に、評価対象断面図を図 3-2 に示す。

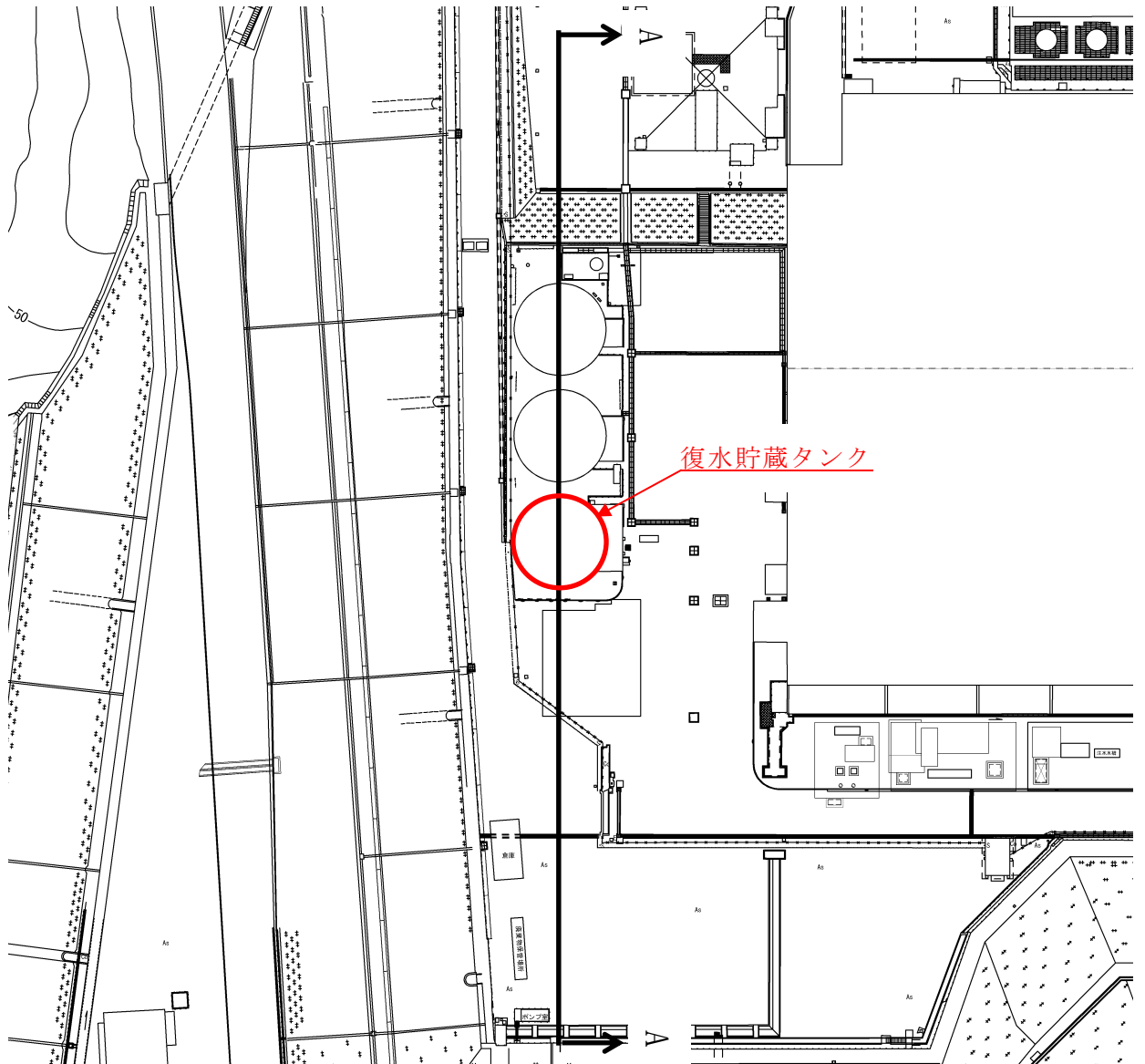


図 3-1 地震時荷重算出断面位置図

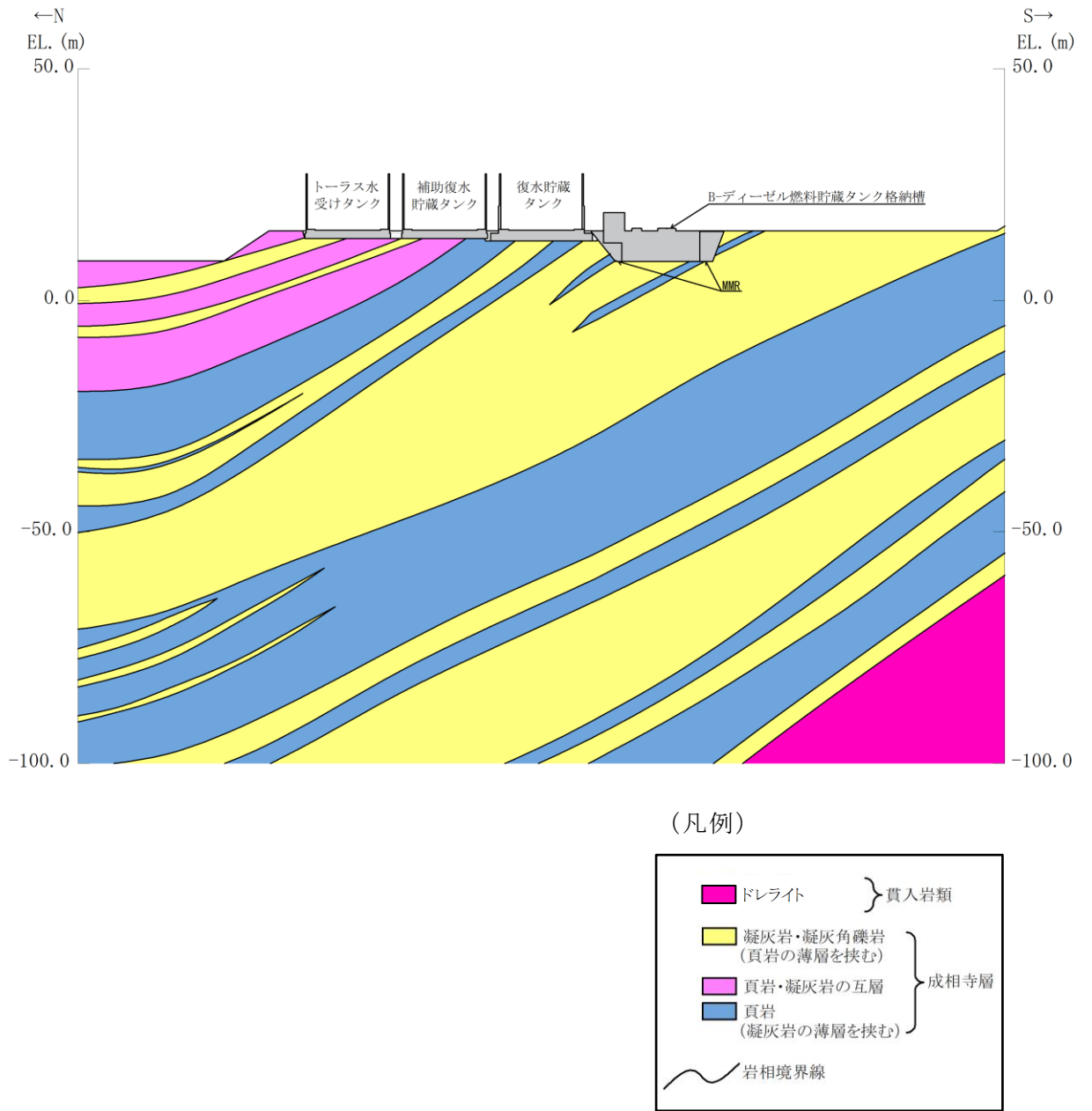


図 3-2 復水貯蔵タンク遮蔽壁の評価対象断面図 (A-A 断面)



### 3.2 解析方法

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元有限要素法解析を用いて、基準地震動 $S_s$ 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非線形解析により行う。復水貯蔵タンク遮蔽壁は、施設周辺に地下水水位以深の液状化対象層が存在しないことから、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「T D A P III Ver.3.04」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

構造部材のうち、復水貯蔵タンク及び復水貯蔵タンク遮蔽壁については、多質点系のはり質点系モデルとする。また、復水貯蔵タンク基礎については線形はり要素でモデル化する。

#### 3.2.2 地盤物性のばらつき

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 $\sigma$ 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 + 1 $\sigma$
ケース③	平均値 - 1 $\sigma$

### 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  $\alpha$ 、 $\beta$  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

$\alpha$ 、 $\beta$  : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数  $\alpha$ 、 $\beta$  の設定結果

$\alpha$	$\beta$
1.152	$1.3 \times 10^{-4}$

### 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、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、遮蔽壁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、遮蔽壁の頂部・下部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。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 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース		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		平均値		平均値 + 1 $\sigma$		平均値 - 1 $\sigma$	
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、遮蔽壁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、遮蔽壁の頂部・下部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。	
		-+*	○				
		+ -*	○				
		---*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○				
		-+*	○				
$S_s - N 2$ (EW)	++*	○					
	-+*	○					

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

### 3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

#### 3.3.1 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び積雪荷重  $P_s$  を考慮する。

(3) 積雪荷重 ( $P_s$ )

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0 cm 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 1 cm ごとに  $20\text{N/m}^2$  の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(4) 風荷重 ( $P_k$ )

風荷重については、設計基準風速を 30m/s とし、建築基準法に基づき算定する。

(5) 地震荷重 ( $S_s$ )

基準地震動  $S_s$  による荷重を考慮する。

#### 3.3.2 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 ( $S_s$ )	$G + P + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重 (積雪荷重  $P_s$  を含む。)

$P_k$  : 風荷重

$S_s$  : 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3-15に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE Ver. 2.0」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。

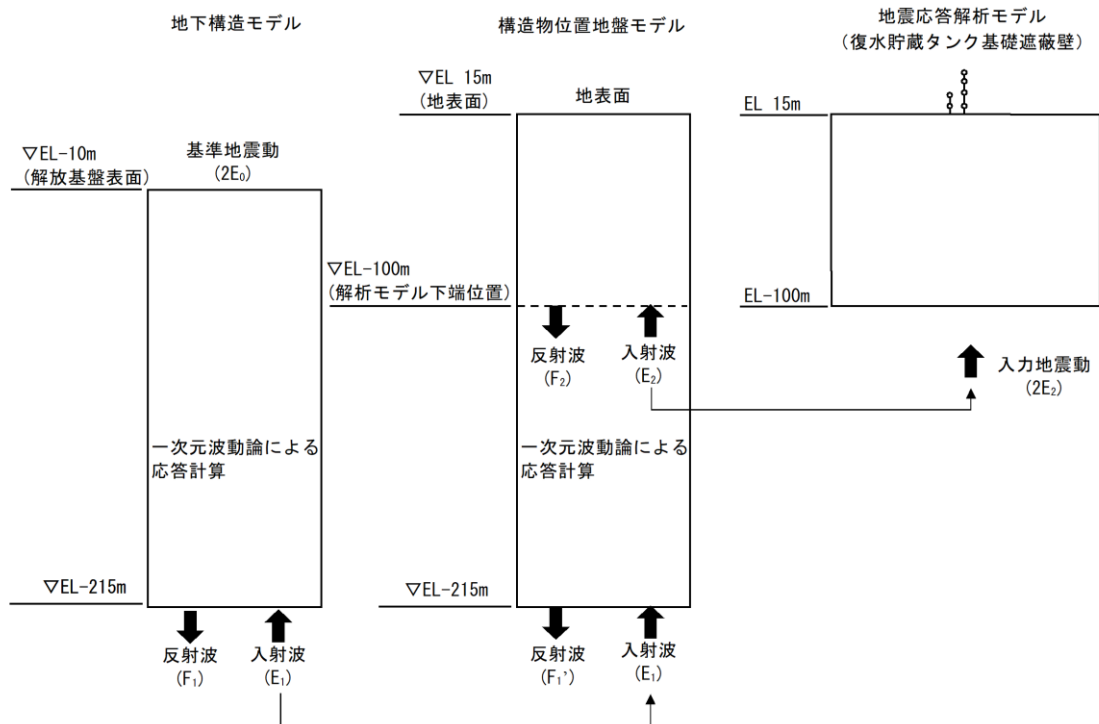
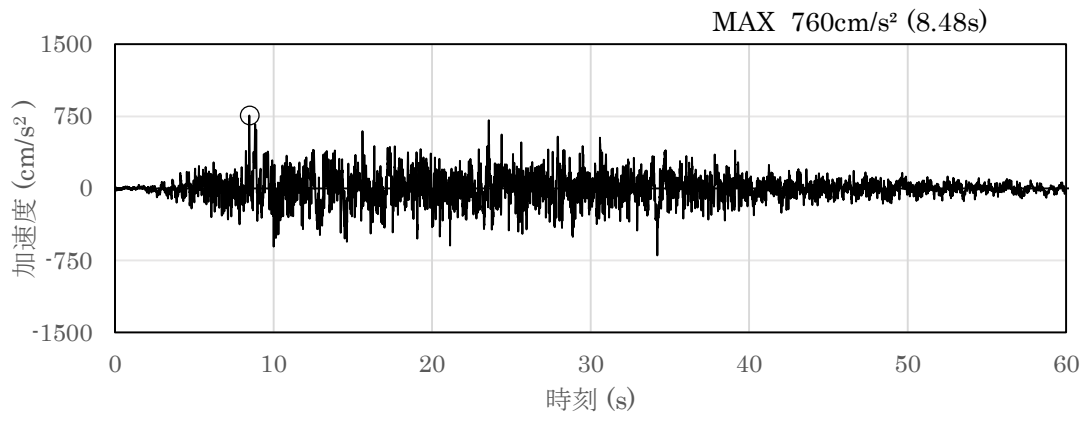
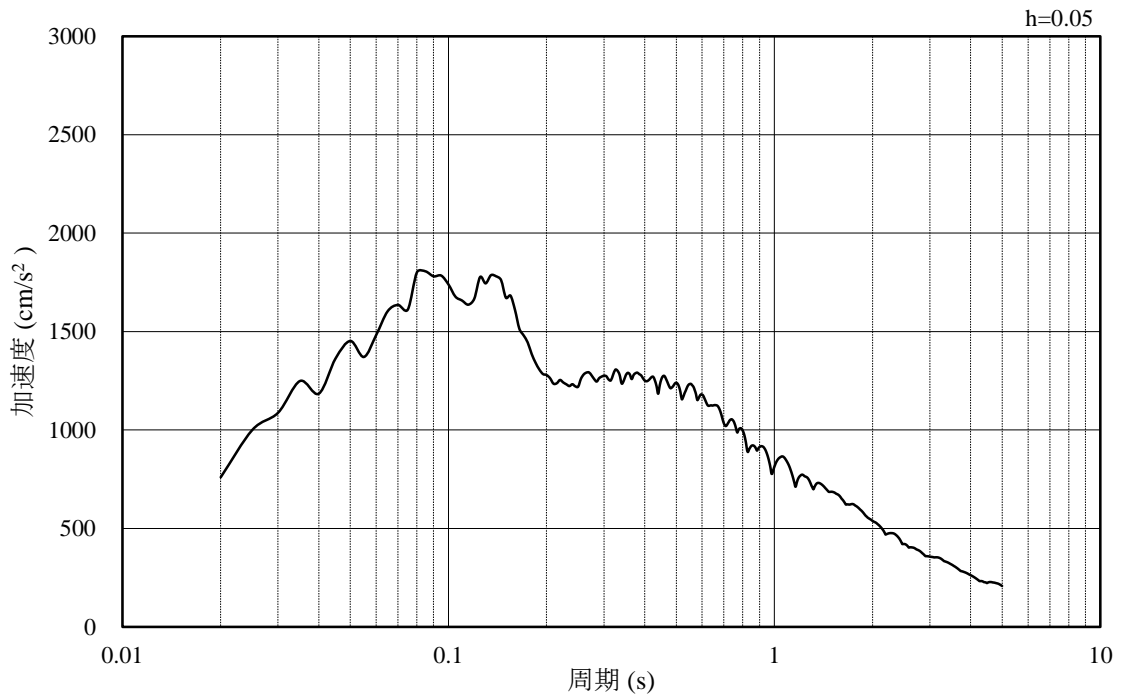


図3-3 入力地震動算定の概念図

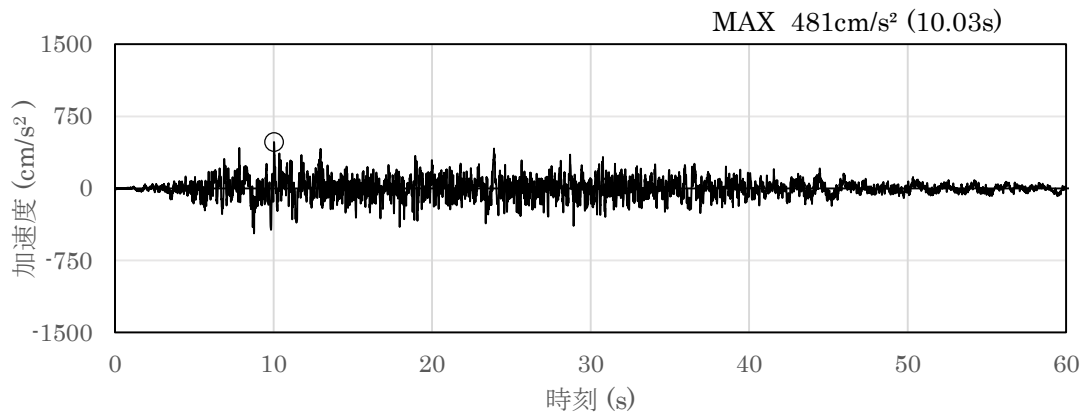


(a) 加速度時刻歴波形

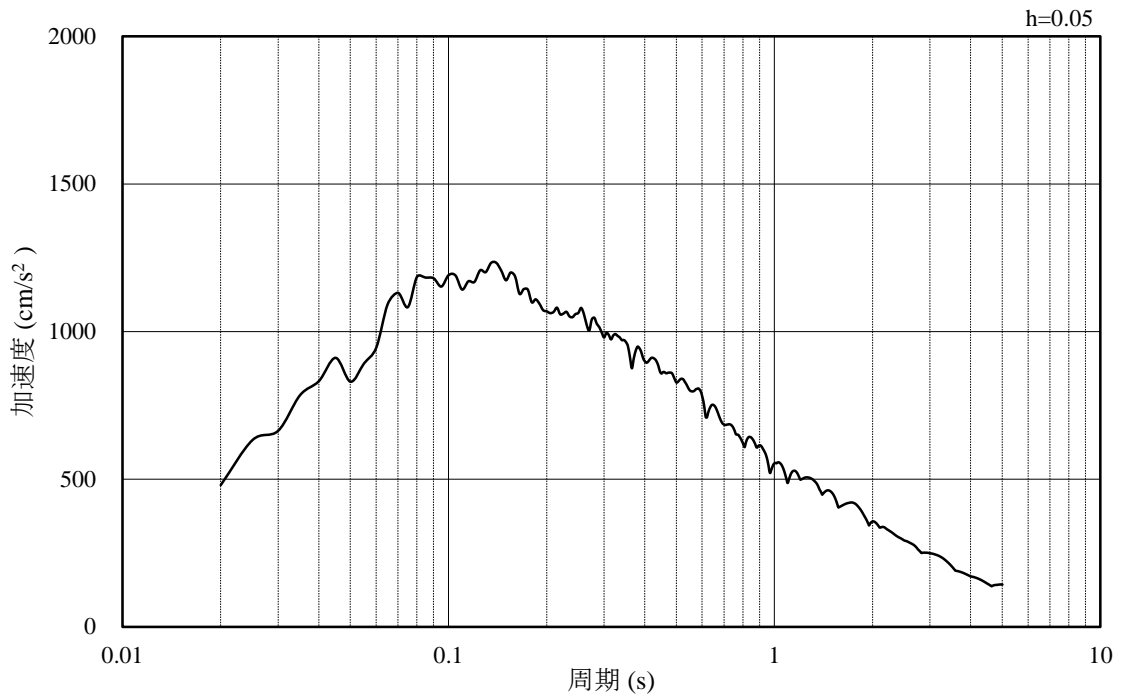


(b) 加速度応答スペクトル

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  
(水平成分：S s - D)

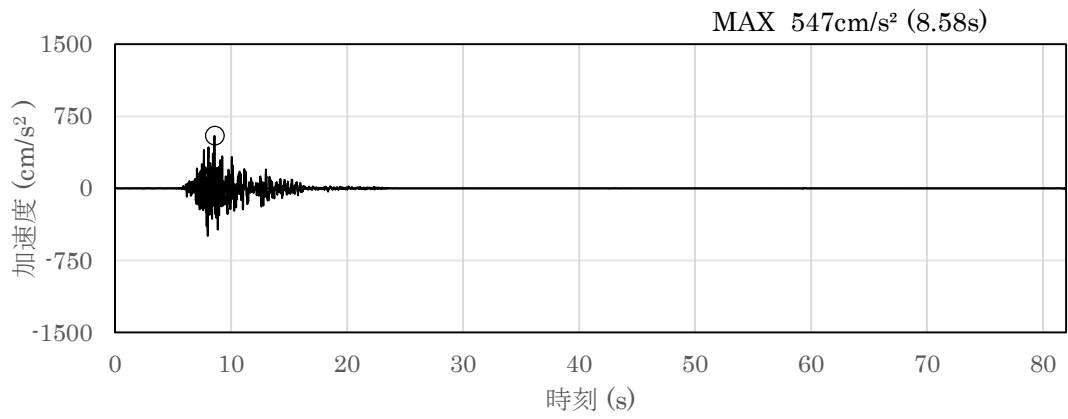


(a) 加速度時刻歴波形

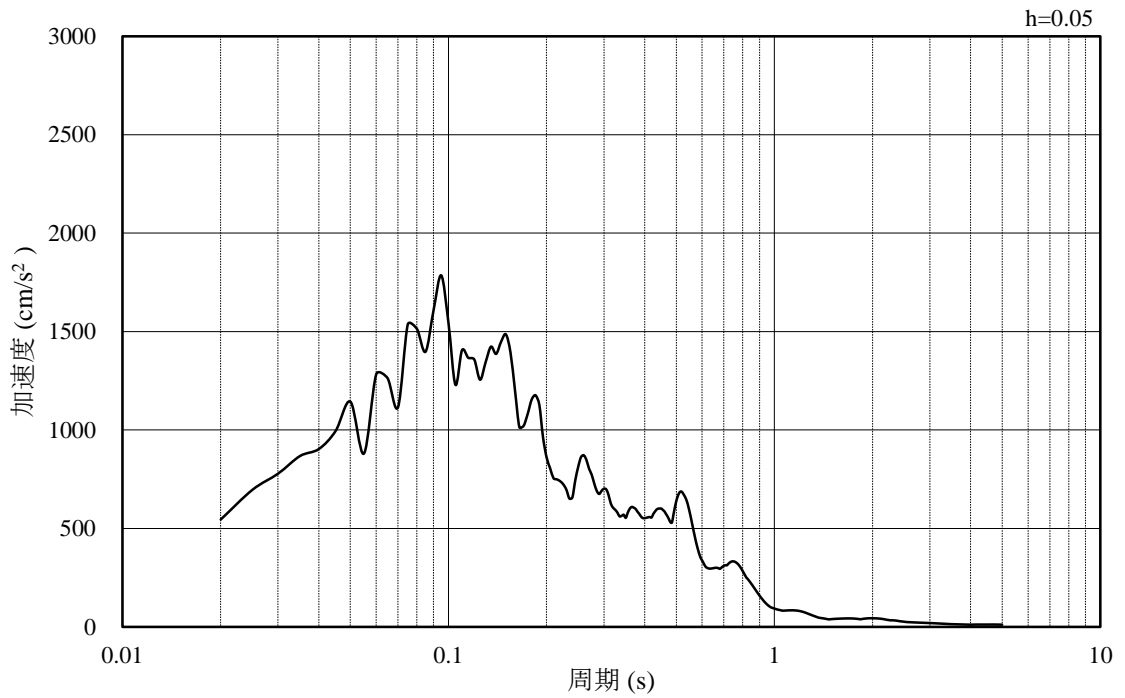


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - D)



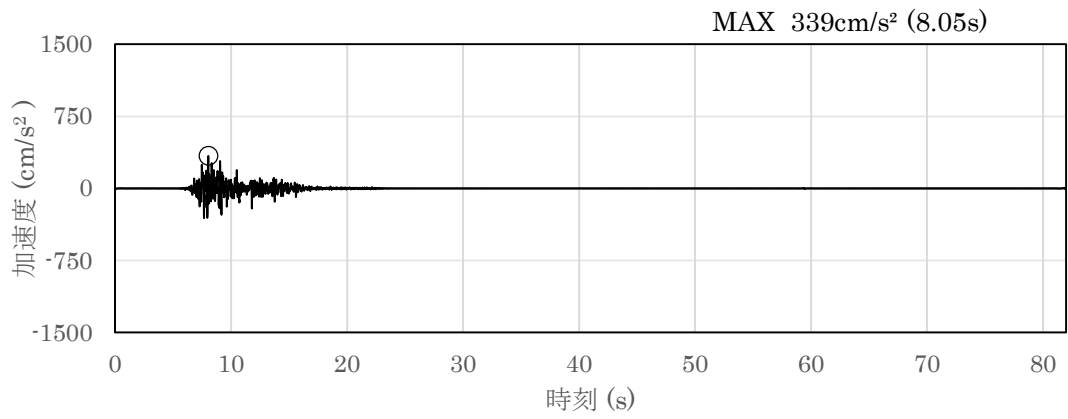
(a) 加速度時刻歴波形



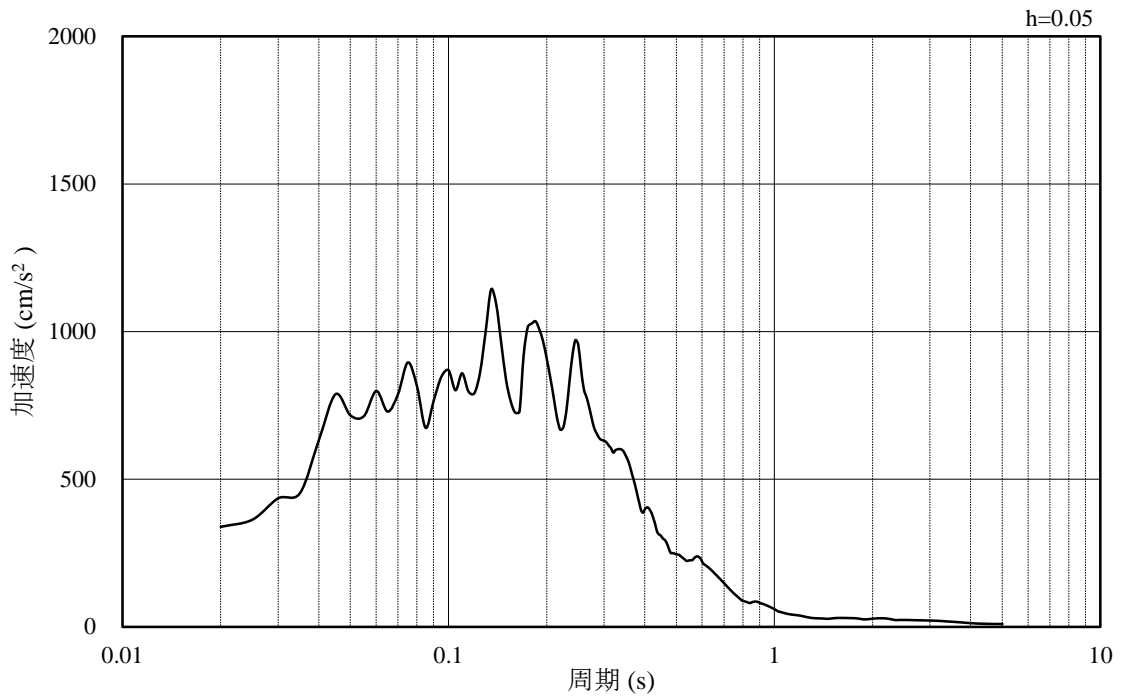
(b) 加速度応答スペクトル

図 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  
(水平成分 : S s - F 1)



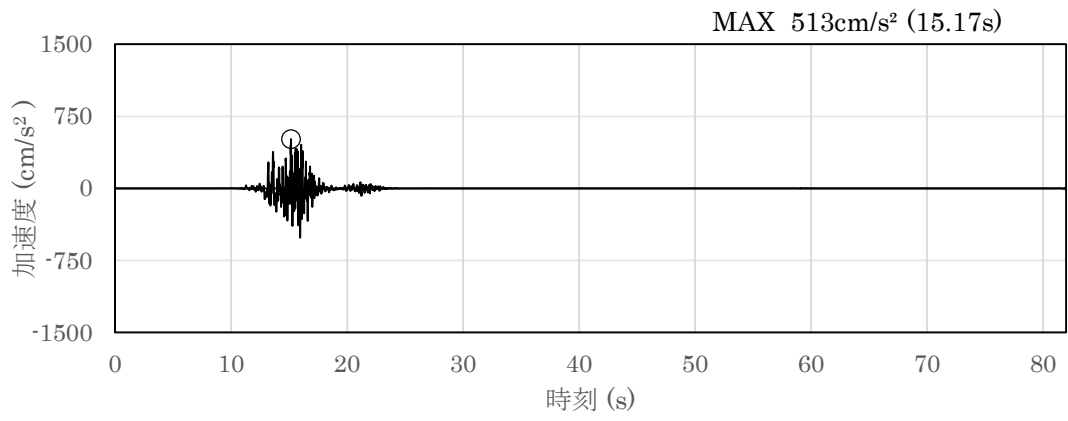


(a) 加速度時刻歴波形

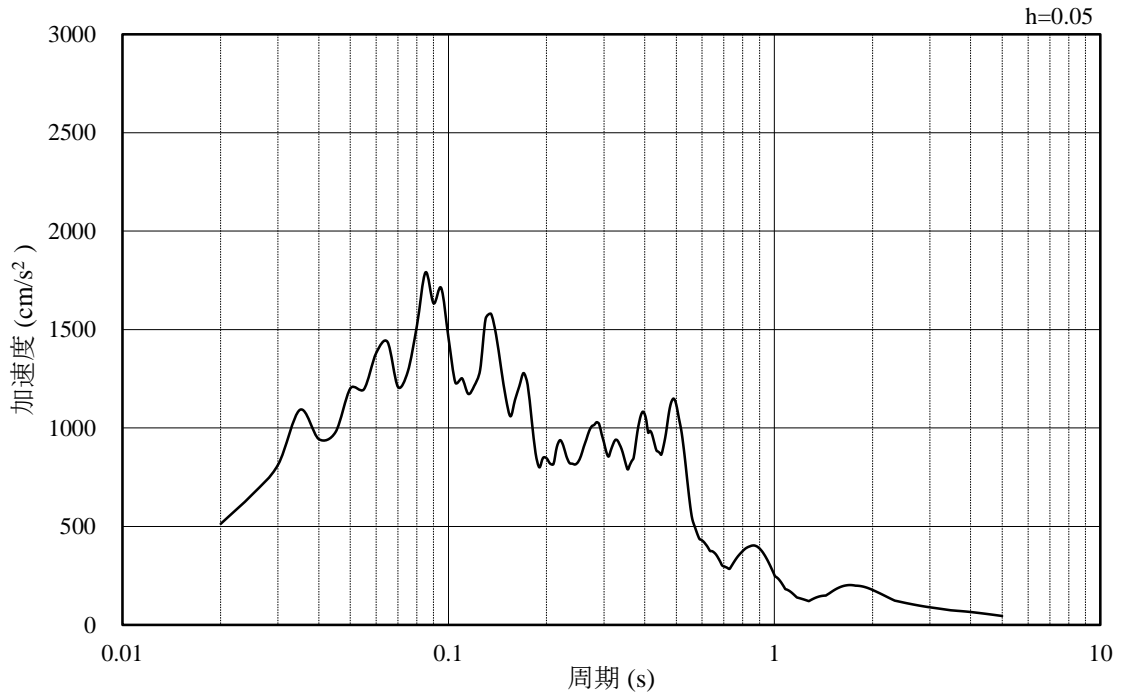


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直成分：S s - F 1)

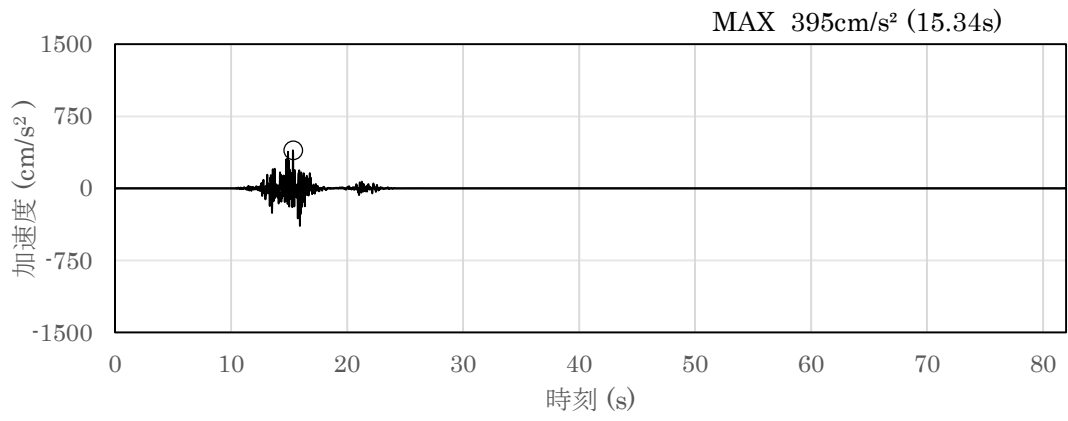


(a) 加速度時刻歴波形

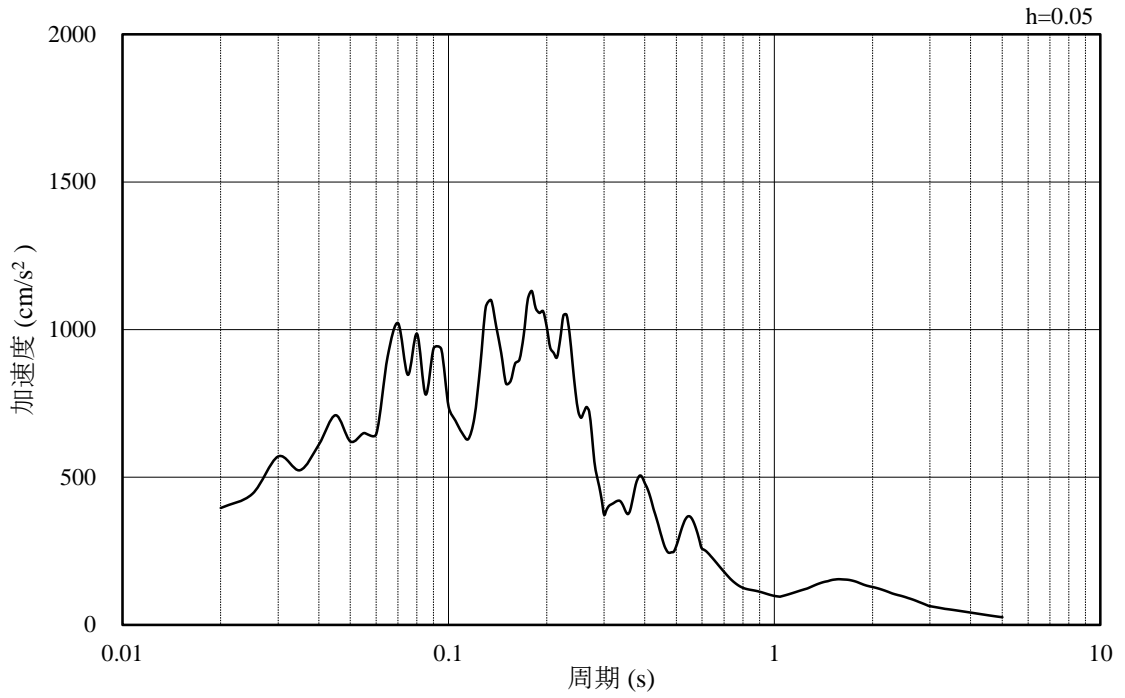


(b) 加速度応答スペクトル

図 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 - F 2)

