

VI-2-6-7-12 無線連絡設備（常設）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

無線連絡設備（常設）は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、無線連絡設備（常設）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

本計算書は、以下の構成で無線連絡設備（常設）の評価結果を示す。

- (1) アンテナの耐震性についての計算書
- (2) 通信収容架の耐震性についての計算書

(1) アンテナの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の確認方法	7
4.3 固有周期の確認結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2 許容応力	8
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算方法	13
5.4.1 応力の計算方法	13
5.5 計算条件	15
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	15
5.6 応力の評価	16
5.6.1 ボルトの応力評価	16
6. 機能維持評価	17
6.1 電氣的機能維持評価方法	17
7. 評価結果	18
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

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、無線連絡設備（常設）のうち、アンテナが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

アンテナは、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アンテナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>アンテナは取付金具を使用しアンテナ架台に取り付ける。 アンテナ架台は基礎ボルトにて基礎に固定する。</p>	<p>アンテナ架台</p>	<p>【アンテナ】</p> <p>平面 300</p> <p>300</p> <p>正面</p> <p>側面</p> <p>アンテナ</p> <p>取付金具</p> <p>アンテナ架台</p> <p>基礎ボルト (ケミカルアンカ)</p> <p>基礎 (床面)</p> <p>1856 以下</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

アンテナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアンテナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することを実施する。また、アンテナの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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を実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

アンテナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

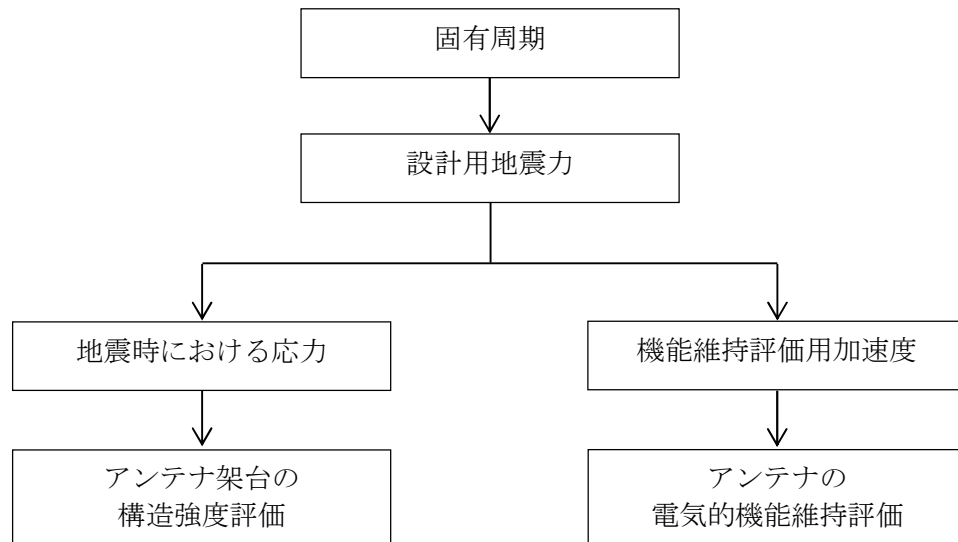


図 2-1 アンテナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	アンテナ及びアンテナ架台の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりとする。

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	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

アンテナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

アンテナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

アンテナの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。アンテナの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛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

- (1) アンテナ架台の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力はアンテナ架台に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) アンテナ架台は基礎ボルトで床面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) アンテナ架台の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなるアンテナの最上端に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

アンテナ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

アンテナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アンテナの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	アンテナ	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	40			
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

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「設計用床応答曲線の作成方針」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
コントロール建屋 T. M. S. L. 25.8 (T. M. S. L. 24.1*)	0.042	0.05 以下	—	—	$C_H=2.47$	$C_V=1.46$

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

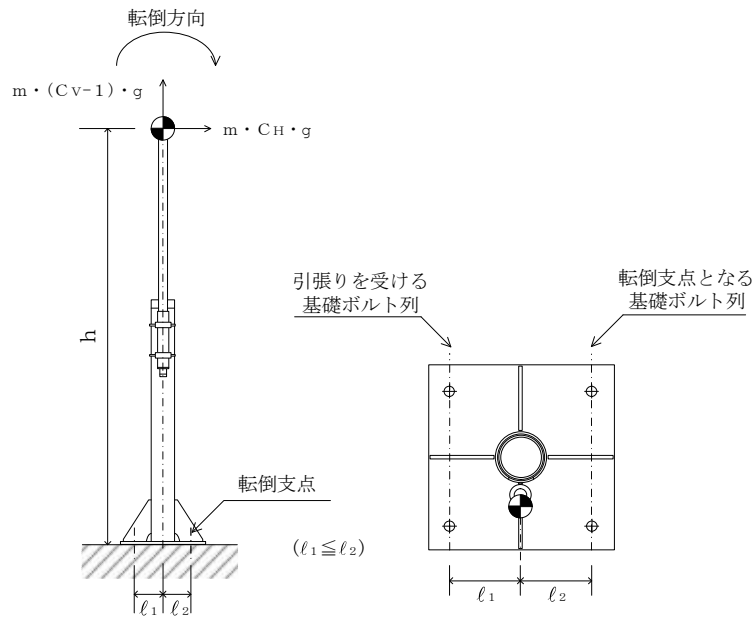


図5-1 計算モデル（正面方向転倒）

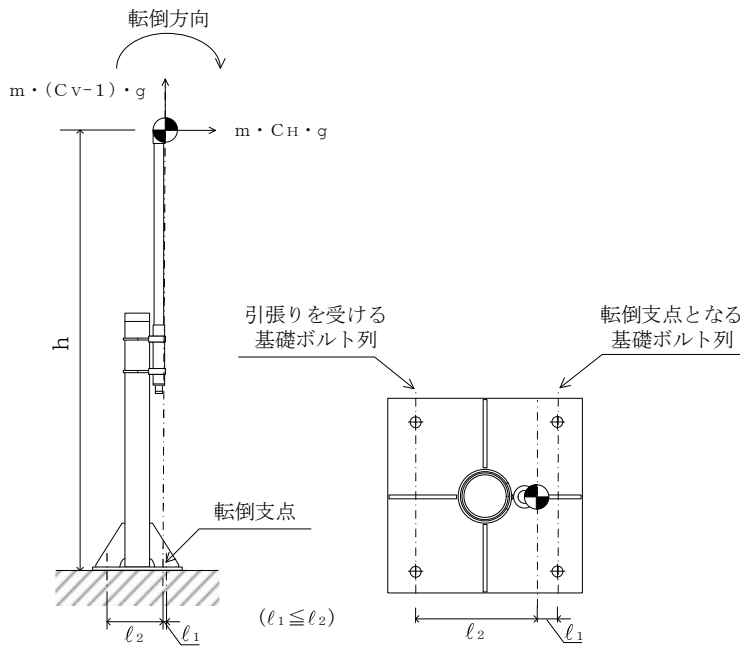


図5-2 計算モデル（側面方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【アンテナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

アンテナの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

アンテナの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
アンテナ	水平	3.54
	鉛直	2.15

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【アンテナの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		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	
アンテナ	常設/防止 常設/緩和	コントロール建屋 T.M.S.L. 25.8 (T.M.S.L. 24.1*)	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =2.47	C _V =1.46	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	19	1856*1	12 (M12)	113.1	4	215 (径>40mm)	400 (径>40mm)

部材	ℓ ₁ *2 (mm)	ℓ ₂ *2 (mm)	n _f *2	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	100*1	100*1	2	258	—	側面方向
	41*1	159*1	2			

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	2.104×10 ³	—	446.4

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	σ _b =19	f _{ts} =154*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =119

すべて許容応力以下である。

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

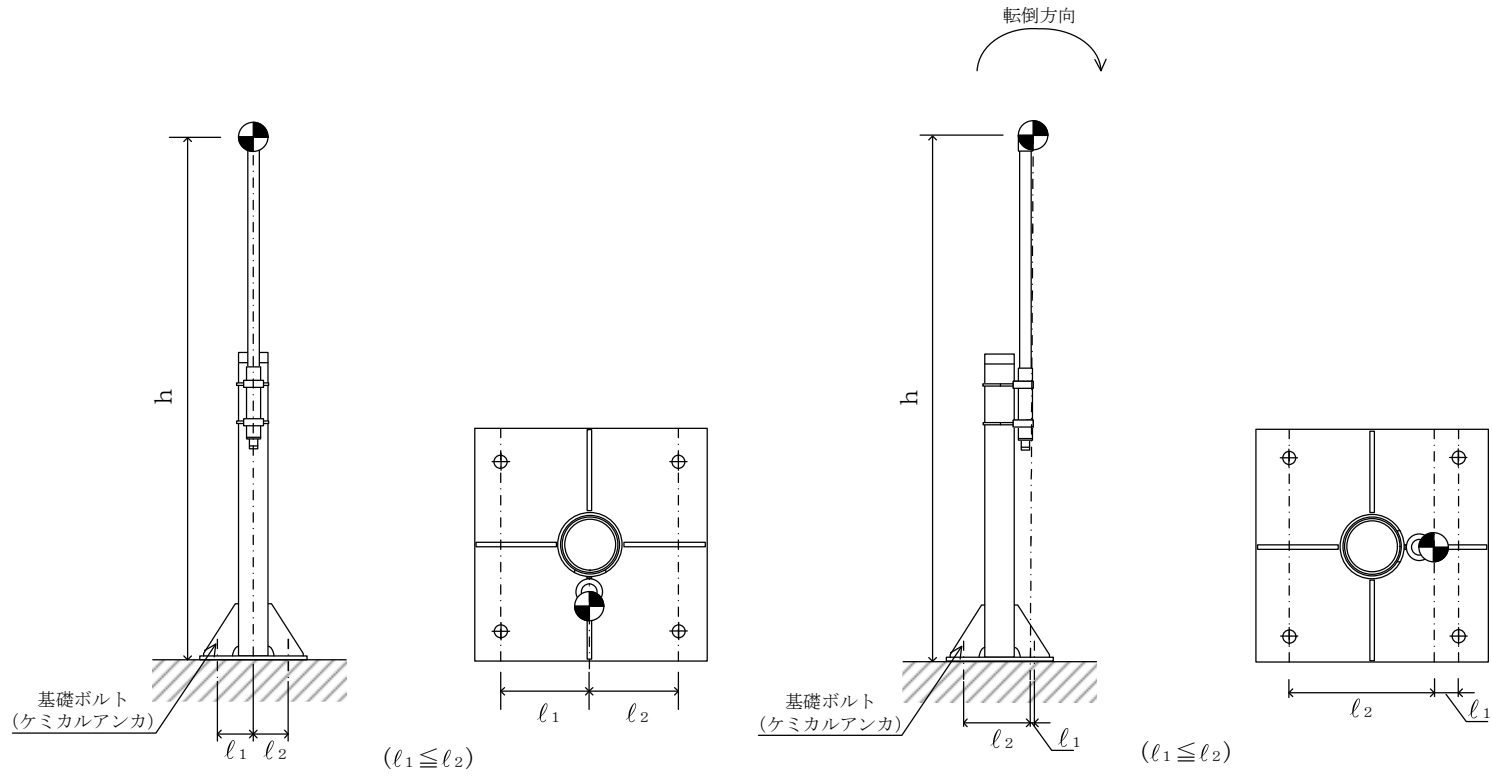
1.4.2 電氣的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
アンテナ	水平方向	2.06	3.54
	鉛直方向	1.23	2.15

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



(2) 通信収容架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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、無線連絡設備（常設）のうち、通信収容架が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

通信収容架は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、通信収容架は、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形盤であるため、VI-2-1-14「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

通信収容架の構造計画を表 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													
通信収容架は基礎ボルトにて壁に固定する。	壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤)	<p>【通信収容架 1】</p> <p>【通信収容架 2】</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>通信収容架 1</th> <th>通信収容架 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>530</td> <td>182</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>650</td> <td>605</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>600</td> <td>630</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>		通信収容架 1	通信収容架 2	たて	530	182	横	650	605	高さ	600	630
	通信収容架 1	通信収容架 2												
たて	530	182												
横	650	605												
高さ	600	630												

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。試験の結果、剛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)

名称	方向	固有周期
通信収容架 1	水平	0.007
	鉛直	0.006
通信収容架 2	水平	0.005
	鉛直	0.005

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

通信収容架の構造強度評価は、VI-2-1-14「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

通信収容架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

通信収容架の許容応力は、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

通信収容架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【通信収容架 1 の耐震性についての計算結果】及び【通信収容架 2 の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	通信収容架	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-2 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	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト* ¹	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	40	215	400	—
基礎ボルト* ²	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	50	211	394	—

注記*1：通信収容架1の基礎ボルトを示す。

*2：通信収容架2の基礎ボルトを示す。

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

通信収容架の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「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。

通信収容架に設置される器具の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
通信収容架 1	水平	3.63
	鉛直	2.14
通信収容架 2	水平	3.58
	鉛直	2.19

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【通信収容架1の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
通信収容架 1	常設/防止 常設/緩和	コントロール建屋 T.M.S.L. 17.3 (T.M.S.L. 24.1*)	0.007	0.006	—	—	C _H =2.38	C _V =1.46	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	150	530*	16 (M16)	201.1	6	215 (径>40mm)	400 (径>40mm)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	540*	480	580	2	3	—	258	—	側面方向

注記*：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	3.967×10 ³	—	5.035×10 ³

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b i}=20$	$f_{t s i}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b i}=5$	$f_{s b i}=119$

すべて許容応力以下である。

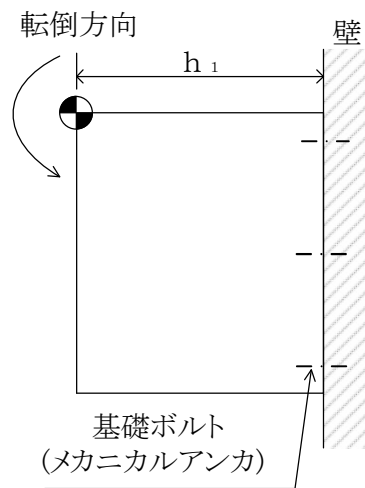
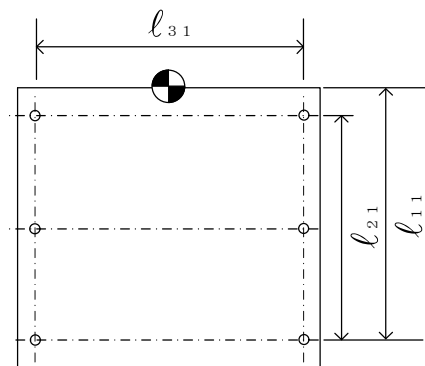
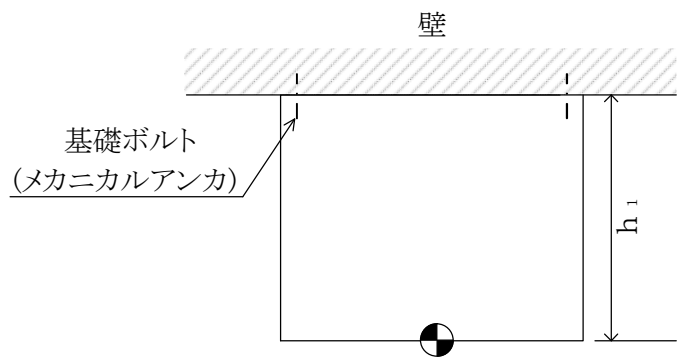
注記*： $f_{t s i} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
通信収容架 1	水平方向	1.98	3.63
	鉛直方向	1.23	2.14

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【通信収容架2の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
通信収容架 2	常設／防止 常設／緩和	コントロール建屋 T.M.S.L. 17.3 (T.M.S.L. 24.1*)	0.005	0.005	—	—	C _H =2.38	C _V =1.46	50

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	25	182* ¹	12 (M12)	113.1	4	211 (径>40mm)	394 (径>40mm)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	600* ¹	540	540	2	2	—	253	—	側面方向

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	425.8	—	839.2

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b i}=4$	$f_{t s i}=152^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b i}=2$	$f_{s b i}=117$

すべて許容応力以下である。

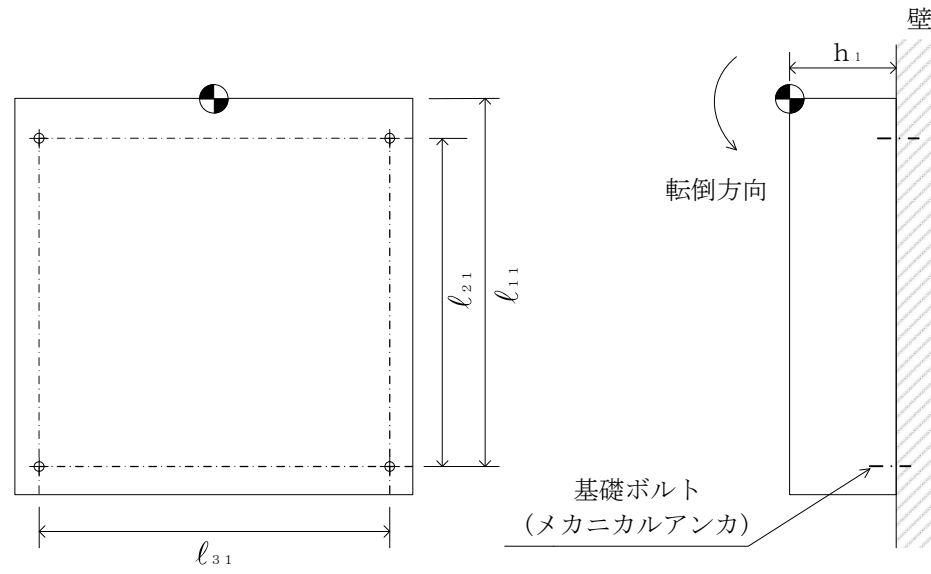
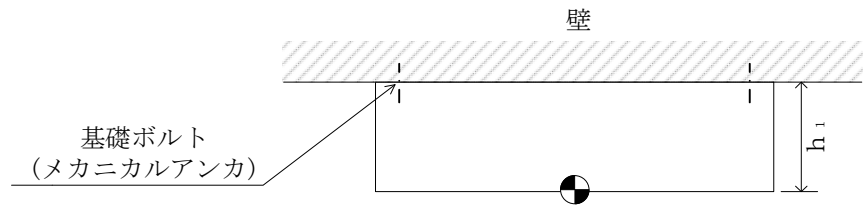
注記*： $f_{t s i} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
通信収容架 2	水平方向	1.98	3.58
	鉛直方向	1.23	2.19