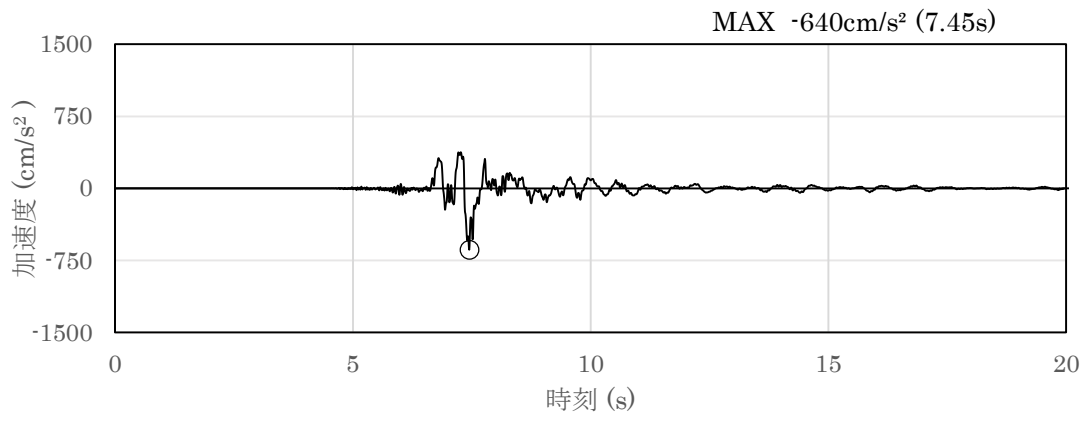


(a) 加速度時刻歴波形

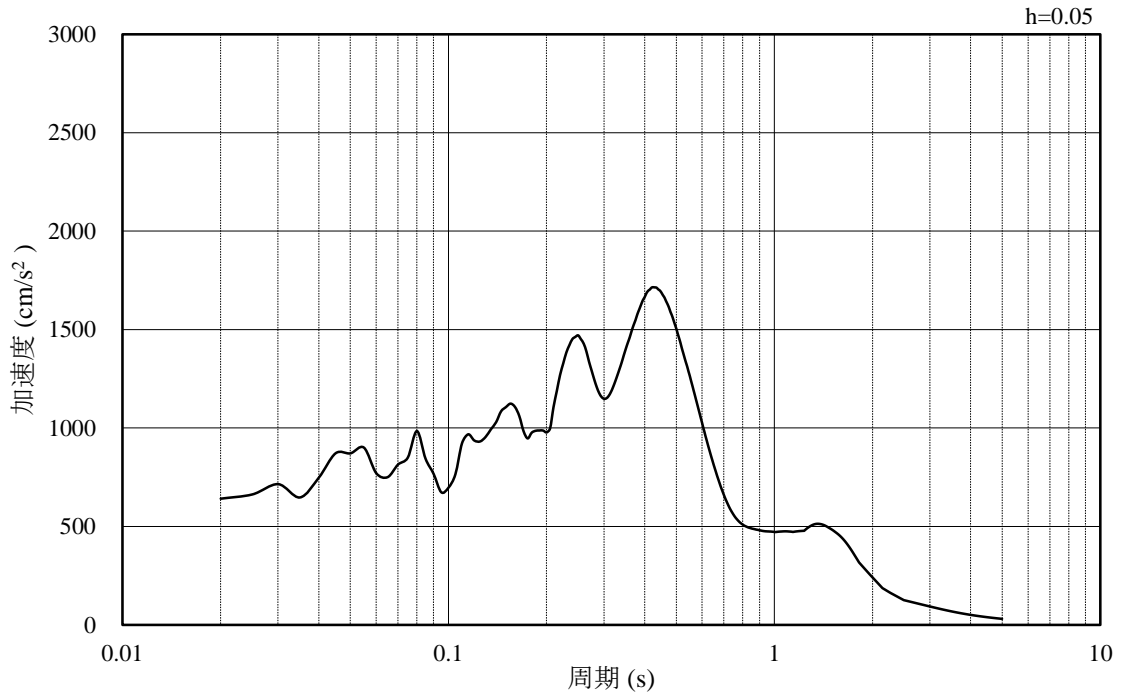


(b) 加速度応答スペクトル

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 - F 2)

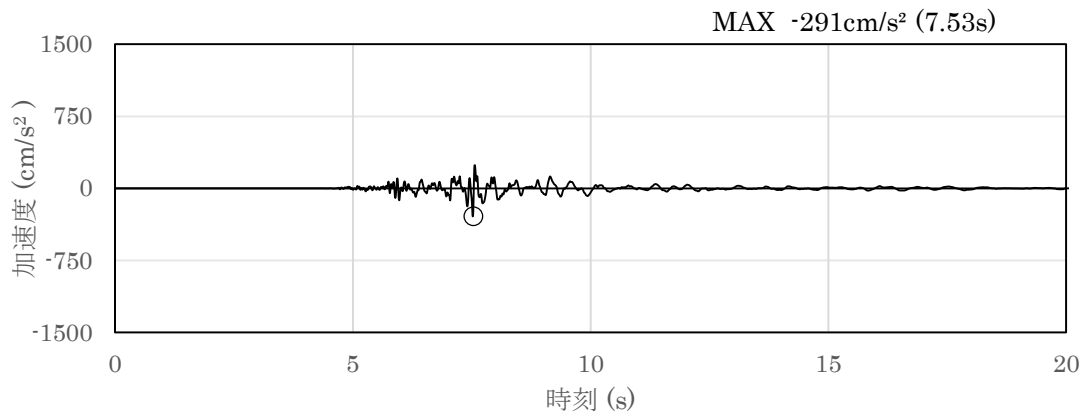


(a) 加速度時刻歴波形

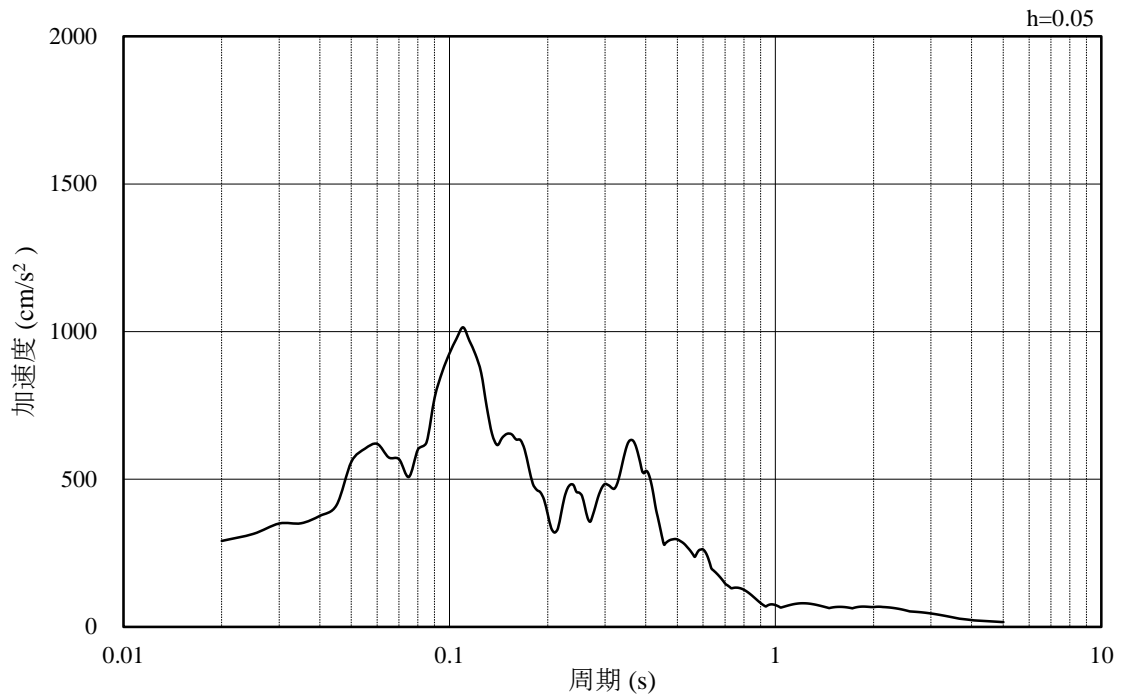


(b) 加速度応答スペクトル

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 - N 1)

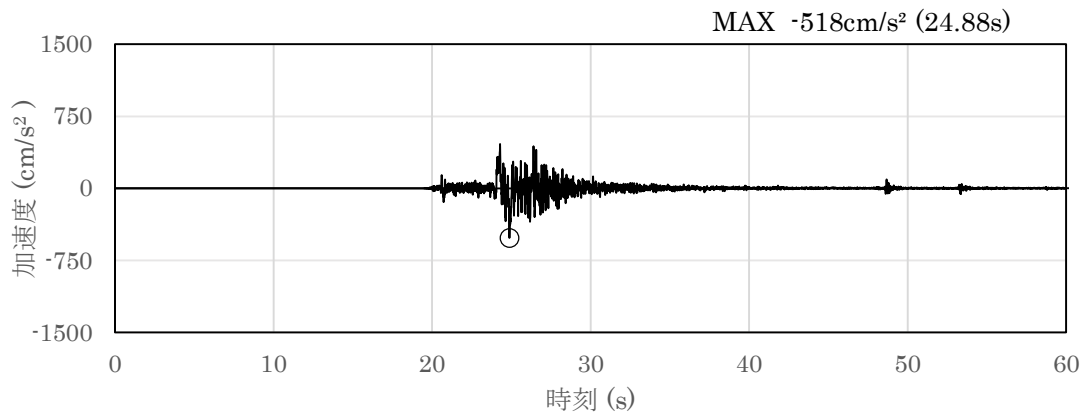


(a) 加速度時刻歴波形

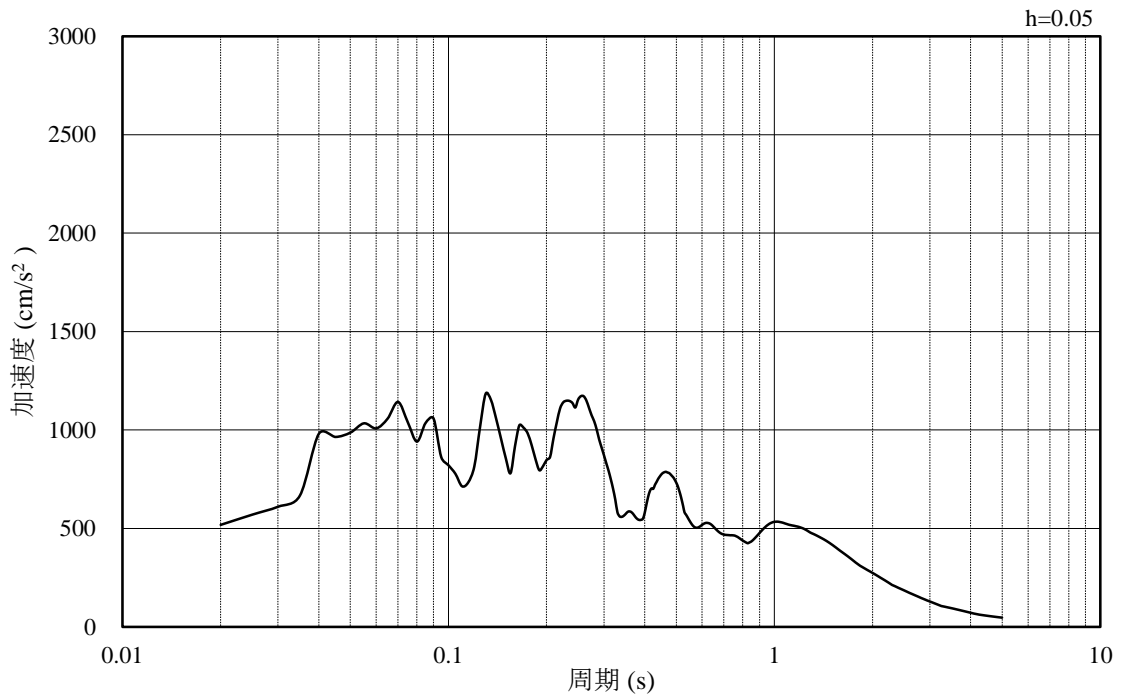


(b) 加速度応答スペクトル

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 - N 1)

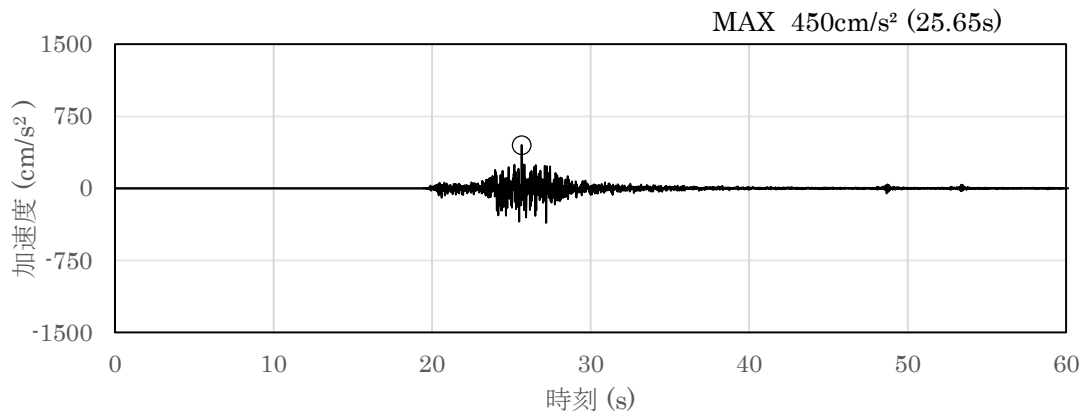


(a) 加速度時刻歴波形

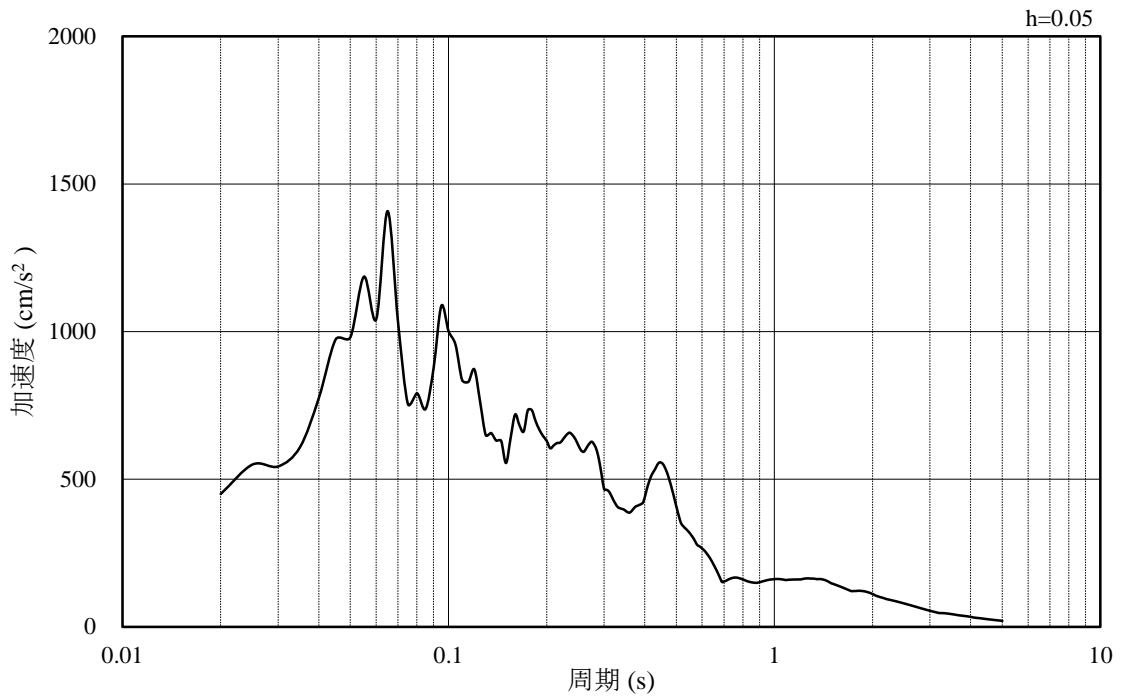


(b) 加速度応答スペクトル

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 - N 2 (N S 方向))

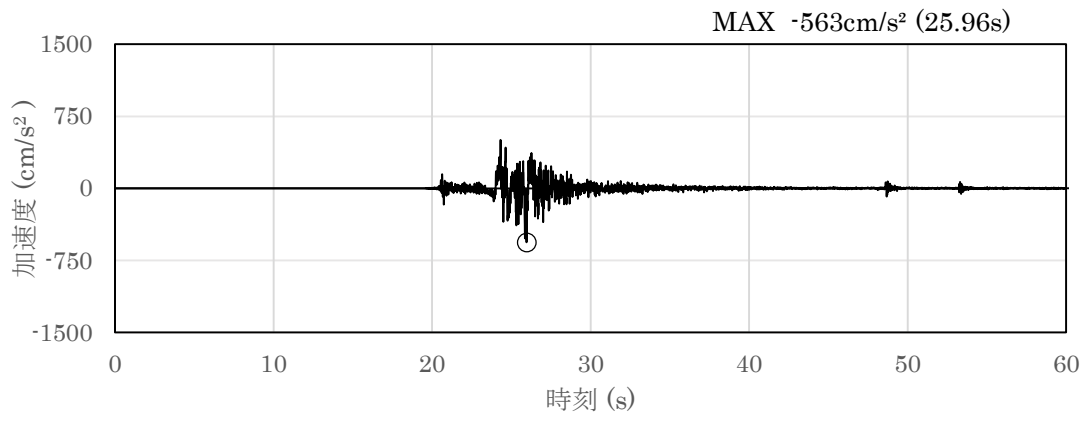


(a) 加速度時刻歴波形

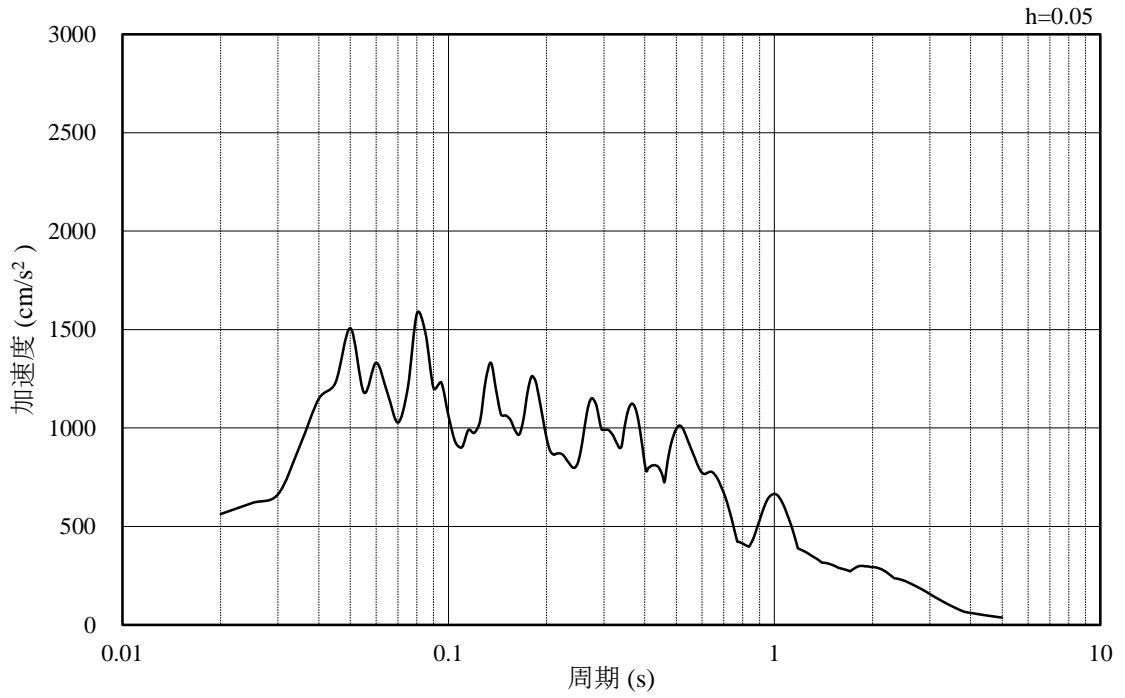


(b) 加速度応答スペクトル

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



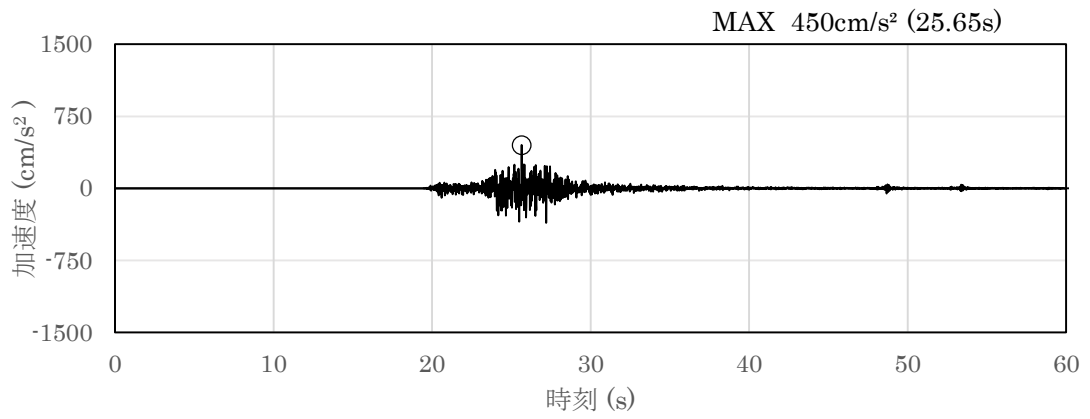
(a) 加速度時刻歴波形



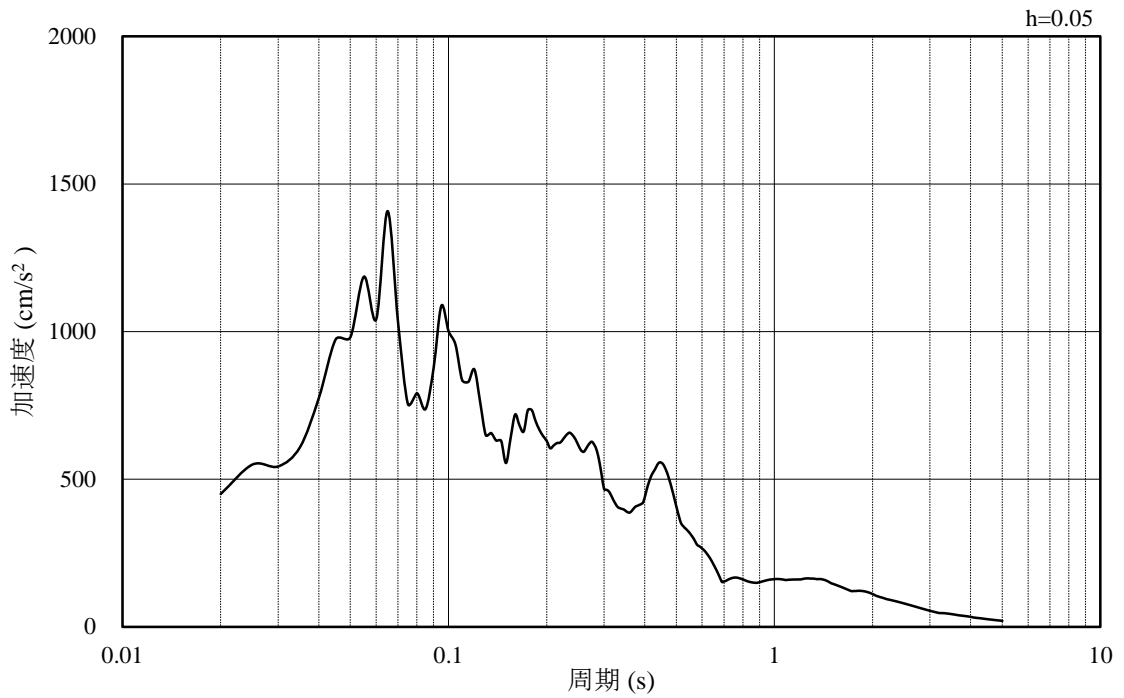
(b) 加速度応答スペクトル

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

### 3.5 解析モデル及び諸元

#### 3.5.1 解析モデル

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析モデルを図 3-16 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

復水貯蔵タンク及び復水貯蔵タンク遮蔽壁は、多質点系のはり質点系モデルとし、復水貯蔵タンク基礎は、線形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。

##### (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。

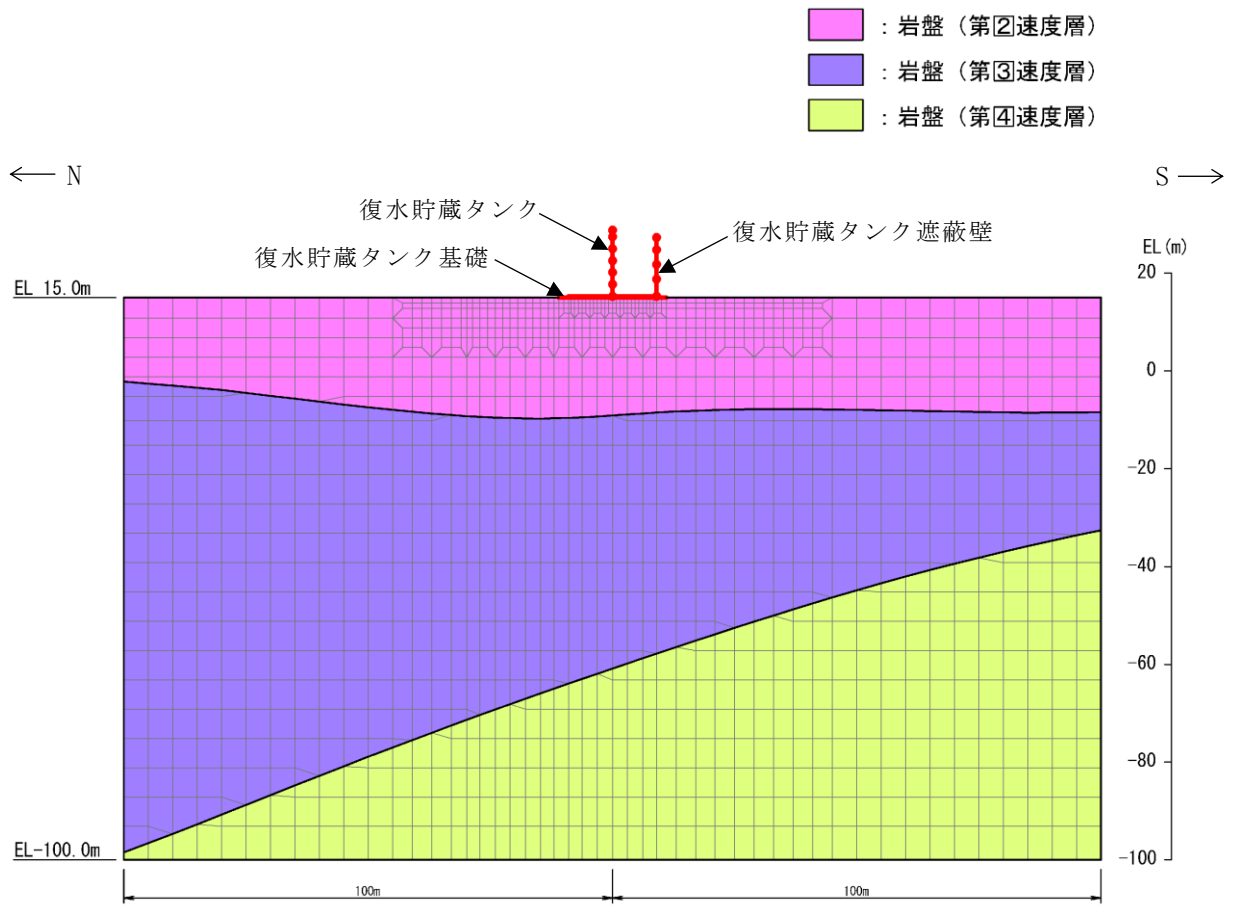


図 3-16 復水貯蔵タンク遮蔽壁 地震応答解析モデル図

### 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 3-5 に、材料の物性値を表 3-6 及び表 3-7 に示す。

表 3-5 使用材料

材料	仕様
コンクリート	設計基準強度 23.5N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD345

表 3-6 材料の物性値（鉄筋コンクリート）

材料	項目	材料諸元
鉄筋コンクリート	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	24.0

表 3-7 材料の物性値（復水貯蔵タンク）

材料	項目	材料諸元
復水貯蔵タンク	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	2.00×10 <sup>5</sup>
	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。

### 3.5.4 地下水位

設計用地下水位は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い，設定する。設計用地下水位の一覧を表3-8に，設計用地下水位を図3-17に示す。なお，施設周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないことから，地下水の影響は考慮しない。

表3-8 設計用地下水位

施設名称	評価対象断面	設計用地下水位 (EL. m)
復水貯蔵タンク遮蔽壁	A-A断面	15.0

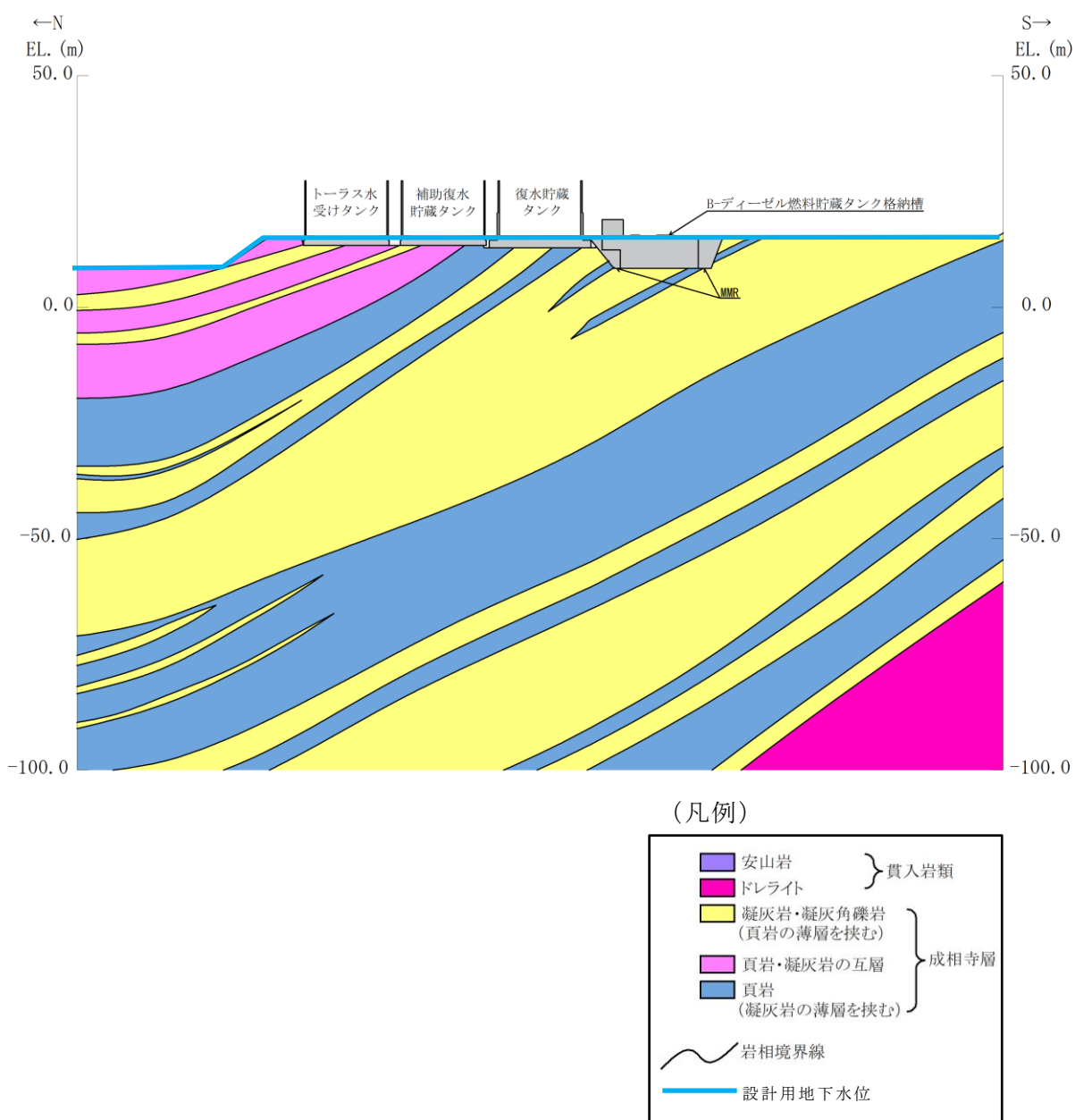
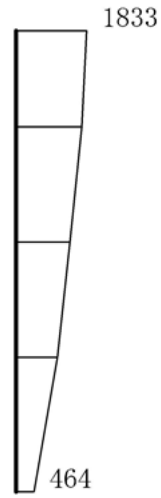


図3-17 設計用地下水位 (南北方向)

### 3.6 地震応答解析結果

#### 3.6.1 地震応答解析結果

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  $S_s$  に対する応答加速度分布図を図 3-18～図 3-29 に示す。また、解析ケース①の中で、遮蔽壁の頂部・下部の応答加速度が最も大きくなる地震動における解析ケース②及び解析ケース③の応答加速度分布図を図 3-30～図 3-33 に示す。



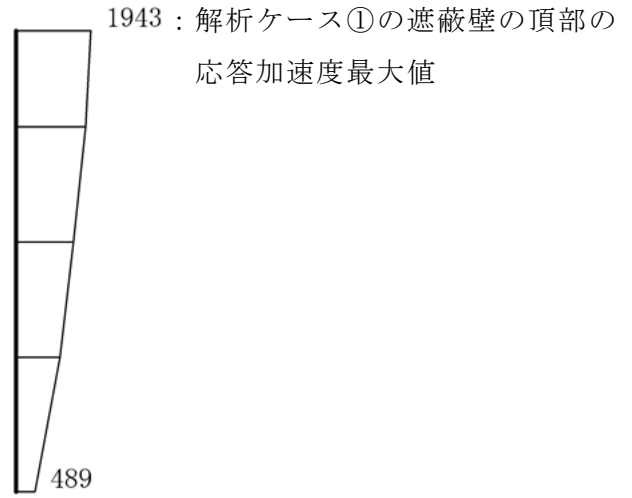
(a)  $S_s - D(++)$ , 10.10 秒, 水平



(b)  $S_s - D(++)$ , 10.10 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \sim 2$  (m)      応答値スケール  $0 \sim 2000$  ( $\text{cm/s}^2$ )

図 3-18 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (1/16) (解析ケース①)



(a)  $S_s - D (-+)$  , 10.10 秒, 水平

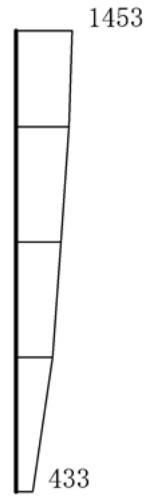


(b)  $S_s - D (-+)$  , 10.10 秒, 鉛直

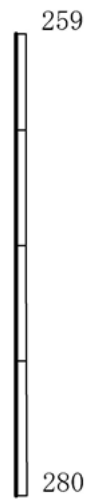
構造スケール  $0 \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad 2000$  ( $\text{cm/s}^2$ )

図 3-19 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (2/16) (解析ケース①)





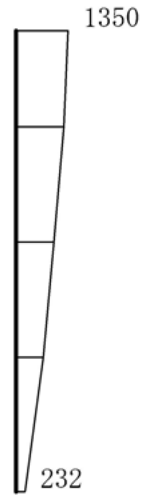
(a)  $S_s - D (+ -)$  , 10.10 秒, 水平



(b)  $S_s - D (+ -)$  , 10.10 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  ( $\text{cm/s}^2$ )

図 3-20 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (3/16) (解析ケース①)



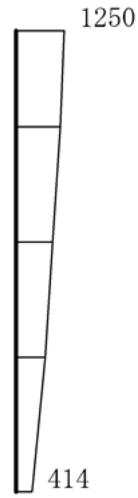
(a)  $S_s - D$  (—), 20.66 秒, 水平



(b)  $S_s - D$  (—), 20.66 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  ( $\text{cm/s}^2$ )

図 3-21 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (4/16) (解析ケース①)



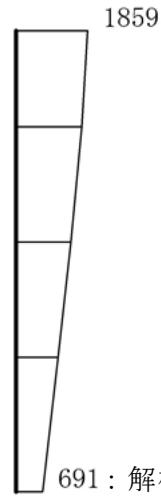
(a)  $S_s - F_1$  (++) , 8.66 秒, 水平



(b)  $S_s - F_1$  (++) , 8.66 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad 2000$  ( $\text{cm/s}^2$ )