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-13 無線連絡設備（常設）（中央制御室待避室）の耐震性について
の計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

無線連絡設備（常設）（中央制御室待避室）は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、無線連絡設備（常設）（中央制御室待避室）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

本計算書は、以下の構成で無線連絡設備（常設）（中央制御室待避室）の評価結果を示す。

- (1) アンテナの耐震性についての計算書
- (2) 通信収容架の耐震性についての計算書

- (1) アンテナの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	7
4.1 基本方針	7
4.2 固有周期の確認方法	7
4.3 固有周期の確認結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 構造強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
5.2.2 許容応力	8
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算方法	13
5.4.1 応力の計算方法	13
5.5 計算条件	15
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	15
5.6 応力の評価	16
5.6.1 ボルトの応力評価	16
6. 機能維持評価	17
6.1 電氣的機能維持評価方法	17
7. 評価結果	18
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	18

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、無線連絡設備（常設）（中央制御室待避室）のうち、アンテナが設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

アンテナは、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アンテナの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>アンテナは取付金具を使用しアンテナ架台に取り付ける。</p> <p>アンテナ架台は基礎ボルトにて基礎に固定する。</p>	<p>アンテナ架台</p>	<p>【アンテナ】</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

アンテナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアンテナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することを実施する。また、アンテナの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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を実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

アンテナの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

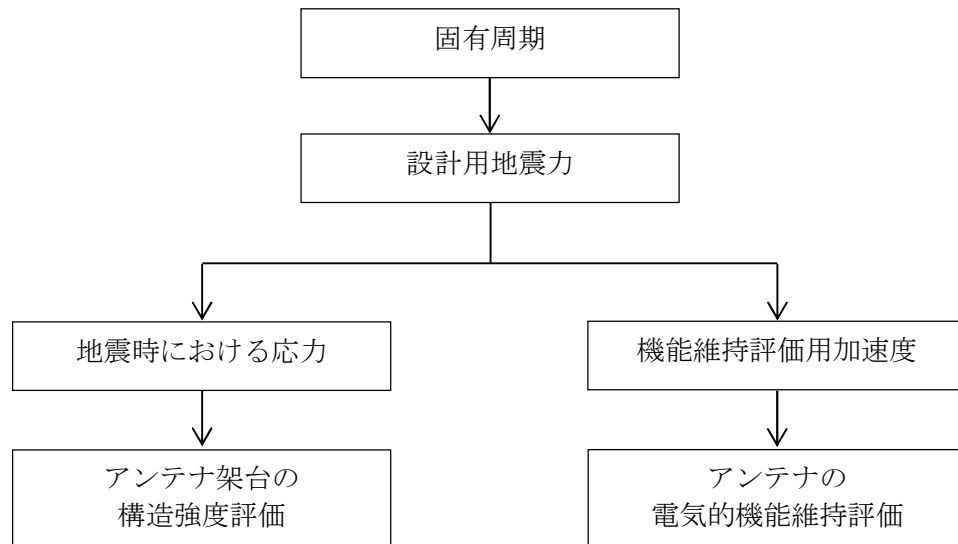


図 2-1 アンテナの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	アンテナ及びアンテナ架台の質量	kg
n	ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりとする。

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	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

アンテナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。

アンテナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

アンテナの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有振動数を測定する。アンテナの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。測定の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛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

- (1) アンテナ架台の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力はアンテナ架台に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) アンテナ架台は基礎ボルトで床面に固定されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) アンテナ架台の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなるアンテナの最上端に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

アンテナ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

アンテナの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アンテナの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	アンテナ	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	40			
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

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「設計用床応答曲線の作成方針」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
コントロール建屋 T. M. S. L. 25.8 (T. M. S. L. 24.1*)	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =2.47	C _V =1.46

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

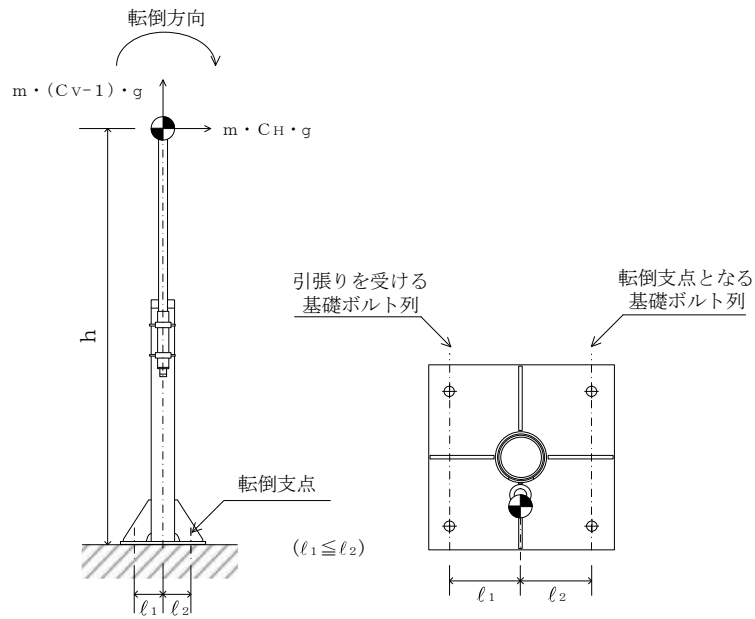


図5-1 計算モデル（正面方向転倒）

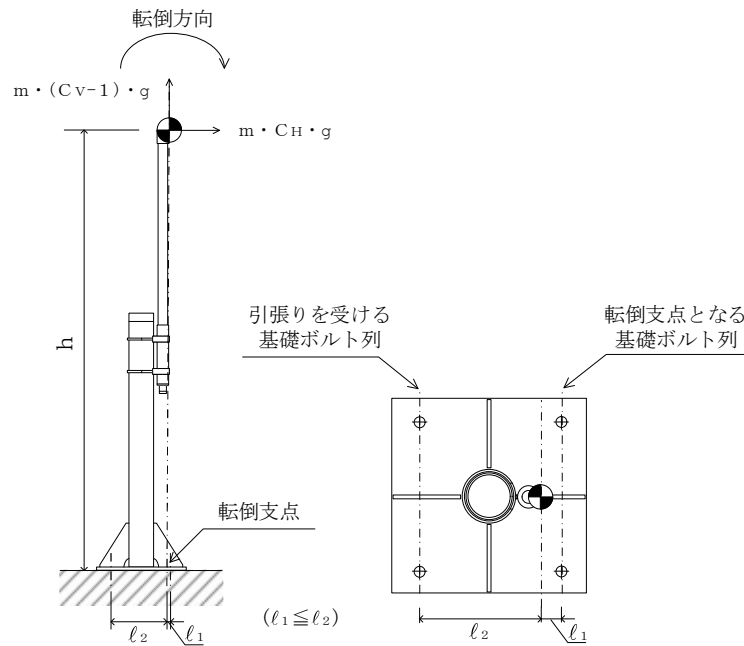


図5-2 計算モデル（側面方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【アンテナの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

アンテナの電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

アンテナの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
アンテナ	水平	3.54
	鉛直	2.15

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【アンテナの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		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	
アンテナ	常設/防止 常設/緩和	コントロール建屋 T.M.S.L. 25.8 (T.M.S.L. 24.1*)	0.042	0.05 以下	—	—	C _H =2.47	C _V =1.46	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	19	1856*1	12 (M12)	113.1	4	215 (径>40mm)	400 (径>40mm)

部材	ℓ ₁ *2 (mm)	ℓ ₂ *2 (mm)	n _f *2	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	100*1	100*1	2	258	—	側面方向
	41*1	159*1	2			

注記*1：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	2.104×10 ³	—	446.4

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	σ _b =19	f _{ts} =154*
		せん断	—	—	τ _b =1	f _{sb} =119

すべて許容応力以下である。

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

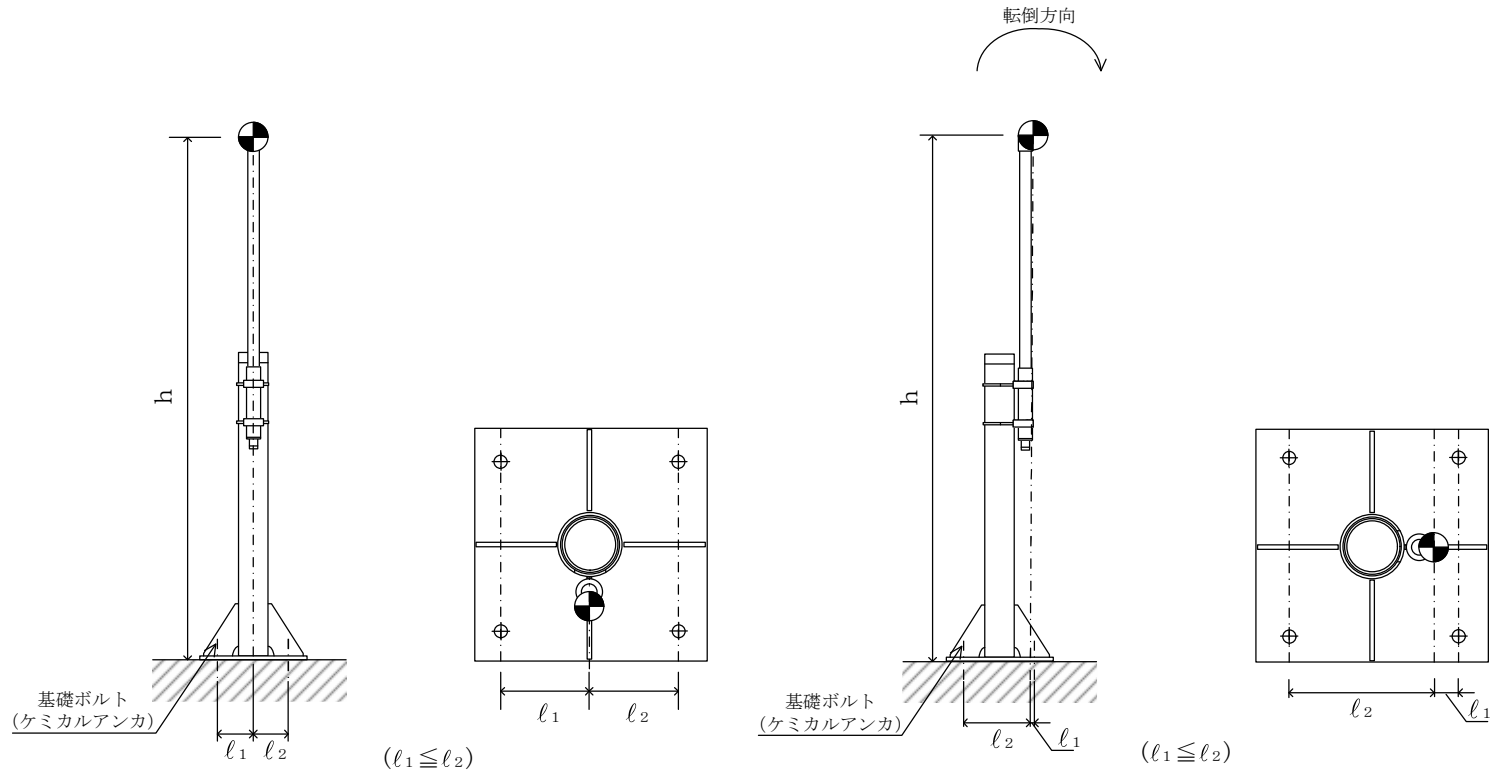
1.4.2 電氣的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
アンテナ	水平方向	2.06	3.54
	鉛直方向	1.23	2.15

注記* : 基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



(2) 通信収容架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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、無線連絡設備（常設）（中央制御室待避室）のうち、通信収容架が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

通信収容架は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、通信収容架は、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形盤であるため、VI-2-1-14「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

通信収容架の構造計画を表 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	
通信収容架は基礎ボルトにて壁に固定する。	壁掛形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤)	<p>【通信収容架】</p> <p>上面 壁</p> <p>基礎ボルト (メカニカルアンカ)</p> <p>650</p> <p>530</p> <p>(正面方向)</p> <p>側面</p> <p>通信収容架</p> <p>壁</p> <p>600</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。試験の結果、剛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)

水平	0.007
鉛直	0.006

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

通信収容架の構造強度評価は、VI-2-1-14「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

通信収容架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

通信収容架の許容応力は、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

通信収容架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【通信収容架の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	通信収容架	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-2 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	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)	1.5・f _s *
V _A 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 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	40	215	400	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

通信収容架の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「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。

通信収容架に設置される器具の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の器具単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
通信収容架	水平	3.63
	鉛直	2.14

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【通信収容架の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
通信収容架	常設/防止 常設/緩和	コントロール建屋 T.M.S.L. 17.3 (T.M.S.L. 24.1*)	0.007	0.006	—	—	C _H =2.38	C _V =1.46	40

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	150	530*	16 (M16)	201.1	6	215 (径>40mm)	400 (径>40mm)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	540*	480	580	2	3	—	258	—	側面方向

注記*：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	3.967×10 ³	—	5.035×10 ³

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b i}=20$	$f_{t s i}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b i}=5$	$f_{s b i}=119$

すべて許容応力以下である。

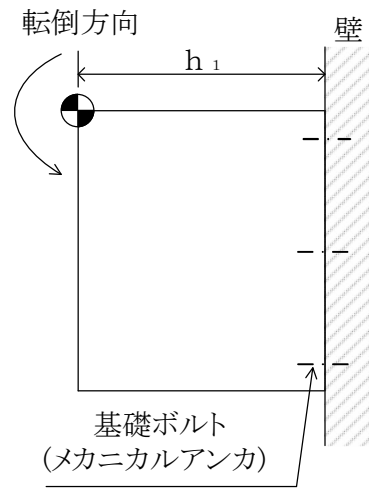
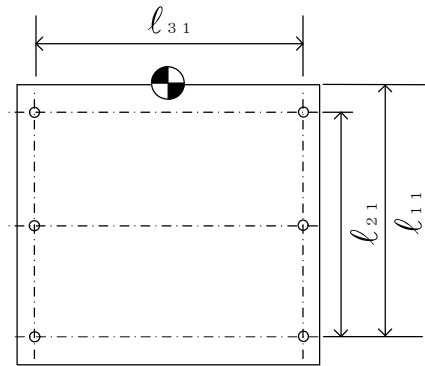
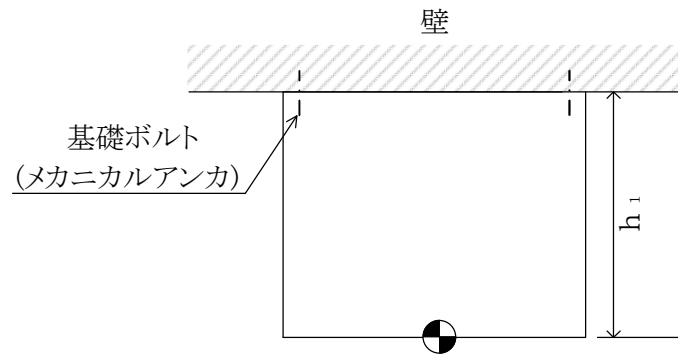
注記*： $f_{t s i} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t o i} - 1.6 \cdot \tau_{b i}, f_{t o i}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
通信収容架	水平方向	1.98	3.63
	鉛直方向	1.23	2.14

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-14 無線連絡設備（常設）（6,7号機共用）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、無線連絡設備（常設）（6,7号機共用）（7号機設備, 6,7号機共用）の耐震性が「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50条に適合することを説明するものである。

無線連絡設備（常設）（6,7号機共用）の耐震性に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画のV-2-6-7-14「無線連絡設備（常設）（6,7号機共用）の耐震性についての計算書」による。

VI-2-6-7-15 統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備（テレビ会議システム，IP-電話機及び IP-FAX）の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備（テレビ会議システム、IP-電話機及びIP-FAX）（7号機設備、6,7号機共用）の耐震性が「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77条に適合することを説明するものである。

統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備（テレビ会議システム、IP-電話機及びIP-FAX）の耐震性に関する説明は、令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機の設計及び工事の計画のV-2-6-7-15「統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備（テレビ会議システム、IP-電話機及びIP-FAX）の耐震性についての計算書」による。

VI-2-6-7-16 5号機屋外緊急連絡用インターフォンの耐震性
についての計算書

目 次

1. 概要	1
-------------	---

1. 概要

本資料は、T S C屋外緊急連絡用インターフォン（7号機設備，6,7号機共用）及び5号機T S C屋外緊急連絡用インターフォン子機（7号機設備，6,7号機共用）の耐震性が「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50条に適合することを説明するものである。

T S C屋外緊急連絡用インターフォン（7号機設備，6,7号機共用）及び5号機T S C屋外緊急連絡用インターフォン子機（7号機設備，6,7号機共用）の耐震性に関する説明は，令和2年10月14日付け原規規発第2010147号にて認可された柏崎刈羽原子力発電所第7号機的设计及び工事の計画のV-2-6-7-16「5号機屋外緊急連絡用インターフォンの耐震性についての計算書」による。

VI-2-6-7-17 原子炉压力容器温度の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
3. 評価部位	3
4. 機能維持評価	4
4.1 機能維持評価用加速度	4
4.2 機能確認済加速度	5
5. 評価結果	6
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	6

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき、原子炉圧力容器温度が設計用地震力に対して十分な電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉圧力容器温度は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての電氣的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉圧力容器温度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、原子炉圧力容器に直接取り付けられたパッドにボルトを用いて固定する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【原子炉圧力容器温度】</p> <p>(側面方向)</p> <p>(正面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

原子炉圧力容器温度の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「4. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

原子炉圧力容器温度の耐震評価フローを図2-1に示す。

なお、原子炉圧力容器温度は、小型で軽量であることから十分に剛であるとみなせるため、固有周期の計算は省略し、設置位置の最大応答加速度を適用する。

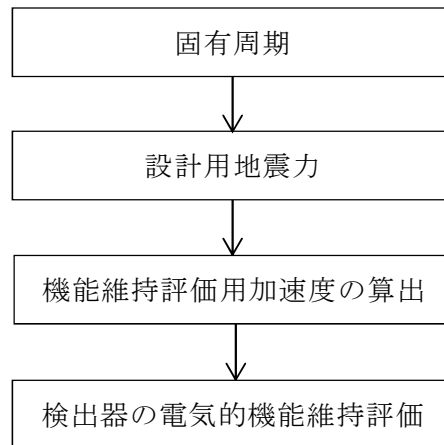


図2-1 原子炉圧力容器温度の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）

3. 評価部位

原子炉圧力容器温度は、原子炉圧力容器に直接取り付けられたパッドに挿入され固定されることから、原子炉圧力容器が支持している。原子炉圧力容器の構造強度評価はVI-2-3-3「原子炉圧力容器の耐震性についての計算書」にて実施しているため、本計算書では、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる設計用最大応答加速度を用いた原子炉圧力容器温度の電氣的機能維持評価について示す。

4. 機能維持評価

原子炉圧力容器温度の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

4.1 機能維持評価用加速度

原子炉圧力容器温度は原子炉圧力容器に直接取り付けられたパッドに挿入され固定されることから、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。機能維持評価用加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	対象機器設置箇所 (m)	方向	機能維持評価用加速度
原子炉圧力容器温度 (B21-TE016H)	原子炉格納容器内 T. M. S. L. 5. 951 (T. M. S. L. 6. 056 ^{*1} , 4. 950 ^{*2})	水平	1. 20
		鉛直	1. 19
原子炉圧力容器温度 (B21-TE016L)	原子炉格納容器内 T. M. S. L. 5. 110 (T. M. S. L. 6. 056 ^{*1} , 4. 950 ^{*2})	水平	1. 20
		鉛直	1. 19

注記*1：水平方向基準床レベルを示す。

*2：鉛直方向基準床レベルを示す。

4.2 機能確認済加速度

原子炉压力容器温度の機能確認済加速度には，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，類似形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉压力容器温度 (B21-TE016H)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
原子炉压力容器温度 (B21-TE016L)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉圧力容器温度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。機能維持評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電氣的機能が維持されていることを確認した。

(1) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉压力容器温度の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 電氣的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
原子炉压力容器温度 (B21-TE016H)	水平方向	1.20	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.19	<input type="text"/>
原子炉压力容器温度 (B21-TE016L)	水平方向	1.20	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.19	<input type="text"/>

注記*：機能維持評価用加速度は、設計用最大応答加速度Ⅰ（ $1.0 \cdot \text{ZPA}$ ）又は設計用最大応答加速度Ⅱ（ $1.0 \cdot \text{ZPA}$ ）のいずれか大きい値とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-6-7-18 フィルタ装置水位の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、フィルタ装置水位が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置水位は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、フィルタ装置水位が設置される計装ラックは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置水位の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより支持板に固定され、支持板は、支持板取付ボルトにより計装ラックに固定される。計装ラックは、ラック取付ボルトによりチャンネルベースに固定され、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式水位検出器</p>	<p>【フィルタ装置水位】</p> <p>平面</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>正面 900</p> <p>側面 590</p> <p>基礎ボルト (メカニカルアンカ)</p> <p>ラック取付ボルト</p> <p>チャンネルベース</p> <p>支持板取付ボルト</p> <p>取付板取付ボルト</p> <p>計装ラック</p> <p>支持板</p> <p>取付板</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>基礎 (壁面)</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

フィルタ装置水位が設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を使用する。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)

フィルタ装置水位 (H22-P915)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置水位の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置水位の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

フィルタ装置水位の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置水位の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置水位 (T61-LT002A) の耐震性についての計算結果】、【フィルタ装置水位 (T61-LT002B) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	フィルタ装置水位	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IVAS
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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：積雪荷重を含む。

*4：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」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	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
ラック取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置水位の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 (T61-LT002A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
フィルタ装置水位 (T61-LT002B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置水位 (T61-LT002A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件



機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置水位 (T61-LT002A)	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置基礎 T.M.S.L. 12.000* ¹ (T.M.S.L. 26.300* ²)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =4.58	C _V =1.83	40

注記*1: 鉛直方向の基準床レベルを示す。

*2: 水平方向の基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水位 (H22-P915)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		294	12 (M12)	113.1	10	205	520
ラック取付ボルト (i=2)		194	12 (M12)	113.1	8	205	520

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	544	1100	840	2	5	—	246	—	側面方向
ラック取付ボルト (i=2)	504	1020	840	2	4	—	246	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=113$
ラック取付ボルト (i=2)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	$f_{sb2}=142$

すべて許容応力以下である。

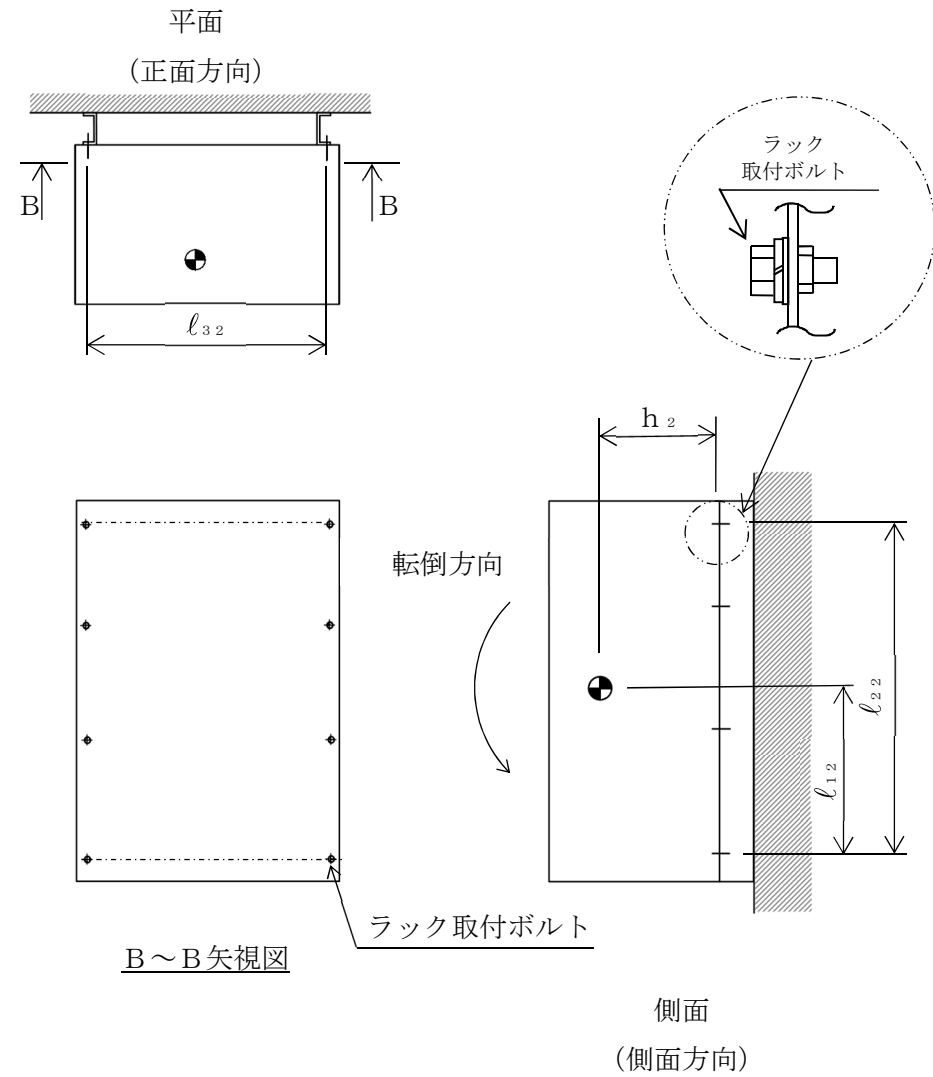
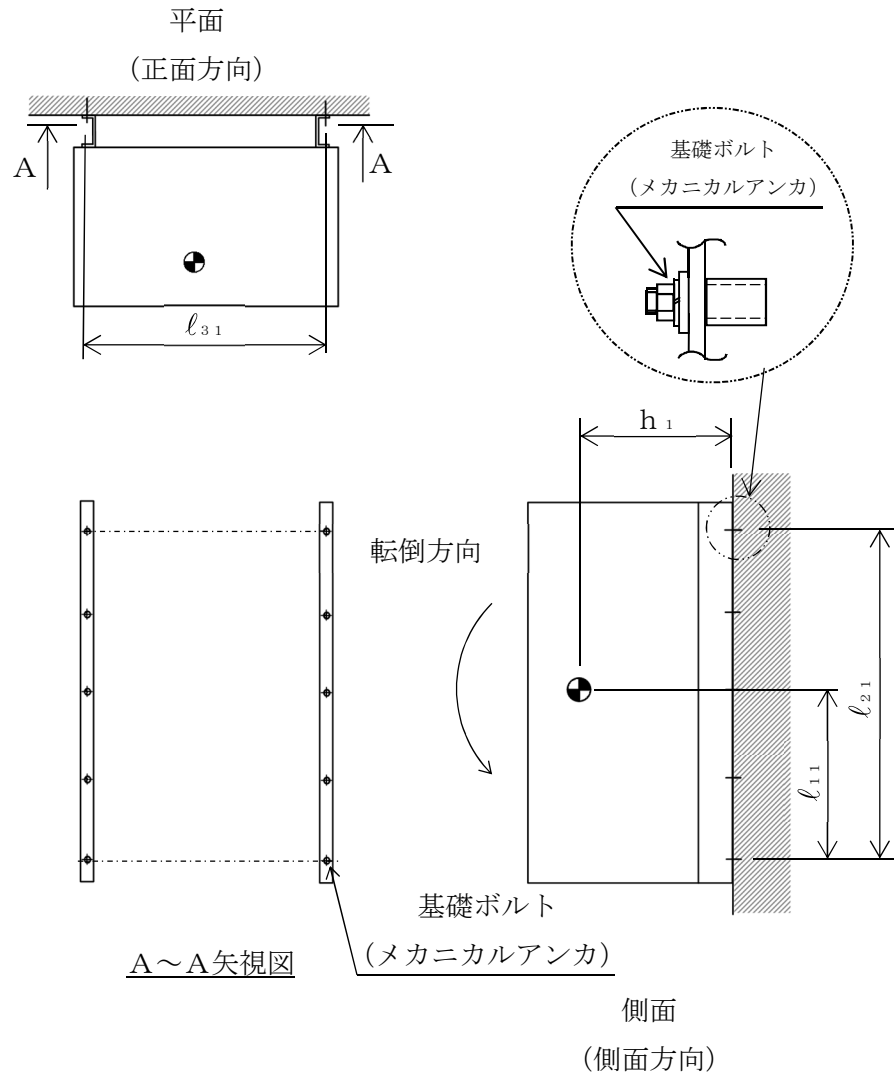
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 (T61-LT002A)	水平方向	3.82	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.53	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【フィルタ装置水位 (T61-LT002B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件



機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置水位 (T61-LT002B)	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置基礎 T.M.S.L. 12.000* ¹ (T.M.S.L. 26.300* ²)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =4.58	C _V =1.83	40

注記*1：鉛直方向の基準床レベルを示す。

*2：水平方向の基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水位 (H22-P915)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)		294	12 (M12)	113.1	10	205	520
ラック取付ボルト (i=2)		194	12 (M12)	113.1	8	205	520

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	544	1100	840	2	5	—	246	—	側面方向
ラック取付ボルト (i=2)	504	1020	840	2	4	—	246	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=113$
ラック取付ボルト (i=2)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	$f_{sb2}=142$

すべて許容応力以下である。

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

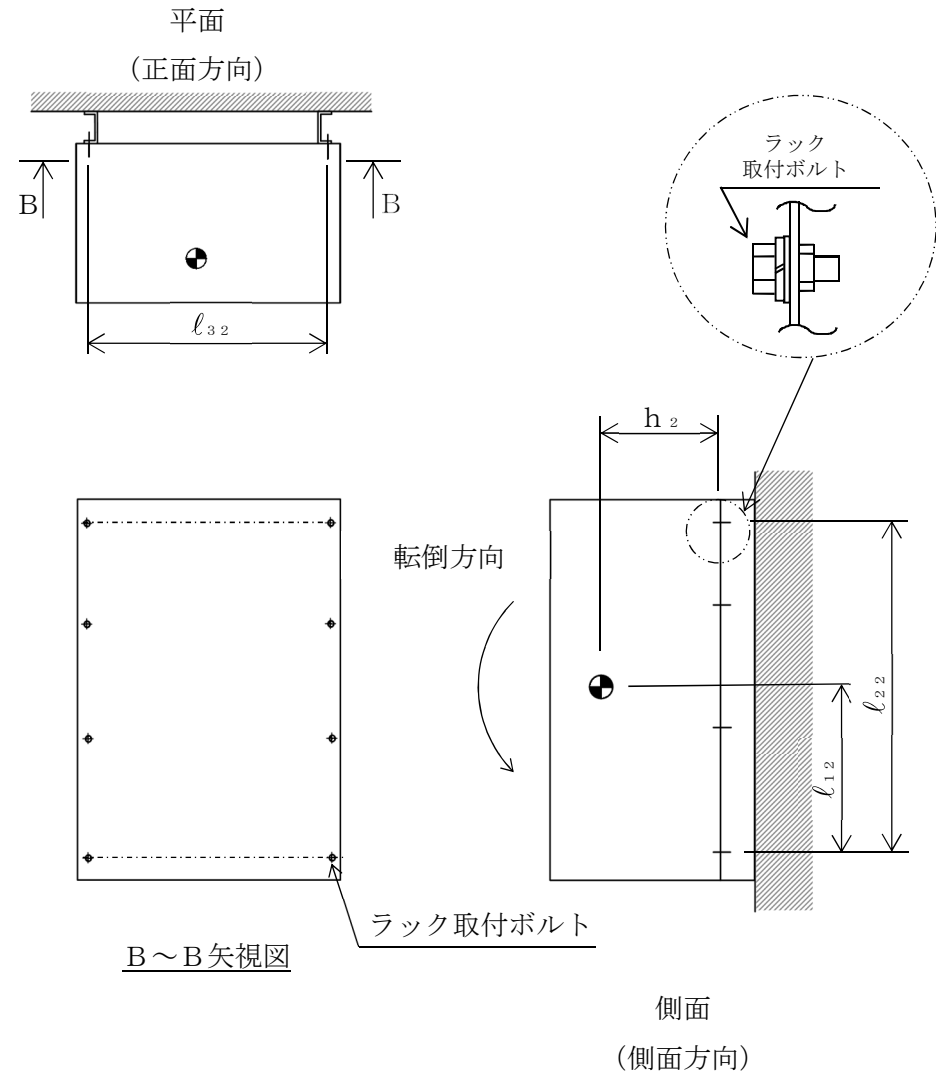
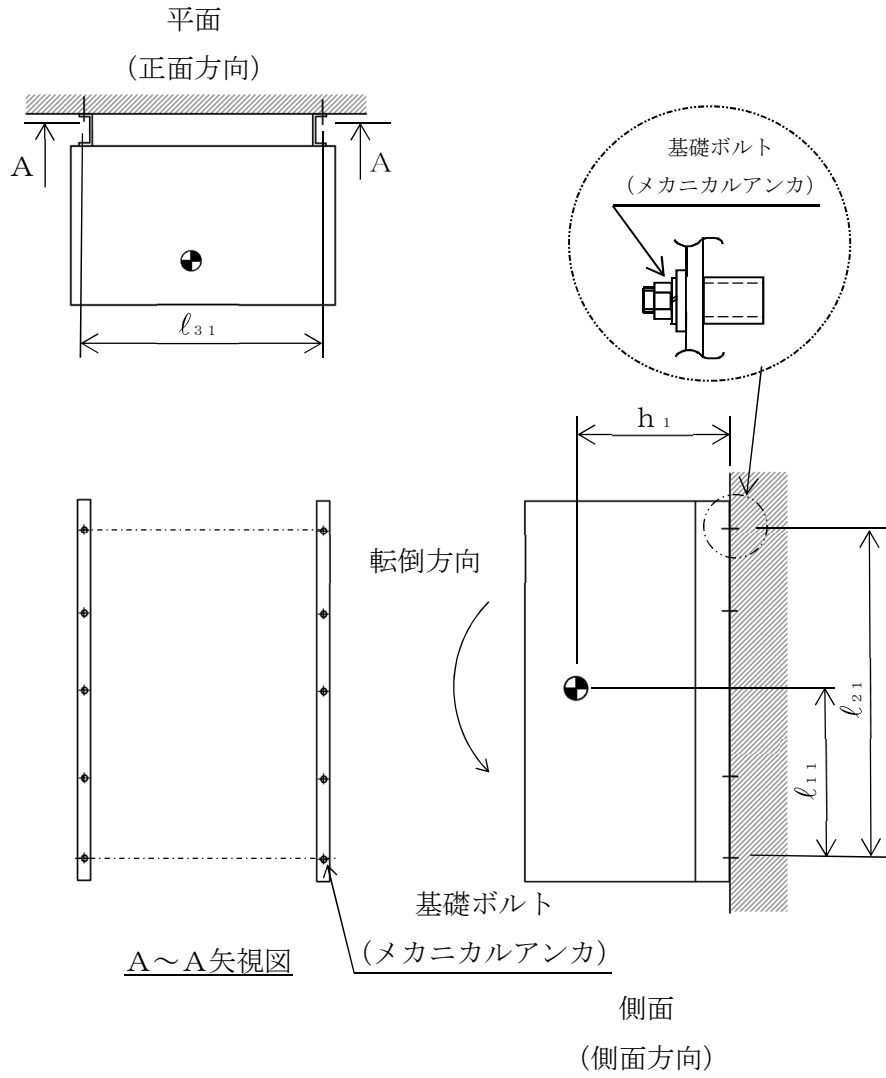
1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置水位 (T61-LT002B)	水平方向	3.82	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.53	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-19 フィルタ装置入口圧力の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、フィルタ装置入口圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置入口圧力は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、フィルタ装置入口圧力は、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形スタンションであるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置入口圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スタンションに固定される。計器スタンションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>【フィルタ装置入口圧力】</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