図 3-22 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (5/16) (解析ケース①)



691：解析ケース①の遮蔽壁の下部の  
応答加速度最大値

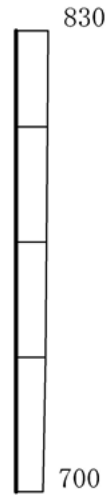
(a)  $S_s - F_2$  (++) , 16.06 秒, 水平



(b)  $S_s - F_2$  (++) , 16.06 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad 2000$  ( $\text{cm/s}^2$ )

図 3-23 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (6/16) (解析ケース①)



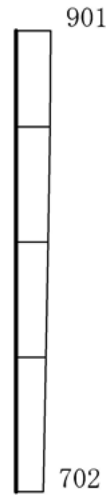
(a) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 水平



(b) S s - N 1 (++) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  (cm/s<sup>2</sup>)

図 3-24 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (7/16) (解析ケース①)



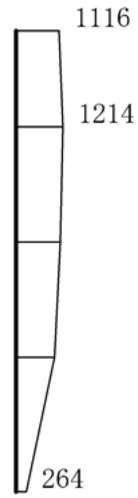
(a) S s - N 1 ( - + ) , 7.48 秒, 水平



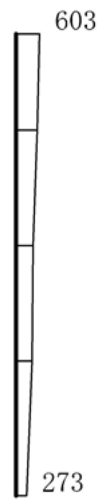
(b) S s - N 1 ( - + ) , 7.48 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2 \text{ (m)}$       応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000 \text{ (cm/s}^2\text{)}$

図 3-25 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (8/16) (解析ケース①)



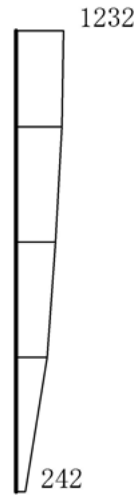
(a)  $S_s - N2 (NS) (++)$  , 26.60 秒, 水平



(b)  $S_s - N2 (NS) (++)$  , 26.60 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \sim 2$  (m)      応答値スケール  $0 \sim 2000$  ( $cm/s^2$ )

図 3-26 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (9/16) (解析ケース①)



(a) S s - N 2 ( N S ) ( - + ) , 26.60 秒, 水平

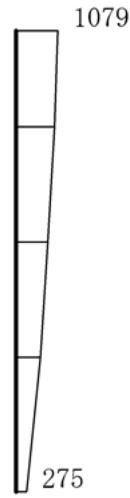


(b) S s - N 2 ( N S ) ( - + ) , 26.60 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  (cm/s<sup>2</sup>)

図 3-27 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (10/16) (解析ケース①)





(a) S s - N 2 ( E W ) ( + + ) , 26.51 秒 , 水平



(b) S s - N 2 ( E W ) ( + + ) , 26.51 秒 , 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  (cm/s<sup>2</sup>)

図 3-28 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (11/16) (解析ケース①)



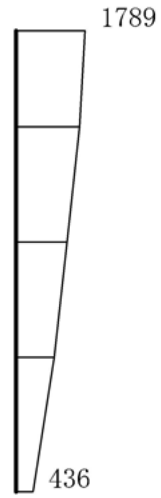
(a) S s - N 2 ( E W ) ( - + ) , 25.94 秒 , 水平



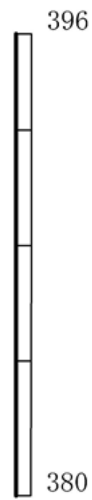
(b) S s - N 2 ( E W ) ( - + ) , 25.94 秒 , 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  (cm/s<sup>2</sup>)

図 3-29 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (12/16) (解析ケース①)



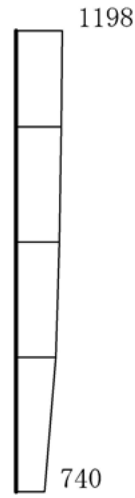
(a)  $S_s - D (-+)$  , 10.09 秒, 水平



(b)  $S_s - D (-+)$  , 10.09 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

図 3-30 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (13/16) (解析ケース②)  
 (解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



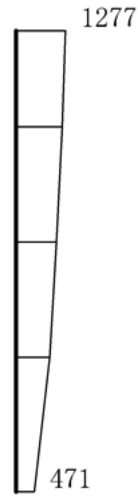
(a)  $S_s - F_2$  (++) , 16.05 秒, 水平



(b)  $S_s - F_2$  (++) , 16.05 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

図 3-31 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (14/16) (解析ケース②)  
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)



(a)  $S_s - D (-+)$  , 19.41 秒, 水平



(b)  $S_s - D (-+)$  , 19.41 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad \underline{\quad} \quad 2000$  ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

図 3-32 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (15/16) (解析ケース③)  
(解析ケース①において遮蔽壁の頂部で応答加速度が最大となる地震動)



(a)  $S_s - F_2$  (++) , 16.01 秒, 水平



(b)  $S_s - F_2$  (++) , 16.01 秒, 鉛直

構造スケール  $0 \quad 2$  (m)      応答値スケール  $0 \quad 2000$  ( $\text{cm}/\text{s}^2$ )

図 3-33 水平相対変位最大時刻の応答加速度分布図 (16/16) (解析ケース③)  
(解析ケース①において遮蔽壁の下部で応答加速度が最大となる地震動)

#### 4. 応力解析

復水貯蔵タンク遮蔽壁の応力解析として、復水貯蔵タンク遮蔽壁をシェル要素でモデル化した3次元静的FEM解析を行う。

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、「3. 地震応答解析」より復水貯蔵タンク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

構造部材の健全性評価に係る評価対象部位は、遮蔽壁とする。

##### 4.2 解析方法

復水貯蔵タンクの応力解析は、「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「NX NASTRAN Ver. 8.5mp1」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、添付書類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

荷重及び荷重の組み合わせは、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。

###### 4.3.1 荷重

復水貯蔵タンク遮蔽壁の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

###### (1) 固定荷重（G）

固定荷重として、躯体自重、機器・配管荷重を考慮する。

###### (2) 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 $20\text{N/m}^2$ の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

###### (3) 風荷重（ $P_k$ ）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。

###### (4) 地震荷重（ $S_s$ ）

基準地震動 $S_s$ による荷重を考慮する。

#### 4.3.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-1 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 ( $S_s$ )	$G + P_s + P_k + S_s$

$G$  : 固定荷重

$P_s$  : 積雪荷重

$P_k$  : 風荷重

$S_s$  : 地震荷重 (基準地震動  $S_s$ )



#### 4.4 解析モデル及び諸元

復水貯蔵タンク遮蔽壁の3次元解析モデルを図4-1及び図4-2に示す。

(1) 境界条件

復水貯蔵タンク遮蔽壁と基礎の境界は、完全固定境界とする。

(2) 構造部材のモデル化

復水貯蔵タンク遮蔽壁は、線形シェル要素でモデル化する。

(3) 地震荷重の作用方法

復水貯蔵タンクの各構造部材には、「3. 地震応答解析」にて得られた応答加速度を考慮する。

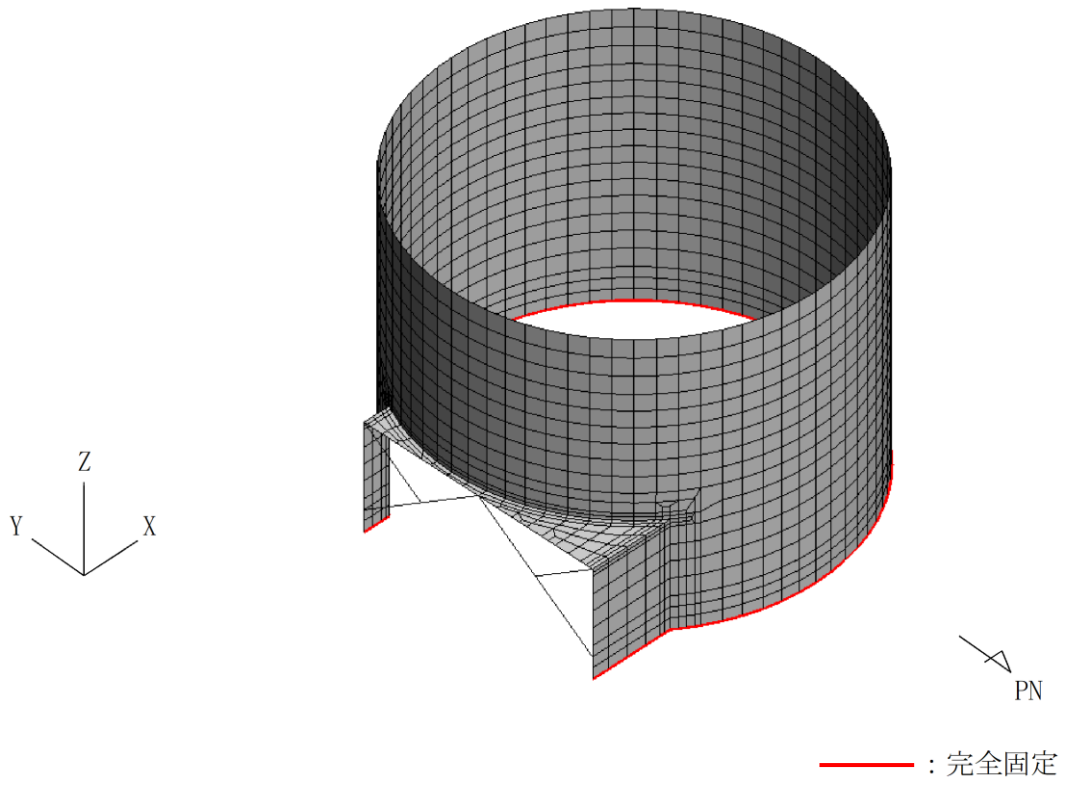


図 4-1 3次元構造解析モデル図（鳥瞰図，北東側から望む）

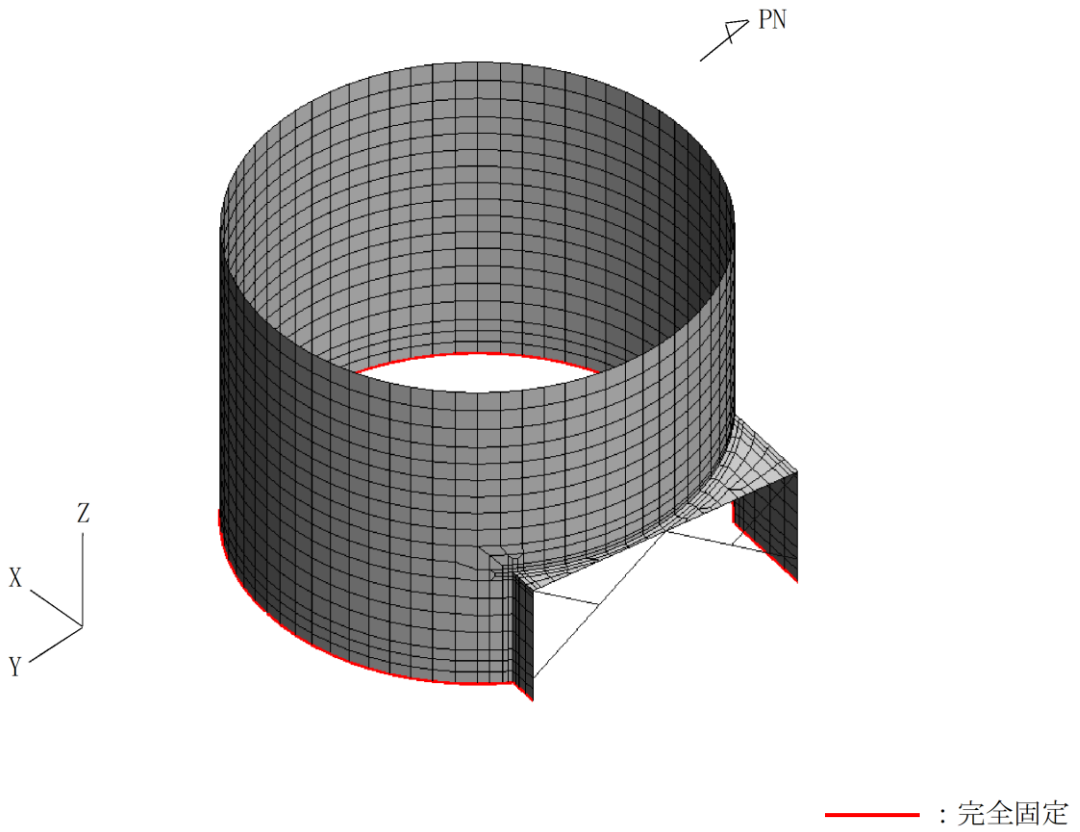


図 4-2 3次元構造解析モデル図（鳥瞰図，南東側から望む）

## 5. 耐震評価

### 5.1 許容限界

復水貯蔵タンク遮蔽壁のB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に対する波及的影響の評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき設定する。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界は、RC示方書に基づき、曲げについては終局耐力、せん断については短期許容応力度とする。復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界を表5-1に示す。

表 5-1 復水貯蔵タンク遮蔽壁の許容限界

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	
				曲げ	せん断力
B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽に波及的影響を及ぼさない	基準 地震動 S s	遮蔽壁	最大曲げモーメント及びせん断力が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	終局耐力*	短期許容 応力度

注記\*： 妥当な安全裕度を考慮する。

6. 耐震評価結果

構造部材の応力度に対する最大照査値を表 6-1 及び表 6-2 に、最大照査値発生箇所位置図を図 6-1 に示す。

復水貯蔵タンク遮蔽壁の照査用応力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 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	曲げ モーメント $M_d$ (kN・m)	軸力 $N_d$ (kN)	曲げ耐力 $M_u$ (kN・m)	照査値 $M_d/M_u$
①	S s - D (-+)	101	-1070	139	0.73

表 6-2 せん断破壊に対する最大照査値

解析 ケース	地震動	せん断力 $V_d$ (kN)	許容せん断力 $V_a$ (kN)	照査値 $V_d/V_a$
①	S s - D (-+)	91	241	0.38

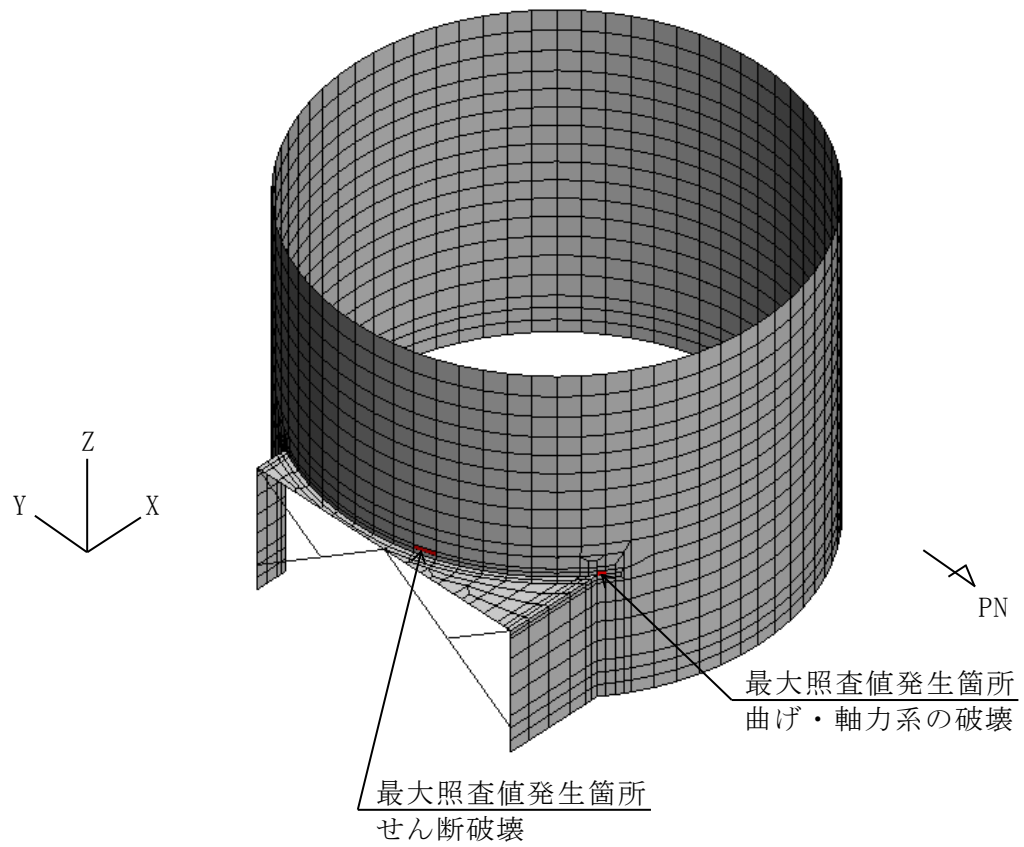


図 6-1 最大照査値発生箇所位置図（鳥瞰図，北東側から望む）

VI-2-12 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する  
影響評価結果

## 目 次

1. 概要	1
2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果	1
3.1 建物・構築物	1
3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出	1
3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果	13
3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	15
3.1.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果	16
3.2 機器・配管系	39
3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出	39
3.2.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出	42
3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出結果	42
3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	42
3.2.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果	43
3.2.6 まとめ	43

## 1. 概要

本資料は、VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」のうち「4.1 地震力の算定法 (2) 動的地震力」及びVI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」に基づき、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、施設が有する耐震性に及ぼす影響について評価した結果を説明するものである。

## 2. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価には、基準地震動  $S_s$  を用いる。基準地震動  $S_s$  は、VI-2-1-2「基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の策定概要」による。

ここで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動  $S_s$  は、複数の基準地震動  $S_s$  における地震動の特性及び包絡関係を、施設の特性による影響も考慮したうえで確認し、本影響評価に用いる。

## 3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価結果

### 3.1 建物・構築物

#### 3.1.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

##### (1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位を整理し、各建物・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表 3-1-1 に示す。

##### (2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建物挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表 3-1-2 及び表 3-1-3 に示す。

なお、隣接する上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、はり）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

##### (3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 3-1-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定



される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-4 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として、排気筒及び 1 号機排気筒の柱（隅部）並びに原子炉建物、制御室建物、タービン建物、廃棄物処理建物、排気筒、緊急時対策所及びガスタービン発電機建物の基礎（矩形）を抽出した。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、燃料プールの壁（一般部）並びに原子炉建物、タービン建物、廃棄物処理建物、1 号機原子炉建物、1 号機タービン建物及び 1 号機廃棄物処理建物の壁（地下部）を抽出した。

#### (4) 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表 3-1-3 に示す 3 次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-5 に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）を抽出した。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位として、抽出する部位はなかった。

表 3-1-1(1) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位

耐震性評価部位	原子炉建物			制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物	
	燃料 プール	上部鉄骨			上部鉄骨						
	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	S 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	
柱	一般部	○	—	○	○	○	○	○	○ (筒身, 補助柱)	○	○
	隅部	○	—	○	○	○	○	○	○ (主柱材)	○	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	○	—	—	—
はり	一般部	○	—	○	○	○	○	○	○ (水平材)	○	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	○	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	—	○	—	—	○	—	—	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○
	円筒部	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	○	—	—	—	○	—	○	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	—	—	—	—	—	—	○ (斜材)	—	—
床・ 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○
基礎	矩形	○	—	—	○	○	—	○	○	○	○
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の構造部材なし

表 3-1-1(2) 各建物・構築物における耐震評価上の構成部位

耐震性評価部位		1号機原子炉建物		1号機タービン建物		1号機 廃棄物 処理建物	サイトバンカ 建物	サイトバンカ 建物(増築部)	1号機 排気筒	排気筒 モニタ室	燃料移送ポンプ エリア竜巻防護 対策設備
		RC造	上部鉄骨 S造, RC造	RC造	上部鉄骨 S造, SRC造 RC造						
柱	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○(筒身)	—	○
	隅部	○	○	○	○	○	○	○	○(支柱材)	—	○
	地下部	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
はり	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○(水平材)	○	○
	地下部	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	○	—	○	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	○	—	○	—
	円筒部	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	○	—	○	—	○	—	—	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	○	—	—	—	—	—	○(斜材)	—	○
床・ 屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	—	○	—
基礎	矩形	○	—	○	—	○	○	○	○	○	—
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ○：対象の構造部材あり，—：対象の構造部材なし

表 3-1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性  
(荷重の組合せによる応答特性)

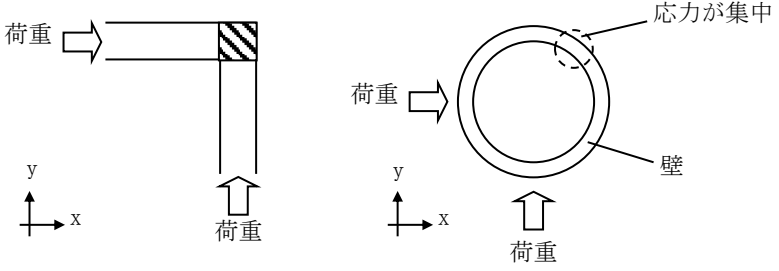
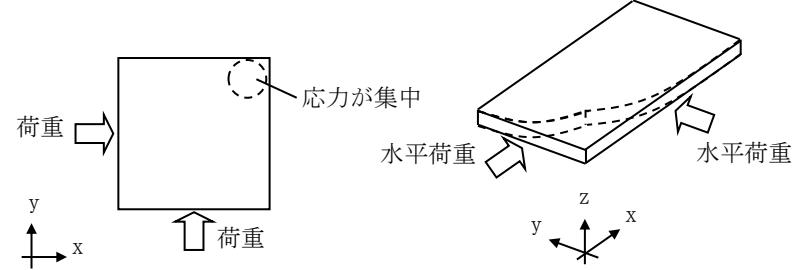
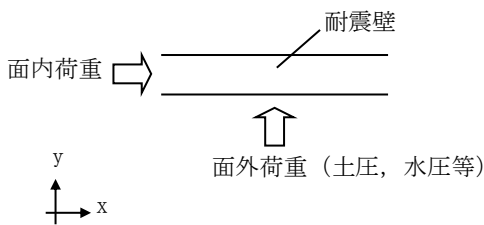
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重 が、応力とし て集中	<p>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>(隅柱) (円筒壁)</p>  <p>(矩形の基礎スラブ)</p>
①-2	面内方向の 荷重を負担 しつつ、 面外方向の 荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等 (例)</p>  <p>耐震壁 面内荷重 面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

表 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性  
(3 次元的な応答特性)

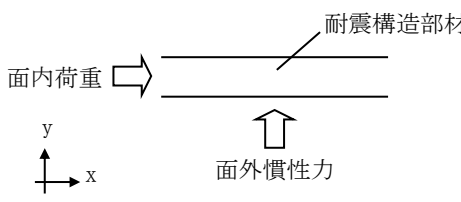
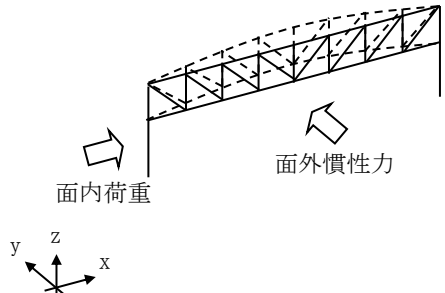
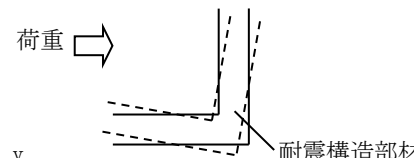
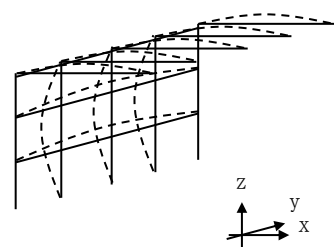
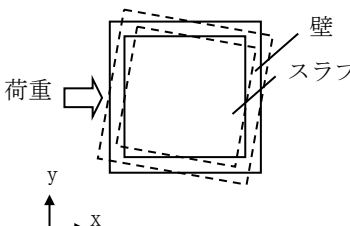
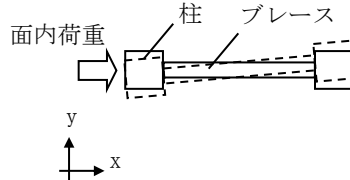
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位</p> <p>(例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震構造部材</p> <p>↑ 面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物等を含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → 耐震構造部材</p> <p>(壁)</p>  <p>(鉄骨架構)</p>  <p>荷重 → 壁 スラブ</p> <p>(床・屋根)</p>  <p>面内荷重 → 柱 ブレース</p> <p>(ブレース)</p>

表 3-1-4(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出  
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	原子炉建物			制御室建物	タービン建物		廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物
	燃料 プール	上部鉄骨			上部鉄骨					
	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	S 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造
柱	一般部	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	要①-1	該当なし
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
はり	一般部	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
	鉄骨 トラス	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—	—	—
壁	一般部	該当なし	要①-2	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし
	円筒部	該当なし	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	要①-2	—	—
	鉄骨 ブレース	—	—	—	—	—	—	—	該当なし	—
床・ 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし
基礎	矩形	要①-1	—	—	要①-1	要①-1	—	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・要：評価必要

・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

・不要：評価不要

・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 3-1-4(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出  
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		1号機原子炉建物		1号機タービン建物		1号機 廃棄物 処理建物	サイトバンカ 建物	サイトバンカ 建物(増築部)	1号機 排気筒	排気筒 モニタ室	燃料移送ポン プエリア竜巻 防護対策設備
		RC造	上部鉄骨	RC造	上部鉄骨						
柱	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	要①-1	—	該当なし
	地下部	該当なし	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	—
はり	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	該当なし	—	該当なし	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	—
	円筒部	該当なし	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	要①-2	—	要①-2	—	—	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—	該当なし
床・ 屋根	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	—
基礎	矩形	不要*	—	不要*	—	不要*	不要*	不要*	不要*	不要*	—
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・要：評価必要

・不要：評価不要

・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注記\*：上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建物及び1号機排気筒は、上部躯体を評価対象としているため、基礎は対象外とする。

表 3-1-5(1) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出  
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位	原子炉建物			制御室建物	タービン建物			廃棄物 処理建物	排気筒	緊急時 対策所	ガスタービン 発電機建物
	燃料 プール	上部鉄骨			上部鉄骨						
	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造 RC 造	RC 造	S 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	
柱	一般部	不要	—	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	
	隅部	不要	—	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	不要	
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	不要	—	—	
はり	一般部	不要	—	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	不要	—	—	
	鉄骨 トラス	—	—	不要	—	—	不要	—	—	—	
壁	一般部	要②-1	要①-2	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	
	円筒部	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	要①-2	—	—	
	鉄骨 ブレース	—	—	—	—	—	—	—	不要	—	
床・ 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要	
基礎	矩形	要①-1	—	—	要①-1	要①-1	—	要①-1	要①-1	要①-1	
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

凡例 ・要：評価必要又は荷重組の合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み

- ・「①-1」：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」
- ・「②-1」：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

・不要：評価不要

- ・「①-2」：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」
- ・「②-2」：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」



表 3-1-5(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出  
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		1 号機原子炉建物		1 号機タービン建物		1 号機 廃棄物 処理建物	サイトバンカ 建物	サイトバンカ 建物(増築部)	1 号機 排気筒	排気筒 モニタ室	燃料移送ポンプ エリア竜巻防護 対策設備
		RC 造	上部鉄骨	RC 造	上部鉄骨						
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	要①-1	—	不要
	地下部	不要	—	不要	—	不要	—	—	—	—	—
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	不要	—	不要	—	—	—	—	—
	鉄骨 トラス	—	不要	—	不要	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	—
	円筒部	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	地下部	要①-2	—	要①-2	—	要①-2	—	—	—	—	—
	鉄骨 ブレース	—	不要	—	—	—	—	—	不要	—	不要
床・ 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	—
基礎	矩形	不要*	—	不要*	—	不要*	不要*	不要*	不要*	不要*	—
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ・要: 評価必要又は荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み ・不要: 評価不要  
 ・「①-1」: 応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」 ・「①-2」: 応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」  
 ・「②-1」: 応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」 ・「②-2」: 応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記\*: 上位クラスの建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建物及び 1 号機排気筒は、上部躯体を評価対象としているため、基礎は対象外とする。

(5) 3次元FEMモデルによる精査方法

上記(4)で抽出した3次元的な応答特性が想定される部位について、3次元FEMモデルにより精査を行う。精査方法を表3-1-6に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位については、原子炉建物（燃料取替階レベル）の壁（一般部）に対して3次元FEMモデルによる精査を行う。

また、原子炉建物の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行う。精査は、地震応答解析により水平2方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行う。

(6) 3次元FEMモデルによる精査結果

3次元FEMモデルによる精査の結果、建物・構築物の有している耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価が必要な部位は抽出されなかった。精査した結果を表3-1-6に示す。

表 3-1-6 3次元FEMモデルによる精査

耐震評価部位	対象 建物・構築物	3次元的な応答特性	3次元FEMモデルによる 精査方法	3次元FEMモデルによる 精査結果
壁 (一般部)	原子炉建物 (燃料取替階レベル)	②-1 「面内方向の荷重に加え、面外 慣性力の影響が大きい」	水平2方向及び鉛直方向入力 時の応答の水平1方向入力時 の応答に対する増分が小さい ことを確認する。	水平2方向及び鉛直方向地震 力の組合せによる左記の対象 の耐震性への影響が想定され ないため抽出しない。
耐震評価部位 全般	原子炉建物	局所的な応答	同上	水平2方向及び鉛直方向地震 力の組合せによる左記の対象 の耐震性への影響が想定され ないため抽出しない。

### 3.1.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出結果

#### (1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定されるところとして抽出した部位を表 3-1-7 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位のうち、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒の支柱材及び建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建物の基礎を代表として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位として施設の重要性、建物規模及び構造特性を考慮し、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建物（燃料プール）の壁（一般部）を代表として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

#### (2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性がある部位について検討した。

原子炉建物の基礎及び排気筒の支柱材については、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力集中する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建物（燃料プール）の壁（一般部）については、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

表 3-1-7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象 建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>排気筒</u></li> <li>・ 1 号機排気筒</li> </ul>	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する排気筒の隅柱（主柱材）を代表として評価する。
	基礎	矩形	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>原子炉建物</u></li> <li>・ 制御室建物</li> <li>・ タービン建物</li> <li>・ 廃棄物処理建物</li> <li>・ 排気筒</li> <li>・ 緊急時対策所</li> <li>・ ガスタービン発電機建物</li> </ul>	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建物の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	一般部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>燃料プール</u></li> <li>・ 原子炉建物</li> <li>・ タービン建物</li> <li>・ 廃棄物処理建物</li> <li>・ 1 号機原子炉建物</li> <li>・ 1 号機タービン建物</li> <li>・ 1 号機廃棄物処理建物</li> </ul>	上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する燃料プールの壁を代表として評価する。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

### 3.1.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動  $S_s$  を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。評価は、従来設計手法に基づいた各部位の解析モデルによる水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を用いる。また、影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向を同時入力する時刻歴応答解析による評価又は基準地震動  $S_s$  の各方向地震成分により個別に計算した最大応答値を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92\*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいた評価により実施する。

注記\* : Regulatory Guide 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

### 3.1.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果

#### (1) 排気筒の支柱材の評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である排気筒の支柱材について評価を行う。

評価にあたっては、基準地震動 $S_s$ を用い、水平2方向及び鉛直方向を同時に入力（以下「3方向同時入力」という。）する時刻歴応答解析に基づき、支柱材（鉄塔脚部を含む）の断面算定結果（検定値）が、1.0を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、VI-2-2-13「排気筒の地震応答計算書」（以下「排気筒の地震応答計算書」という。）及びVI-2-2-14「排気筒の耐震性についての計算書」（以下「排気筒の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

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。

排気筒の概要図を図3-1-1に、解析モデルを図3-1-2に示す。

排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、基準地震動 $S_s$ を用いて評価を行うが、基準地震動 $S_s-D$ 及び $S_s-N1$ については、水平方向成分に直交する方向の地震動に位相特性の異なる地震波を入力する。

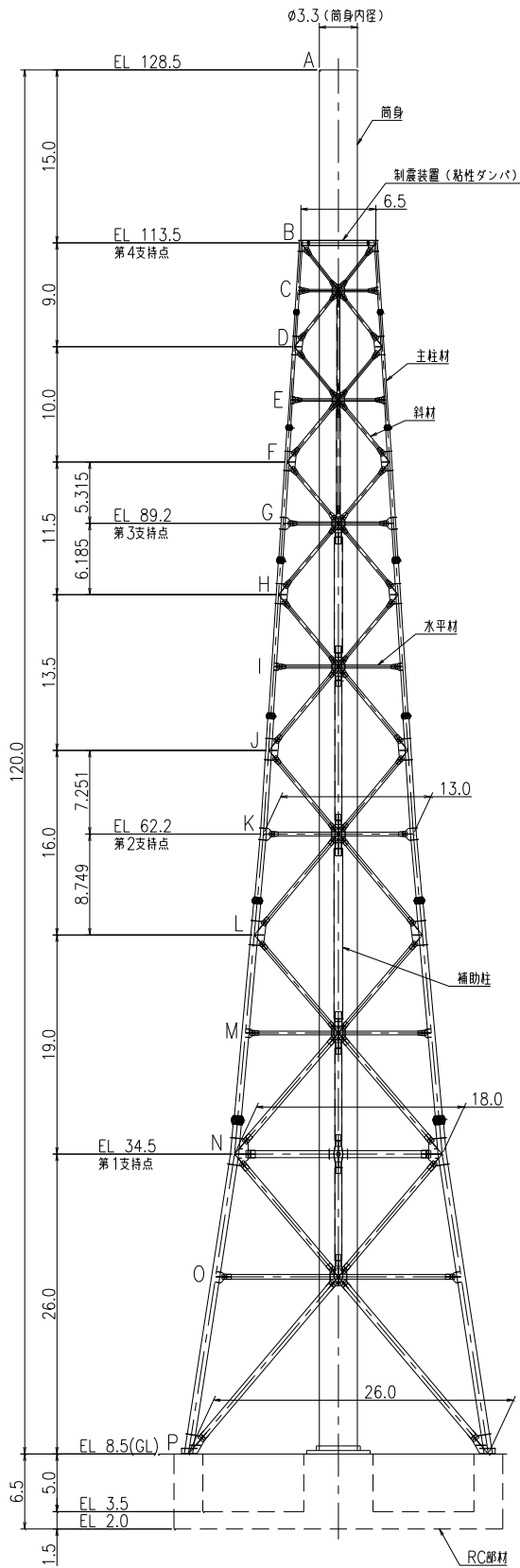
地震動の入力方法は、排気筒の地震応答計算書に基づくものとする。

鋼材の許容応力度及び使用材料の物性値は、排気筒の耐震計算書に示す内容と同一である。

3方向同時入力時及び排気筒の耐震計算書に記載のケース（以下「工認ケース」という。）における支柱材の評価結果を表3-1-8に、鉄塔脚部の評価結果を表3-1-9に示す。

評価の結果、工認ケースの検定値と比較し、3方向同時入力時の検定値は増加傾向にあるが、支柱材及び鉄塔脚部の検定値が1.0を超えないことを確認した。

以上より、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、排気筒の支柱材が有する耐震性への影響がないことを確認した。



部材リスト (単位:mm)				
主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
-	-	-	10	-
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	H-450×300 x10×15*2	12	-
φ355.6×6.4	φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	10	φ267.4×6.0
φ406.4×7.9	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	12	φ318.5×6.0
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	10	φ711.2×7.9
φ609.6×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	12	φ609.6×12.7
φ711.2×12.7 8PLs-22x100*1	φ457.2×9.5	φ318.5×6.9	10	φ762.0×12.7*3
φ558.8×9.5	φ609.6×9.5	φ406.4×9.5	12	φ609.6×12.7*3
STK41 (STK400相当)			t=10	
				STK400

注記\*1: SS400材を示す。  
 \*2: SS41材 (SS400相当) を示す。  
 \*3: STK490材を示す。

図 3-1-1 排気筒の概要図 (単位:m)



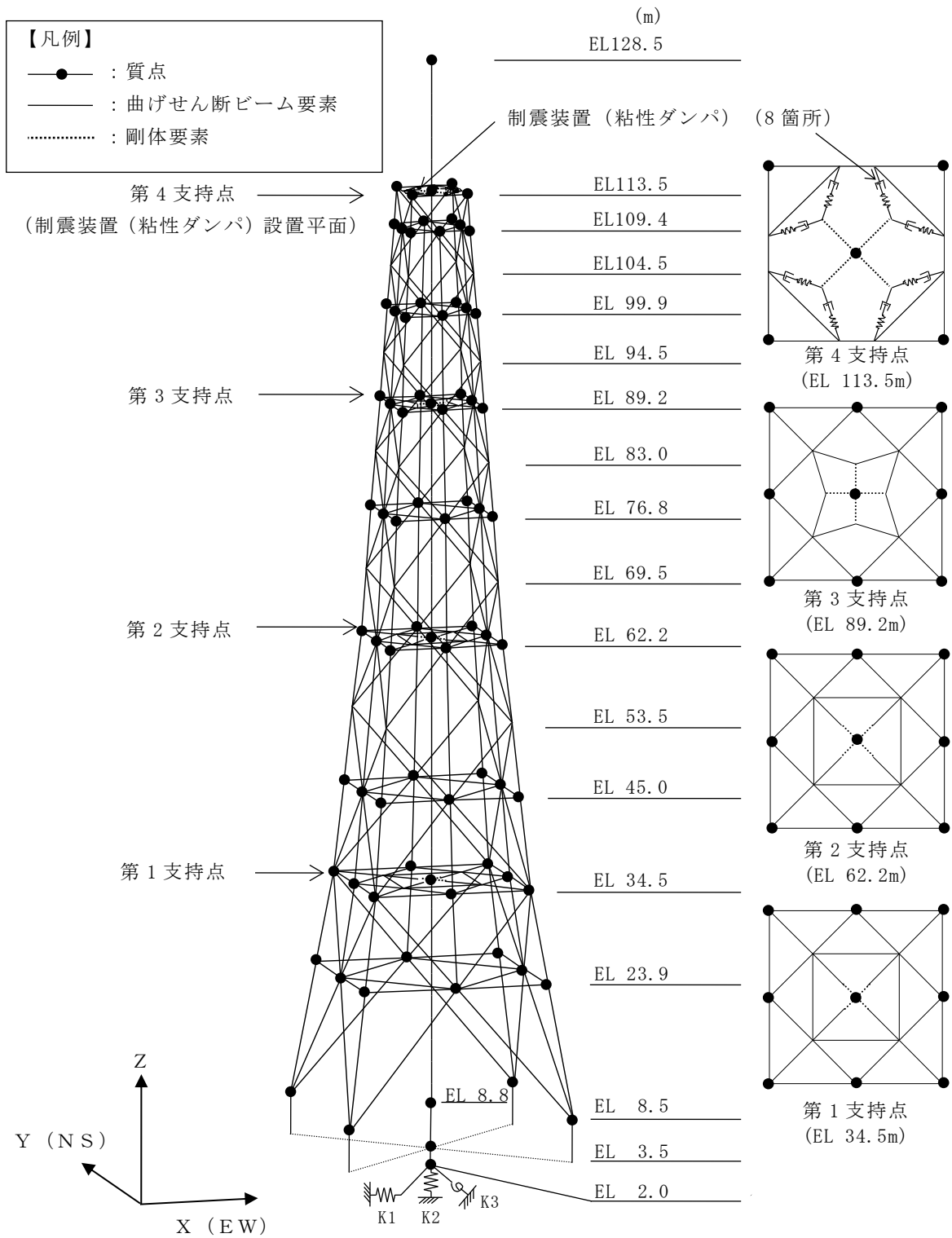


図 3-1-2 排気筒の地震応答解析モデル

表 3-1-8 主柱材の評価結果

高さ EL (m)	区間	使用部材 (mm)	工認ケース	3方向同時入力*
113.5-104.5	B-D	φ 267.4× 6.6	0.18	<u>0.20</u>
104.5- 94.5	D-F	φ 267.4× 6.6	0.48	<u>0.52</u>
94.5- 83.0	F-H	φ 355.6× 6.4	0.49	<u>0.56</u>
83.0- 69.5	H-J	φ 406.4× 7.9	0.48	<u>0.65</u>
69.5- 53.5	J-L	φ 508.0× 9.5	0.50	<u>0.77</u>
53.5- 34.5	L-N	φ 609.6× 12.7	0.42	<u>0.65</u>
34.5- 8.5	N-P	φ 711.2× 12.7	0.34	<u>0.52</u>

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

注記\*：風荷重との重畳を考慮する。

表 3-1-9 鉄塔脚部の評価結果

評価部位	応力分類	工認ケース	3方向同時入力*
コンクリート（せん断プレート側面）	圧縮	0.39	<u>0.55</u>
せん断プレート	曲げ	0.18	<u>0.25</u>
コンクリート（ベースプレート下面）	圧縮	0.18	<u>0.25</u>
フランジプレート，ベースプレート及び ウェブプレートから成る合成断面	曲げ	0.19	<u>0.32</u>
	せん断	0.23	<u>0.41</u>
	組合せ	0.30	<u>0.52</u>
ベースプレート	曲げ	0.46	<u>0.66</u>
リブプレート	圧縮	0.20	<u>0.29</u>
アンカー部（アンカー材）	引張	0.09	<u>0.15</u>
アンカー部（アンカーボルト）	せん断	0.27	<u>0.47</u>

注：下線部は検定値が最大となる値を示す。

注記\*：風荷重との重畳を考慮する。

## (2) 燃料プールの壁の評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する燃料プールの壁について評価を行う。

評価にあたっては、 $S_s$ 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、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」（以下「燃料プールの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

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 3-1-3 及び図 3-1-4 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 3-1-5 及び図 3-1-6 に示す。

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。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、燃料プールの耐震計算書の「3.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデルの概要図を図 3-1-7 に示す。解析モデルの詳細は、燃料プールの耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

$S_s$ 地震時の応力は、燃料プールの耐震計算書の「3.5.1 応力解析方法」に示す次の荷重ケース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
- $S_{S S N}$  :  $S \rightarrow N$ 方向  $S_s$ 地震荷重（ $S_s$ 地震時動水圧荷重を含む）
- $S_{S S W E}$  :  $W \rightarrow E$ 方向  $S_s$ 地震荷重（ $S_s$ 地震時動水圧荷重を含む）
- $S_{S S U D}$  : 鉛直方向（下向き）  $S_s$ 地震荷重

燃料プールの壁の評価は、燃料プールの耐震計算書の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

断面の評価結果を記載する要素は、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、面内せん断力及び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 3-1-8 及び図 3-1-9 に、評価結果を表 3-1-10 及び表 3-1-11 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、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、面内せん断力及び面外せん断力が各許容値を超えないことを確認した。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、燃料プールの壁が有する耐震性への影響がないことを確認した。

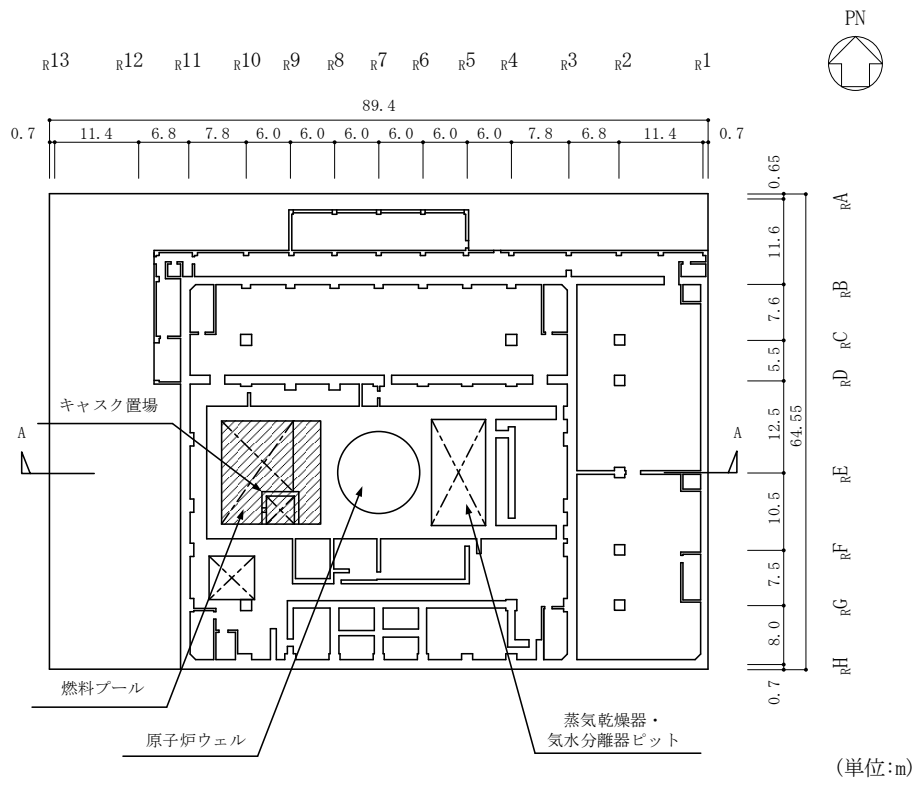


図 3-1-3 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略平面図  
(EL 34.8m)

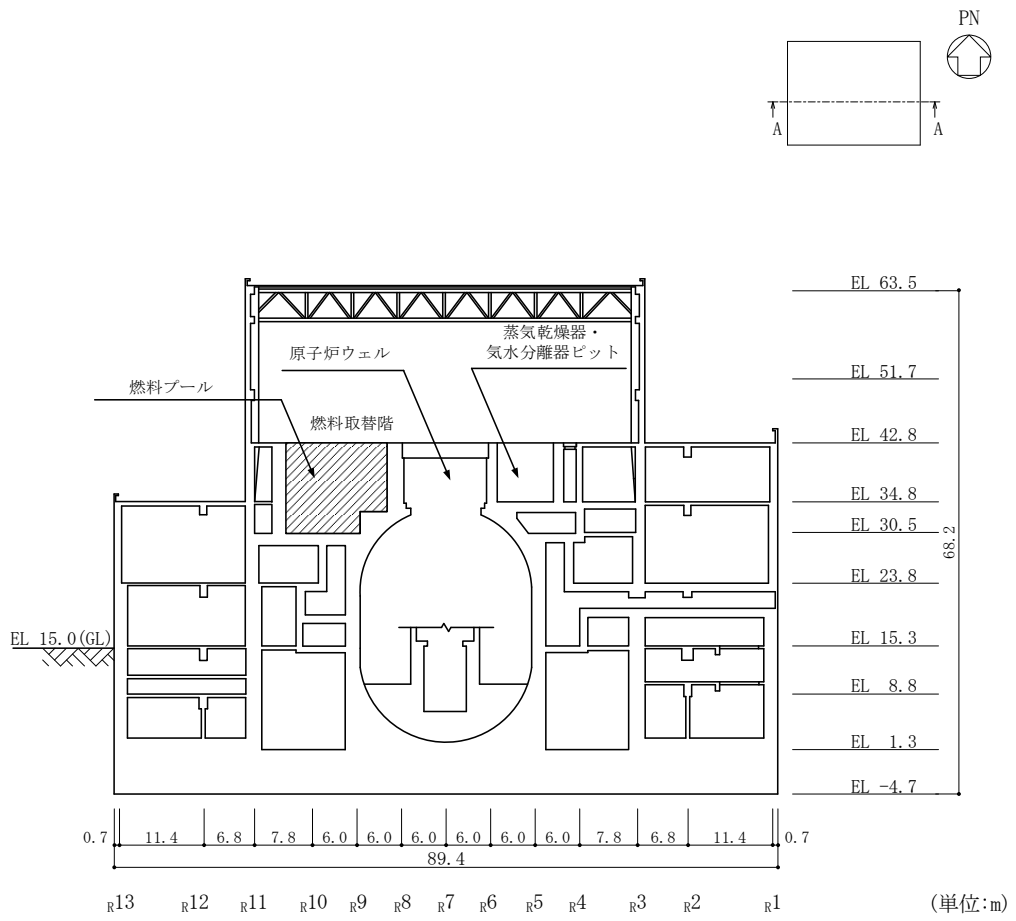
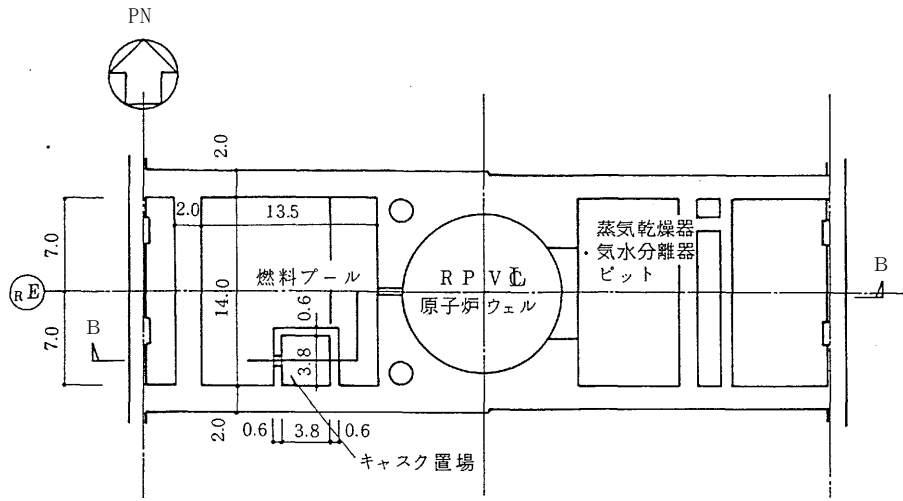
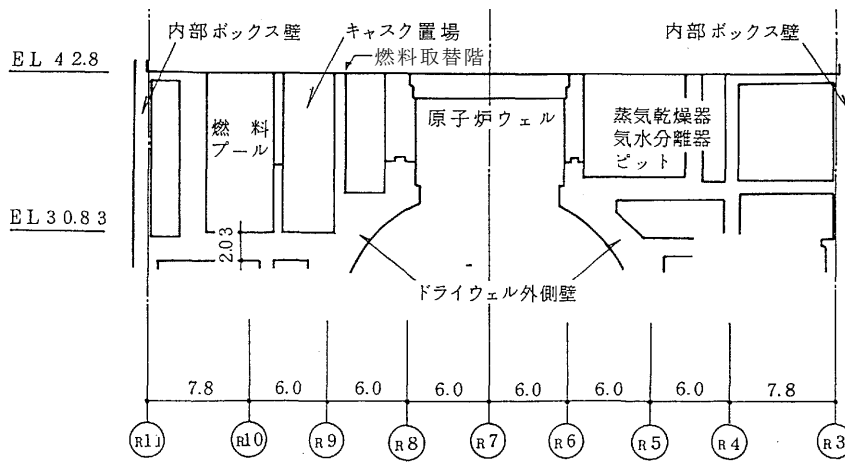


図 3-1-4 燃料プール及びキャスク置場を含む原子炉建物の概略断面図  
(A-A断面, EW方向)



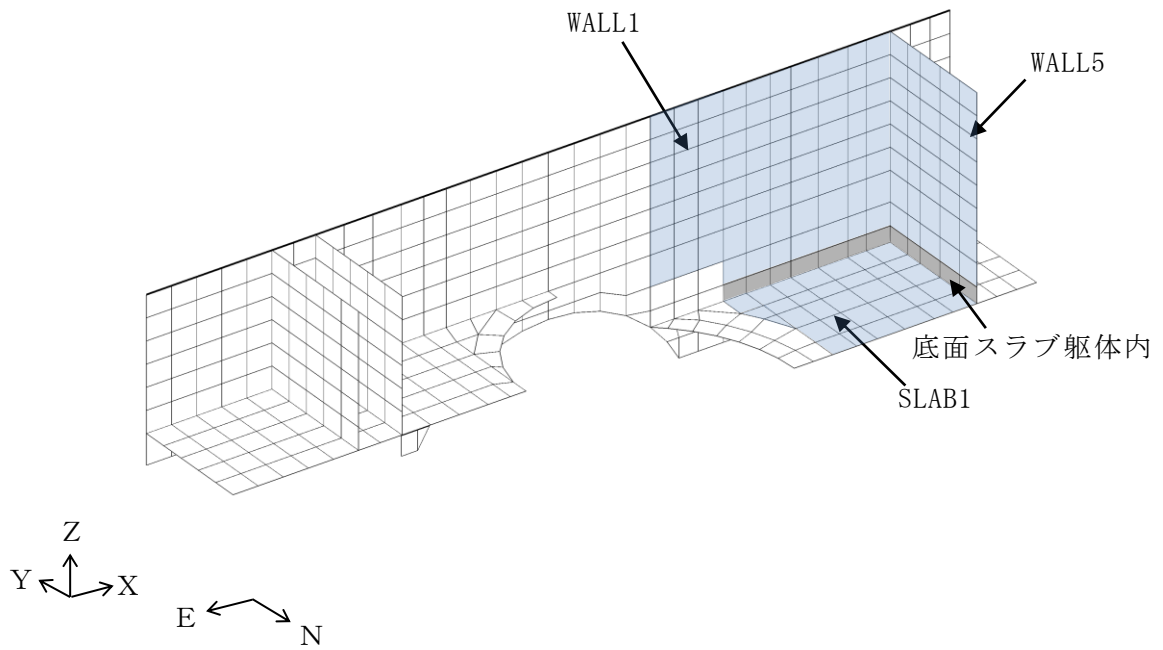
(単位：m)

図 3-1-5 燃料プール及びキャスク置場周りの概略平面図

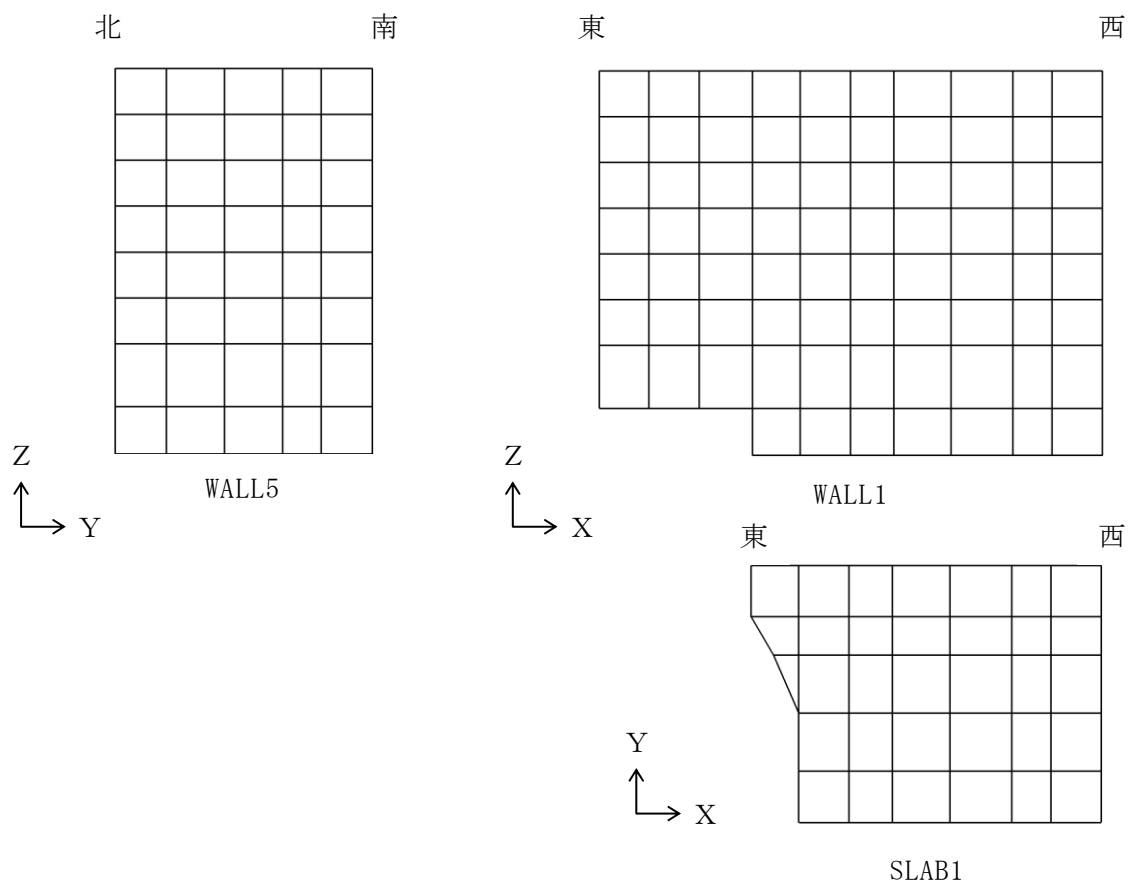


(単位：m)

図 3-1-6 燃料プール及びキャスク置場周りの概略断面図  
(B-B断面)



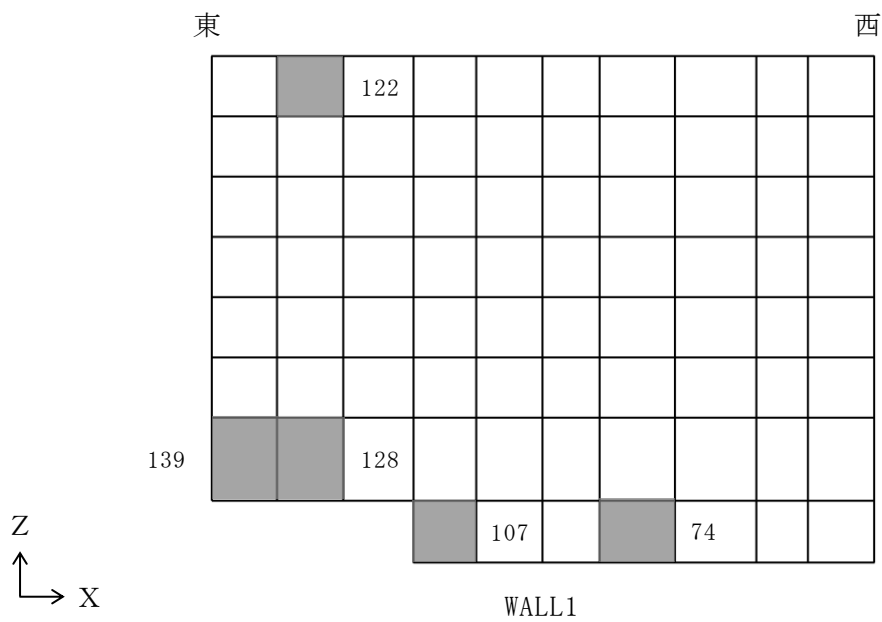
(a) 全体鳥瞰図



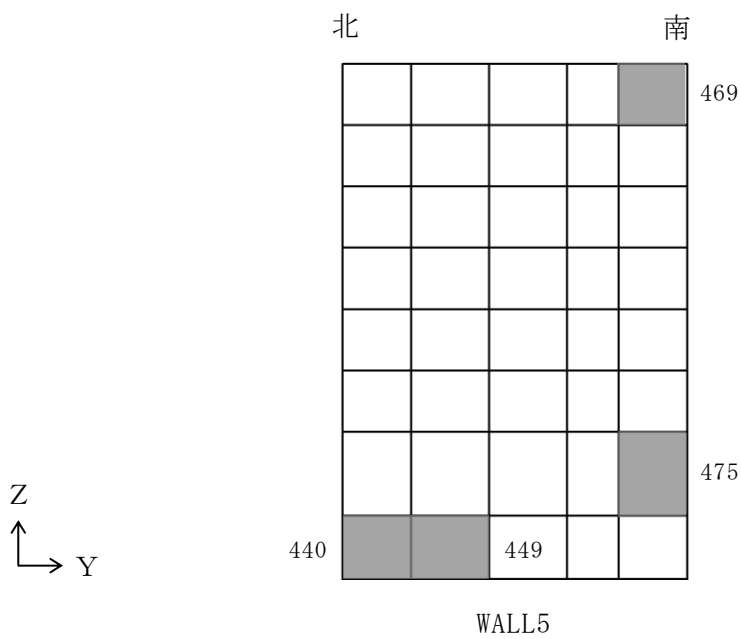
(b) 燃料プール要素分割図

図 3-1-7 解析モデルの概要図



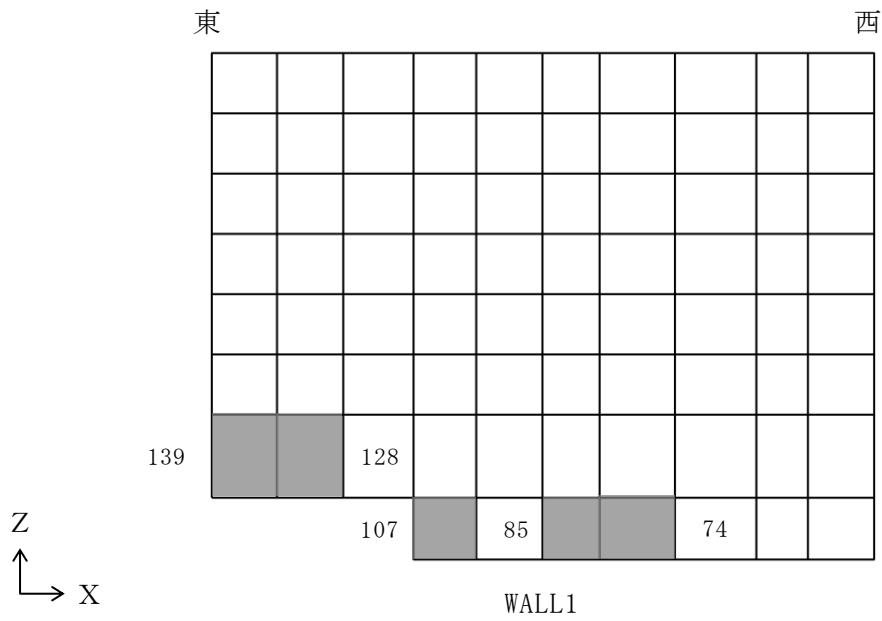


(a) 南側壁

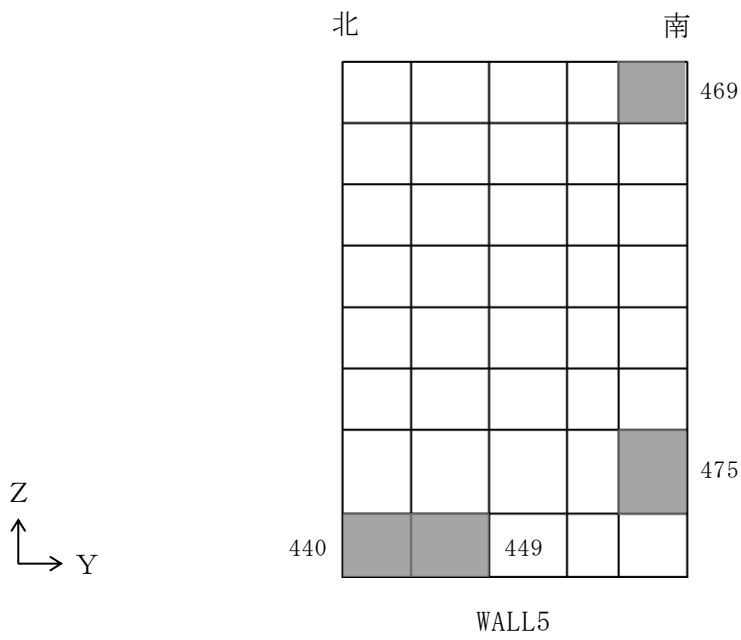


(b) 西側壁

図 3-1-8 選定した要素の位置  
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)



(a) 南側壁



(b) 西側壁

図 3-1-9 選定した要素の位置  
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

表 3-1-10 燃料プールの壁の評価結果  
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

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	3-20	0.180	3.00
		鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	水平	122	3-8	1.46	5.00
	軸力	圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	鉛直	139	3-8	3.55	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	—	107	3-20	2.58	4.39
	面外せん断力	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	鉛直	74	3-17	0.557	1.41
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	3-19	0.270	3.00
		鉄筋引張ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	鉛直	449	3-19	1.78	5.00
	軸力	圧縮応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	水平	469	3-12	1.38	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	—	475	3-19	1.34	3.04
	面外せん断力	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	鉛直	440	3-17	0.695	1.22

表 3-1-11 燃料プールの壁の評価結果  
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

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 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	鉛直	139	2-4	3.31	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	—	107	2-12	2.37	4.39
	面外せん断力	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	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 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	水平	469	2-6	1.38	15.6
	面内せん断力	面内せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	—	475	2-9	1.31	3.02
	面外せん断力	面外せん断応力度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	鉛直	440	2-11	0.694	1.22

## (3) 原子炉建物基礎スラブの評価

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中する部位である原子炉建物基礎スラブについて評価を行う。

評価にあたっては、S s 地震時に対して、3次元 FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、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」（以下「基礎スラブの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

原子炉建物基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-10 及び図 3-1-11 に示す。

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。

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎スラブの耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

解析モデルの概要図を図 3-1-12 に示す。解析モデルの詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S s 地震時の応力は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.1 応力解析方法」に示す次の荷重ケース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
S s S N	: S → N 方向 S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s S N S	: N → S 方向 S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s S E W	: E → W 方向 S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s S W E	: W → E 方向 S s 地震荷重（地震時土圧を含む）
S s S U D	: 鉛直方向（下向き） S s 地震荷重
S s S D U	: 鉛直方向（上向き） S s 地震荷重

基礎スラブの評価は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

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 3-1-13 及び図 3-1-14 に、評価結果を表 3-1-12 及び表 3-1-13 に示す。

S s 地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により発生値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、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。

以上より、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉建物基礎スラブが有する耐震性への影響がないことを確認した。

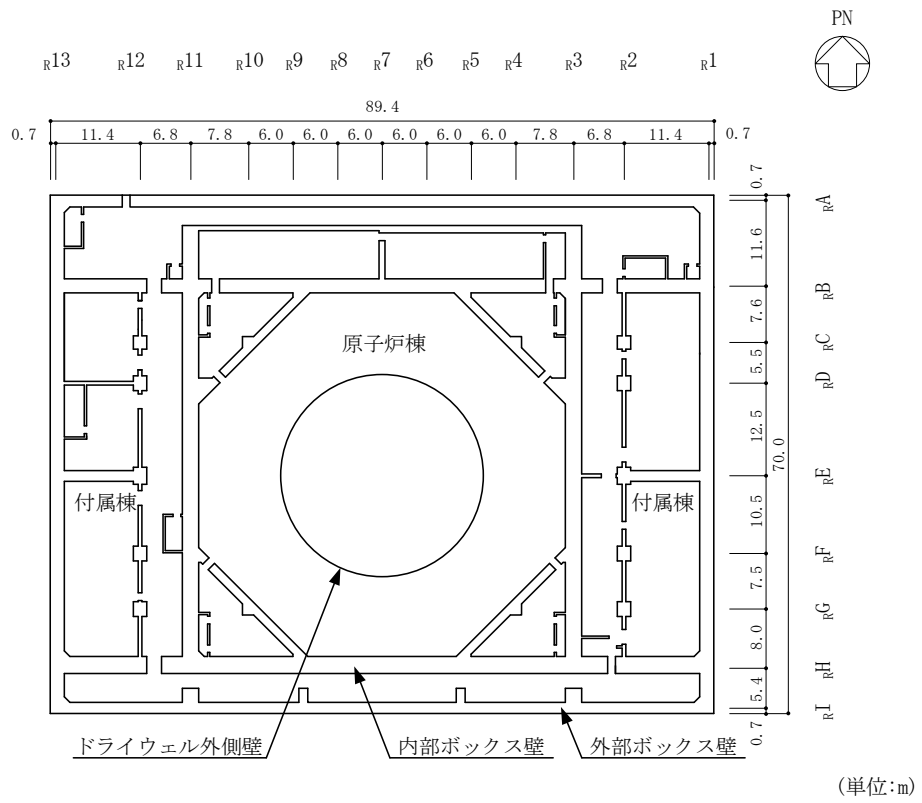
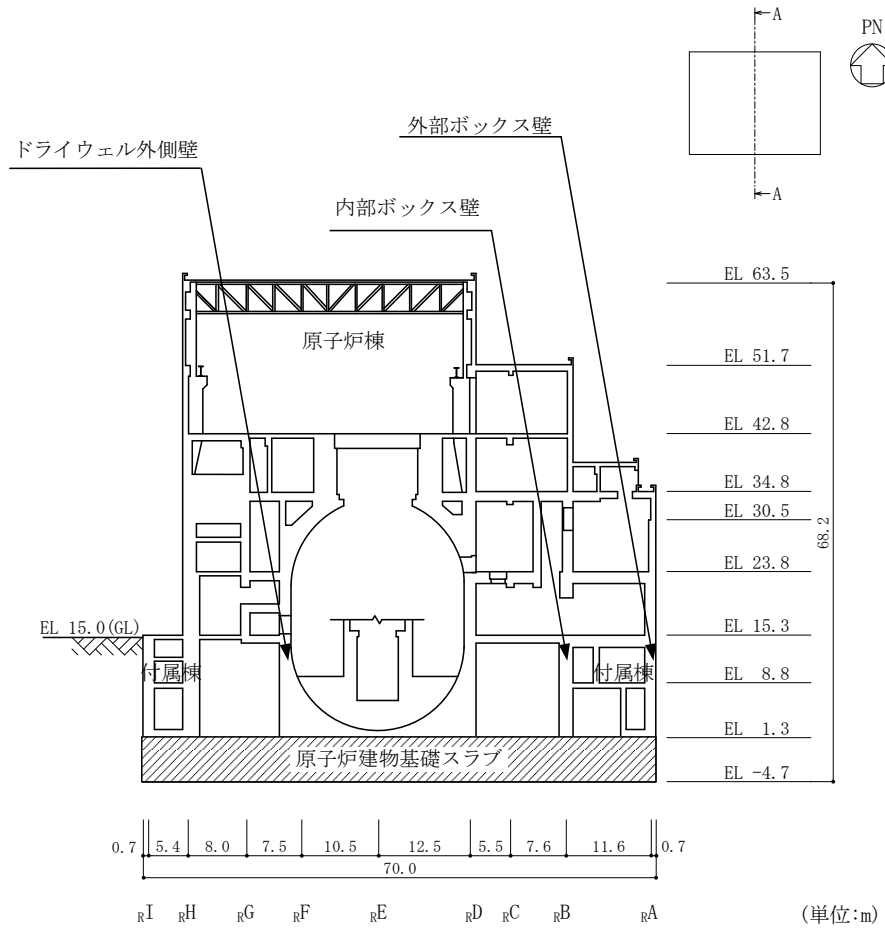


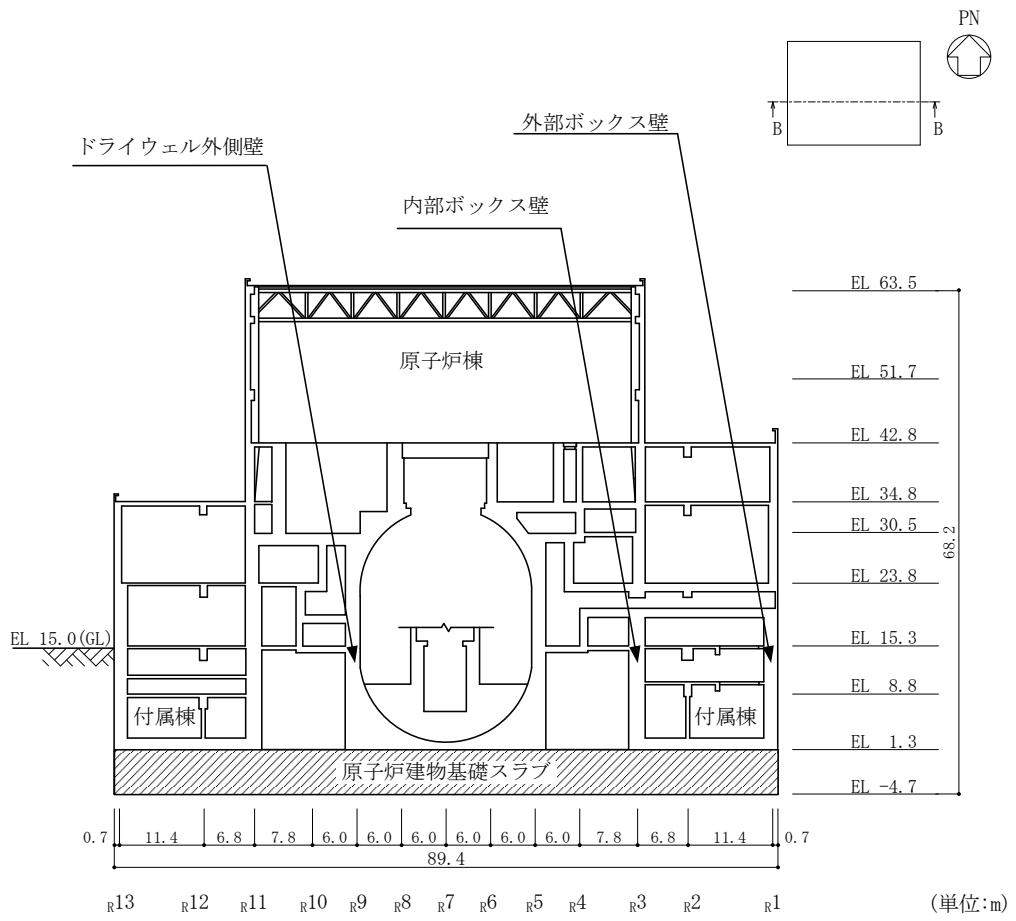
図 3-1-10 原子炉建物基礎スラブの概略平面図 (EL 1.3m)