フィルタ装置入口圧力の固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つスタンションに対する振動試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を使用する。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)

フィルタ装置入口圧力 (T61-PT001)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置入口圧力の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-8 計器スターションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置入口圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

フィルタ装置入口圧力の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

フィルタ装置入口圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置入口圧力 (T61-PT001) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	フィルタ装置入口圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

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

*2 : その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	50	211	394	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置入口圧力の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置入口圧力 (T61-PT001)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置入口圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置入口圧力 (T61-PT001) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置入口圧力 (T61-PT001)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500 (T. M. S. L. 31. 700*)	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 75	C _V =1. 45	50

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置入口圧力

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト		81	12 (M12)	113. 1	4	211 (40mm<径)	394 (40mm<径)

部材	ℓ ₃ (mm)	ℓ _a (mm)	ℓ _b (mm)	n _{fV}	n _{fH}	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	331	160	700	2	2	—	253	—	正面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 2$	$f_{ts} = 152^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 2$	$f_{sb} = 117$

すべて許容応力以下である。

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

11

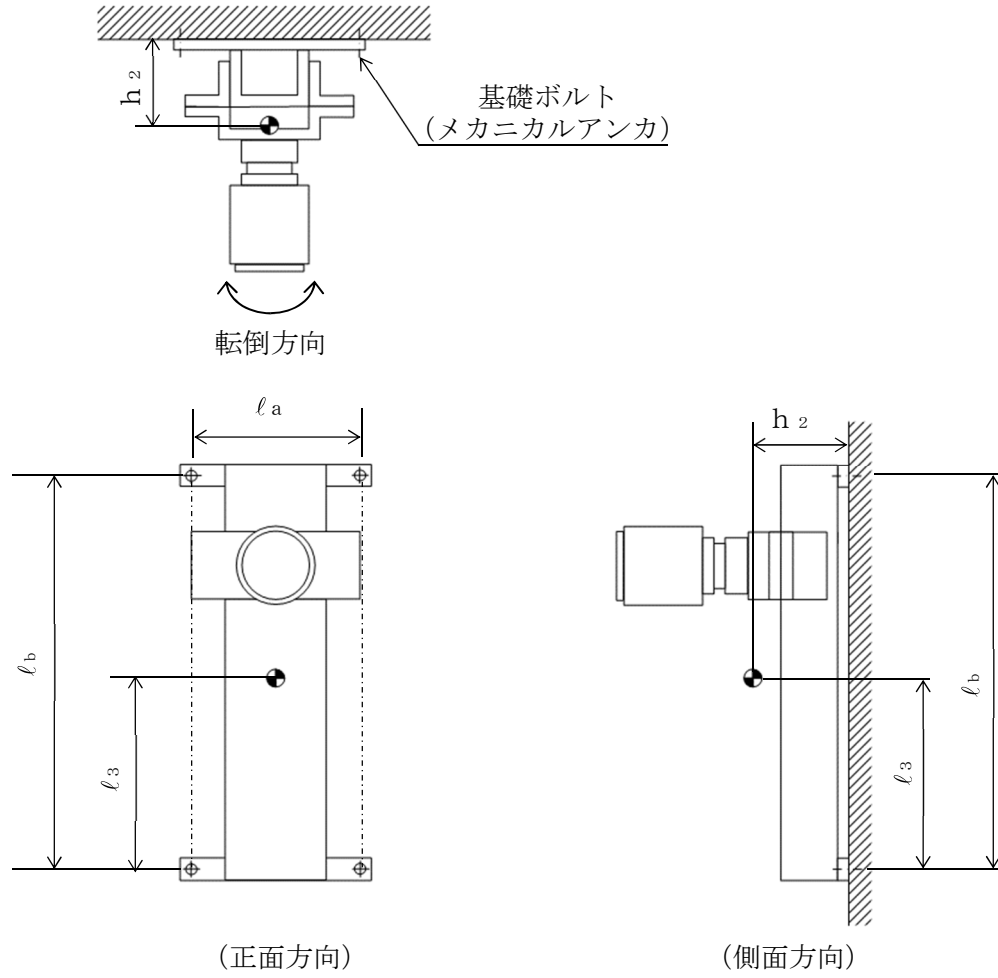
1.4.2 電気的機能の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置入口圧力 (T61-PT001)	水平方向	1.46	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.20	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-20 フィルタ装置水素濃度の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、フィルタ装置水素濃度が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置水素濃度は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、フィルタ装置水素濃度が設置される計装ラックは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の直立形であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置水素濃度の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計装ラックに固定される。</p> <p>計装ラックは、チャンネルベースにラック取付ボルトで固定され、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>熱伝導式水素検出器</p>	<p>【フィルタ装置水素濃度】</p> <p>(長辺方向) (短辺方向)</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>フィルタ装置水素濃度 (H22-P912)</th> <th>フィルタ装置水素濃度 (H22-P913-1)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>600</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>2900</td> <td>3500</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>2100</td> <td>2100</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>	機器名称	フィルタ装置水素濃度 (H22-P912)	フィルタ装置水素濃度 (H22-P913-1)	たて	600	600	横	2900	3500	高さ	2100	2100
機器名称	フィルタ装置水素濃度 (H22-P912)	フィルタ装置水素濃度 (H22-P913-1)												
たて	600	600												
横	2900	3500												
高さ	2100	2100												

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

フィルタ装置水素濃度が設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を使用する。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)

フィルタ装置水素濃度 (H22-P912)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下
フィルタ装置水素濃度 (H22-P913-1)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置水素濃度の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置水素濃度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

フィルタ装置水素濃度の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 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

フィルタ装置水素濃度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【フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E104) の耐震性についての計算結果】、【フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E134) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	フィルタ装置水素濃度	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	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト (H22-P912)	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	50	211	394	—
ラック取付ボルト (H22-P912)	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	50	211	394	—
基礎ボルト (H22-P913-1)	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	50	211	394	—
ラック取付ボルト (H22-P913-1)	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	50	211	394	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置水素濃度の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E104)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E134)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置水素濃度の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E104) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E104)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 23.500*	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C _H =1.53	C _V =1.41	50

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水素濃度 (H22-P912)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	835	12 (M12)	113.1	30	211 (40mm<径)	394 (40mm<径)
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	735	16 (M16)	201.1	38	211 (40mm<径)	394 (40mm<径)

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	260	280	12	—	253	—	長辺方向
	1360	1480	2				
ラック取付ボルト (i=2)	265	285	15	—	253	—	長辺方向
	1365	1485	4				

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=49$	$f_{ts1}=152^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=8$	$f_{sb1}=117$
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=12$	$f_{ts2}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=146$

すべて許容応力以下である。

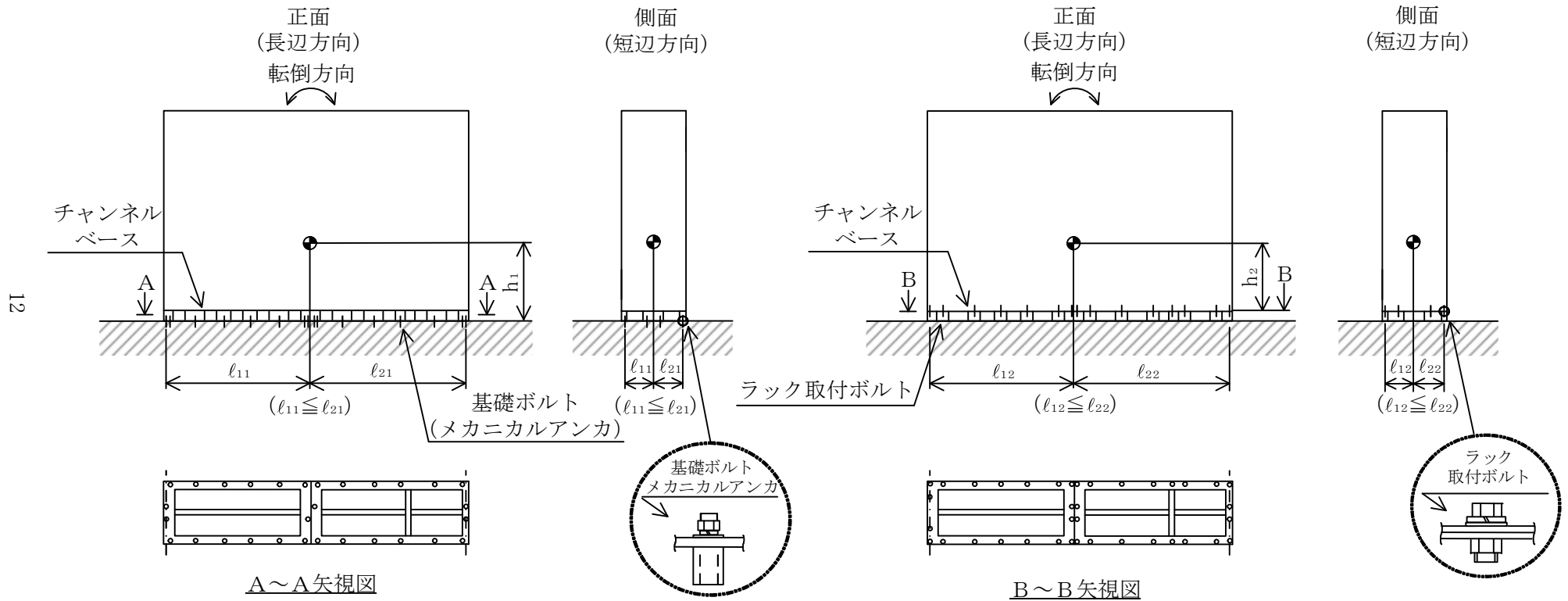
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E104)	水平方向	1.27	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.18	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E134) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E134)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500*	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 53	C _V =1. 41	50

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置水素濃度 (H22-P913-1)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i = 1)	<input type="text"/>	790	12 (M12)	113. 1	36	211 (40mm<径)	394 (40mm<径)
ラック取付ボルト (i = 2)	<input type="text"/>	690	16 (M16)	201. 1	42	211 (40mm<径)	394 (40mm<径)

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	260	280	13	—	253	—	短辺方向
	1650	1790	4				
ラック取付ボルト (i = 2)	265	285	17	—	253	—	長辺方向
	1655	1795	4				

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し,
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=31$	$f_{ts1}=152^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=117$
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=146$

すべて許容応力以下である。

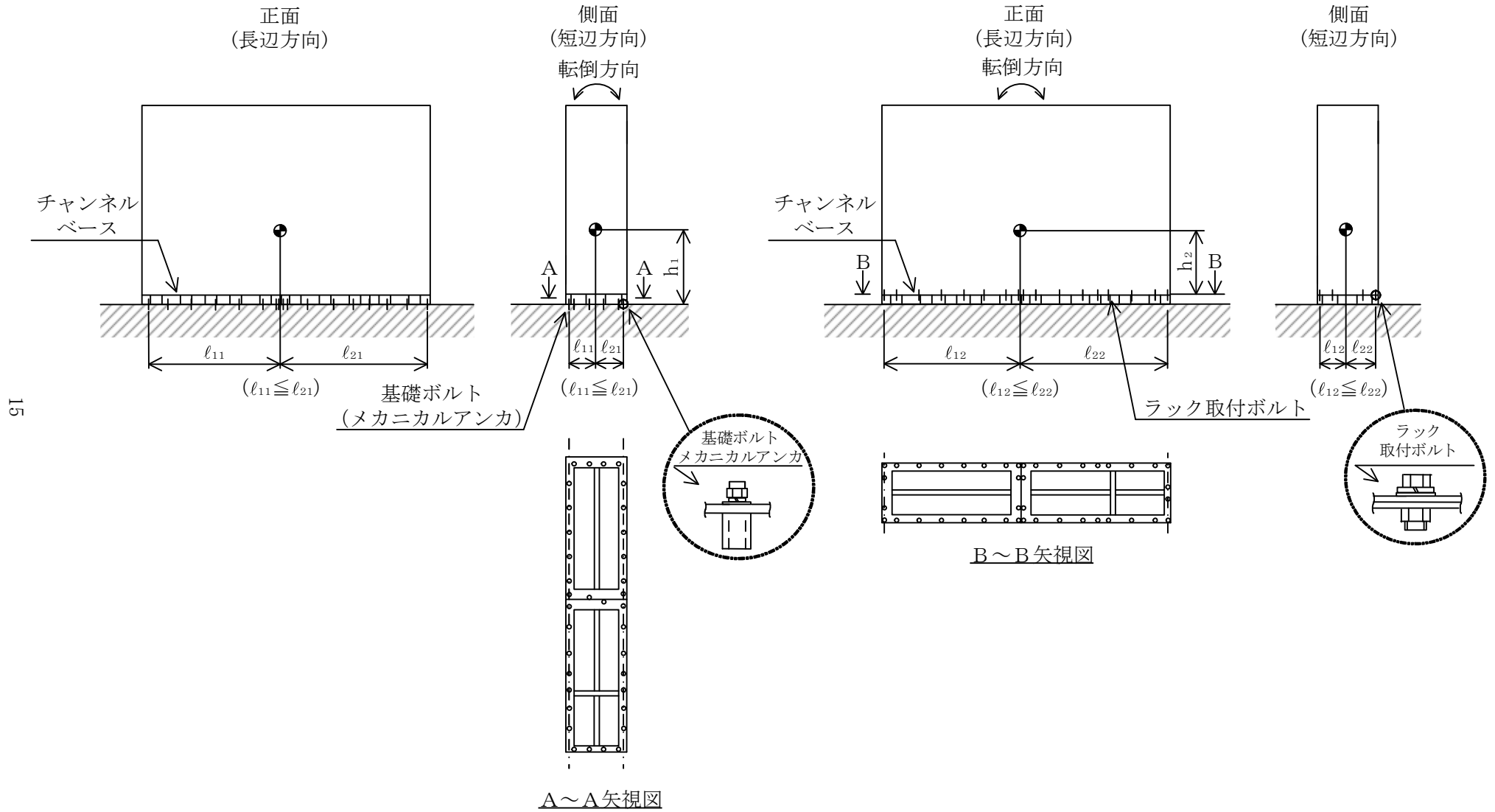
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置水素濃度 (T61-H2E134)	水平方向	1.27	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.18	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-21 フィルタ装置金属フィルタ差圧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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、フィルタ装置金属フィルタ差圧が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置金属フィルタ差圧は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、フィルタ装置金属フィルタ差圧が設置される計装ラックは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置金属フィルタ差圧の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより支持板に固定され、支持板は、支持板取付ボルトにより計装ラックに固定される。計装ラックは、ラック取付ボルトにより、チャンネルベースに固定され、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式圧力検出器</p>	<p>【フィルタ装置金属フィルタ差圧】</p> <p>平面</p> <p>基礎(壁面)</p> <p>正面 900</p> <p>1200</p> <p>(正面方向)</p> <p>側面 590</p> <p>基礎ボルト(メカニカルアンカ)</p> <p>ラック取付ボルト</p> <p>チャンネルベース</p> <p>支持板取付ボルト</p> <p>取付板取付ボルト</p> <p>検出器</p> <p>計器取付ボルト</p> <p>支持板</p> <p>取付板</p> <p>計装ラック</p> <p>基礎(壁面)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位: mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

フィルタ装置金属フィルタ差圧が設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を使用する。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)

フィルタ装置金属フィルタ差圧 (H22-P915)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

フィルタ装置金属フィルタ差圧の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置金属フィルタ差圧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

フィルタ装置金属フィルタ差圧の許容応力は、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

フィルタ装置金属フィルタ差圧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【フィルタ装置金属フィルタ差圧 (T61-DPT005A) の耐震性についての計算結果】、【フィルタ装置金属フィルタ差圧 (T61-DPT005B) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	フィルタ装置金属フィルタ差圧	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IVAS
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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：積雪荷重を含む。

*4：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」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	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—
ラック取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置金属フィルタ差圧の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置金属フィルタ差圧 (T61-DPT005A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
フィルタ装置金属フィルタ差圧 (T61-DPT005B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置金属フィルタ差圧の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置金属フィルタ差圧 (T61-DPT005A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置 金属フィルタ差圧 (T61-DPT005A)	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置基礎 T. M. S. L. 12. 000* ¹ (T. M. S. L. 26. 300* ²)	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C _H =4. 58	C _V =1. 83	40

注記*1：鉛直方向の基準床レベルを示す。

*2：水平方向の基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置金属フィルタ差圧 (H22-P915)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	294	12 (M12)	113. 1	10	205	520
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	194	12 (M12)	113. 1	8	205	520

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	544	1100	840	2	5	—	246	—	側面方向
ラック取付ボルト (i=2)	504	1020	840	2	4	—	246	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=113$
ラック取付ボルト (i=2)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	$f_{sb2}=142$

すべて許容応力以下である。

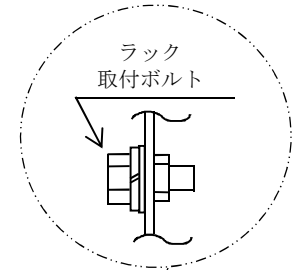
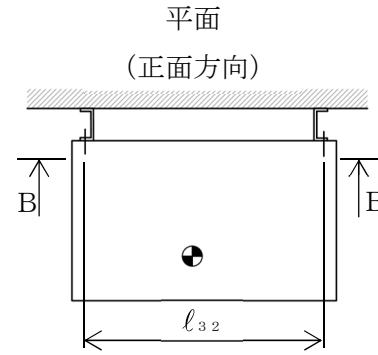
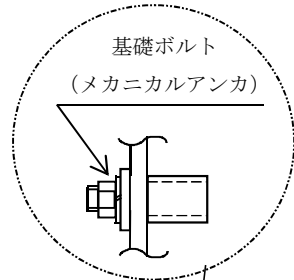
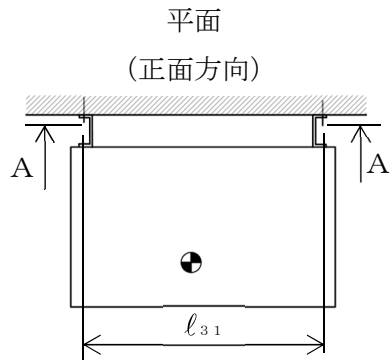
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

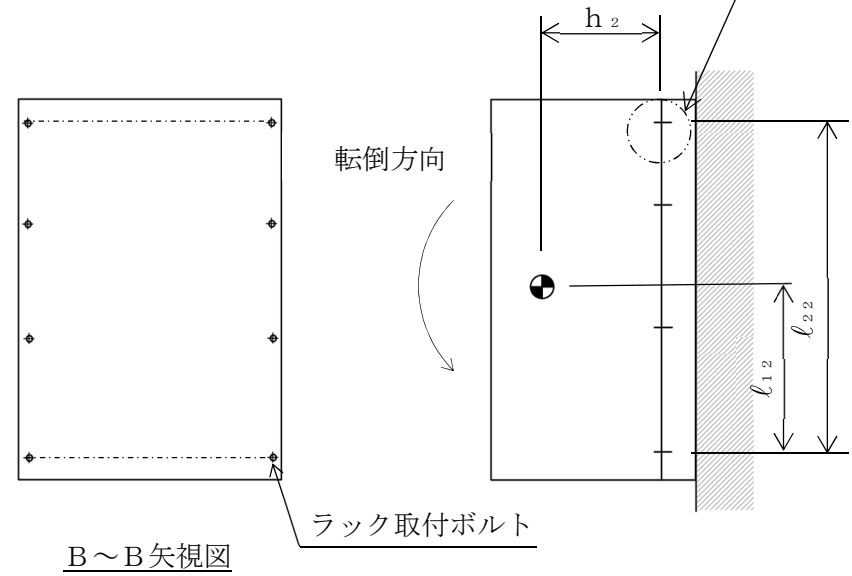
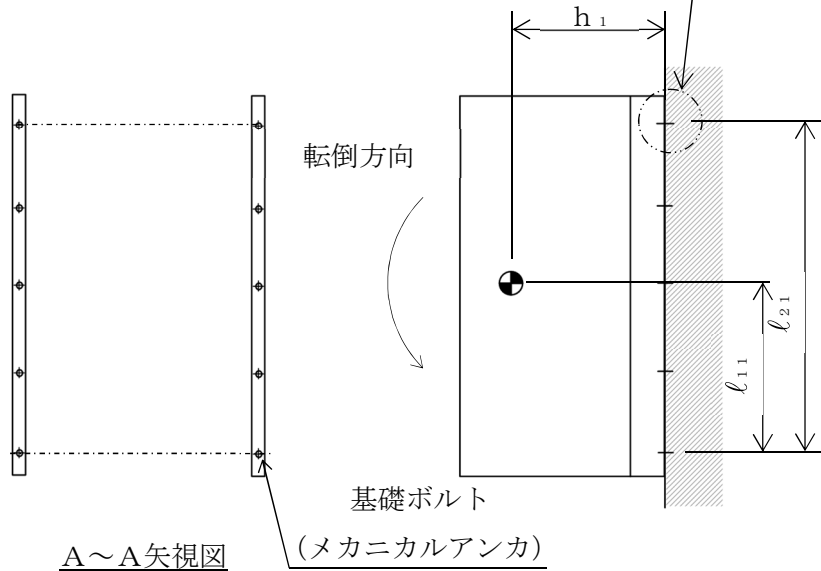
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置 金属フィルタ差圧 (T61-DPT005A)	水平方向	3.82	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.53	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



12



【フィルタ装置金属フィルタ差圧 (T61-DPT005B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置 金属フィルタ差圧 (T61-DPT005B)	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置基礎 T. M. S. L. 12. 000* ¹ (T. M. S. L. 26. 300* ²)	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C _H =4. 58	C _V =1. 83	40

注記*1：鉛直方向の基準床レベルを示す。

*2：水平方向の基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 フィルタ装置金属フィルタ差圧 (H22-P915)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	294	12 (M12)	113. 1	10	205	520
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	194	12 (M12)	113. 1	8	205	520

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	544	1100	840	2	5	—	246	—	側面方向
ラック取付ボルト (i=2)	504	1020	840	2	4	—	246	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=40$	$f_{ts1}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=14$	$f_{sb1}=113$
ラック取付ボルト (i=2)	SUS304	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=15$	$f_{sb2}=142$

すべて許容応力以下である。

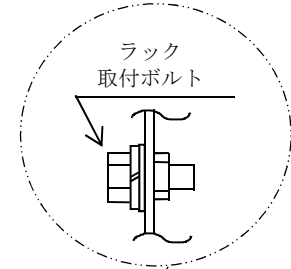
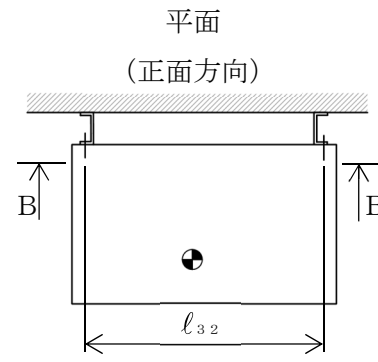
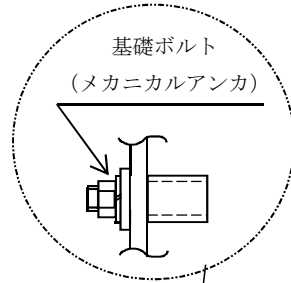
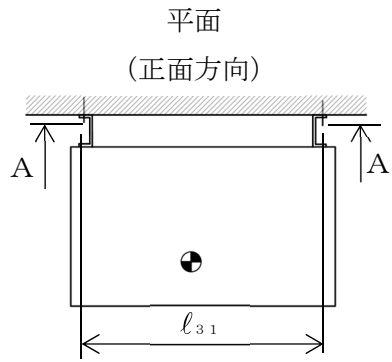
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

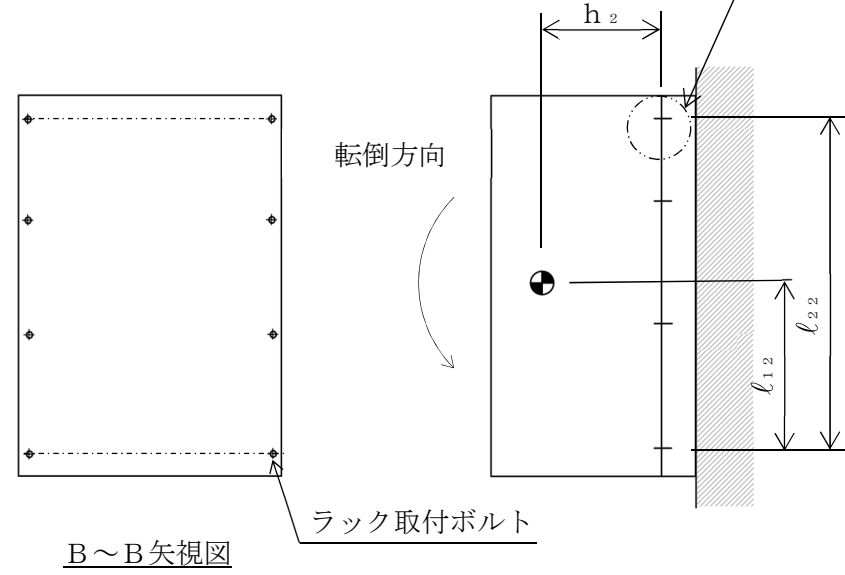
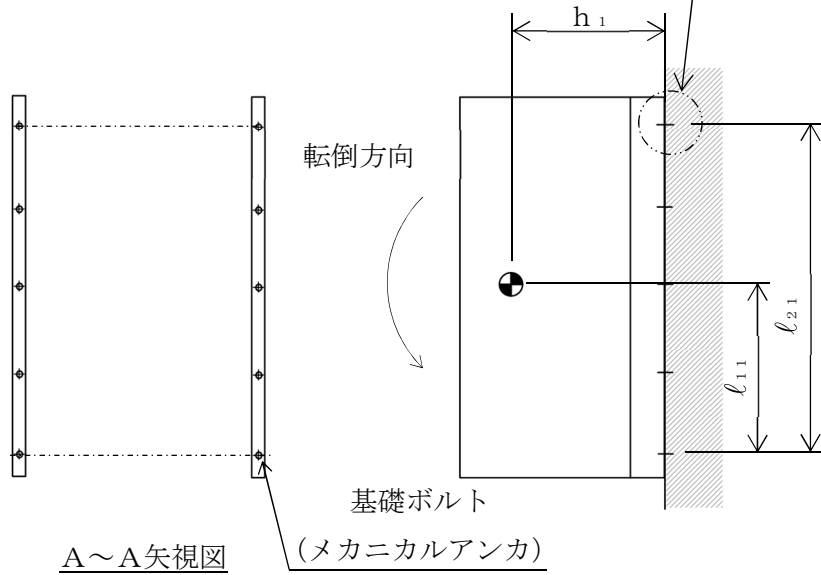
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置 金属フィルタ差圧 (T61-DPT005B)	水平方向	3.82	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.53	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



15



側面
(側面方向)

VI-2-6-7-22 フィルタ装置スクラバ水 pH の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有値解析方法	8
4.2 解析モデル及び諸元	8
4.3 固有値解析結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2 許容応力	10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	19
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	19
5.5.2 ラック取付ボルトの応力計算条件	19
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 電氣的機能維持評価方法	21
7. 評価結果	22
7.1 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-2-1-9「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、フィルタ装置スクラバ水 pH が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

フィルタ装置スクラバ水 pH は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

フィルタ装置スクラバ水 pH の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより計器取付板に固定され、計器取付板は、計器取付板取付ボルトにより計装ラックに固定される。</p> <p>計装ラックは、チャンネルベースにラック取付ボルトで固定され、チャンネルベースは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>pH 検出器</p>	<p>【フィルタ装置スクラバ水 pH】</p> <p>The diagram shows two views of the assembly: a front view (正面) and a side view (側面). The front view shows a width of 1600 mm and a height of 1800 mm. The side view shows a width of 1100 mm. Labels include: 計器 (Instrument), 計器取付ボルト (Instrument mounting bolt), 計装ラック (Instrument rack), 検出器 (Detector), 計器取付板 (Instrument mounting plate), ラック取付ボルト (Rack mounting bolt), 基礎 (Foundation), 基礎ボルト (ケミカルアンカ) (Foundation bolt (chemical anchor)), and チャンネルベース (Channel base). The side view also labels 計器取付板取付ボルト (Instrument mounting plate mounting bolt).</p> <p>(長辺方向) (短辺方向)</p>
		(単位 : mm)

2.2 評価方針

フィルタ装置スクラバ水 pH 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」にて示すフィルタ装置スクラバ水 pH 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、フィルタ装置スクラバ水 pH の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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。

フィルタ装置スクラバ水 pH の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

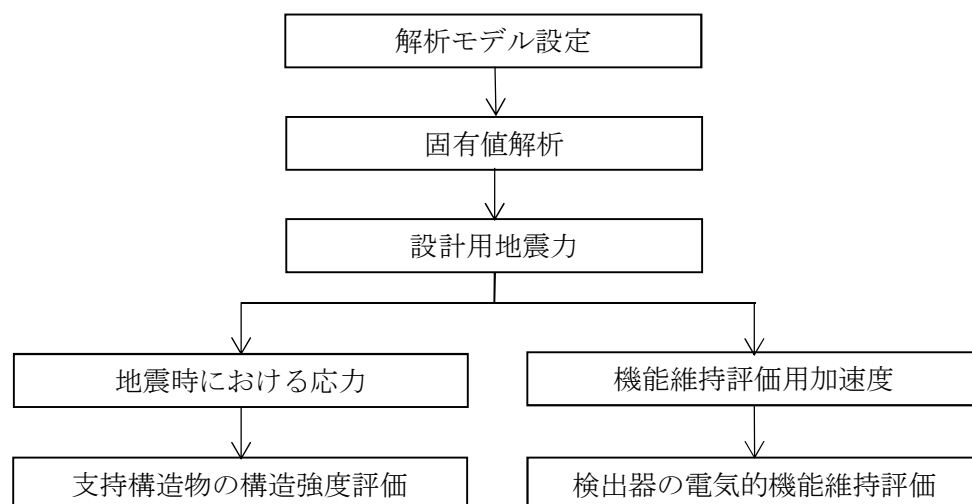


図 2-1 フィルタ装置スクラバ水 pH の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本あたり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*¹: A_{bi} , d_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: ラック取付ボルト

*²: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

i =2 : 取付面

*3 : $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

注記*1 : 設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、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

フィルタ装置スクラバ水 pH の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部及びラック取付ボルト部について実施する。フィルタ装置スクラバ水 pH の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

フィルタ装置スクラバ水 pH の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) フィルタ装置スクラバ水 pH 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

計装ラックの解析モデルを図 4-1 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【フィルタ装置スクラバ水 pH (T61-PHE173) 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) フィルタ装置スクラバ水 pH 内の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) フィルタ装置スクラバ水 pH の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件として、基礎部の並進方向と、ボルト軸直角 2 方向の回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

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

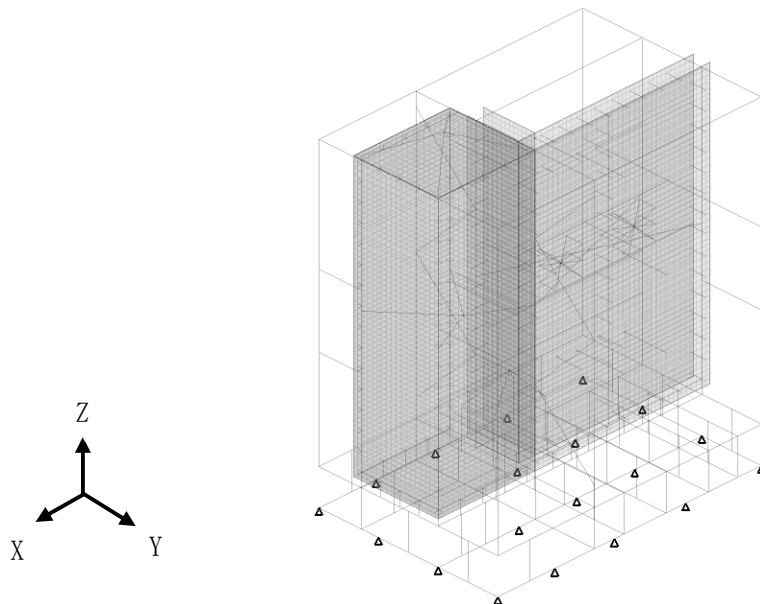


図 4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-1 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4-1 固有値解析結果

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

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) フィルタ装置スクラバ pH の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力はフィルタ装置スクラバ水 pH に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) フィルタ装置スクラバ水 pH はラック取付ボルトによりチャンネルベースに固定されており、固定端とする。また、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) フィルタ装置スクラバ水 pH の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

フィルタ装置スクラバ水 pH 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

フィルタ装置スクラバ水 pH 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

フィルタ装置スクラバ水 pH の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	フィルタ装置スクラバ水 pH	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D^{*3} + P_D + M_D + S_s^{*4}$	IVAS
					$D^{*3} + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	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：積雪荷重を含む。

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

表 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	40	215	400	—
ラック取付ボルト	SNB7 (100mm<径≤120mm)	周囲環境温度	40	520	690	—

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「設計用床応答曲線の作成方針」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）

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
フィルタ装置 スクラバ水 pH (T61-PHE173)	格納容器圧力 逃がし装置基礎 T. M. S. L. 12. 000*		0.05 以下	—	—	C _H =4.04	C _V =1.83