(a) A-A断面, NS方向

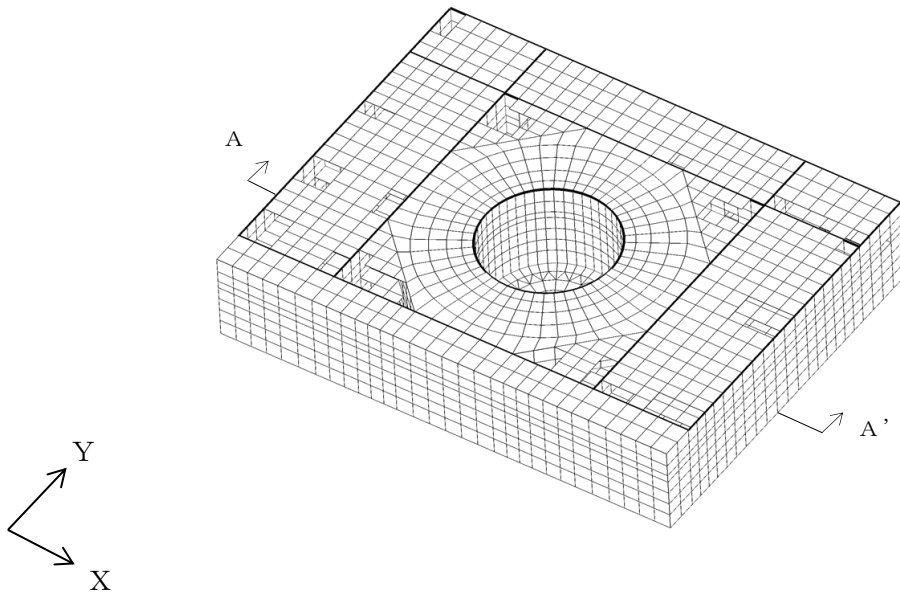
図 3-1-11(1) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図



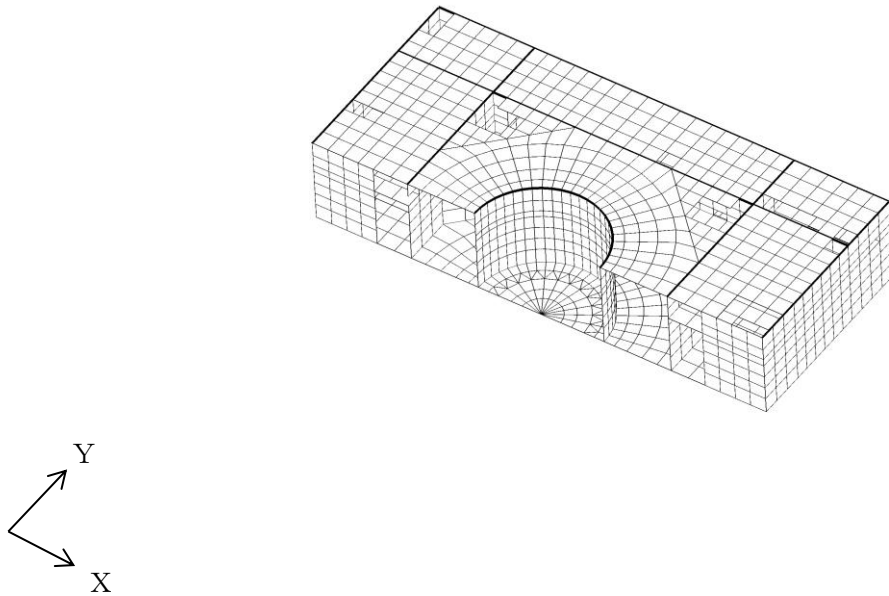


(b) B - B 断面, E W 方向

図 3-1-11(2) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図

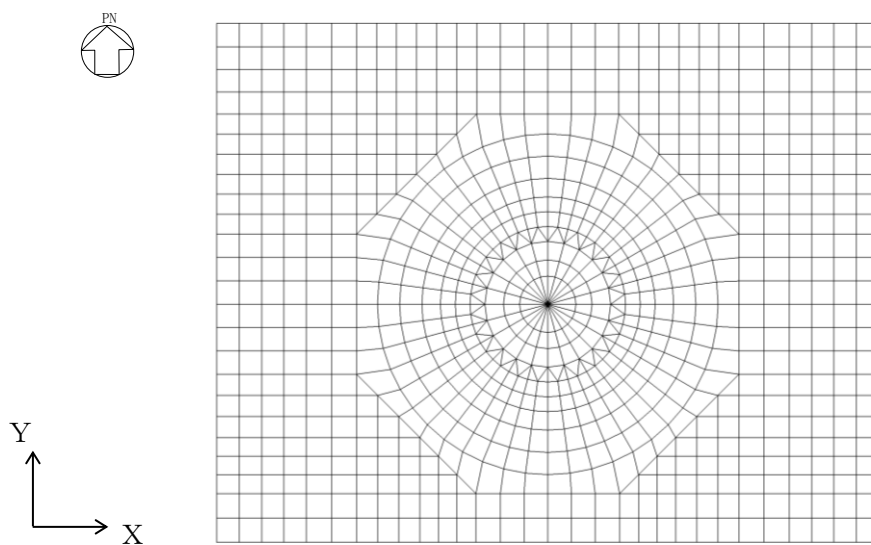


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 3-1-12(1) 解析モデルの概要図



(c) 基礎スラブ要素分割図

図 3-1-12(2) 解析モデルの概要図

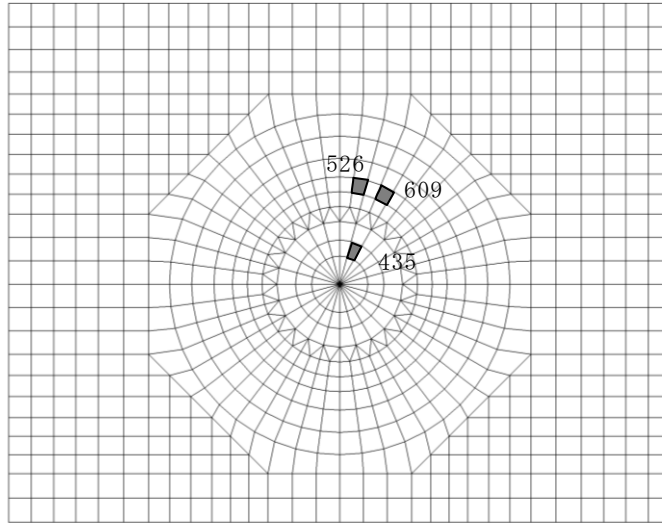


図 3-1-13 選定した要素の位置  
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

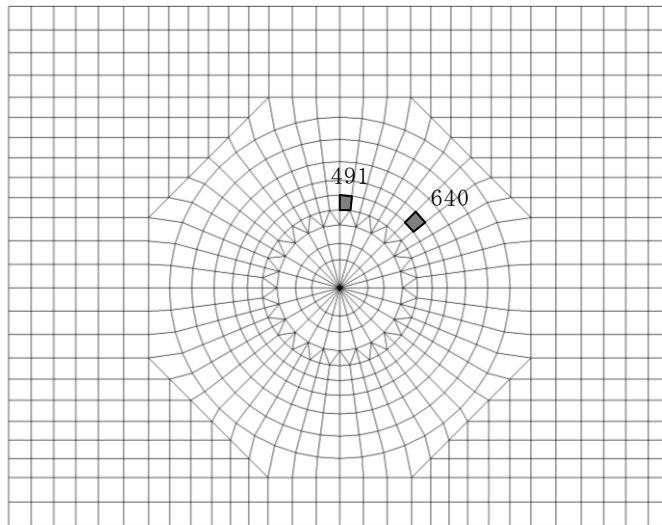


図 3-1-14 選定した要素の位置  
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

表 3-1-12 原子炉建物基礎スラブの評価結果  
(水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

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	609	3-9	0.376	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	放射	435	3-10	0.317	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	N S	526	3-10	13.0	16.7

表 3-1-13 原子炉建物基礎スラブの評価結果  
(水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ)

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	640	1-2	0.297	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ( $\times 10^{-3}$ )	放射	491	1-2	0.221	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	N S	491	1-1	7.79	10.4

## 3.2 機器・配管系

### 3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を表 3-2-1 に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平 2 方向の地震力による影響を以下の項目により検討し、影響の可能性がある設備を抽出した。

#### (1) 水平 2 方向の地震力が重畳する観点

水平 1 方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平 2 方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性のある設備を抽出する。以下の場合には、水平 2 方向の地震力による影響が軽微な設備であると整理した。

なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が 1 割程度以下となる機器を分類しているが、水平 1 方向地震力による裕度が 1.1 未満の設備については、個別に検討を行うこととする。

#### a. 水平 2 方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平 1 方向の地震力しか負担しないもの

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポートや横置き of 容器等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、水平 1 方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平 1 方向の地震力しか負担しないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 1 方向の地震力しか負担しないものを分類した。

#### b. 水平 2 方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものを分類した。

#### c. 水平 2 方向の地震力を組み合わせても水平 1 方向の地震による応力と同等といえるもの

原子炉圧力容器スタビライザ、原子炉格納容器スタビライザ及びシヤラグは、

周方向 8 箇所を支持する構造で配置され、水平 1 方向の地震力を 6 体で支持する設計としており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震力を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。

d. 保守性（水平 2 方向の考慮を含む）を考慮した評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。その他の設備についても、同様の理由から保守性を考慮した評価を実施しており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものを分類した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は発生しない。

一方、3 次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動モードが想定される設備は、従来設計より 3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される設備はなかった。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)(2)において影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値を比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平 1 方向に対する水平 2 方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。水平 2 方向の地震力の組合せは米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮した Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「SRSS 法」

という。)又は組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)により組み合わせ、発生値の増分を算出する。増分の算出は、従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

- 従来の評価データを用いた簡易的な算出では、地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみ組み合わせた後、地震以外による応力と組み合わせで算出する。
- 設備(部位)によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため、上記組合せによる発生値を設計荷重が上回ることを確認したものは、水平2方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- 応答軸が明確な設備で、設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は、耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。



### 3.2.2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1 項における建物・構築物の影響評価において機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される部位は抽出されなかった。

### 3.2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価設備の抽出結果

3.2.1 項で検討した、水平 2 方向の地震力が重畳する観点、水平方向とその直行方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点、水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力増分の観点で、水平 2 方向の地震力による影響の可能性のある設備を抽出した結果を表 3-2-2 に示す。

### 3.2.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

3.2.1 項の観点から抽出される設備について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値を以下の方法により算出する。

発生値の算出における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せは、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法又は組合せ係数法を適用する。

#### (1) 従来評価データを用いた算出

従来 of 水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて、以下の条件により水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・ 水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・ 水平 1 方向と鉛直方向の地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。
- ・ 水平方向を包絡した地震力と鉛直方向地震力を組み合わせたうえで従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせて水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・ 発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。

### 3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果

3.2.1項の観点から3.2.3項で抽出した以下の設備に対して、3.2.4項の影響評価条件で算出した発生値に対して設備が有する耐震性への影響を確認した。評価した内容を設備ごとに以下に示し、その影響評価結果については重大事故時等の状態も考慮した結果を表3-2-3に示す。

#### (1) 制御棒挿入性

工認耐震計算書では、地震応答解析により算定される水平1方向の燃料集合体の相対変位を用いて評価を実施している。水平2方向地震力による評価は、組合せ係数法(1.0:0.4)を用いて燃料集合体相対変位を算出し、許容値を満足するため、耐震性への影響がないことを確認した。

### 3.2.6 まとめ

機器・配管系において、水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備(部位)について、従来設計手法における保守性も考慮したうえで抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、工認耐震計算書の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため、工認耐震計算書の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

- ・工認耐震計算書の発生値(水平1方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ)に対して、係数( $\sqrt{2}$ )を乗じて水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため、係数を乗じる必要のない鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分についても係数を乗じている。
- ・工認耐震計算書において水平各方向を包絡した床応答スペクトルを各方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平2方向に働くことを想定した発生値として算出している。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力については、機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (1/10)

設備		部位
燃料集合体		燃料被覆管
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴
		下部胴
		中間胴
		上部格子板支持面 炉心支持板支持面
	シュラウドサポート	レゲ
		シリンダ プレート 下部胴
		グリッドプレート
	上部格子板	グリッドプレート
炉心支持板	補強ビーム 支持板	
	スタッド	
燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	
原子炉圧力容器	円筒胴	円筒胴
	下鏡	下鏡
		下鏡と円筒胴の接合部 原子炉圧力容器支持スカートと円筒胴の接合部
	制御棒貫通孔	ハウジング
		スタブチューブ
	原子炉中性子計装孔	原子炉中性子計装ハウジング
	ノズル	各部位
	ブラケット類	スタビライザブラケット
		蒸気乾燥器支持ブラケット
		炉心スプレイブラケット
給水スパーチャブラケット		
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	
原子炉圧力容器支持スカート	支持スカート	

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (2/10)

設備		部位
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド
		ブラケット
	原子炉格納容器スタビライザ	パイプ
		フランジボルト
		ガセットプレート
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレントビーム一般部
レストレントビーム端部		
レストレントビーム結合ボルト		
ジェットポンプ計測配管貫通部シール	貫通部シール	
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)	差圧検出管	
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	蒸気乾燥器ユニット
		耐震用ブロック
	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 原子炉中性子計装案内管	各部位
	スパージャ 炉内配管	各部位
	ジェットポンプ	ライザ ディフューザ ライザブレース
使用済燃料貯蔵ラック	ラック部材 (板, シートプレート及びラックベース)	
	ラック取付ボルト 基礎ボルト	
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック	
	サポート	
	底部基礎ボルト	
	サポート部基礎ボルト	
燃料プール水位・温度 (SA)	架構	
	基礎ボルト	

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (3/10)

設備	部位
燃料プール水位 (SA)	検出器保護管
	検出器架台基礎ボルト
燃料プール監視カメラ	基礎ボルト
	取付ボルト
燃料プール監視カメラ用冷却設備	取付ボルト
アキュムレータ	胴板
	脚
残留熱除去系熱交換器	胴板
	ラグ
	基礎ボルト
	追設基礎ボルト
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング
	基礎ボルト
	取付ボルト
ECCS ストレーナ 原子炉隔離時冷却系 ストレーナ	各部位 (フランジ, 取付ボルト以外)
	フランジ
	ボルト
ECCS ストレーナ部ティー 原子炉隔離時冷却系 ストレーナ部ティー	ティー
	フランジ
ECCS ストレーナ取付部コネクタ	コネクタ
	フランジ
ECCS ストレーナ取付部サポート	サポートパイプ
	サポートパイプ溶接部
	サポートプレート
	サポートボルト
横形ポンプ 補機海水 ストレーナ ポンプ駆動用タービン 空調ファン 空調ユニット	基礎ボルト 取付ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (4/10)

設備	部位
原子炉補機冷却系熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
	連結板
横置円筒形容器	胴板
	脚
	基礎ボルト
たて置円筒形容器 (スカート支持)	胴板
	スカート
	基礎ボルト
制御棒駆動機構	フランジ
水圧制御ユニット	フレーム
	取付ボルト
平底たて置円筒形容器	胴板
	基礎ボルト
核計測装置	各部位
伝送器 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
伝送器 (矩形壁掛)	基礎ボルト
	溶接部
伝送器 (サポート鋼材固定)	取付ボルト
	溶接部
制御盤, 電気盤 (矩形床置)	基礎ボルト
	取付ボルト
制御盤, 電気盤 (矩形壁掛)	取付ボルト
モニタリング設備 (矩形床置)	取付ボルト
モニタリング設備 (矩形壁掛)	基礎ボルト
	取付ボルト
通信連絡設備 (アンテナ類) (矩形床置)	基礎ボルト
通信連絡設備 (アンテナ類) (矩形壁掛)	基礎ボルト
中央制御室空調換気系配管	ダクト本体 (矩形)
	ダクト本体 (円形)
	サポート

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (5/10)

設備		部位	
中央制御室待避室遮蔽		構造フレーム (鉄骨, 鋼板)	
		基礎ボルト 遮蔽パネル接合部ボルト	
		構造フレーム接合部高力ボルト	
		遮蔽パネル 気密用鋼板	
原子炉格納容器	ドライウエル	ドライウエル上ふた球形部とナックル部の接合部 円筒部とナックル部の接合部 ナックル部と球形部の接合部 球形部の板厚変化部 球形部と円筒部の接合部 円筒部と球形部の接合部	
		円筒部	
		基部	
		サブプレッションチェンバ	サブプレッションチェンバ胴中央部上部 サブプレッションチェンバ胴中央部下部 サブプレッションチェンバ胴中央部内側 サブプレッションチェンバ胴中央部外側
			サブプレッションチェンバ胴エビ継部上部 サブプレッションチェンバ胴エビ継部下部 サブプレッションチェンバ胴エビ継部内側 サブプレッションチェンバ胴エビ継部外側 サブプレッションチェンバ胴と内側サポート補強板との接合部 サブプレッションチェンバ胴と外側サポート補強板との接合部
			ベント管

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (6/10)

設備		部位
原子炉格納容器	サプレッションチェンバサポート	サポート
		ベースとベースプレートの接合部
		シアキー
		ベースプレート
		シアプレート
	コンクリート	
	ボルト	
	基礎ボルト	
	シヤラグ	内側メイルシヤラグ
		外側メイルシヤラグ
		内側フィメイルシヤラグ
		内側フィメイルシヤラグリブ付根部
		外側フィメイルシヤラグ
		内側メイルシヤラグ接触部
		外側メイルシヤラグ接触部
		内側フィメイルシヤラグ接触部
		外側フィメイルシヤラグ接触部
		コンクリート (ベースプレート部, シヤプレート部)
	基礎ボルト	
	ベースプレート	
シヤプレート		
内側シヤラグサポート		
シヤラグ取付部		
ハッチ類	ハッチ円筒胴	
	ハッチ本体と補強板との結合部	
原子炉格納容器配管貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブとの取付部	
原子炉格納容器電気配線貫通部	ドライウェルとスリーブとの結合部	
真空破壊装置	スリーブ	
	スリーブとベント管との結合部	
ダウンカマ	ダウンカマ	
	ベントヘッドとダウンカマの結合部	



表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (7/10)

設備	部位
ベントヘッダ	ベントヘッダ
	ベントヘッダ強め輪取付部
	ベントヘッダサポート
	強め輪
	ピン
ドライウェルスプレイ管	上部スプレイ管案内管
	上部スプレイ管ティー部
	上部スプレイ管案内管サポート
	下部スプレイ管
	下部スプレイ管案内管
	下部スプレイ管ティー部
	下部スプレイ管サポート
サプレッションチェンバスプレイ管	スプレイ管
	スプレイ管えび状の管部
	スプレイ管ティー部
	スプレイ管案内管
	スプレイ管サポート
ブローアウトパネル閉止装置	シャフト
	コネクタ
	軸受取付ボルト
	駆動部取付ボルト 取付ボルト
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース
	ベース取付溶接部
可燃性ガス濃度制御系再結合装置	基礎ボルト
静的触媒式水素処理装置	静的触媒式水素処理装置本体
	架台
	取付ボルト
	基礎ボルト
遠隔手動弁操作設備	基礎ボルト
	取付ボルト
ディーゼル発電機	基礎ボルト
	取付ボルト
ガスタービン発電機	基礎ボルト
	取付ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (8/10)

設備	部位
その他電源設備	基礎ボルト 取付ボルト
配管本体, サポート (多質点はりモデル解析)	配管, サポート
屋外排水路逆止弁	扉体
	固定部
床ドレン逆止弁	弁本体 フロートガイド
	基礎ボルト
漏えい検知器	基礎ボルト
堰 (柱支持型)	鋼板
	梁材 柱材
	アンカーボルト
堰 (鋼板折曲げ型)	鋼板
	アンカーボルト
堰 (鉄筋コンクリート製)	アンカー筋 主筋
	堰底部のコンクリート
防水板	鋼板
	芯材
	アンカーボルト
貫通部止水処置	モルタル
	電路貫通部金属ボックスのアンカーボルト
取水槽水位計	取付ボルト
津波監視カメラ	据付ボルト
原子炉本体の基礎	円筒部
	たてリブ
	基礎ボルト
	ベースプレート
建物開口部竜巻防護対策設備 (竜巻防護ネット対策設備)	フレーム
	アンカーボルト
建物開口部竜巻防護対策設備 (竜巻防護鋼板対策設備)	フレーム
	アンカーボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (9/10)

設備	部位
取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備	鋼板
	架構
	アンカーボルト
取水槽海水ポンプエリア竜巻防護対策設備	鋼板
	架構
	アンカーボルト
原子炉建物天井クレーン	クレーン本体ガーダ
	落下防止ラグ
	トロリストopp
	トロリ
	吊具
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム
	ブリッジ脱線防止ラグ (本体)
	トロリ脱線防止ラグ (本体)
	走行レール
	横行レール
	ブリッジ脱線防止ラグ (取付ボルト)
	トロリ脱線防止ラグ (取付ボルト)
	吊具 (ワイヤロープ)
吊具 (先端金具)	
チャンネル着脱装置	ガイドレール
	カート
	固定ボルト
	ローラチェーン
チャンネル取扱ブーム	ブーム
	回転ポスト
	固定ポスト
	基礎ボルト
制御棒貯蔵ハンガ	制御棒落下防止ポール
	ポール支持金具
	基礎ボルト
原子炉浄化系補助熱交換器	胴板
	脚
	基礎ボルト
	追設基礎ボルト

表 3-2-1 水平 2 方向入力の影響検討対象設備 (10/10)

設備	部位
中央制御室天井照明	補強材
	支持鋼材 補強斜材
	取付ボルト (照明ボルト) 継手ボルト 基礎ボルト
	溶接部
タービン補機冷却系熱交換器	脚
	基礎ボルト
	追設基礎ボルト
主排気ダクト	ダクト本体
	支持構造物部材
	支持装置
取水槽ガントリクレーン	ガーダ
	脚
	転倒防止装置
	トロリ
	吊具
	制震ダンパ
除じん機	フレーム取付ボルト
	フレーム耐震サポート
	フレーム耐震ピン
	アジャストボルト
	尾軸受取付ボルト
原子炉ウェルシールドプラグ	シールドプラグ本体
	支持部
耐火障壁	フレーム部材
	基礎ボルト
ガンマ線遮蔽壁	胴基部
	開口集中部

表3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

(1) 構造強度評価  
対象設備なし

(2) 機能維持評価

(凡例) ○ : 影響の可能性あり

△ : 影響軽微

設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性		
	3.2.1項(1)水平2方向の地震力が重畳する観点及び(2)の観点水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点	3.2.1項(3)水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点	検討結果
制御棒挿入性	○	○	影響評価結果は表 3-2-3 参照。

表3-2-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価結果

(1) 構造強度評価  
対象設備なし

(2) 機能維持評価

評価対象設備	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				備考
	1方向入力 相対変位	2方向想定 相対変位	確認済相対変位	判定	
制御棒挿入性	35.0	35.8	40	○	単位：mm

## VI-2-別添2 溢水防護に係る施設の耐震性についての計算書

VI-2-別添2-5 大型タンク遮断弁の耐震性についての計算書



## 目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図，鳥瞰図及び構造計画	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	8
2.3 構造計画	10
3. 計算条件	15
3.1 計算方法	15
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
3.3 設計条件	17
3.4 材料及び許容応力	23
3.5 設計用地震力	24
4. 解析結果及び評価	25
4.1 固有周期及び設計震度	25
4.2 評価結果	30
4.2.1 管の応力評価結果	30
4.2.2 支持構造物評価結果	31
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	32
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	34

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-別添2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に従い、溢水量低減を目的として、大型タンク遮断弁が基準地震動 $S_s$ に対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

大型タンク遮断弁は、設計基準対象施設においてはB、Cクラスの施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価および動的機能維持評価を示す。

なお、大型タンク遮断弁は、管と合わせて耐震評価を実施することから、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。）に基づき評価を実施する。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

概略系統図に示す評価対象範囲の管のうち、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弁を全6モデルの配管系として解析モデルを作成し、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

評価対象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。



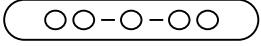
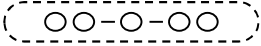
### (3) 弁

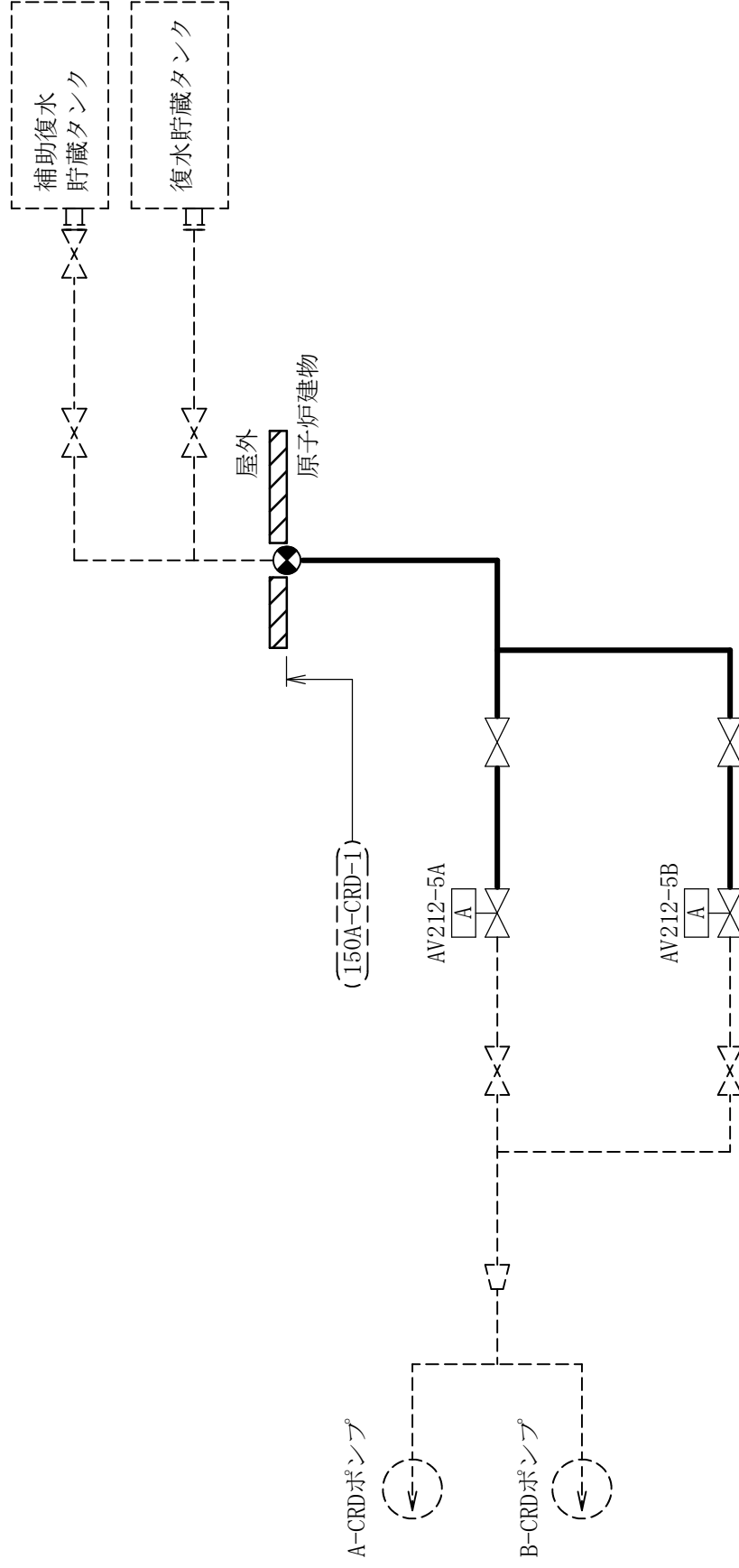
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

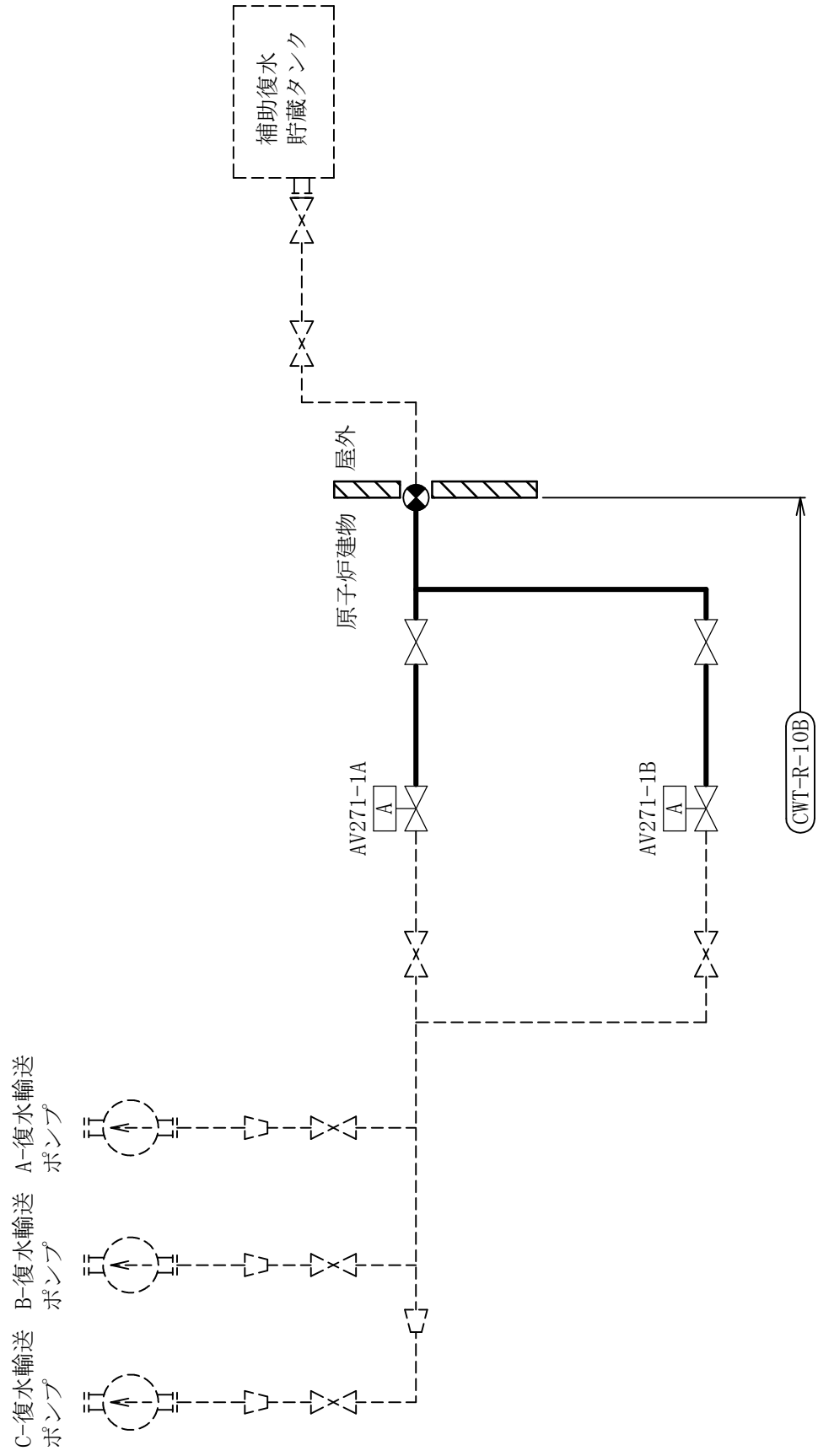
2. 概略系統図，鳥瞰図及び構造計画

2.1 概略系統図

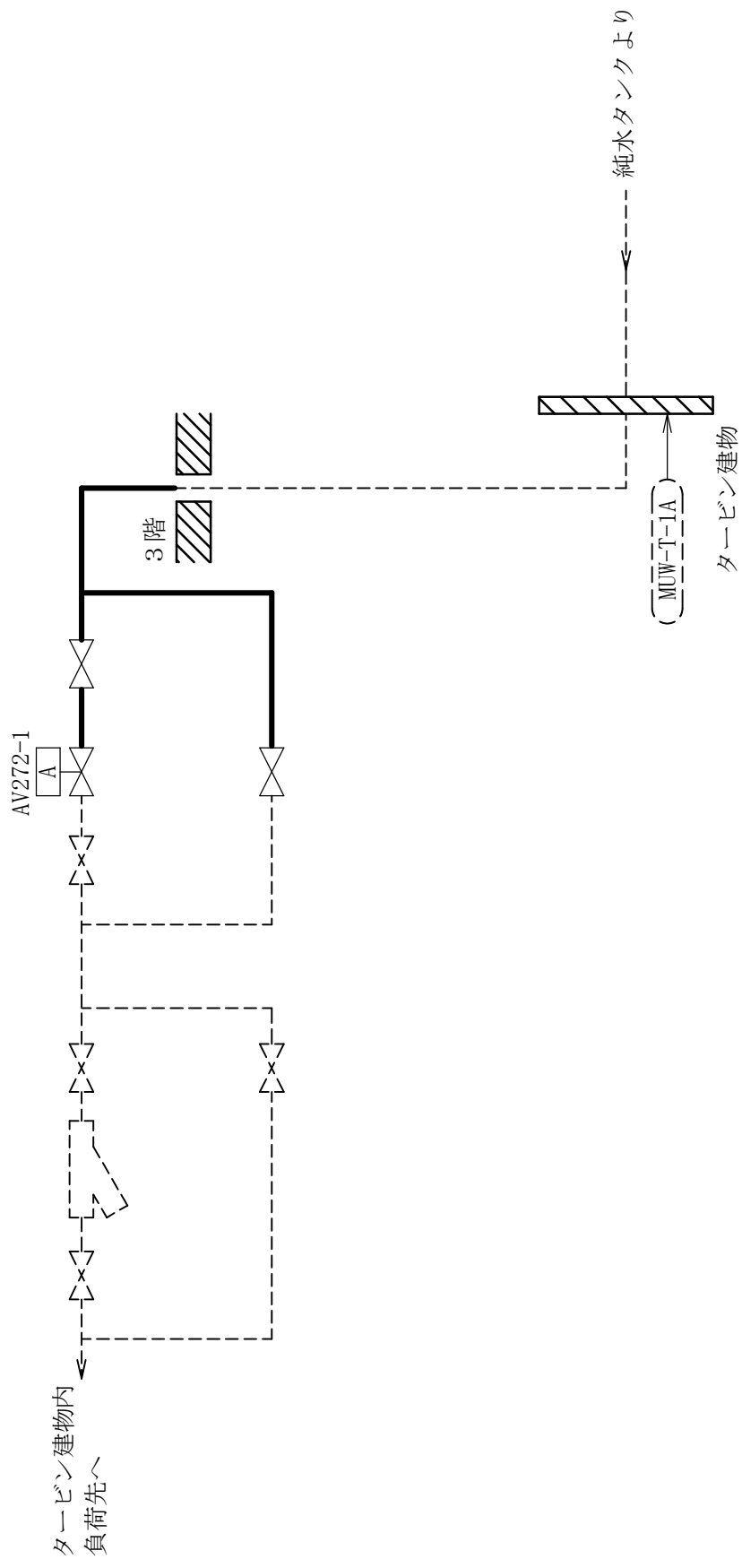
概略系統図記号凡例

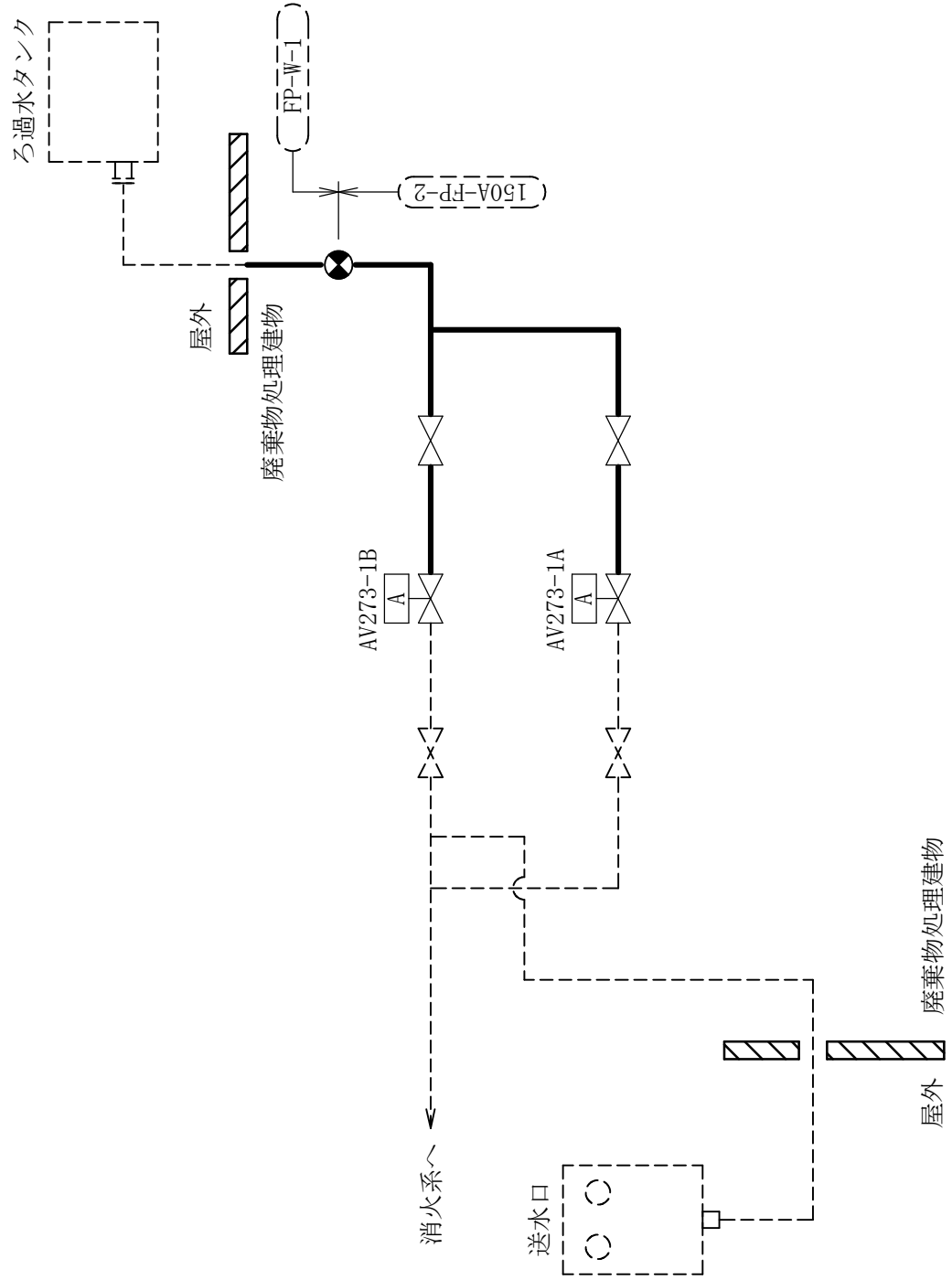
記号	内容
 (太線)	本計算書に評価結果を記載する管（基準地震動 $S_s$ による地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲）
 (破線)	本計算書に評価結果を記載しない管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号（代表モデル）
	鳥瞰図番号（代表モデル以外）
	アンカ