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張りとせん断力について計算する。

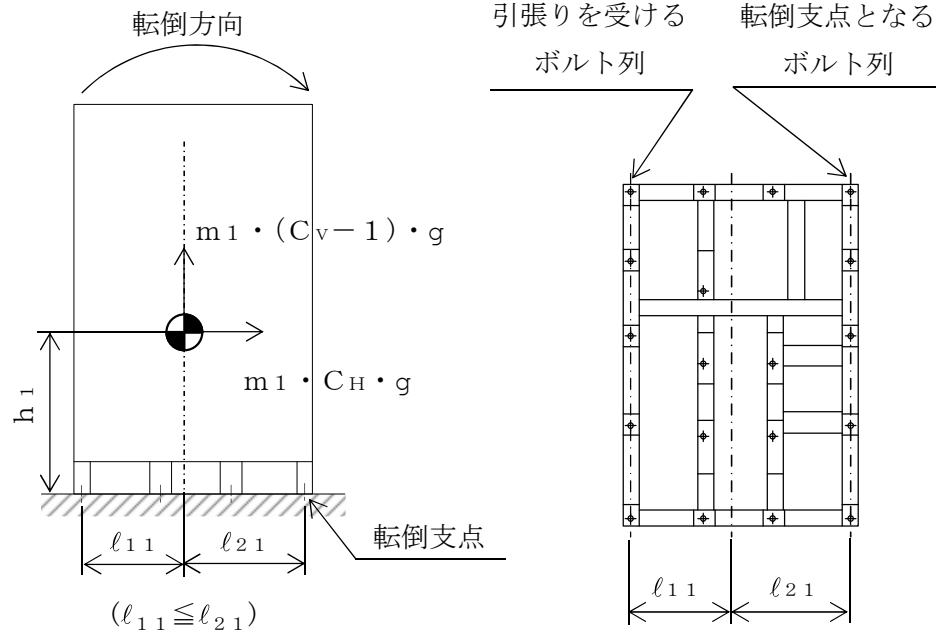


図5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

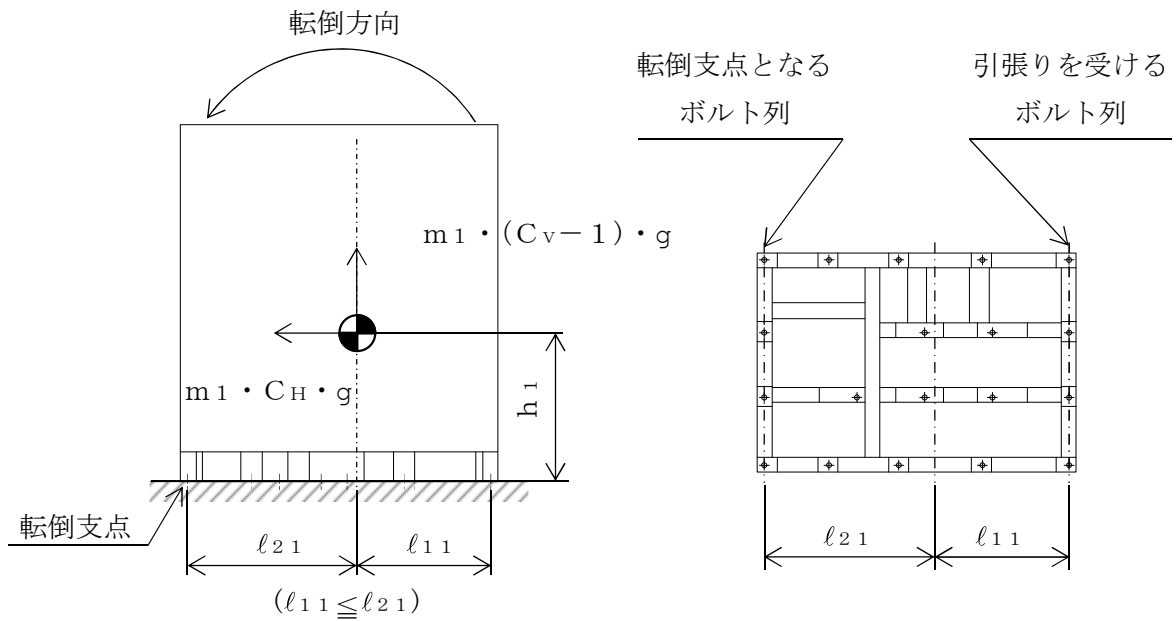


図5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot l_{21} \cdot g}{n_{f1} \cdot (l_{11} + l_{21})} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ラック取付ボルトの計算方法

ラック取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

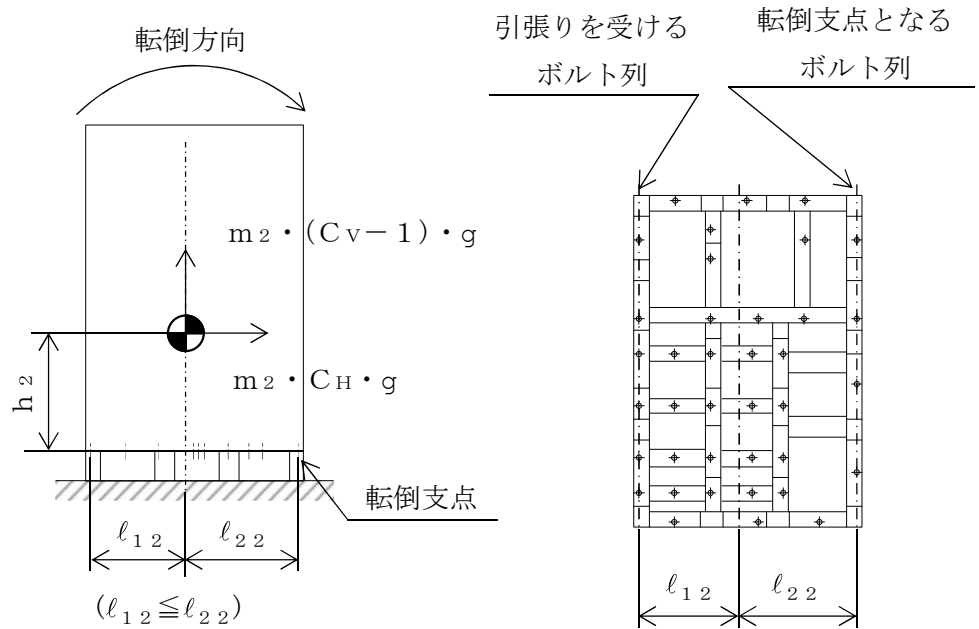


図5-3 計算モデル（短辺方向転倒）

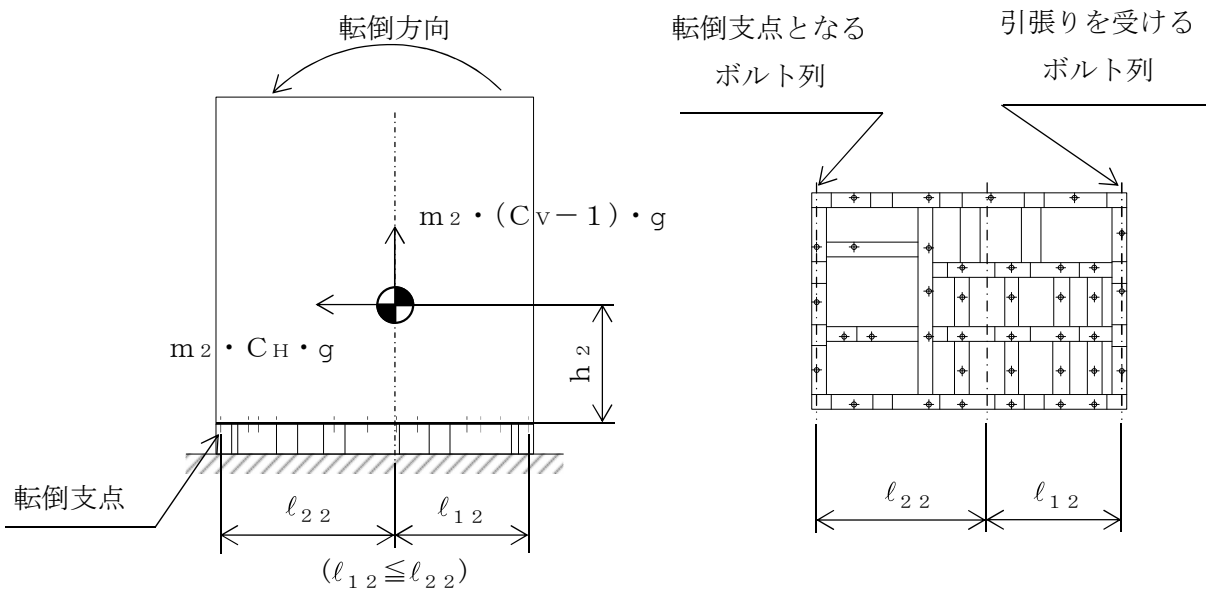


図5-4 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

ラック取付ボルトに対する引張力は，図5-3及び図5-4でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え，これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell_{22} \cdot g}{n_{f2} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで，ラック取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

ラック取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots (5.4.1.2.5)$$

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【フィルタ装置スクラバ水pH (T61-PHE173) 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 ラック取付ボルトの応力計算条件

ラック取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【フィルタ装置スクラバ水pH (T61-PHE173) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

フィルタ装置スクラバ水 pH の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

フィルタ装置スクラバ水 pH の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
フィルタ装置スクラバ水 pH (T61-PHE173)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

フィルタ装置スクラバ水 pH の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【フィルタ装置スクラバ水 pH (T61-PHE173) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
フィルタ装置 スクラバ水 pH (T61-PHE173)	常設耐震/防止 常設/緩和	格納容器圧力 逃がし装置基礎 T. M. S. L. 12. 000*	□	0.05 以下	—	—	C _H =4.04	C _V =1.83	40

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目 (H22-P914)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	□	748	20	314.2	19	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)
ラック取付ボルト (i=2)	□	598	16	201.1	38	520 (100mm<径≤120mm)	690 (100mm<径≤120mm)

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	473	557	5	258	—	短辺方向
	674	856	4			
ラック取付ボルト (i=2)	483	567	4	483	—	短辺方向
	684	866	3			

注記* : 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=73$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=23$	$f_{sb1}=119$
ラック取付ボルト (i=2)	SNB7	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=106$	$f_{ts2}=362^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=278$

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

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

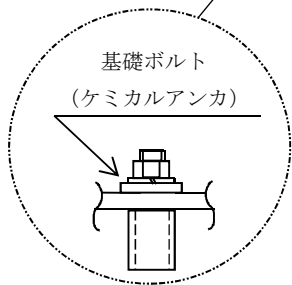
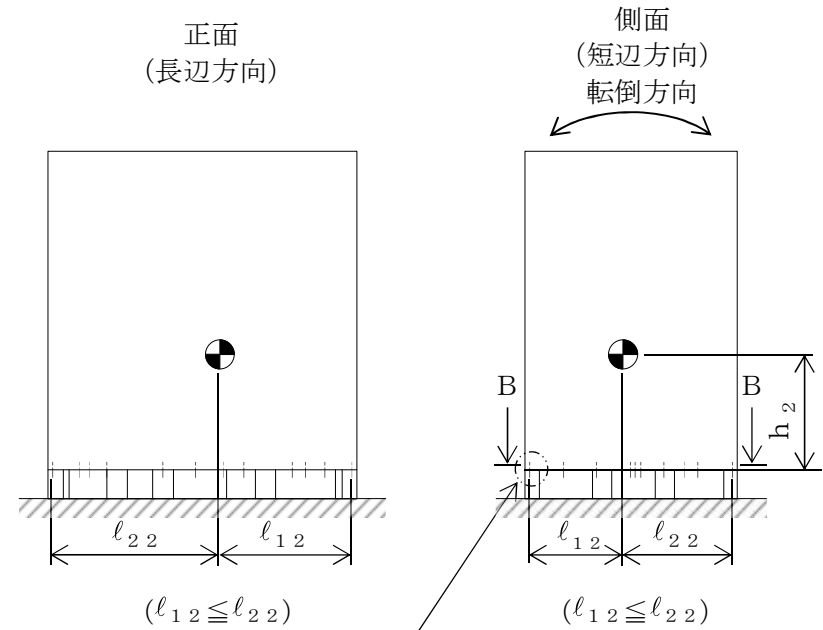
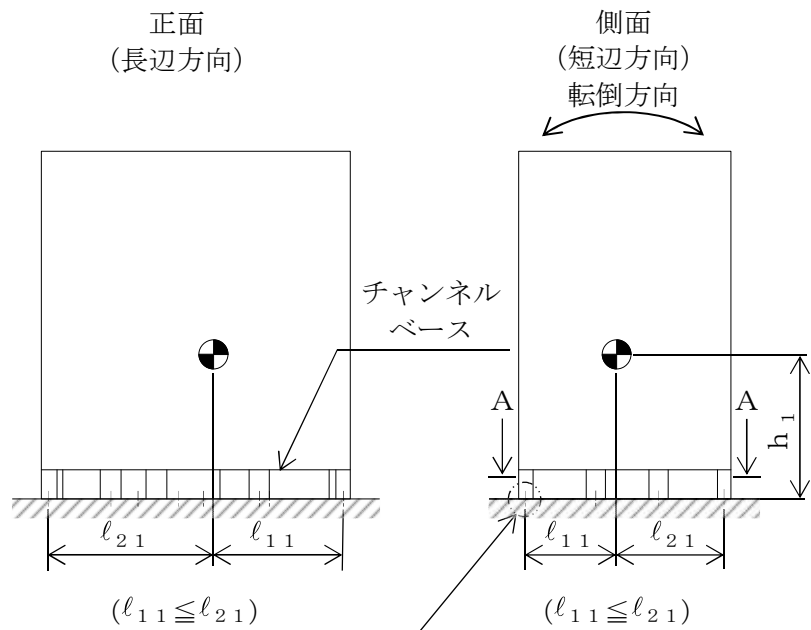
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
フィルタ装置スクラバ水 pH (T61-PHE173)	水平方向	3.37	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.53	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

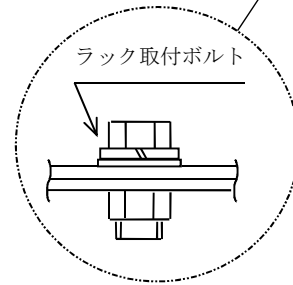
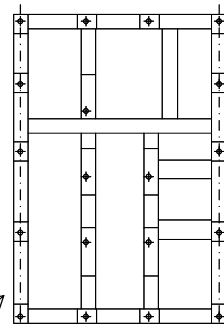
機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

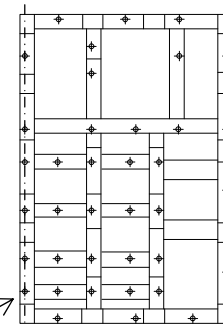
項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
縦弾性係数	E	MPa	2.02×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	11652
節点数	—	個	11405



基礎ボルト
(ケミカルアンカ)



ラック取付ボルト



B~B 矢視図

VI-2-6-7-23 原子炉補機冷却水系系統流量の耐震性についての計算書

目 次

1. 原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A, P21-FT006B)	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用規格・基準等	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	7
1.3 評価部位	8
1.4 固有周期	8
1.4.1 基本方針	8
1.4.2 固有周期の確認方法	8
1.4.3 固有周期の確認結果	8
1.5 構造強度評価	9
1.5.1 構造強度評価方法	9
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
1.5.3 設計用地震力	13
1.5.4 計算方法	14
1.5.5 計算条件	17
1.5.6 応力の評価	17
1.6 機能維持評価	18
1.6.1 電氣的機能維持評価方法	18
1.7 評価結果	19
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	19
2. 原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006C)	26
2.1 概要	26
2.2 一般事項	26
2.2.1 構造計画	26
2.2.2 評価方針	28
2.2.3 適用規格・基準等	29
2.2.4 記号の説明	30
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	32
2.3 評価部位	33
2.4 固有周期	33

2.4.1	基本方針	33
2.4.2	固有周期の確認方法	33
2.4.3	固有周期の確認結果	33
2.5	構造強度評価	34
2.5.1	構造強度評価方法	34
2.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	34
2.5.3	設計用地震力	38
2.5.4	計算方法	39
2.5.5	計算条件	43
2.5.6	応力の評価	44
2.6	機能維持評価	45
2.6.1	電氣的機能維持評価方法	45
2.7	評価結果	46
2.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	46

1. 原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A, P21-FT006B)

1.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉補機冷却水系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉補機冷却水系系統流量は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

原子炉補機冷却水系系統流量の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器ステーションに固定される。計器ステーションは、溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物に設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>【原子炉補機冷却水系系統流量】</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A)</th> <th>原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>374</td> <td>374</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>160</td> <td>160</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>650</td> <td>650</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>	機器名称	原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A)	原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006B)	たて	374	374	横	160	160	高さ	650	650
機器名称	原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A)	原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006B)												
たて	374	374												
横	160	160												
高さ	650	650												

1.2.2 評価方針

原子炉補機冷却水系系統流量の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「1.2.1 構造計画」にて示す原子炉補機冷却水系系統流量の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「1.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、原子炉補機冷却水系系統流量の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「1.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価フローを図1-1に示す。

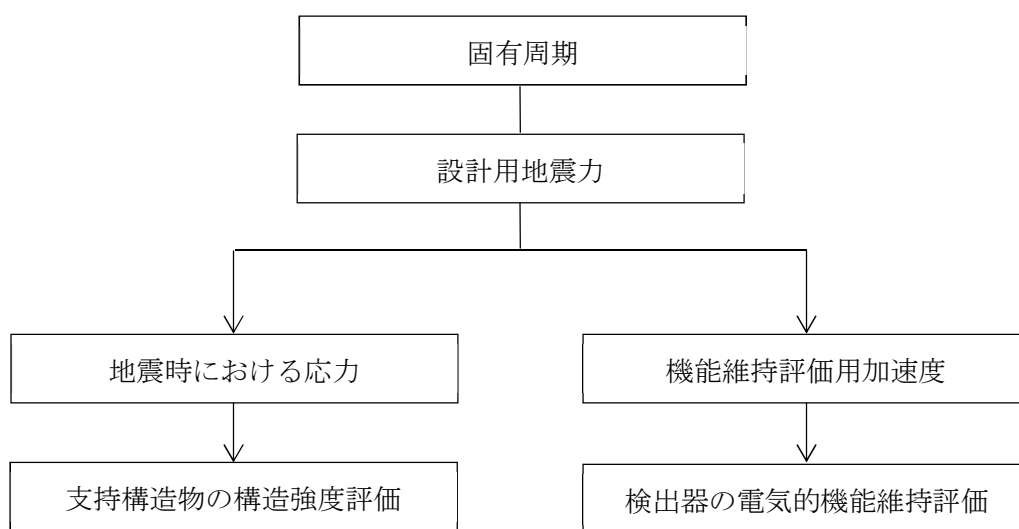


図1-1 原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A _w	溶接部の有効断面積	mm ²
A _{w1}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
A _{w2}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
b ₁ , b ₂	溶接の有効長さ	mm
b ₃	b ₁ , b ₂ の溶接部における溶接長さの短い方の値	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1) に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F _w	溶接部に作用する引張力	N
F _{w1}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
F _{w2}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
f _{s w}	溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{t w}	溶接部の許容引張応力	MPa
f _w	溶接部の許容組合せ応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₁	据付面から重心までの距離	mm
ℓ ₁	重心と溶接部端部との距離*	mm
ℓ ₂	重心と溶接部端部との距離*	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	溶接箇所数	—
n _{f1}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (正面方向転倒)	—
n _{f2}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (側面方向転倒)	—
Q _w	溶接部に作用するせん断力	N
s	溶接脚長	mm

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S_y (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
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_{t1}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_{t2}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-2 に示すとおりとする。

表 1-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

1.3 評価部位

原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価は「1.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部について評価を実施する。

原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価部位については、表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 基本方針

原子炉補機冷却水系系統流量の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

1.4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。原子炉補機冷却水系系統流量の外形図を表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 1-3 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 1-3 固有周期

(単位：s)

原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物に設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却水系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.5.2.2 許容応力

原子炉補機冷却水系系統流量の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	原子炉補機冷却水系系統流量	常設／防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 1-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2, *3} (ボルト等以外)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

*3：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

表 1-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
溶接部	STKR400	周囲環境温度	40	245	400	—

1.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 1-7 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 1-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
原子炉補機冷却水 系系統流量 (P21-FT006A)	タービン建屋 T. M. S. L. -5.100*	□	□	—	—	C _H =1.21	C _V =1.12
原子炉補機冷却水 系系統流量 (P21-FT006B)	タービン建屋 T. M. S. L. -5.100*	□	□	—	—	C _H =1.21	C _V =1.12

注記*：基準床レベルを示す。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張りとせん断力について計算する。

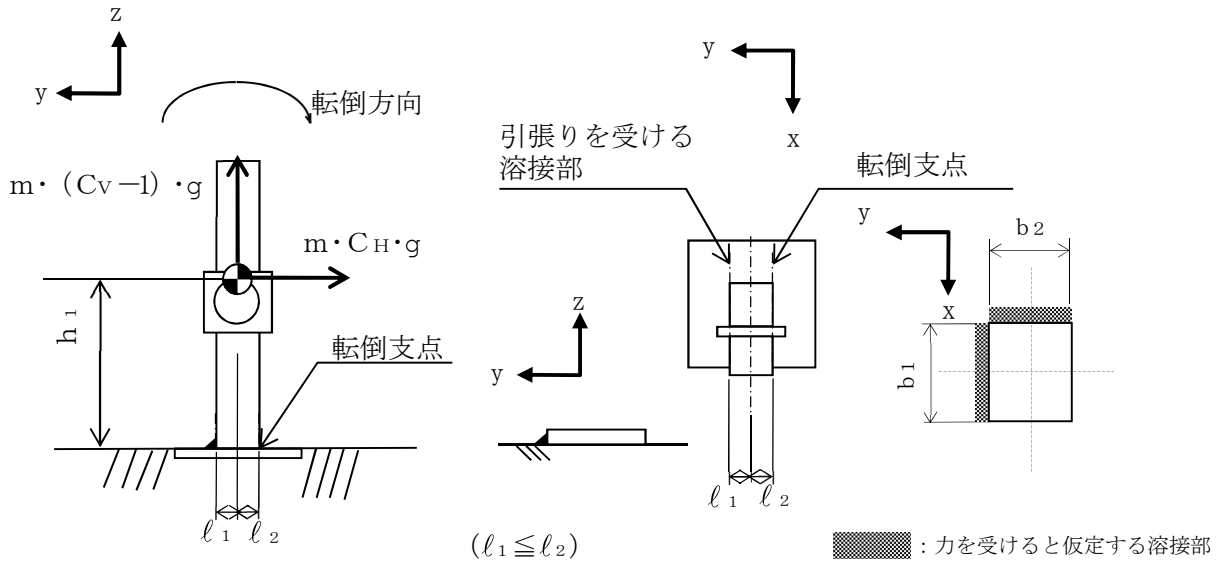


図1-2 計算モデル（正面方向）

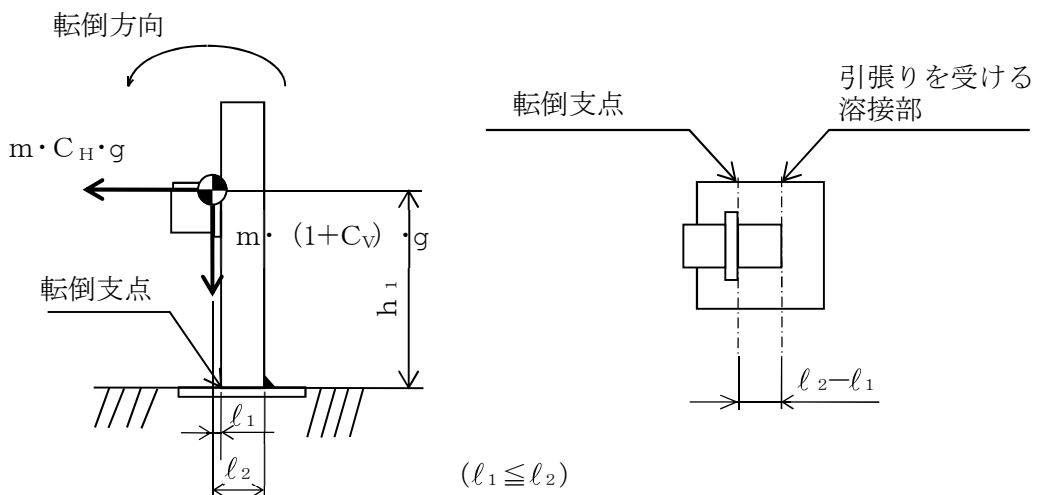


図1-3 計算モデル（側面方向）

(1) 引張応力

溶接部に対する引張力は、図1-2及び図1-3それぞれの溶接部を支点とする転倒を考え、これを片側の溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図1-2の場合の引張力

$$F_{w1} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_{f1} \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図1-3の場合の引張力

$$F_{w2} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot l_1}{n_{f2} \cdot (l_2 - l_1)} \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.2)$$

$$F_w = \text{Max} (F_{w1}, F_{w2}) \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_{t1} = \frac{F_{w1}}{A_{w1}} \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{t2} = \frac{F_{w2}}{A_{w2}} \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.5)$$

ここで、溶接部の有効断面積 A_{w1} 及び A_{w2} は、次式により求める。

$$A_{w1} = a \cdot b_1 \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.6)$$

$$A_{w2} = a \cdot b_2 \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.7)$$

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、次式により求める。

$$a = 0.7 \cdot s \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.8)$$

$$\sigma_t = \text{Max} (\sigma_{t1}, \sigma_{t2}) \quad \dots \quad (1.5.4.1.1.9)$$

(2) せん断応力

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

せん断力

$$Q_w = m \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.10)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{Q_w}{n \cdot A_w} \quad \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.11)$$

ここで、せん断力を受ける溶接部の有効断面積 A_w は、次式により求める。

$$A_w = a \cdot b_3 \quad \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.12)$$

ただし、 b_3 は b_1 、 b_2 の溶接部における溶接長さの短い方とする。

(3) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t)^2 + \tau^2} \quad \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.13)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A) の耐震性についての計算結果】、【原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006B) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 溶接部の応力評価

1.5.4.1 項で求めた溶接部の各応力は以下の表に示す許容応力以下であること。

	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_{tw}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉補機冷却水系系統流量の電氣的機能維持評価については以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-8 に示す。

表 1-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却水系統流量 (P21-FT006A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
原子炉補機冷却水系統流量 (P21-FT006A)	常設/防止 (DB 拡張)	タービン建屋 T. M. S. L. -5. 100*	□	□	—	—	C _H =1. 21	C _V =1. 12	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉補機冷却水系統流量

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	s (mm)	a (mm)	A _w (mm ²)	A _{w1} (mm ²)	A _{w2} (mm ²)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	b ₃ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n	n _{f1}	n _{f2}	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
																				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	□	323	3. 2	2. 2	181. 0	181. 0	181. 0	80. 8	80. 8	80. 8	□	□	1	1	—	245	400	—	280	—	側面方向
											□	□		—	1						

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

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	F _w		Q _w	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	STKR400	引張り	—	—	$\sigma_t=8$	$f_{tw}=161^*$
		せん断	—	—	$\tau=2$	$f_{sw}=161^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w=8$	$f_w=161^*$

すべて許容応力以下である。

注記*：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

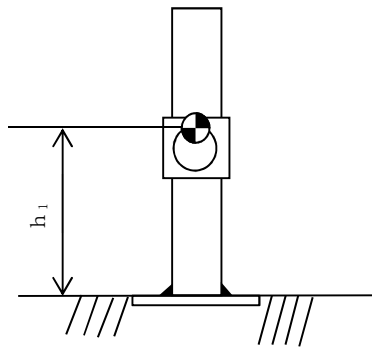
21

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

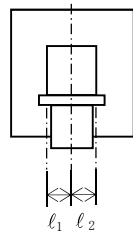
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系系統 流量(P21-FT006A)	水平方向	1.02	<input type="text"/>
	鉛直方向	0.94	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

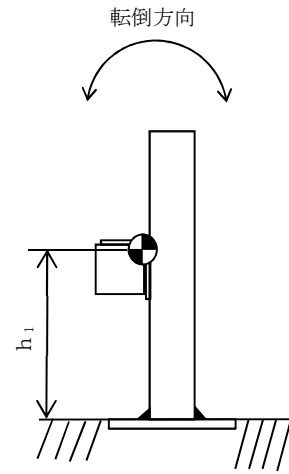
機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



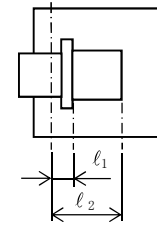
(正面方向)



$$(l_1 \leq l_2)$$



(側面方向)



$$(l_1 \leq l_2)$$

【原子炉補機冷却水系統流量 (P21-FT006B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原子炉補機冷却水系統 流量(P21-FT006B)	常設/防止 (DB 拡張)	タービン建屋 T.M.S.L. -5.100*	□	□	—	—	C _H =1.21	C _V =1.12	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉補機冷却水系統流量

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	s (mm)	a (mm)	A _w (mm ²)	A _{w1} (mm ²)	A _{w2} (mm ²)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	b ₃ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n	n _{f1}	n _{f2}	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
																				弾性設計用 地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
溶接部	□	□	3.2	2.2	181.0	181.0	181.0	80.8	80.8	80.8	□	□	1	1	—	245	400	—	280	—	側面方向
											□	□		—	1						

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

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	F _w		Q _w	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	STKR400	引張り	—	—	$\sigma_t=8$	$f_{tw}=161^*$
		せん断	—	—	$\tau=2$	$f_{sw}=161^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w=8$	$f_w=161^*$

すべて許容応力以下である。

注記*：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

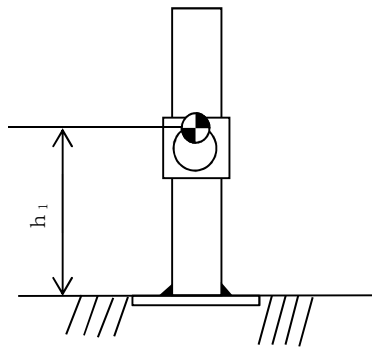
24

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

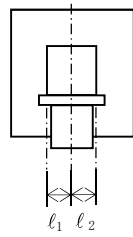
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系系統 流量(P21-FT006B)	水平方向	1.02	<input type="text"/>
	鉛直方向	0.94	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

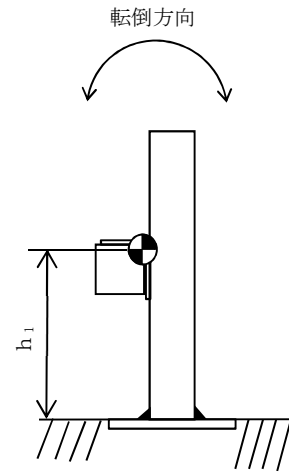
機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



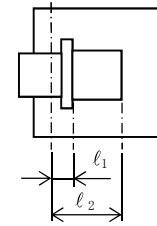
(正面方向)



$(l_1 \leq l_2)$



(側面方向)



$(l_1 \leq l_2)$

2. 原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006C)

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉補機冷却水系系統流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

原子炉補機冷却水系系統流量は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

原子炉補機冷却水系系統流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スターションに固定される。計器スターションは、溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物及び基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>【原子炉補機冷却水系系統流量】</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2.2 評価方針

原子炉補機冷却水系系統流量の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す原子炉補機冷却水系系統流量の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、原子炉補機冷却水系系統流量の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価フローを図2-1に示す。

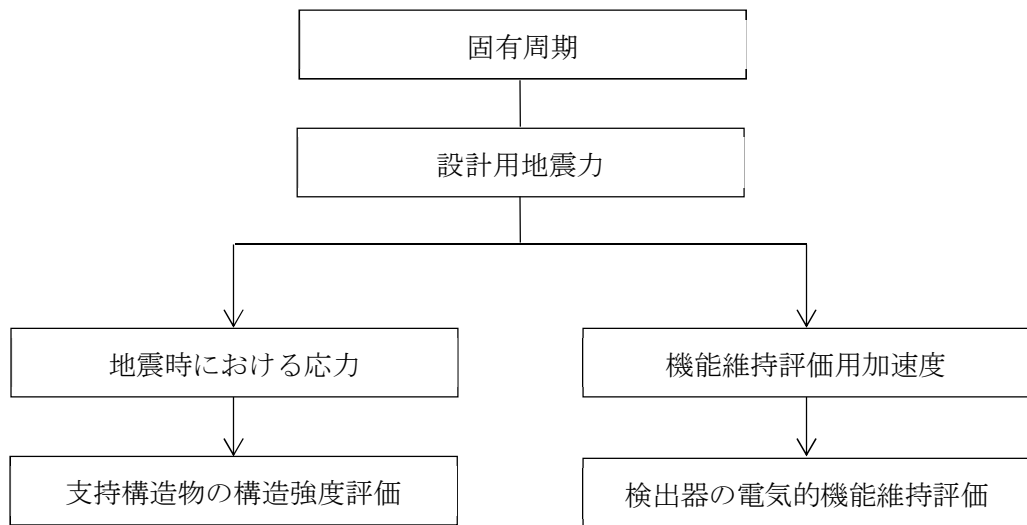


図2-1 原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
A _w	溶接部の有効断面積	mm ²
A _{w1}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
A _{w2}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
b ₁ , b ₂	溶接の有効長さ	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1) に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F _b	ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F _{b1}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F _{b2}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
F _w	溶接部に作用する引張力	N
F _{w1}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
F _{w2}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
f _{s b}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f _{s w}	溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{t o}	引張力のみをうけるボルトの許容引張応力	MPa
f _{t s}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
f _{t w}	溶接部の許容引張応力	MPa
f _w	溶接部の許容組合せ応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₂	据付面から重心までの距離	mm

記号	記号の説明	単位
l_3	重心と下側ボルト間の距離	mm
l_{a1}	側面(左右)ボルト間の距離	mm
l_{a2}	側面(左右)溶接部間の距離	mm
l_{b1}	上下ボルト間の距離	mm
l_{b2}	下側ボルトと上側溶接部端部との距離	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n_1	ボルトの本数	—
n_2	溶接箇所数	—
n_{f1H}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(正面方向転倒)	—
n_{f2H}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数(正面方向転倒)	—
n_{f1V}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(側面方向転倒)	—
n_{f2V}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数(側面方向転倒)	—
Q_b	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力	N
Q_w	溶接部に作用するせん断力	N
Q_{w1}	水平方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
Q_{w2}	鉛直方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
s	溶接脚長	mm
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

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	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

2.3 評価部位

原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価は「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び溶接部について評価を実施する。

原子炉補機冷却水系系統流量の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 基本方針

原子炉補機冷却水系系統流量の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

2.4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。原子炉補機冷却水系系統流量の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 2-3 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-3 固有周期

(単位：s)

原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006C)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	0.05 以下

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物及び基礎に基礎ボルトで設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却水系系統流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