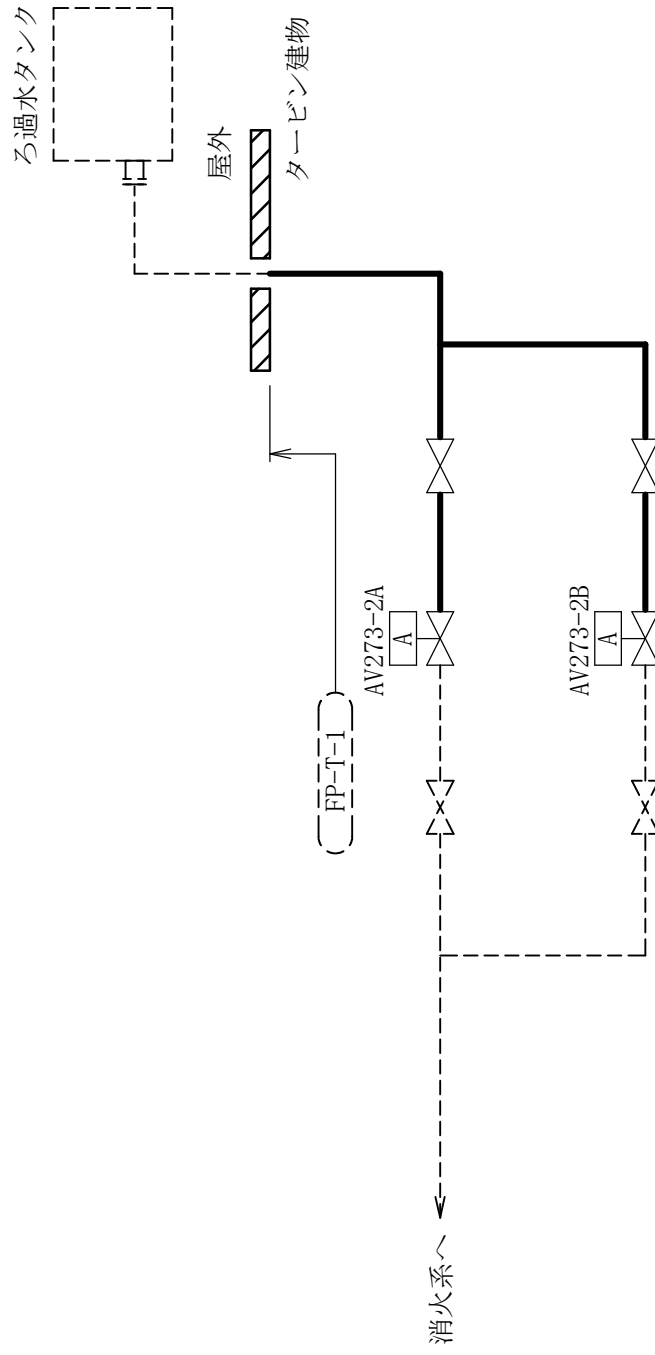


大型タンク遮断弁概略系統図 (その2)  
(復水輸送系)





大型タンク遮断弁概略系統図 (その4)  
(消火系 (その1))





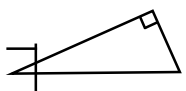
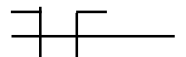

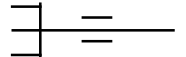
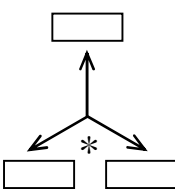



大型タンク遮断弁概略系統図 (その5)  
(消火系 (その2))



2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

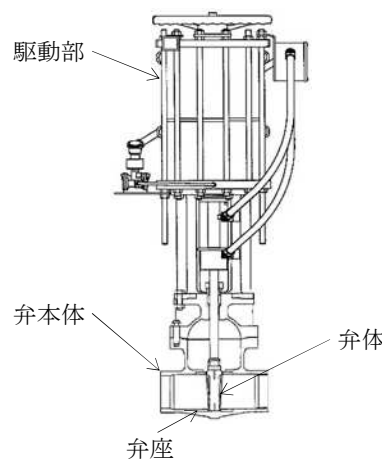
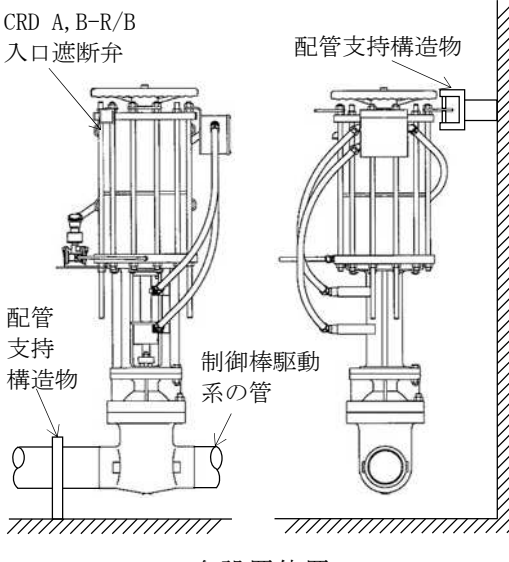
記号	内容
 (太線)	本計算書に評価結果を記載する管（基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、十分な耐震性を有することを評価する範囲）
 (破線)	本計算書に評価結果を記載しない管であって系統の概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。）
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量 (mm) （*は評価点番号、矢印は拘束方向を示す。また、  内に変位量を記載する。）  注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



2.3 構造計画

CRD A, B-R/B入口遮断弁 (AV212-5A, B)は空気作動ゲート弁であり、弁体を弁座に密着することで止水する。空気作動ゲート弁の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
CRD A, B-R/B 入口遮断弁	空気 作動 ゲート 弁	弁体を含む 弁本体及び 空気圧にて 駆動する駆 動部で構成 される。	制御棒駆動 系の管に設 置される。 弁本体及び 弁が設置さ れた管は支 持構造物に て支持され る。	 <p>弁断面構造図</p>  <p>弁設置位置</p>

構造計画

CWT A, B-R/B入口遮断弁 (AV271-1A, B)は空気作動ゲート弁であり、弁体を弁座に密着することで止水する。空気作動ゲート弁の構造計画を表2-2に示す。

表2-2 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
CWT A, B-R/B 入口遮断弁	空気 作動 ゲート 弁	弁体を含む 弁本体、弁 体を空気作 動にて駆動 する駆動部 で構成され る。	復水輸送系 の管に設置 される。 弁が設置さ れた管は支 持構造物に て支持され る。	<p>弁断面構造図</p> <p>CWT A, B-R/B入口遮断弁</p> <p>復水輸送系の管</p> <p>配管支持構造物</p> <p>弁設置位置</p>

構造計画

MUW T/B入口遮断弁(AV272-1)は空気作動ゲート弁であり、弁体を弁座に密着することで止水する。空気作動ゲート弁の構造計画を表2-3に示す。

表2-3 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
MUW T/B 入口遮断弁	空気 作動 ゲート 弁	弁体を含む 弁本体、弁 体を空気作 動にて駆動 する駆動部 で構成され る。	補給水系の 管に設置さ れる。 弁が設置さ れた管は支 持構造物に て支持され る。	

構造計画

FP A, B-RW/B入口供給遮断弁 (AV273-1A, B)は空気作動ボール弁であり、弁体を弁座に密着することで止水する。空気作動ボール弁の構造計画を表2-4に示す。

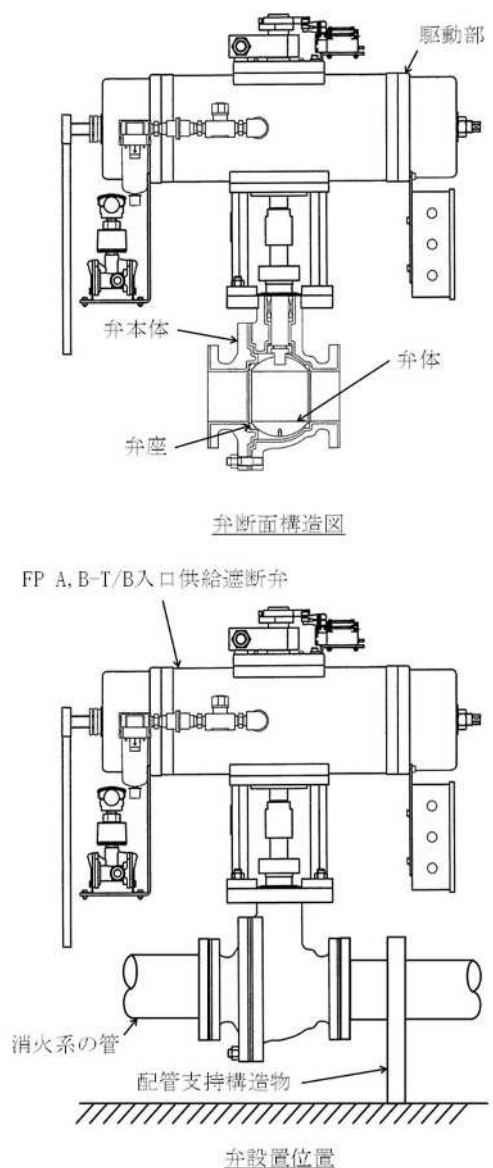
表2-4 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
FP A, B-RW/B 入口供給遮断弁	空気 作動 ボール 弁	弁体を含む 弁本体、弁 体を空気作 動にて駆動 する駆動部 で構成され る。	消火系の管 に設置され る。 弁が設置さ れた管は支 持構造物に て支持され る。	<p>弁断面構造図</p> <p>FP A, B-RW/B入口供給遮断弁</p> <p>弁設置位置</p>

構造計画

FP A, B-T/B入口供給遮断弁 (AV273-2A, B)は空気作動ボール弁であり，弁体を弁座に密着することで止水する。空気作動ボール弁の構造計画を表2-5に示す。

表2-5 構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
FP A, B-T/B 入口供給 遮断弁	空気 作動 ボール 弁	弁体を含む 弁本体，弁 体を空気作 動にて駆動 する駆動部 で構成され る。	消火系の管 に設置され る。 弁が設置さ れた管は支 持構造物に て支持され る。	

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
—	—	補給水系	DB	—	クラス3管	C	I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4 II <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4	IV <sub>A</sub> S
—	—	消火系	DB	—	クラス3管	C	I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4 II <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4	IV <sub>A</sub> S
—	—	制御棒駆動系	DB	—	クラス3管	B	I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4 II <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4	IV <sub>A</sub> S
—	—	復水輸送系	DB	—	クラス3管	B	I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4 II <sub>L</sub> +S <sub>s</sub> *4	IV <sub>A</sub> S

注記\*1：DBは設計基準対象施設を示す。

\*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

\*4：溢水量低減を目的として、基準地震動S<sub>s</sub>に対する評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CWT-R-10B

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~3	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	静水頭	66
		Ⅴ <sub>A</sub> S	—	—
2	3~14, 15~17 4~46, 47~49	Ⅲ <sub>A</sub> S	—	—
		Ⅳ <sub>A</sub> S	静水頭	66
		Ⅴ <sub>A</sub> 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 CWT-R-10B

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~3	165.2	7.1	STPG38	B	201667
2	3~14, 15~17 4~46, 47~49	165.2	7.1	STPG370	B	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 CWT-R-10B

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1A～14, 15～17, 4～46, 47～49

弁部の質量

鳥 瞰 図 CWT-R-10B

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	14～15, 46～47		17, 21, 49, 53
	18, 50		19, 51
	20, 52		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 CWT-R-10B

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				17~18			
18~19				19~20			
20~200				18~21			
46~47				49~50			
50~51				51~52			
52~520				50~53			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CWT-R-10B

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						
13						
200						
45						
520						

### 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
STPG38	66	—	189	357	—
STPG370	66	—	189	357	—



### 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。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。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S <sub>d</sub>	S <sub>s</sub>
CWT-R-10B	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 CWT-R-10B

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
動的震度*3, *4				

注記\*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

\*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

\*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

\*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CWT-R-10B

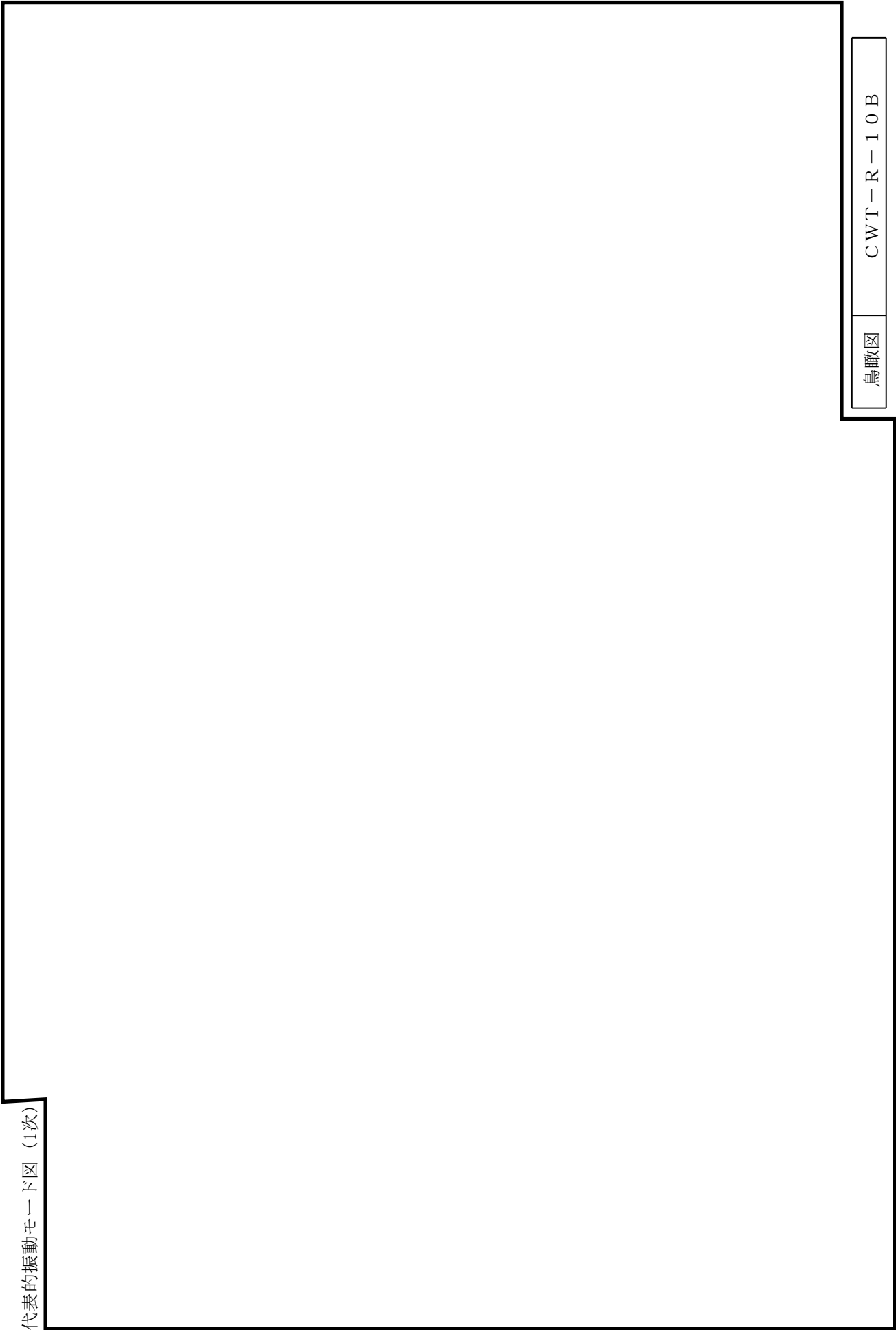
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

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。

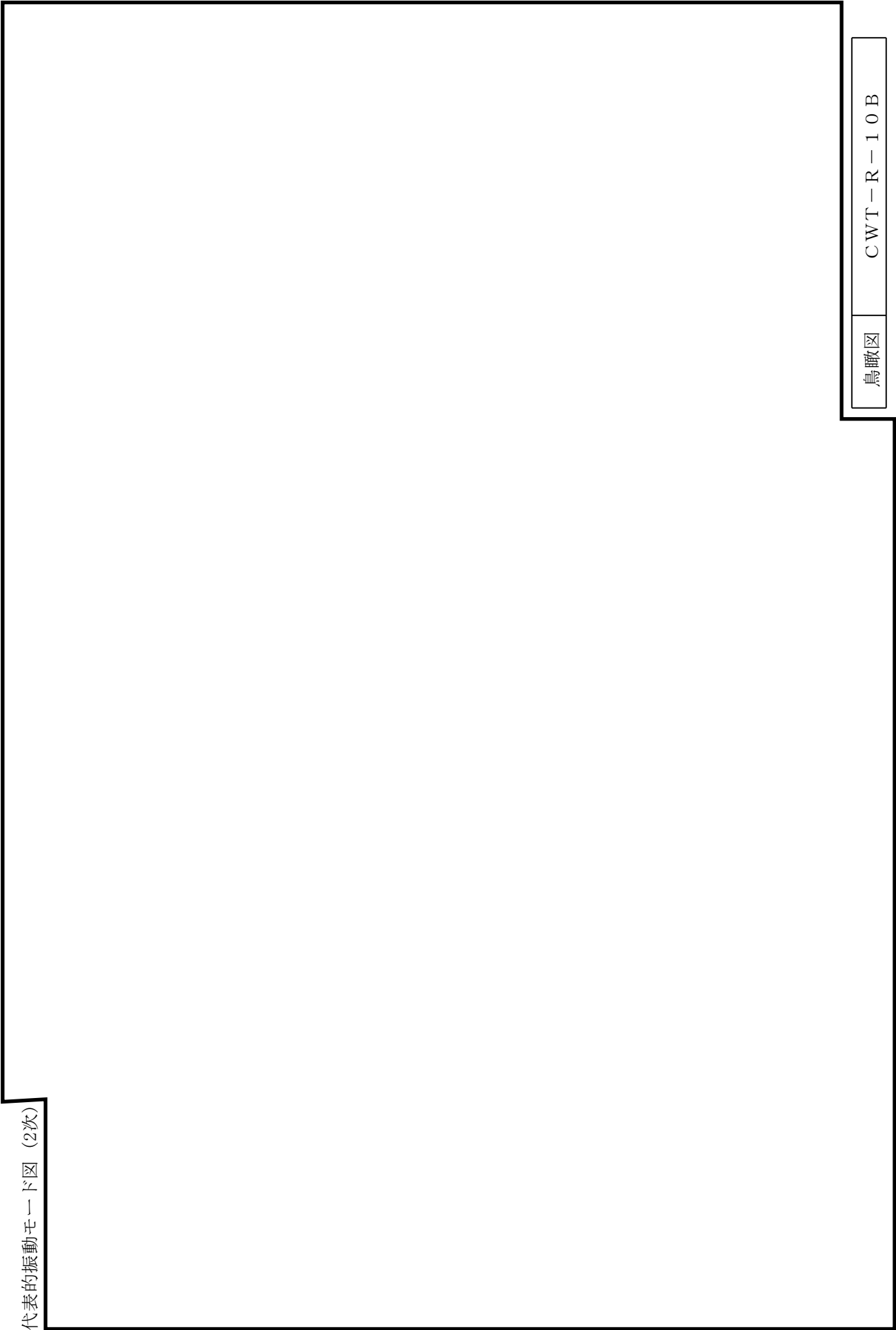
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

CWT-R-10B

代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

CWT-R-10B

## 4.2 評価結果

## 4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
IV <sub>A</sub> S	一次応力(0.9・S <sub>u</sub> )	CWT-R-10B	49	142	321	—
	一次+二次応力(2・S <sub>y</sub> )	CWT-R-10B	49	236	378	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN) 一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12 「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」 参照		—	—	—
—	オイルスナッパ	—			—	—	—
—	ロッドレストレイント	—			—	—	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—	—
—	リジットハンガ	—			—	—	—

注記\*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

\*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して，J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお，一次評価を満足する場合は「一」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-CWT-310	レストレイント	Uボルト	SS400	66	8	38	0	—	—	—	引張	100	185	
AN-CRD-201	アンカ	ラグ	SUS304	66	13	10	112	9	11	7	組合せ	78	118	



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
AV272-1	空気作動ゲート弁	$\beta$ (S s)	3.4	1.1	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
AV271-1B	空気作動ゲート弁	$\beta$ (S s)	1.6	3.8	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
AV273-2A	空気作動ボール弁	$\beta$ (S s)	2.0	1.3	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
AV273-2B	空気作動ボール弁	$\beta$ (S s)	2.0	1.3	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記\*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

$\alpha$  (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

$\alpha$  (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

$\beta$  (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

$\beta$  (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「—」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
AV273-1B	空気作動ボール弁	$\beta$ (S s)	1.9	2.3	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記\*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- $\alpha$  (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
- $\alpha$  (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
- $\beta$  (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
- $\beta$  (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「一」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	150A-CRD-1	43	34	431	12.67	—	43	29	376	12.96	—	—
2	CWT-R-10B	49	142	321	2.26	○	49	236	378	1.60	—	○
3	MUW-T-1A	35	140	468	3.34	—	35	219	410	1.87	—	—
4	FP-W-1	78	100	321	3.21	—	78	160	378	2.36	—	—
5	150A-FP-2	1A	140	366	2.61	—	1A	243	462	1.90	—	—
6	FP-T-1	28	77	321	4.16	—	28	136	378	2.77	—	—

## VI-2-別添 3 可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書

VI-2-別添 3-4 可搬型重大事故等対処設備のうちポンベ設備の耐震性  
についての計算書

VI-2-別添3-4-3 緊急時対策所換気空調系空気ボンベ加圧設備  
空気ボンベカードルの耐震性についての計算書

## 目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.3 解析モデル及び諸元	12
4.4 固有周期	17
4.5 設計用地震力	18
4.6 計算方法	19
4.7 計算条件	21
4.8 応力の評価	21
5. 波及的影響評価	22
5.1 波及的影響評価方法	22
6. 評価結果	22
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	22

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-別添3-1「可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」（以下「別添3-1」という。）の「2.2(2) ボンベ設備」にて設定している構造強度評価の方針に基づき、緊急時対策所換気空調系空気ボンベ加圧設備 空気ボンベカードル（以下「ボンベカードル」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有するとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

ボンベカードルは、重大事故等対処設備においては重大事故緩和設備のうち可搬型のものに分類される。以下、可搬型重大事故等対処設備としての構造強度評価及び波及的影響評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

ボンベカードルの構造計画を表2-1に示す。



表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンベカードルのフレームは、取付ボルトにて取付架台に設置する。取付架台は、溶接にて埋込金物に固定する。</p>	<p>ポンベカードルは、溶接及びボルトにて組み立てたフレームにポンベ(30本)を固定する構造である。</p>	<p style="text-align: center;">ポンベカードル (単位: mm)</p>

## 2.2 評価方針

ボンベカードルの応力評価は、別添3-1の「2.2 評価方針」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」にて示すボンベカードルの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、ボンベカードルの波及的影響評価は、別添3-1の「2.2(2) ボンベ設備」にて設定した波及的影響評価の方針に基づき、基準地震動 $S_s$ による地震力に対し、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、「5. 波及的影響評価」に示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

ボンベカードルの耐震評価フローを図2-1に示す。

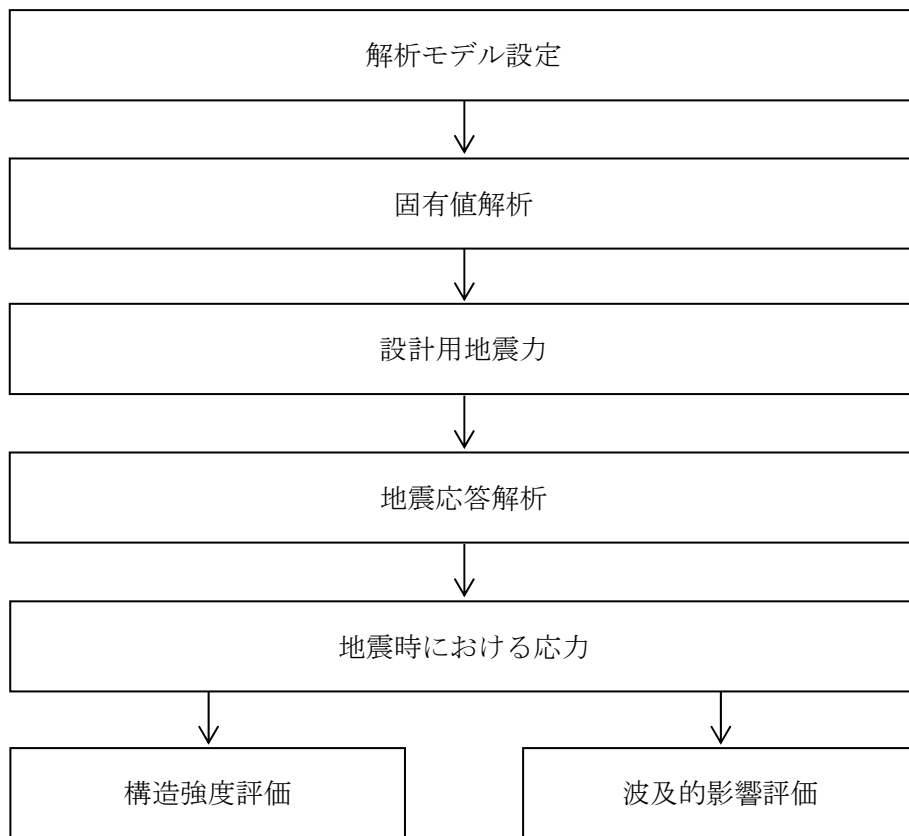


図2-1 ボンベカードルの耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_b$	取付ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	取付ボルトの呼び径	mm
$E_1$	縦弾性係数（フレーム，取付架台）	MPa
$E_2$	縦弾性係数（ボンベ）	MPa
$F$	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$F_{bp}$	取付ボルトに作用する引張力	N
$f_{sb}$	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{tm}$	フレーム及び取付架台の許容引張応力	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受ける取付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取付ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
$I_y$	断面二次モーメント（y軸）	$\text{mm}^4$
$I_z$	断面二次モーメント（z軸）	$\text{mm}^4$
$m$	ボンベカードル全体（フレーム，取付架台，ボンベ含む）の質量	kg
$Q_{bp}$	取付ボルトに作用するせん断力	MPa
$S$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
$T$	温度条件	℃
$\nu$	ポアソン比	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma_a$	はり要素の軸応力	MPa
$\sigma_b$	はり要素の曲げ応力	MPa
$\sigma_x$	シェル要素のX方向応力	MPa
$\sigma_y$	シェル要素のY方向応力	MPa
$\sigma_s$	シェル要素の組合せ応力	MPa
$\tau$	はり要素のせん断応力	MPa
$\tau_{xy}$	シェル要素のせん断応力	MPa
$\sigma_{bp}$	取付ボルトに作用する引張応力	MPa
$\tau_{bp}$	取付ボルトに作用するせん断応力	MPa

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 <sup>*2</sup>	四捨五入	小数点以下第1位 <sup>*3</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
モーメント		N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*4</sup>
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 <sup>*5</sup>		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

ボンベカードルの耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるボンベカードルを構成するフレーム及び取付架台の最弱部及び取付ボルトについて実施する。

ボンベカードルの耐震評価部位については、表2-1の概略構造図に示す。

### 4. 地震応答解析及び構造強度評価

#### 4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、ボンベカードルに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとし、強度評価において組み合わせるものとする。
- (2) ボンベカードルに収納、固定される配管、弁類及び遮光パネルの質量は、各々組込む位置に相当する各節点に付加する。
- (3) フレームは、床に設置した取付架台に取付ボルトにて固定されるため、フレームと取付架台は取付ボルト位置で結合条件を設定する。
- (4) 取付架台は溶接により床面に設定した埋込金物に固定していることから、この溶接箇所を X, Y, Z の3方向固定（完全拘束）とする。
- (5) ボンベ本体は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して転倒しないことを目的としたボンベカードルに、フレーム及びボルトにて固定され収納されている。ここで、ボンベ本体は高圧ガス適用品であり、一般的な圧力容器に比べ、高い耐圧強度を有することから、はるかに剛性が高いものであるが、解析上、断面性状を考慮したはり要素としてモデル化する。
- (6) 各ボンベから配管への接続管は、接続を容易にするため可とう性をもつ形状としていること、地震時にはボンベと配管の相対変位は微小であることから、地震時の変位を十分吸収できるものとする。
- (7) ボンベカードルを構成する鋼材をシェル要素及びはり要素としてモデル化した3次元 FEM モデルによる固有値解析を実施する。
- (8) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

## 4.2 荷重の組合せ及び許容応力

### 4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ボンベカードルの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

### 4.2.2 許容応力

ボンベカードルの許容応力は、別添3-1の「3.2 許容限界」に基づき表4-2に示す。

### 4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ボンベカードル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
放射線 管理施設	換気設備	緊急時対策所 換気空調系 空気ポンベ 加圧設備 空気ポンベ カードル	可搬／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記\*1：「可搬／緩和」は重大事故緩和設備のうち可搬型のものを示す。

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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



表4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> * <sup>*</sup>	1.5・f <sub>t</sub> * <sup>*</sup>	1.5・f <sub>s</sub> * <sup>*</sup>
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> 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 (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
フレーム	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	—	245	400	—
	STKR400			—	245	400	—
取付架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	—	245	400	—
取付ボルト	SS400 (40mm < 径 ≤ 100mm)	周囲環境温度	40	—	215	400	—

#### 4.3 解析モデル及び諸元

ポンベカードルの解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を表4-4、本計算書の【ポンベカードル(U84-D003-1～17)の耐震性についての計算結果】及び【ポンベカードル(U84-D003-18)の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) ポンベカードルを構成する鋼材をシェル要素及びはり要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) ポンベカードルのフレームは取付架台に取付ボルトで固定する。取付架台は溶接により床面に設定した埋込金物に固定していることから、この溶接箇所をX、Y、Zの3方向固定（完全拘束）として拘束条件を設定する。
- (3) ポンベ、フレーム及び取付架台の質量は、各々の質量をモデル体積で除した密度をモデル全体に分布させることにより与えるものとする。
- (4) 解析コードは、「ABAQUS」を使用し、固有値、ポンベカードル及び取付架台の応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

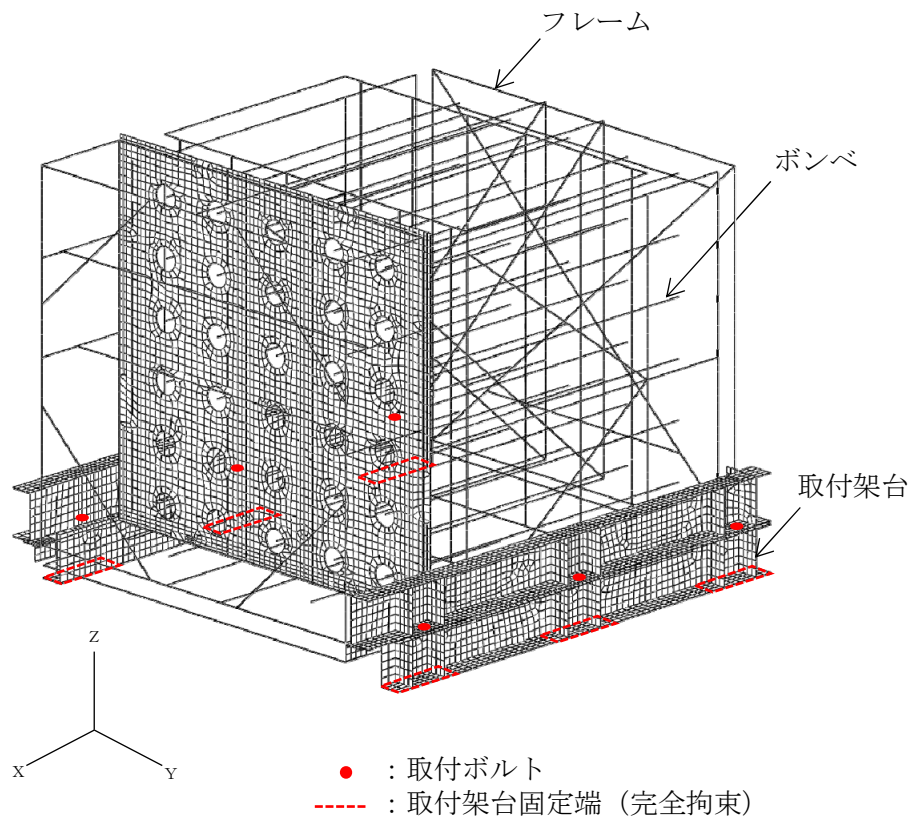


図4-1 解析モデル（ポンベカードル）

表4-4 解析モデルの諸元 (1/4)

項目	記号	単位	入力値
材質 (ポンベ)	—	—	クロムモリブデン鋼
材質 (フレーム, 取付架台)	—	—	SS400
材質 (取付ボルト)	—	—	SS400
温度条件 (周囲環境温度)	T	°C	40
縦弾性係数 (フレーム, 取付架台)	$E_1$	MPa	$2.02 \times 10^5$
縦弾性係数 (ポンベ)	$E_2$	MPa	$2.04 \times 10^5$
ポアソン比	$\nu$	—	0.3
ポンベカードルの質量	m	kg	4698
ポンベ数	—	本	30
寸法	—	—	表2-1
要素数	—	個	15142
節点数	—	個	15756

表4-4 解析モデルの諸元 (2/4)

部材	番号	要素番号	材質	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント		密度 (kg/mm <sup>3</sup> )
							I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	
ポンベ	1	13615~15084	クロム モリブ デン鋼	ポンベ φ232×5.7	2.04×10 <sup>5</sup>	4.052×10 <sup>3</sup>	2.596×10 <sup>7</sup>	2.596×10 <sup>7</sup>	1.302×10 <sup>-11</sup>
フレーム	2	1~1138, 1235~1374, 2431~2678	SS400	溝形鋼 125×65×6×8	2.02×10 <sup>5</sup>	1.711×10 <sup>3</sup>	4.240×10 <sup>6</sup>	6.180×10 <sup>5</sup>	9.991×10 <sup>-12</sup>
	3	1139~1234	STKR400	角形鋼管 125×75×6	2.02×10 <sup>5</sup>	2.163×10 <sup>3</sup>	4.280×10 <sup>6</sup>	1.920×10 <sup>6</sup>	9.991×10 <sup>-12</sup>
	4	1375~1438	SS400	山形鋼 65×65×6	2.02×10 <sup>5</sup>	7.527×10 <sup>2</sup>	2.940×10 <sup>5</sup>	2.940×10 <sup>5</sup>	9.991×10 <sup>-12</sup>
	5	1439~1454, 1591~2360, 15085~15111, 2757~2858	SS400	山形鋼 50×50×6	2.02×10 <sup>5</sup>	5.644×10 <sup>2</sup>	1.260×10 <sup>5</sup>	1.260×10 <sup>5</sup>	9.991×10 <sup>-12</sup>
	6	1455~1518	SS400	山形鋼 150×65×19	2.02×10 <sup>5</sup>	3.724×10 <sup>3</sup>	9.464×10 <sup>5</sup>	8.240×10 <sup>6</sup>	9.991×10 <sup>-12</sup>
	7	1519~1590	SS400	山形鋼 50×50×8	2.02×10 <sup>5</sup>	7.360×10 <sup>2</sup>	1.657×10 <sup>5</sup>	1.657×10 <sup>5</sup>	9.991×10 <sup>-12</sup>
	8	2361~2414	SS400	山形鋼 50×30×6	2.02×10 <sup>5</sup>	4.440×10 <sup>2</sup>	2.970×10 <sup>4</sup>	1.100×10 <sup>5</sup>	9.991×10 <sup>-12</sup>

表4-4 解析モデルの諸元 (3/4)

部材	番号	要素番号	材質	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント		密度 (kg/mm <sup>3</sup> )
							I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	
フレーム	9	2415~2430	SS400	板 38×9	$2.02 \times 10^5$	$3.420 \times 10^2$	$4.115 \times 10^4$	$2.309 \times 10^3$	$9.991 \times 10^{-12}$
	10	2679~2756	SS400	溝形鋼 100×50×5×7.5	$2.02 \times 10^5$	$1.192 \times 10^3$	$1.880 \times 10^6$	$2.600 \times 10^5$	$9.991 \times 10^{-12}$
	11	2859~3946	STKR400	角形鋼管 50×50×3.2	$2.02 \times 10^5$	$5.727 \times 10^2$	$2.040 \times 10^5$	$2.040 \times 10^5$	$9.991 \times 10^{-12}$
	12	3947~4018, 4024~4073, 4080~4129, 4131~4419, 4425~4474, 4481~4530, 4532~4578	SS400	M20	$2.02 \times 10^5$	$3.142 \times 10^2$	$7.854 \times 10^3$	$7.854 \times 10^3$	$9.991 \times 10^{-12}$
	13	4019~4023, 4074~4079, 4130, 4420~4424, 4475~4480, 4531	SS400	M20	$2.02 \times 10^5$	$3.142 \times 10^2$	$7.854 \times 10^3$	$7.854 \times 10^3$	$9.991 \times 10^{-12}$

表4-4 解析モデルの諸元 (4/4)

部材	番号	要素番号	材質	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント		密度 (kg/mm <sup>3</sup> )
							I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )	
取付架台	14	4579~7054, 7455~9542	SS400	溝形鋼 200×90×8× 13.5	2.02×10 <sup>5</sup>	—	—	—	1.250×10 <sup>-8</sup>
	15	7055~7342, 9543~9830	SS400	板 80×9	2.02×10 <sup>5</sup>	—	—	—	1.250×10 <sup>-8</sup>
	16	7343~7454	SS400	山形鋼 65×65×6	2.02×10 <sup>5</sup>	—	—	—	1.250×10 <sup>-8</sup>
	17	9831~13174	SS400	16t	2.02×10 <sup>5</sup>	—	—	—	1.250×10 <sup>-8</sup>
	18	13175~13614	SS400	32×9	2.02×10 <sup>5</sup>	—	—	—	1.250×10 <sup>-8</sup>

#### 4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-5に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。また、振動モード図（1次）を図4-2に示す。

表 4-5 固有値解析結果

機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Y方向	
ポンベ カードル	1次	水平	0.036	—	—	—

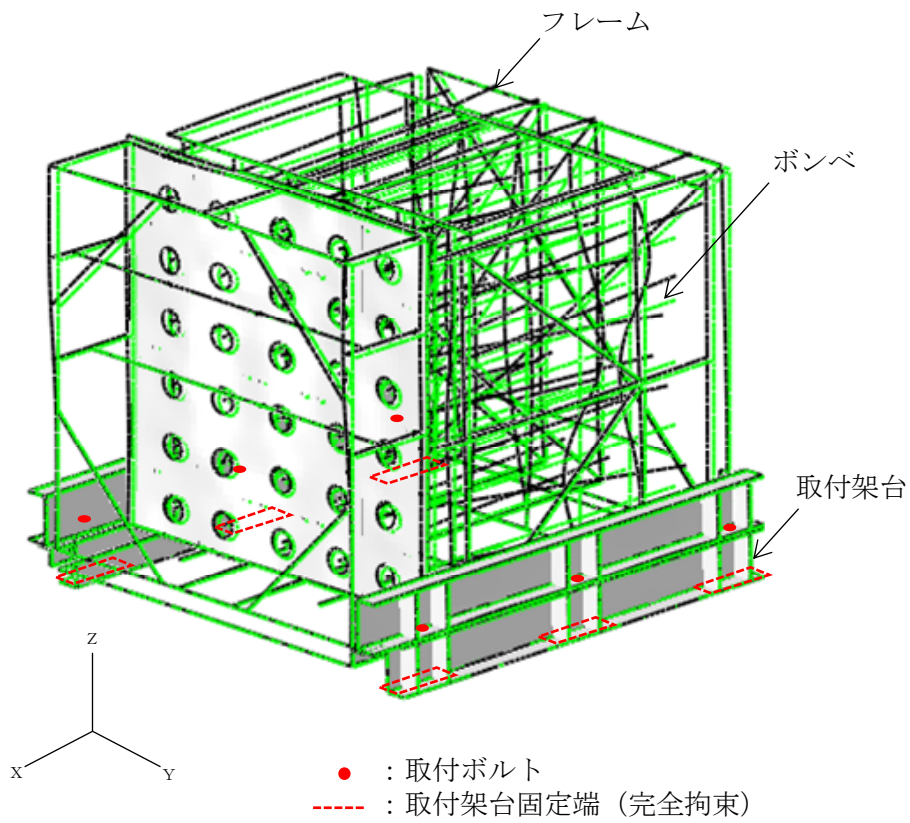


図4-2 振動モード図（1次）（ポンベカードル）



#### 4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4-6に示す。

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、VI-2-別添3-2「可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動」に基づき設定する。

表 4-6 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
ポンベ カードル (U84-D003-1～ 17)	第1保管エリア EL 50.49 (EL 50.0 <sup>*1</sup> )	0.036	0.05 以下	—	—	$C_H=1.50^{*2}$	$C_V=1.05^{*2}$
ポンベ カードル (U84-D003-18)	第4保管エリア EL 8.5 (EL 8.5 <sup>*1</sup> )	0.036	0.05 以下	—	—	$C_H=1.50^{*2}$	$C_V=1.05^{*2}$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動  $S_s$ ）を上回る設計震度

## 4.6 計算方法

## 4.6.1 応力の計算方法

## 4.6.1.1 フレーム（はり要素）の応力

フレームの応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X，Y）を考慮し、シェル要素及びはり要素による解析結果を用いる。ここで、はり要素の組合せ応力の算出式は下記による。

応力の種類	単位	応力算出式
組合せ応力	MPa	$\sqrt{(\sigma_a + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2}$

## 4.6.1.2 フレーム（シェル要素）及び取付架台の応力

フレーム及び取付架台の応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X，Y）を考慮し、シェル要素及びはり要素による解析結果を用いる。ここで、シェル要素の組合せ応力の算出式は下記による。

応力の種類	単位	応力算出式
組合せ応力	MPa	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3 \cdot \tau_{xy}^2}$

## 4.6.1.3 取付ボルトの応力

取付ボルトの応力は、解析結果で得られた反力から理論式により引張応力及びせん断応力を算出する。

解析で得られた取付ボルト部の反力を表4-7に示す。

表4-7 取付ボルト発生反力 (単位：N)

機器名称	反力	
	F <sub>bp</sub>	Q <sub>bp</sub>
ボンベカードル	3.166×10 <sup>4</sup>	1.887×10 <sup>4</sup>

## (1) 引張応力

取付ボルトの引張応力を以下のとおり計算する。

引張応力

$$\sigma_{b p} = \frac{F_{b p}}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

取付ボルトの軸断面積 $A_b$ は、次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

## (2) せん断応力

取付ボルトのせん断応力を以下のとおり計算する。

せん断応力

$$\tau_{b p} = \frac{Q_{b p}}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（ボンベカードル）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【ボンベカードル(U84-D003-1～17)の耐震性についての計算結果】及び【ボンベカードル(U84-D003-18)の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 フレーム及び取付架台の応力評価

4.6.1.1項及び4.6.1.2項で求めた各応力が許容応力以下であること。ただし、許容組合せ応力は $f_{tm}$ 以下であること。

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

4.8.2 取付ボルトの応力評価

4.6.1.3項で求めた取付ボルトの引張応力 $\sigma_{bp}$ は、次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$ 以下であること。ただし、 $f_{to}$ は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (4.8.2.1)$$

せん断応力 $\tau_{bp}$ はせん断力のみを受ける取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力 $f_{sb}$ 以下であること。ただし、 $f_{sb}$ は下表による。

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

## 5. 波及的影響評価

### 5.1 波及的影響評価方法

ボンベカードルは、別添3-1の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響評価を実施する。

ボンベカードルの波及的影響評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位が、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重の組合せに対し、許容応力を満足することを、「4.5 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「4.6 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

## 6. 評価結果

### 6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ボンベカードル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、波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

#### (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。

また、ボンベカードルの最大応力発生箇所を図6-1及び図6-2に示す。

#### (2) 波及的影響評価結果

波及的影響評価の結果を次頁以降の表に示す。

## 【ボンベカードル(U84-D003-1～17)の耐震性についての計算結果】

## 1. 重大事故等対処設備

## 1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
ボンベカードル	可搬/緩和	第1保管エリア EL 50.49 (EL 50.0* <sup>1</sup> )	0.036	0.05以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.50* <sup>2</sup>	C <sub>V</sub> =1.05* <sup>2</sup>	—	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

## 1.2 機器要目

m (kg)	E <sub>1</sub> (MPa)	E <sub>2</sub> (MPa)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	ν
4698	2.02×10 <sup>5</sup>	2.04×10 <sup>5</sup>	24 (M24)	452.4	0.3

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム	SS400 (厚さ≤16mm)	245	400	—	280
	STKR400	245	400	—	280
取付架台	SS400 (厚さ≤16mm)	245	400	—	280
取付ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	215	400	—	258

## 1.3 計算数値

## 1.3.1 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{bp}$		$Q_{bp}$	
	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	—	$3.166 \times 10^4$	—	$1.887 \times 10^4$

## 1.4 結論

## 1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.036
鉛直方向	0.05以下

## 1.4.2 応力及び波及的影響評価

(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 $S_s$		評価結果
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
フレーム	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s = 150$	$f_{tm} = 280$	○
取付架台			—	—	$\sigma_{bp} = 70$	$f_{ts} = 193$	○
取付ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_{bp} = 70$	$f_{ts} = 193$	○
		せん断	—	—	$\tau_{bp} = 42$	$f_{sb} = 148$	○

すべて許容応力以下である。

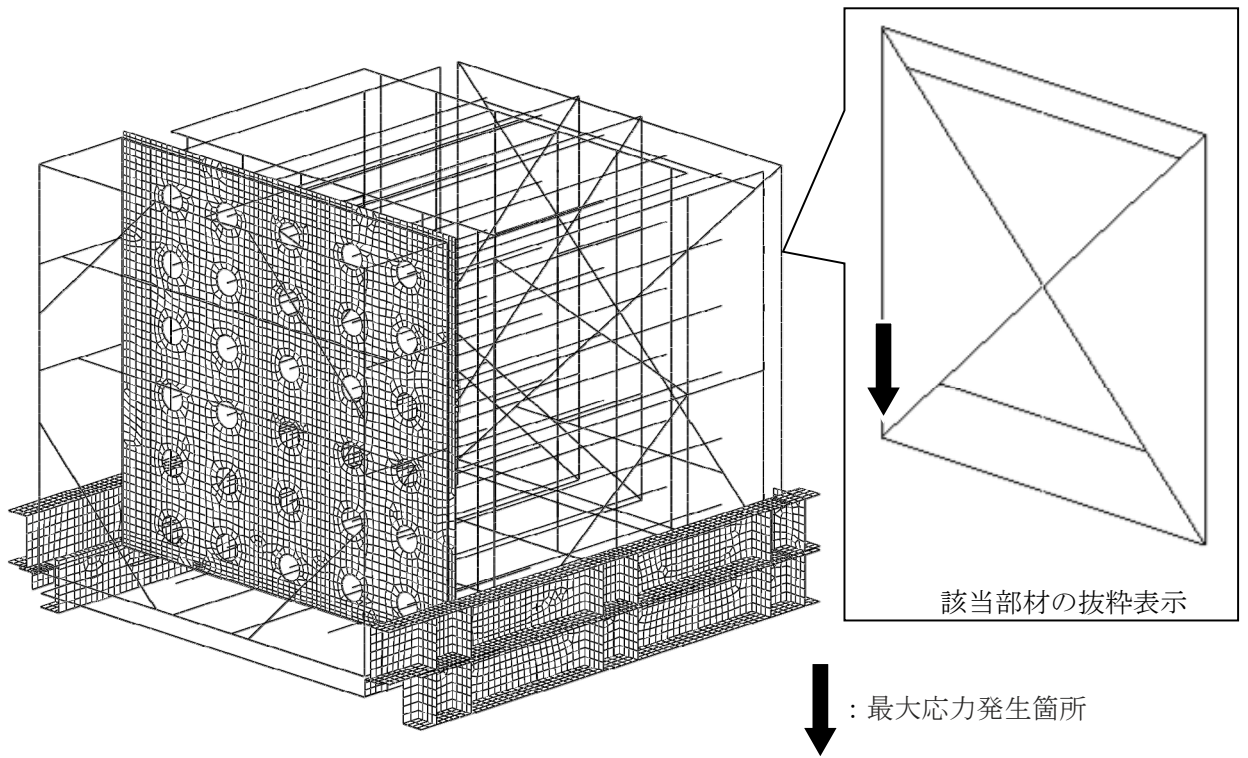
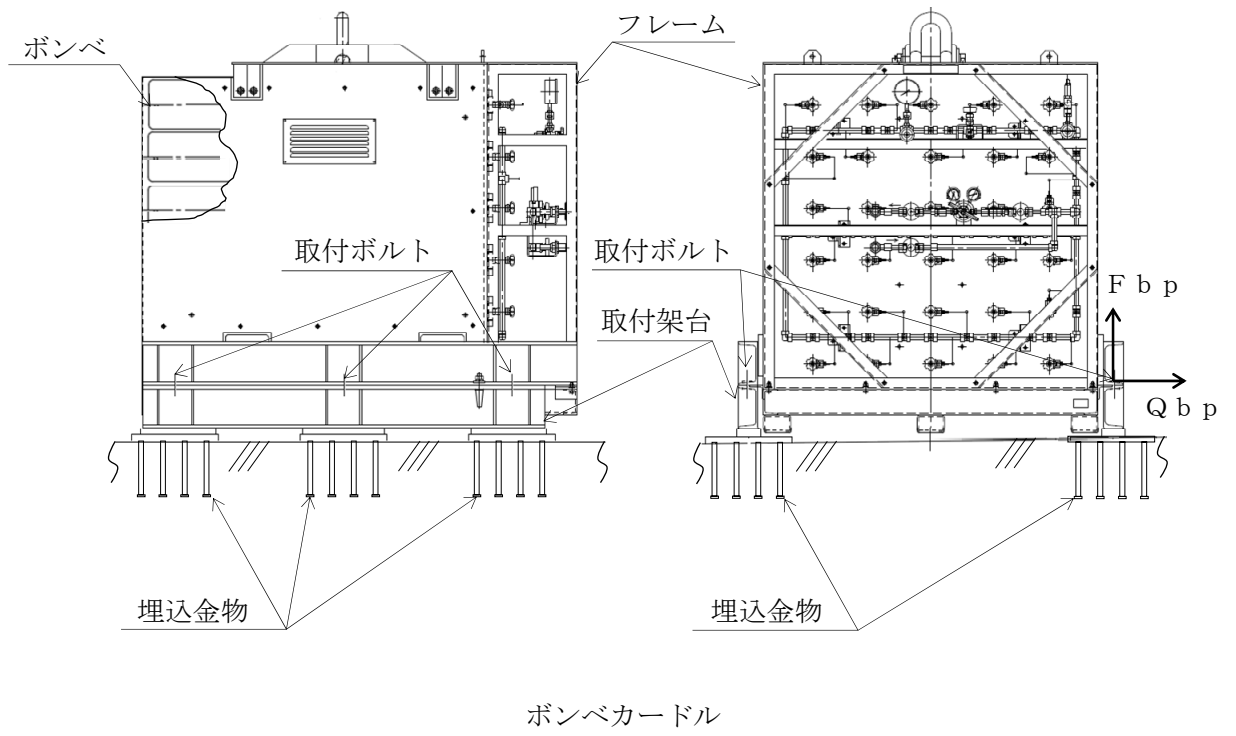


図6-1 ポンベカードルの最大応力発生箇所



【ボンベカードル(U84-D003-18)の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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		
ボンベカードル	可搬/緩和	第4保管エリア EL 8.5 (EL 8.5* <sup>1</sup> )	0.036	0.05以下	—	—	C <sub>H</sub> =1.50* <sup>2</sup>	C <sub>V</sub> =1.05* <sup>2</sup>	—	40

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

2.2 機器要目

m (kg)	E <sub>1</sub> (MPa)	E <sub>2</sub> (MPa)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	ν
4698	2.02×10 <sup>5</sup>	2.04×10 <sup>5</sup>	24 (M24)	452.4	0.3

部材	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
フレーム	SS400 (厚さ≤16mm)	245	400	—	280
	STKR400	245	400	—	280
取付架台	SS400 (厚さ≤16mm)	245	400	—	280
取付ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	215	400	—	258

## 2.3 計算数値

## 2.3.1 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{bp}$		$Q_{bp}$	
	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	—	$3.166 \times 10^4$	—	$1.887 \times 10^4$

## 2.4 結論

## 2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.036
鉛直方向	0.05以下

## 2.4.2 応力及び波及的影響評価

(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 $S_s$		評価結果
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
フレーム	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s = 150$	$f_{tm} = 280$	○
取付架台			—	—	$\sigma_{bp} = 70$	$f_{ts} = 193$	○
取付ボルト	SS400	引張	—	—	$\tau_{bp} = 42$	$f_{sb} = 148$	○
		せん断	—	—			○

すべて許容応力以下である。

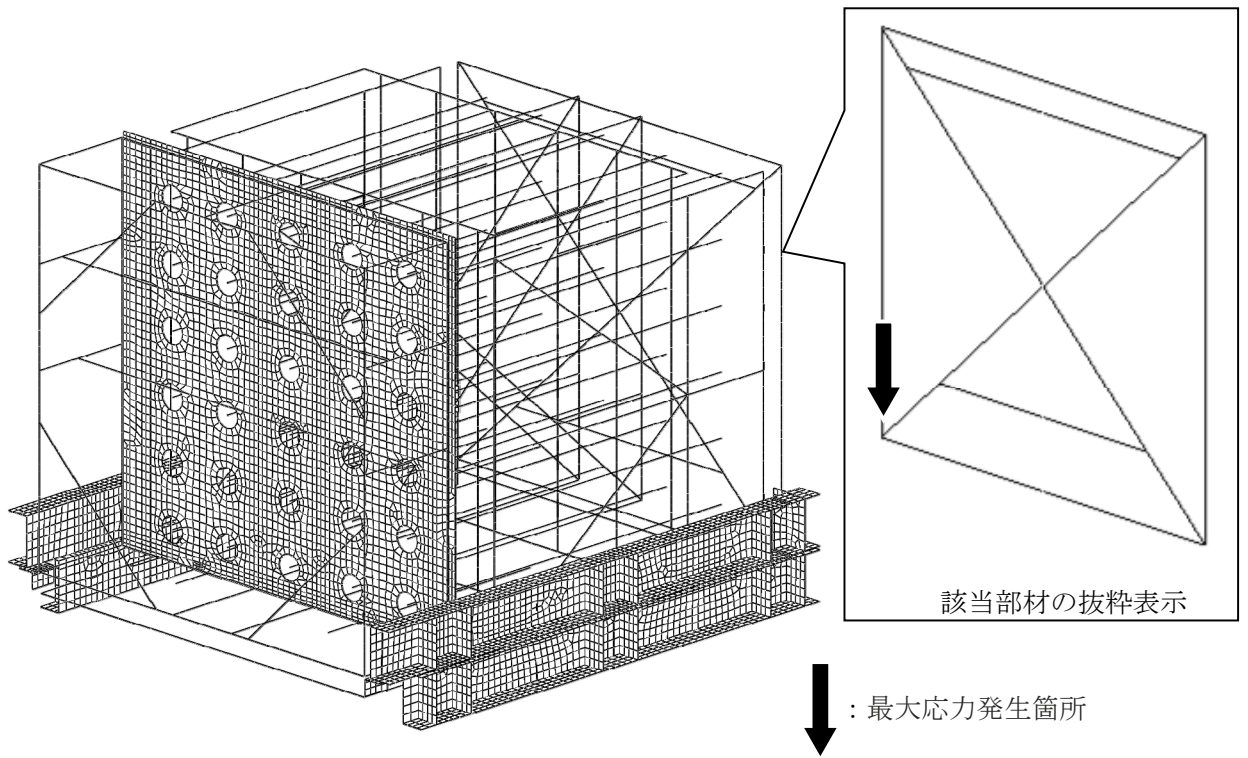
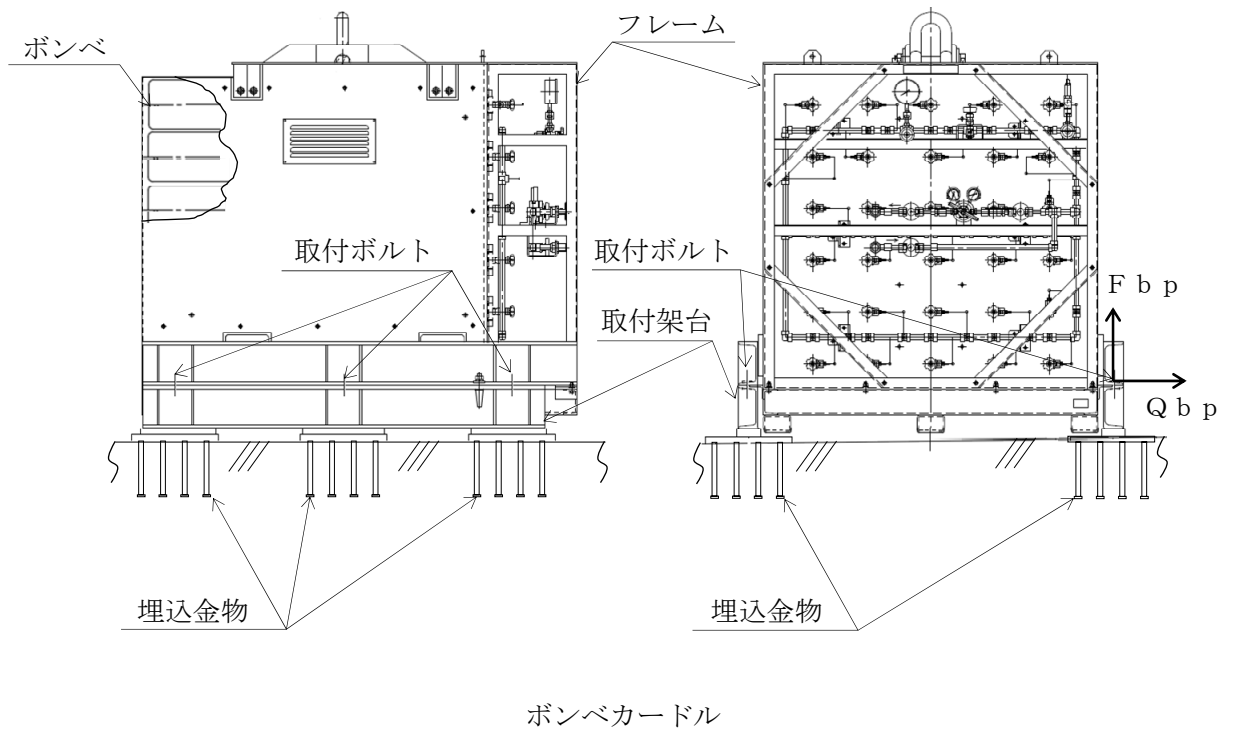


図6-2 ポンベカードルの最大応力発生箇所

## VI-2-別添 4 地下水位低下設備の耐震性に関する説明書

## VI-2-別添 4-1 地下水位低下設備の耐震計算の方針

## 目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価の基本方針	2
2.1 評価対象施設	2
3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界	8
3.1 荷重及び荷重の組合せ	8
3.1.1 荷重の種類	8
3.1.2 荷重の組合せ	8
3.2 許容限界	8
4. 耐震評価方法	12
4.1 地震応答解析	12
4.2 耐震評価	13
4.2.1 耐震評価方法	13
4.3 機能維持評価	14
4.3.1 動的機能の維持	14
4.3.2 電氣的機能の維持	14
4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮	14
4.5 波及的影響の考慮	14
5. 適用規格・基準等	15

## 1. 概要

本資料は、地下水位低下設備が「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」第5条及び12条並びに「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する解釈」に適合する設計とするため、VI-2-1-1-別添1「地下水位低下設備の設計方針」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、地下水位低下設備が基準地震動 $S_s$ による地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

地下水位低下設備の耐震計算結果は、VI-2-別添4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」、VI-2-別添4-3-1「揚水ポンプの耐震性についての計算書」、VI-2-別添4-3-2「管の耐震性についての計算書（地下水位低下設備）」、VI-2-別添4-3-3「地下水位低下設備水位計の耐震性についての計算書」、VI-2-別添4-3-4「地下水位低下設備制御盤の耐震性についての計算書」、VI-2-別添4-3-5「揚水井戸の耐震性についての計算書」及びVI-2-別添4-3-6「ドレーンの耐震性についての計算書」に示す。

耐震重要度分類における取扱いは、VI-2-1-4「耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」に示す。

## 2. 耐震評価の基本方針

耐震評価は、「2.1 評価対象施設」に示す評価対象施設を対象として、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で示す基準地震動 $S_s$ による地震力と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重により生じる応力又は荷重（以下「応力等」という）が、「3.2 許容限界」で示す許容限界内にあることを「4. 耐震評価方法」に示す評価方法を使用し、「5. 適用規格・基準等」に示す適用規格・基準等を用いて確認する。

地下水位低下設備は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、その機能を維持できる設計とすることを踏まえ、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせることで評価を実施する。影響評価方法は「4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

### 2.1 評価対象施設

評価対象施設は、地下水位低下設備を構成する揚水ポンプ、配管、水位計、制御盤、揚水井戸及びドレーンを対象とする。地下水位低下設備の構造（配管を除く）を表 2-1～表 2-5 に示す。



表 2-1 構造概要 (揚水ポンプ)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>揚水ポンプは、ポンプ支持架台に取付ボルトで固定し、ポンプ支持架台は揚水井戸床面の埋込金物に溶接で設置する。</p>	<p>水中ポンプ</p>	<p>The drawing consists of three views:         <ul style="list-style-type: none"> <li><b>正面 (Front View):</b> Shows the pump assembly on a support frame. The pump is labeled '揚水ポンプ'. The support frame is labeled 'ポンプ支持架台'. The frame is attached to a base labeled '埋込金物' (embedment) via '溶接' (welding). The mounting bolts are labeled '取付ボルト'. A vertical dimension of 870 mm is shown from the base to the top of the pump.</li> <li><b>平面 (Plan View):</b> Shows the top-down view of the pump and support frame. The overall width is 1590 mm and the height is 1488 mm.</li> <li><b>矢視 (Arrow View):</b> Shows the pump and support frame from a side perspective.</li> </ul> </p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-2 構造概要 (水位計)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>水位計は、取付ボルトにより水位計架台に固定される。</p> <p>水位計架台は、壁面の後打金物に溶接で設置する。</p> <p>後打金物は、基礎ボルトにより壁面に固定する。</p>	<p>圧力式水位検出器</p>	<p>正面 (水平方向)</p> <p>側面 (鉛直方向)</p> <p>水位計架台</p> <p>水位計</p> <p>取付ボルト</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>溶接</p> <p>後打金物</p> <p>壁</p> <p>(単位: mm)</p>

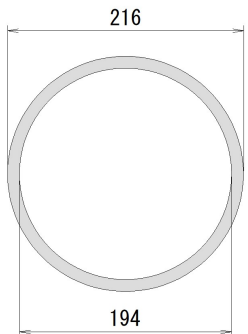
表 2-3 構造概要 (制御盤)

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>制御盤は、取付ボルトによりチャンネルベースに設置する。</p> <p>チャンネルベースは、調整材を介し、溶接で後打金物に固定する。</p> <p>後打金物は、基礎ボルトにより床に設置する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>制御盤 A</th> <th>制御盤 B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>1000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>1000</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>2000</td> <td>2000</td> </tr> </tbody> </table> <p>(長辺方向)</p> <p>(短辺方向)</p>	機器名称	制御盤 A	制御盤 B	たて	1000	1000	横	1000	1000	高さ	2000	2000
機器名称	制御盤 A	制御盤 B												
たて	1000	1000												
横	1000	1000												
高さ	2000	2000												

(単位 : mm)



表 2-5 構造概要 (ドレーン)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
ドレーンは、揚水井戸を起点として岩盤内に設置する。	ドレーン	 <p>(単位 : mm)</p>

### 3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

地下水位低下設備の耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せを「3.1 荷重及び荷重の組合せ」に、許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

#### 3.1 荷重及び荷重の組合せ

##### 3.1.1 荷重の種類

耐震評価において考慮する荷重は以下のとおり。

(1) 常時作用する荷重 (D), 固定荷重 (G)

常時作用する荷重又は固定荷重は、持続的に生じる荷重であり、当該設備の自重や土圧とする。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重は、対象構造物上部に存在する施設・設備、積雪による荷重とする。

(3) 内圧荷重 ( $P_D$ )

内圧荷重は、当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重とする。

(4) 機械的荷重 ( $M_D$ )

機械的荷重は、当該設備に設計上定められた荷重とする。

(5) 地震荷重 ( $S_s$ )

地震荷重は、基準地震動  $S_s$  により定まる地震力とする。

##### 3.1.2 荷重の組合せ

荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す荷重の組合せを踏まえて設定する。

#### 3.2 許容限界

許容限界は、地下水位低下設備を構成する設備ごとに設定する。

地下水位低下設備を構成する機器・配管等の荷重の組合せ及び許容限界を表 3-1 に、揚水井戸及びドレーンの荷重の組合せ及び許容限界を表 3-2 に示す。

機器・配管等の評価対象部位とその許容限界の詳細は各計算書に示す。

評価対象部位の許容限界を表 3-3～表 3-5 に示す。

揚水井戸及びドレーンの評価項目は、各計算書にて評価対象部位の機能維持のための考え方を考慮して選定する。

表 3-1 機器・配管等の荷重の組合せ及び許容限界

施設名称	荷重の組合せ	評価部位	応力等の状態	限界状態	許容限界
揚水ポンプ	$D + P_D + M_D + S_s$	溶接部	引張 せん断 組合せ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
配管	$D + P_D + M_D + S_s$	管	一次応力 一次+二次応力 一次+二次+ピーク応力	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
		支持構造物	一次応力 一次+二次応力		
水位計	$D + P_D + M_D + S_s$	基礎ボルト	引張 せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。
制御盤	$D + P_D + M_D + S_s$	取付ボルト 基礎ボルト	引張 せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	許容応力状態Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容応力以下とする。

表 3-2 揚水井戸及びドレーンの荷重の組合せ及び許容限界

施設名称	荷重の組合せ*1	評価部位	要求機能	機能維持のための考え方	許容限界
揚水井戸	G + P + S s	躯体	支持・閉塞防止機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界以下であることを確認</li> <li>地震後においても構造を保持し，内包する揚水ポンプ・配管・水位計を支持する必要があることから，許容限界には短期許容応力度を採用</li> </ul>	短期許容応力度
		基礎地盤		<ul style="list-style-type: none"> <li>地震時接地圧が許容限界以下であることを確認</li> </ul>	極限支持力*2
ドレーン		ドレーン*1	集水機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>地震後においても通水断面を維持する必要があることから，許容限界は概ね弾性状態と判断されるひずみ率を採用</li> </ul>	ひずみ率

注記\*1：ドレーンについては原子炉建物の基礎地盤安定性評価モデルの解析結果を用いて耐震評価を行う。

\*2：妥当な安全余裕を考慮する。



表 3-3 ボルトの許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
			一次応力	
			引張り	せん断
基礎ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
取付ボルト	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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

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

表 3-4 管の許容限界

評価対象 部位	荷重の 組合せ	許容応力 状態	許容限界			
			一次一般膜 応力	一次応力 (曲げ応力 を含む)	一次+二次 応力	一次+二次 +ピーク応力
管	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$0.6 \cdot S_u$	$0.9 \cdot S_u$	S <sub>s</sub> 地震動のみによる疲労解析*を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要。	

注記\*： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536 (1), (2), (4) 及び(5) (ただし、 $S_m$ は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3-5 揚水ポンプの許容限界

評価対象部位	荷重の組合せ	許容応力 状態	許容限界* (溶接部)
			一次応力
			せん断
溶接部	$D + P_D + M_D + S_s$	IVAS	$1.5 \cdot f_s^*$

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

#### 4. 耐震評価方法

地下水位低下設備の耐震評価は、「4.1 地震応答解析」、「4.2 耐震評価」、「4.3 機能維持評価」に従って実施する。

##### 4.1 地震応答解析

地下水位低下設備の耐震評価に用いる地震応答解析フローを図 4-1 に示す。

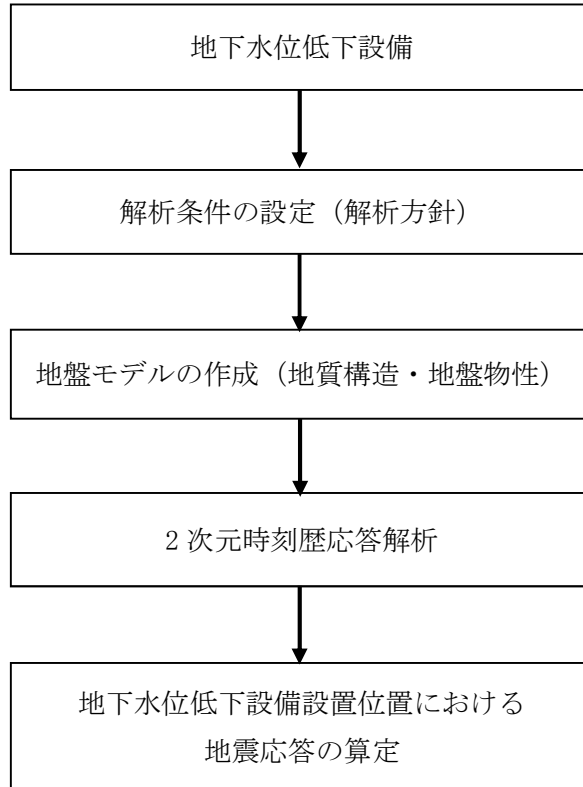


図 4-1 地下水位低下設備の地震応答解析フロー

## 4.2 耐震評価

地下水位低下設備は、「3.1 荷重及び荷重の組合せ」にて示す荷重の組合せに対して、「4.1 地震応答解析」で示した地震応答解析により応力等を算出し、「3.2 許容限界」にて設定している許容限界内であることを確認する。

### 4.2.1 耐震評価方法

揚水ポンプ、配管、水位計、制御盤、揚水井戸及びドレーンの評価方法について示す。

#### (1) 揚水ポンプ

評価対象の揚水ポンプについては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて示す評価方法及び原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 に準拠した評価方法により評価を行う。

#### (2) 配管

評価対象の配管については、VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」及びVI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

#### (3) 水位計

評価対象の水位計については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

#### (4) 制御盤

評価対象の制御盤は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

#### (5) 揚水井戸

評価対象の揚水井戸については、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

#### (6) ドレーン

評価対象のドレーンについては、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて示す評価方法に基づき評価を行う。

#### 4.3 機能維持評価

地下水位低下設備の構造強度に係る機能維持の方針は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」を準用する。

地下水位低下設備の構造強度に係る機能維持に係る耐震計算の方針は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」及び「4.1 動的機能維持」を準用する。

##### 4.3.1 動的機能の維持

地震時及び地震後に動的機能が要求される機器である地下水位低下設備のうち、揚水ポンプの動的機能評価については、耐震設計上の性能目標を踏まえ、基準地震動  $S_s$  による当該設備設置床の設計用床応答スペクトル若しくは設計用震度から求まる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確認する。

##### 4.3.2 電気的機能の維持

地震時及び地震後に電気的機能が要求される機器である地下水位低下設備のうち、水位計及び制御盤については、耐震設計上の性能目標を踏まえ、基準地震動  $S_s$  による当該設備設置床の設計用床応答スペクトル若しくは設計用震度から求まる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確認する。

#### 4.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の考慮

地下水位低下設備に関する水平 2 方向及び鉛直方向地震動の影響評価については、VI-2-1-8「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の評価方針及び評価方法に基づき行う。

#### 4.5 波及的影響の考慮

VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」の「3.3 波及的影響に対する考慮」に基づき、地下水位低下設備の耐震設計を行うに際して、下位クラス施設の波及的影響によって、それぞれの機能が損なわれないよう配慮する。

## 5. 適用規格・基準等

適用する規格としては、既工事計画で適用実績がある規格のほか、最新の規格基準についても技術的妥当性及び適用性を示したうえで適用可能とする。適用する規格、基準、指針等を以下に示す。

- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 J S M E S N C 1-2005/2007 ( (社) 日本機械学会)
- ・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 1-1987 ( (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)
- ・日本産業規格 ( J I S )
- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定)
- ・トンネル・ライブラリー第 27 号 シールド工用立坑の設計 ( (社) 土木学会, 2015 年)
- ・水理公式集 平成 11 年版 ( (社) 土木学会)
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ( (社) 日本建築学会, 2010 年)
- ・道路橋示方書・同解説 I 共通編・II 鋼橋編 ( (社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV 下部構造編 ( (社) 日本道路協会, 平成 14 年 3 月)
- ・水道用硬質ポリ塩化ビニル管技術資料(塩化ビニル・継手協会)

## VI-2-別添 4-3 地下水位低下設備の耐震性についての計算書

VI-2-別添 4-3-6 ドレーンの耐震性についての計算書

## 目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	5
2.4 適用規格・基準等	7
3. 耐震評価	8
3.1 評価対象部位	8
3.2 荷重及び荷重の組合せ	8
3.2.1 荷重	8
3.2.2 荷重の組合せ	11
3.2.3 設計用震度の設定	11
3.4 許容限界	14
3.5 評価方法	16
3.5.1 ドレーンの変形量算出方法	16
3.5.2 断面の評価方法	18
4. 評価結果	19
4.1 フレーム解析による評価結果	19



## 1. 概要

本資料は、VI-2-2-1-別添 1「地下水位低下設備の設計方針」で設定している構造強度の設計方針に基づき、地下水位低下設備のうちドレーンについて、地震時の構造強度を有していることを確認するものである。

ドレーンに要求される地下水の集水機能の維持を確認するに当たっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価を行う。

## 2. 基本方針

原子炉建物等の建物・構築物の耐震評価において、地下水位低下設備の効果进行期待した浸透流解析結果から設計地下水位及び設計揚圧力を設定しており、ドレーンについては、耐震性が確保されている前提で、大気圧解放状態として条件設定している。

本資料では、原子炉建物等の直下に設置するドレーンを対象に、地震時における構造強度の確認を行う。

### 2.1 位置

地下水位低下設備のうちドレーンの設置位置を図 2-1 に示す。

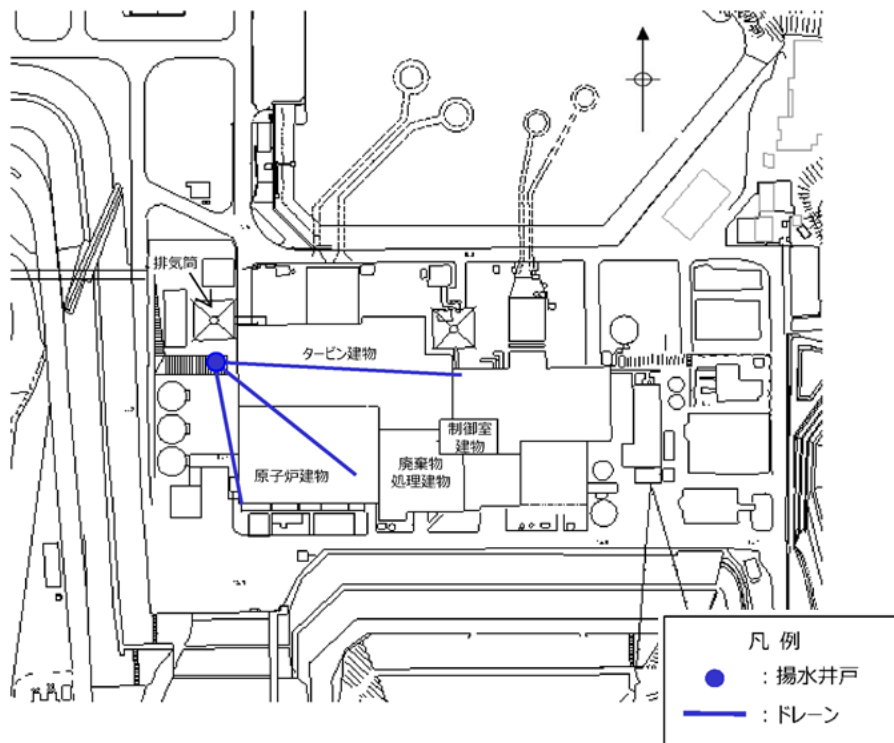


図 2-1 ドレーンの設置位置

## 2.2 構造概要

地下水位低下設備の構成概要を図 2-2 に、ドレーンの概略平面図及び断面図を図 2-3 に示す。ドレーンは原子炉建物等の下に配置するφ200mmの硬質ポリ塩化ビニル管であり、地下水位低下設備のうち揚水井戸を起点として建物側へ岩盤内に設置している。

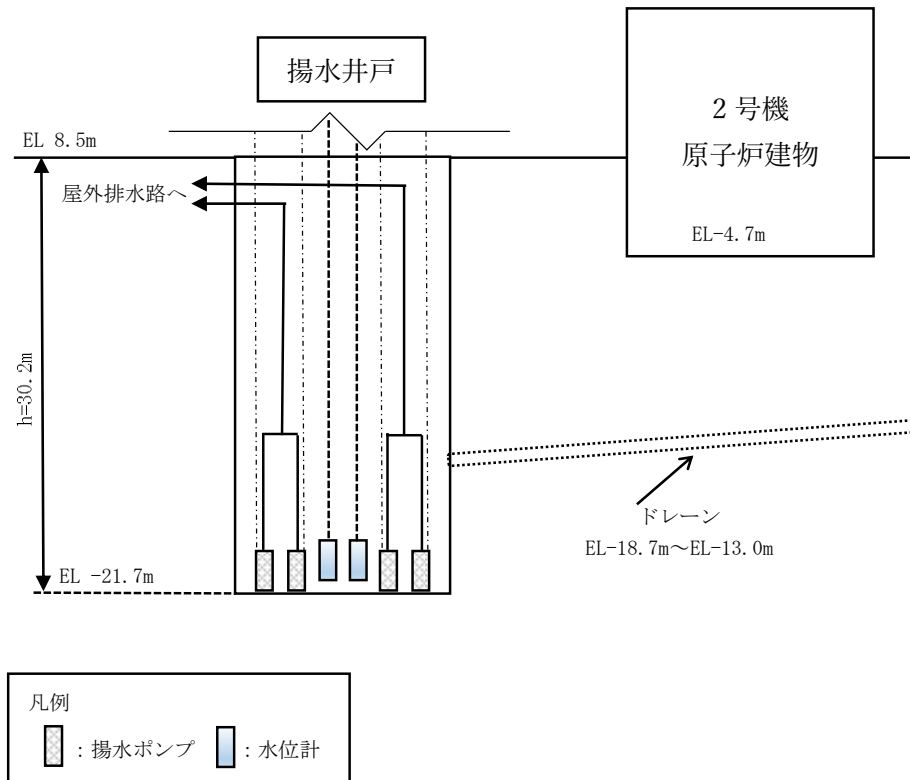
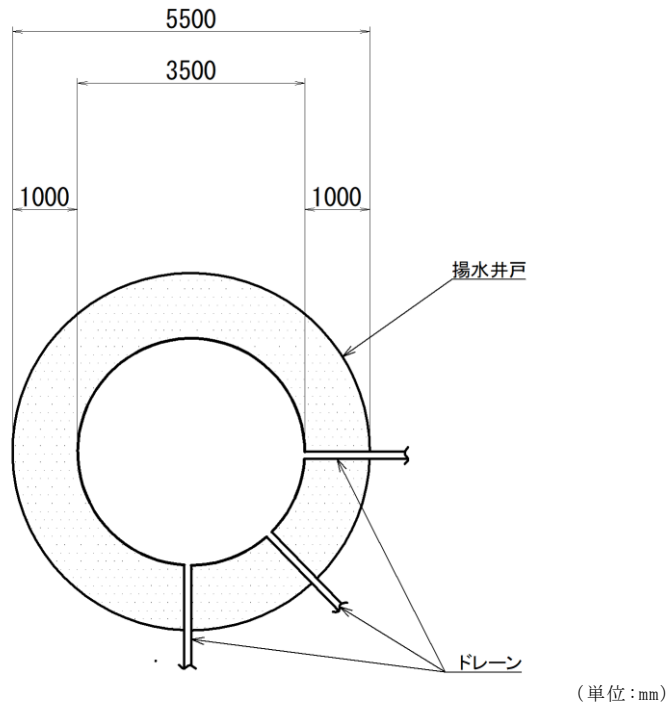
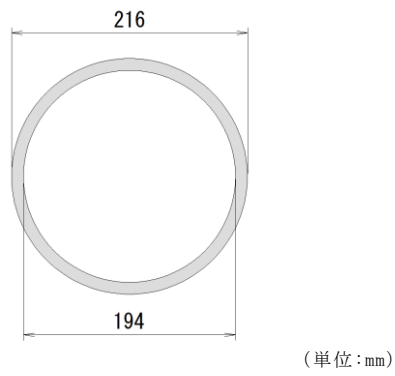


図 2-2 地下水位低下設備の構成概要



概略平面図 (揚水井戸, ドレーン)



概略断面図 (有孔管  $\phi 200$ )

図 2-3 ドレーンの概略平面図及び断面図

### 2.3 評価方針

地下水位低下設備は、建設時から地下水位低下設備を設置していた原子炉建物等の建物・構築物に作用する揚圧力の低減を目的とし、地下水位を一定の範囲に保持するために設置する。また、ドレーンを含む地下水位低下設備の耐震重要度分類はCクラスとして分類し、基準地震動 $S_s$ に対して機能維持する設計としている。

ドレーンは岩盤内に設置されており、地震時は地盤の挙動に追従すると考えられることから、「既発電用原子炉設置変更許可申請 添付書類六（原規規発第 2109152 号 令和 3 年 9 月 15 日許可）」に示す、原子炉建物の基礎地盤安定性評価に用いた 2 次元動的有限要素法の解析モデルより算出する地震力にて耐震評価を行う。

耐震評価は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対し、ドレーンに生じる変形量から算出される発生ひずみ率が、強度試験結果に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

ドレーンの評価フローを図 2-4 に示す。

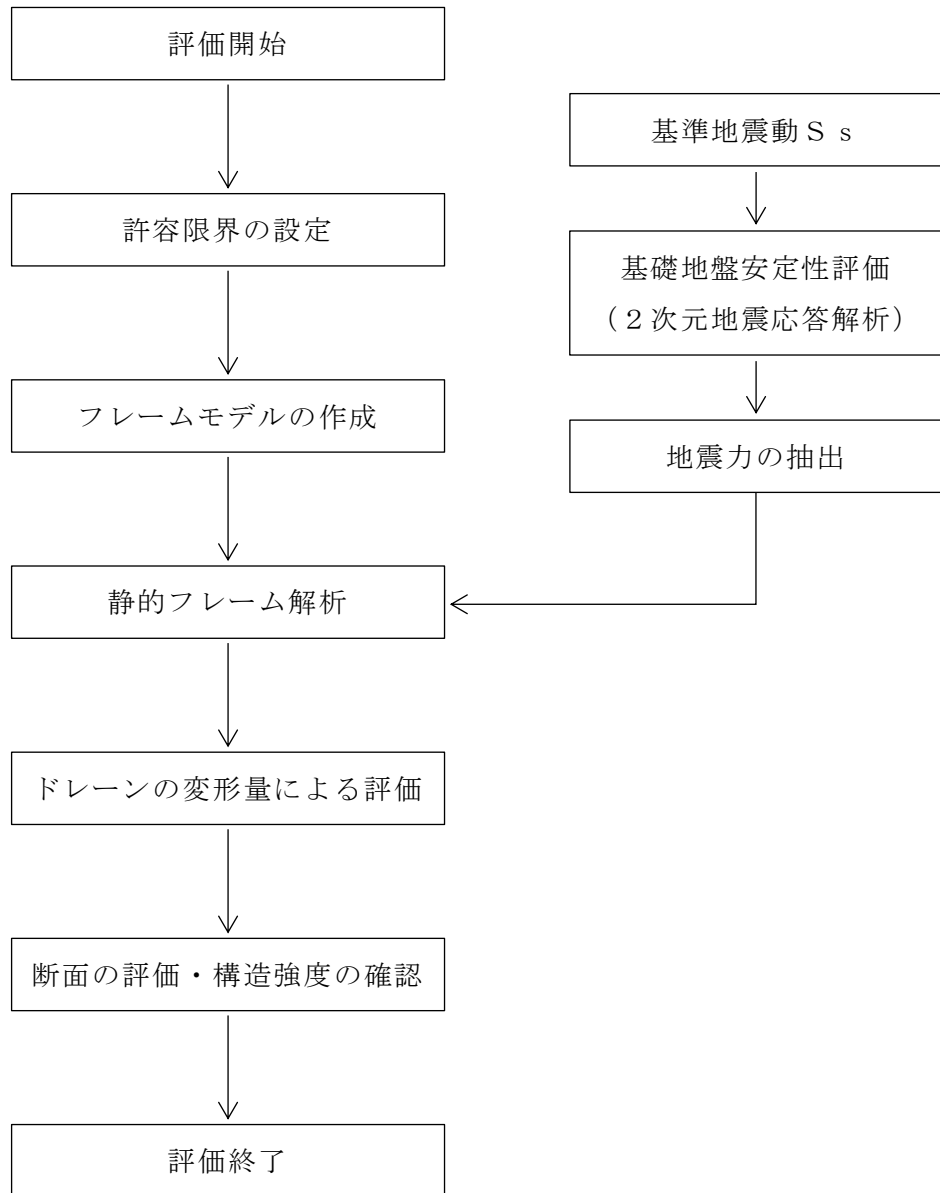


図 2-4 ドレーンの評価フロー

#### 2.4 適用規格・基準等

ドレーンの評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・水道用硬質ポリ塩化ビニル管技術資料(塩化ビニル・継手協会)
- ・日本産業規格(J I S)

### 3. 耐震評価

#### 3.1 評価対象部位

ドレーンは岩盤内に設置され、その一部は原子炉建物等の直下に位置するため、これらの構造物の荷重が岩盤を介して作用するものと考えられる。この時、構造物の重量が大きい程、ドレーンに作用する荷重も大きくなるため、ドレーンの設置範囲において重量の大きい原子炉建物の下に設置するドレーンを評価対象とする。

#### 3.2 荷重及び荷重の組合せ

##### 3.2.1 荷重

ドレーンに作用する荷重は、原子炉建物等の基礎底盤以深の岩盤を削孔した空隙内に設置されていることを踏まえ設定する。

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」において、原子炉建物の地震時接地圧  $2.01\text{N/mm}^2$  に対し、支持する岩盤の極限支持力は、 $9.8\text{N/mm}^2$  であり、十分な支持性能を有していることを確認している。したがって、ドレーンを設置する空隙は、地震時においても形状が保持されることが考えられることから、ドレーンには鉛直及び水平の土圧は作用しない。

##### (1) 固定荷重(G)

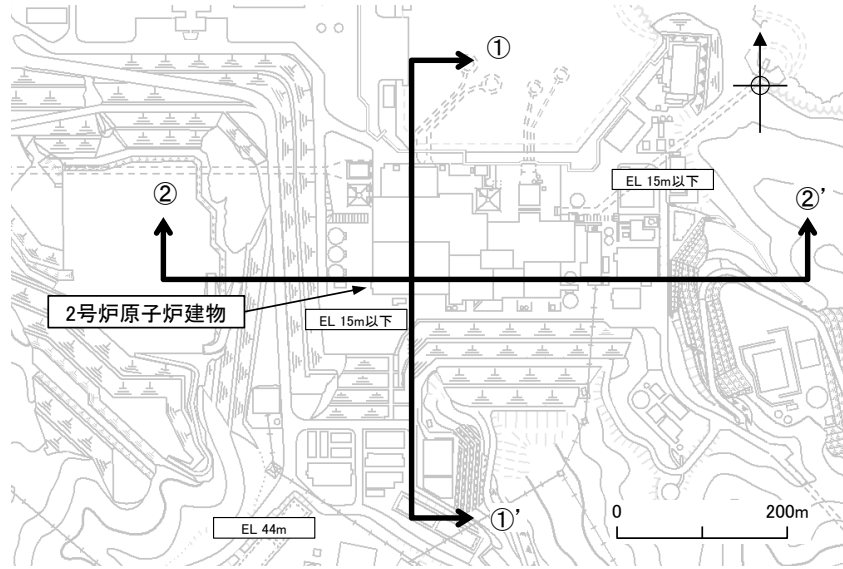
固定荷重としてドレーン自体の自重、及び保守的に岩盤とドレーン間の空隙内（以下「空隙内」という。）に砂があると仮定し、空隙内の砂による上載土荷重を考慮する。空隙内の砂の自重による鉛直荷重は軽微であり、空隙内の拘束力は小さいため、鉛直土圧による水平方向の土圧は見込まないものとする。水平土圧は、上載土荷重を打ち消す効果があるため、水平土圧を見込まない場合のひずみ率は、判定として保守的な値となる。

##### (2) 地震荷重(S s)

地震荷重は、地震時の原子炉建物及び地盤の応答を評価できる原子炉建物等の基礎地盤安定解析モデル（東西及び南北断面）より抽出する。抽出範囲は、ドレーンの設置範囲（EL-18.7m～EL-13.0m）を包絡するよう、ドレーン設置範囲の下端（EL-18.7m）から上端は保守的に原子炉建物の荷重が直接作用する原子炉建屋底面レベル（EL-4.7m）までとする。抽出した最大応答加速度から、ドレーンをモデル化したフレームモデルに静的に作用させる。

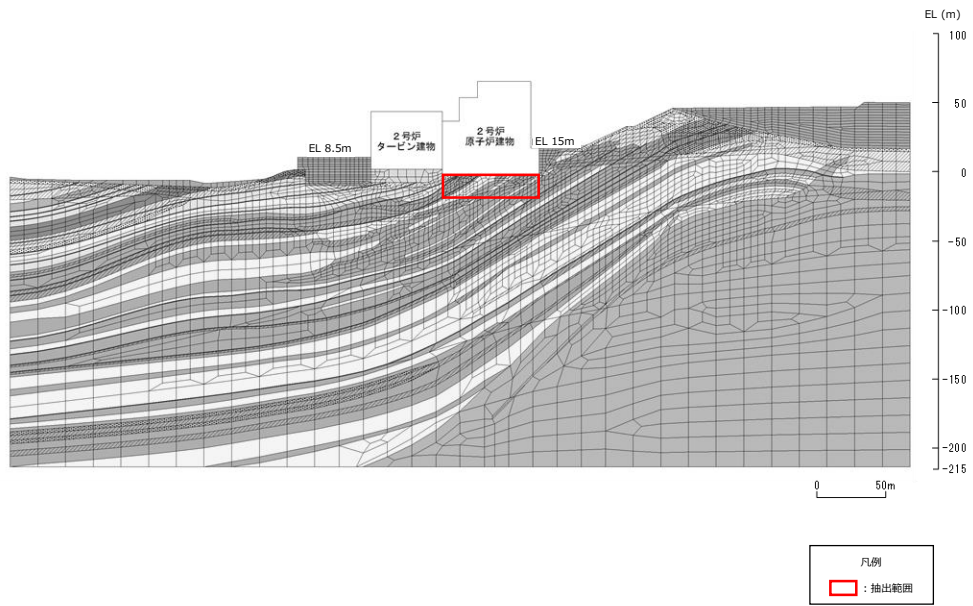
最大応答加速度の抽出対象範囲を図 3-1 に示す。





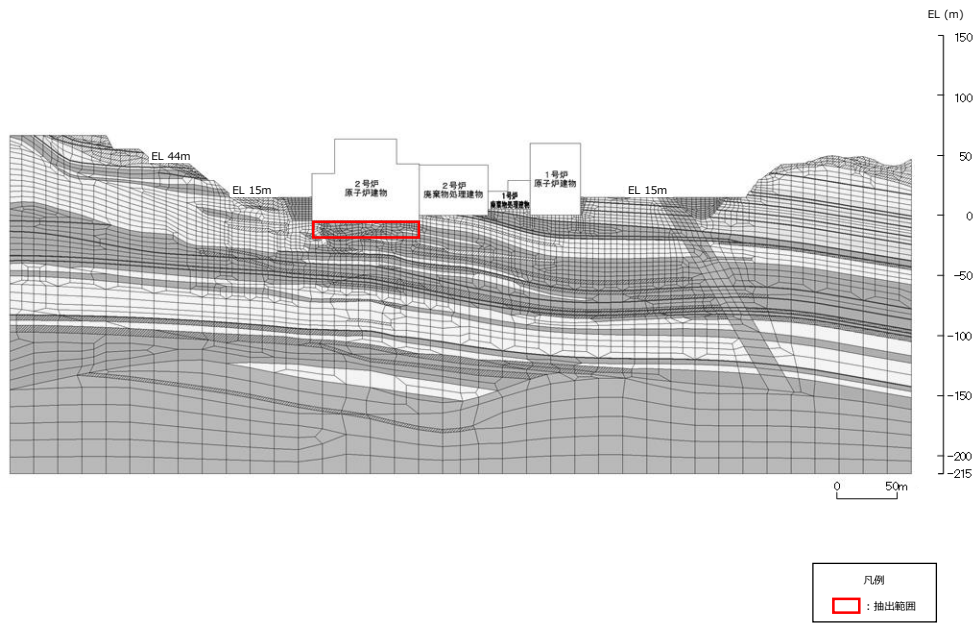
断面位置図

図 3-1 最大応答加速度の抽出範囲 (1/3)



南北断面 (①-①'断面)

図 3-1 最大応答加速度の抽出範囲 (2/3)



東西断面 (②-②'断面)

図 3-1 最大応答加速度の抽出範囲 (3/3)

## 3.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3-1 に示す。

表 3-1 荷重の組合せ

荷重状態	荷重の組合せ
S <sub>s</sub> 地震時	G + S <sub>s</sub>

G : 固定荷重

S<sub>s</sub> : S<sub>s</sub> 地震荷重

## 3.2.3 設計用震度の算定

## a. 地盤物性のばらつき

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。また、地震応答解析においては、地盤物性のばらつきを考慮する。地盤物性のばらつき考慮ケースを表 3-2 に示す。

表 3-2 解析ケース

解析ケース	地盤物性
	岩盤 (G <sub>0</sub> : 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 + 1 σ
ケース③	平均値 - 1 σ

b. 地震応答解析の解析ケースの選定

地震応答解析においては全ての基準地震動  $S_s$  に対し、解析ケース①を実施する。解析ケース①において照査値が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3-2 に示す解析ケース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 $\sigma$ ) を考慮した解析ケース		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		平均値		平均値 + 1 $\sigma$		平均値 - 1 $\sigma$	
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、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。			
		-+*	○				
		+ - *	○				
		--*	○				
	$S_s - F 1$	++*	○				
	$S_s - F 2$	++*	○				
	$S_s - N 1$	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○				
		-+*	○				
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○				
		-+*	○				

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

c. 地震応答解析

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。設計用震度は、ドレーンの設置範囲を包絡するよう設定した範囲から抽出された最大応答加速度を用いて設定する。図 3-2 に入力地震動算定の概念図を示す。

解析コードは、入力地震動算定に「ADVANF Ver4.0」を使用し、ドレーンをモデル化したフレーム解析については「TDAPIII Ver. 3.12」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。

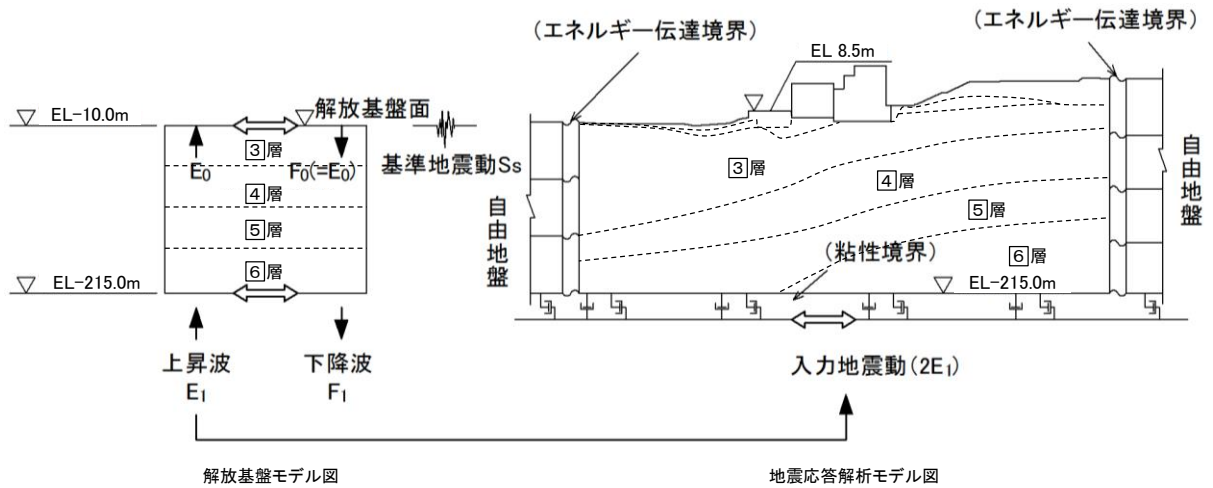


図 3-2 入力地震動算定の概念図

### 3.4 許容限界

ドレーンの評価における許容限界は、表 3-4 に示す機能維持のための考え方を踏まえ、ドレーンの強度試験結果に基づきひずみ率を設定する。

ドレーンのひずみ率は、「JIS K 6741:2016 硬質ポリ塩化ビニル管 9 試験方法 9.1 性能試験 9.1.4 偏平試験」に基づいたドレーンの偏平試験結果より設定した。硬質ポリ塩化ビニルは粘弾性体であり、材料の性質上、第 1 折れ点を読み取ることが困難であるため、偏平試験結果より得られた荷重－変位曲線図から明確におおむね弾性として考えられる 5%を許容限界とする。

荷重－変位曲線図を図 3-3 に示す。

表 3-4 ドレーンの評価における許容限界

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
構造強度を有すること	基準地震動 S <sub>s</sub>	ドレーン	部材に生じる応力が内空断面を確保するための許容限界を超えないことを確認	ひずみ率 5%

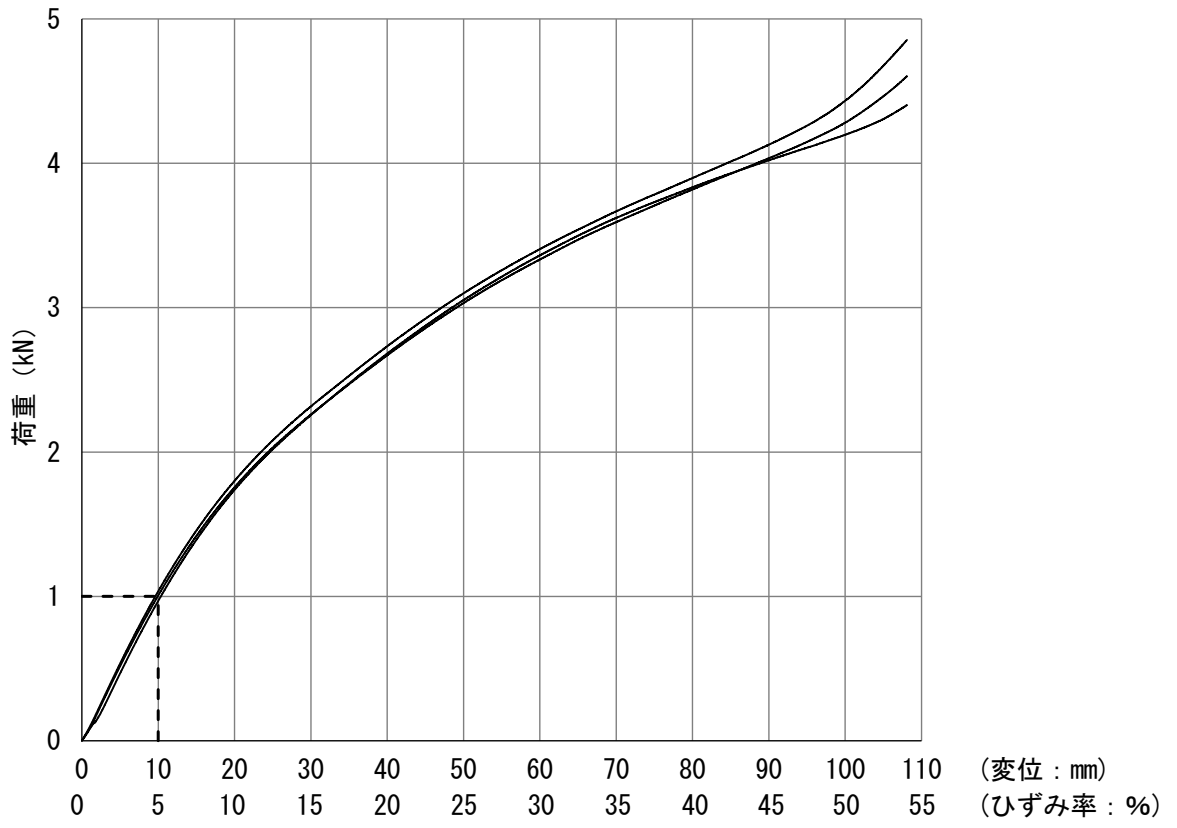


図 3-3 荷重-変位曲線図

### 3.5 評価方法

#### 3.5.1 ドレーンの変形量算出方法

ドレーンは、横断方向(管軸直行方向)について評価を実施する。

##### (1) 地震荷重の設定

地震荷重は、ドレーンの設置範囲を包絡するよう設定した範囲から抽出した鉛直方向の最大応答加速度を算出し設定する。

##### (2) 横断方向断面の検討

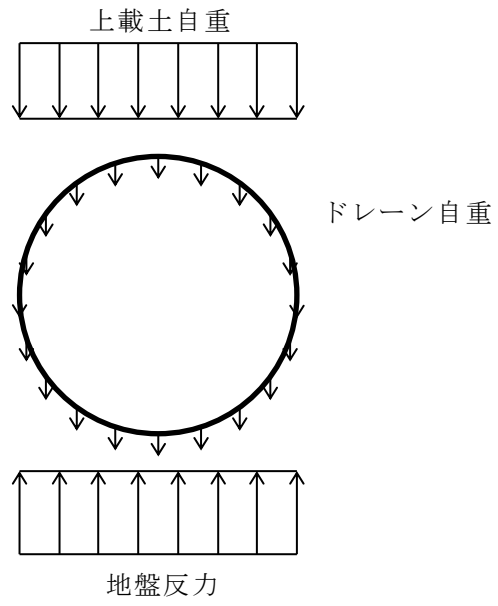
ドレーンの横断方向断面の検討は、2次元地震応答解析によって得られた最大応答加速度を震度として設定したフレーム解析とする。

震度は鉛直最大応答加速度に着目し、地震時慣性力を設定する。構造部材は円形状にモデル化した線形はり要素とし、自重と地震時慣性力を足し合わせた荷重を一方向から静的に載荷し、発生ひずみ率を算出する。

図 3-4 にフレーム解析モデルを示す。また、ドレーンの構造諸元と物性値を表 3-5, 表 3-6 に示す。



固定荷重 (G)



地震荷重 (Ss)

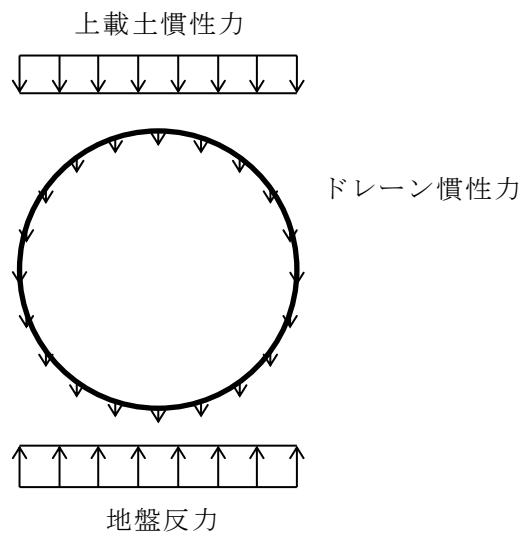


図 3-4 横断方向断面のフレーム解析モデル

表 3-5 ドレーンの構造諸元

呼び径	外径	内径	厚さ
200mm	216mm	194mm	11mm

表 3-6 ドレーンの物性値

材料	単位体積重量	ヤング係数
硬質ポリ 塩化ビニル	14.0 kN/m <sup>3</sup>	3.4×10 <sup>6</sup> kN/m <sup>2</sup>

### 3.5.2 断面の評価方法

ドレーンは、地震時に内空断面を確保して地下水を集水するため、横断方向断面の発生ひずみ率が、許容限界を超えないことを確認する。

## 4. 評価結果

## 4.1 フレーム解析による評価結果

## (1) 地震荷重

ドレーンに作用する地震荷重は、原子炉建物等の基礎地盤安定解析モデルより、ドレーンの設置範囲を包絡するよう設定した範囲から抽出した最大応答加速度となる基準地震動の地震荷重を用いる。表 4-1 に各地震動の鉛直最大応答加速度の結果を示す。

表 4-1 地盤の応答解析より得られた鉛直最大応答加速度

地震動	位相	鉛直最大応答加速度 ( $m/s^2$ )
S s - D	++*	5.09
	-+*	5.22
	+ -*	5.22
	--*	5.09
S s - F 1	++*	3.73
S s - F 2	++*	3.81
S s - N 1	++*	2.99
	-+*	2.50
S s - N 2 (NS)	++*	3.80
	-+*	3.13
S s - N 2 (EW)	++*	3.34
	-+*	3.33

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) 評価結果

フレーム解析より得られた最大変形量について、ドレーン径の 205mm（管厚の中央部）で除し、発生ひずみ率を算出する。

ドレーンの評価結果を表 4-2 に示す。基準地震動  $S_s$  の地震力において、許容限界を超えないことを確認した。また、照査値は 0.5 を超えないことから、地盤物性のばらつきを考慮した解析ケースについては実施しない。

表 4-2 ドレーンの評価結果

検討条件	鉛直震度 $S_s - D$	$K_v=0.54$
最大変形量 発生ひずみ率	最大変形量	0.30 mm
	発生ひずみ率(A)	0.15%
許容限界	許容ひずみ率(B)	5.0%
照査値	(A/B)	0.03