原子炉補機冷却水系系統流量の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却水系系統流量の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	原子炉補機冷却水系系統流量	常設／防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 2-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2, *3} (ボルト等以外)		許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張り	せん断	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)				

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

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

*3：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

表 2-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	66	206	385	—
溶接部	STKR400	周囲環境温度	66	216	385	—

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 2-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
原子炉補機冷却水 系系統流量 (P21-FT006C)	原子炉建屋 T. M. S. L. -8.200 (T. M. S. L. -1.700*)		0.05 以下	—	—	$C_H=1.36$	$C_V=1.27$

注記*：基準床レベルを示す。

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

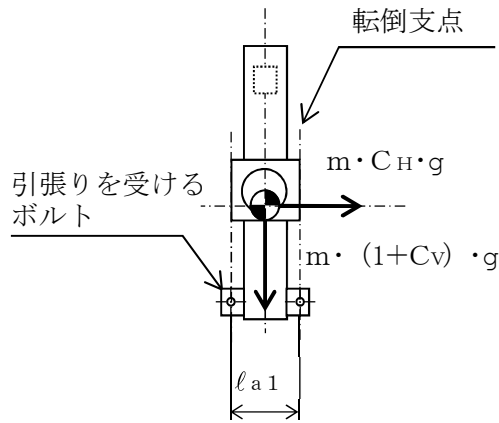
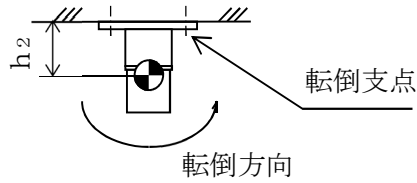


図 2-2 計算モデル (正面方向)

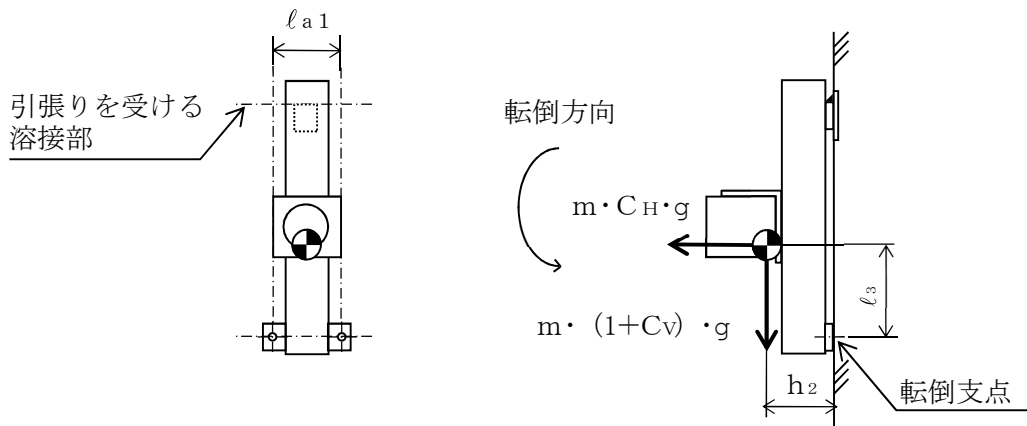


図 2-3 計算モデル (側面方向)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図2-2及び図2-3でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図2-2の場合の引張力

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{f1H} \cdot l_{a1}} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{f1V} \cdot l_{b1}} \right) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図2-3の場合の引張力

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot l_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{f1V} \cdot l_{b1}} \right) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

ただし、図2-3に示す計算モデルでは引張りを受けるボルトがないため、図2-2で示す計算モデルの場合のみ引張力が生じる。

$$F_b = F_{b1} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

引張応力

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

ここで、ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

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

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.7)$$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n_1 \cdot A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.9)$$

2.5.4.1.2 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

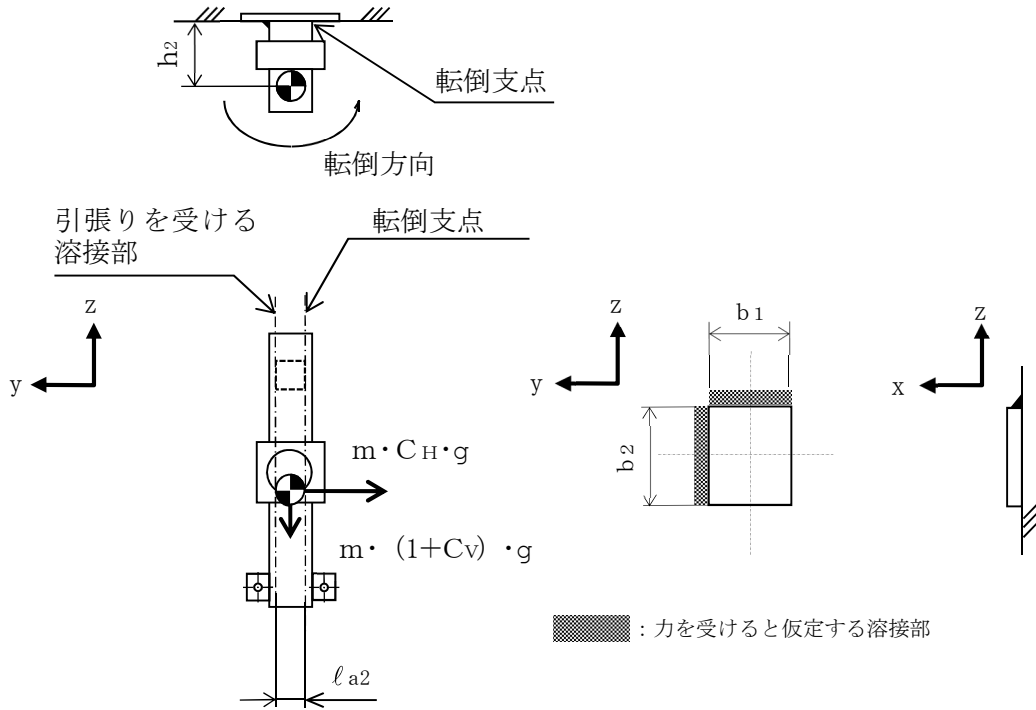


図 2-4 計算モデル（正面方向）

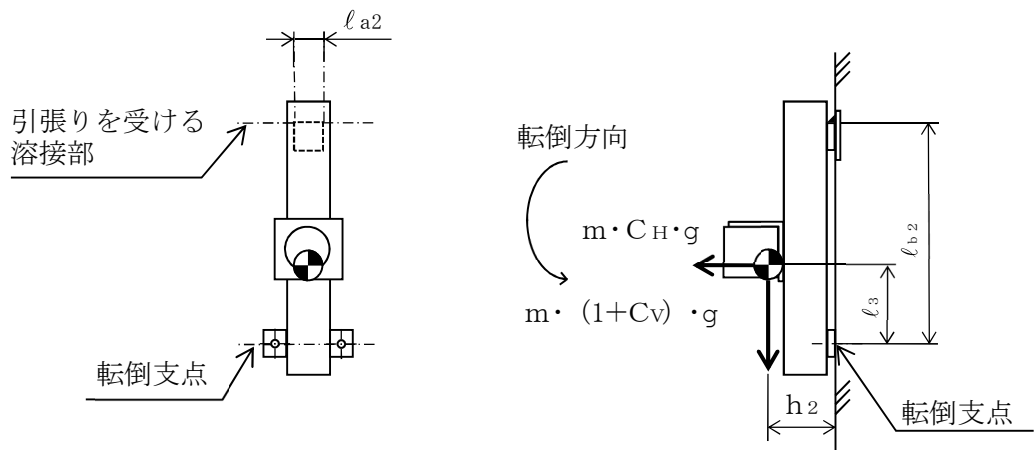


図 2-5 計算モデル（側面方向）

(1) 引張応力

溶接部に対する引張力は、図2-4及び図2-5それぞれの溶接部を支点とする転倒を考え、これを全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図2-4の場合の引張力

$$F_{w1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{f2H} \cdot l_{a2}} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{f2V} \cdot l_{b2}} \right) \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.1)$$

計算モデル図2-5の場合の引張力

$$F_{w2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot l_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{f2V} \cdot l_{b2}} \right) \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.2)$$

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

引張応力

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

ここで、溶接部の有効断面積 A_w は、次式により求める。

$$A_w = a \cdot (b_1 + b_2) \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.5)$$

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、次式により求める。

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

(2) せん断応力

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

せん断力

$$Q_{w1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.7)$$

$$Q_{w2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.8)$$

$$Q_w = \sqrt{(Q_{w1})^2 + (Q_{w2})^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.9)$$

せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_{w1}}{n_2 \cdot A_{w1}} \right)^2 + \left(\frac{Q_{w2}}{n_2 \cdot A_{w2}} \right)^2} \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.10)$$

ここで、せん断力を受ける溶接部の有効断面積 A_{w1} 及び A_{w2} は、次式により求める。

$$A_{w1} = a \cdot b_1 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.11)$$

$$A_{w2} = a \cdot b_2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.12)$$

(3) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t)^2 + \tau^2} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.2.13)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006C) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.5.2 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006C) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 ボルトの応力評価

2.5.4.1.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

2.5.6.2 溶接部の応力評価

2.5.4.1.2項で求めた溶接部の各応力は以下の表に示す許容応力以下であること。

	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_{tw}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

原子炉補機冷却水系系統流量の電氣的機能維持評価については以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-8 に示す。

表 2-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006C)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却水系系統流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【原子炉補機冷却水系系統流量 (P21-FT006C) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
原子炉補機冷却水系系統 流量(P21-FT006C)	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 T. M. S. L. -8. 200 (T. M. S. L. -1. 700*)	<input type="text"/>	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 36	C _V =1. 27	66

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 原子炉補機冷却水系系統流量

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n ₁	l ₃ (mm)	l _{a1} (mm)	n _{f1V}	n _{f1H}	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
														弾性設計用 地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12 (M12)	113. 1	2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	0	1	206 (40mm<径)	385 (40mm<径)	—	247	—	正面方向

1.2.2 原子炉補機冷却水系系統流量

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	s (mm)	a (mm)	A _w (mm ²)	A _{w1} (mm ²)	A _{w2} (mm ²)	n ₂	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l _{a2} (mm)	l _{b2} (mm)	n _{f2V}	n _{f2H}	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
																				弾性設計用 地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
溶接部	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3. 2	2. 2	182. 8	91. 39	91. 39	1	40. 8	40. 8	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1	1	216	385	—	260	—	正面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

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

1.3.2 溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	F _w		Q _w	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=4$	$f_{sb}=114$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 溶接部の応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	STKR400	引張り	—	—	$\sigma_t=7$	$f_{tw}=150^*$
		せん断	—	—	$\tau =9$	$f_{sw}=150^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w=11$	$f_w =150^*$

すべて許容応力以下である。

注記*：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

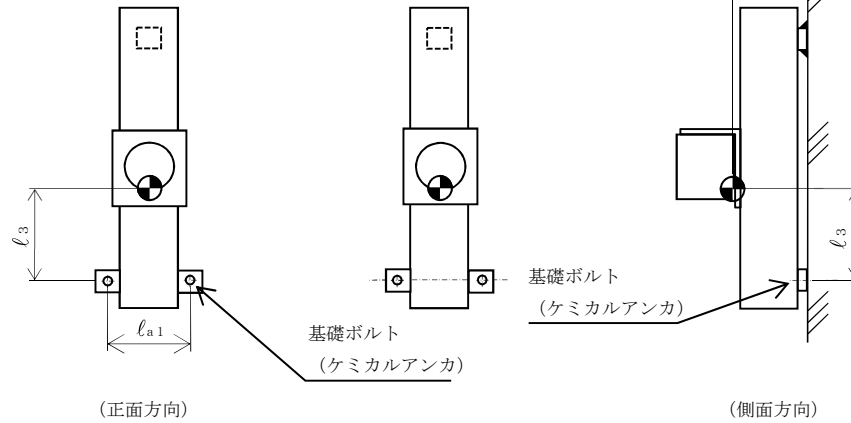
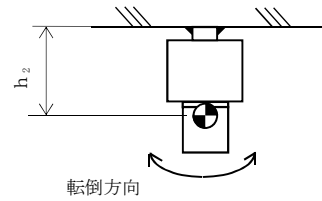
1.4.3 電気的機能の評価結果

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

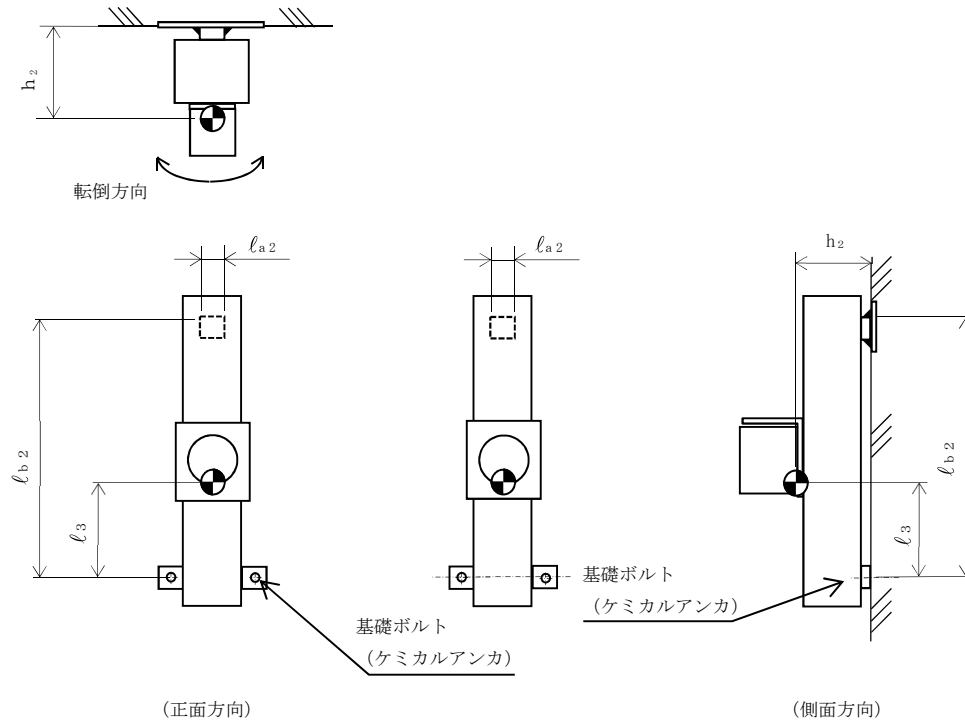
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
原子炉補機冷却水系系統 流量(P21-FT006C)	水平方向	1.12	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.06	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 ($1.0 \cdot ZPA$) はすべて機能確認済加速度以下である。



基礎ボルト



溶接部

VI-2-6-7-24 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の
耐震性についての計算書

目 次

1. 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量(P21-FT008A)	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.3 固有周期	3
1.3.1 固有周期の確認	3
1.4 構造強度評価	4
1.4.1 構造強度評価方法	4
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
1.4.3 計算条件	4
1.5 機能維持評価	8
1.5.1 電気的機能維持評価方法	8
1.6 評価結果	9
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9
2. 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量(P21-FT008B)	13
2.1 概要	13
2.2 一般事項	13
2.2.1 構造計画	13
2.2.2 評価方針	15
2.2.3 適用規格・基準等	16
2.2.4 記号の説明	17
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	19
2.3 評価部位	20
2.4 固有周期	20
2.4.1 基本方針	20
2.4.2 固有周期の確認方法	20
2.4.3 固有周期の確認結果	20
2.5 構造強度評価	21
2.5.1 構造強度評価方法	21
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	21
2.5.3 設計用地震力	25
2.5.4 計算方法	26
2.5.5 計算条件	29
2.5.6 応力の評価	29

2.6	機能維持評価	30
2.6.1	電気的機能維持評価方法	30
2.7	評価結果	31
2.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	31
3.	残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量(P21-FT008C)	35
3.1	概要	35
3.2	一般事項	35
3.2.1	構造計画	35
3.2.2	評価方針	37
3.2.3	適用規格・基準等	38
3.2.4	記号の説明	39
3.2.5	計算精度と数値の丸め方	41
3.3	評価部位	42
3.4	固有周期	42
3.4.1	基本方針	42
3.4.2	固有周期の確認方法	42
3.4.3	固有周期の確認結果	42
3.5	構造強度評価	43
3.5.1	構造強度評価方法	43
3.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	43
3.5.3	設計用地震力	47
3.5.4	計算方法	48
3.5.5	計算条件	50
3.5.6	応力の評価	50
3.6	機能維持評価	51
3.6.1	電気的機能維持評価方法	51
3.7	評価結果	52
3.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	52

1. 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量(P21-FT008A)

1.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

なお、残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量が設置される計装ラックは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の壁掛形であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の構造計画を表1-1に示す。

表 1-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計装ラックに固定される。 計装ラックは、チャンネルベースにラック取付ボルトで設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量】</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p> <p>(単位：mm)</p>

1.3 固有周期

1.3.1 固有周期の確認

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。試験の結果、剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表 1-2 に示す。

表 1-2 固有周期

(単位：s)

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (H22-P701)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.4 構造強度評価

1.4.1 構造強度評価方法

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-3 に示す。

1.4.2.2 許容応力

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 1-4 のとおりとする。

1.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

1.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008A) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 1-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	残留熱除去系熱交換器 入口冷却水流量	常設／防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 1-4 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	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

表 1-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	66	206	385	—
ラック取付ボルト	SS400 (40mm<径)					

1.5 機能維持評価

1.5.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

計装ラックに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-6 に示す。

表 1-6 機能確認済加速度

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.6 評価結果

1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
残留熱除去系熱交換器 入口冷却水流量 (P21-FT008A)	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 T. M. S. L. -8.200 (T. M. S. L. -1.700*)	□	□	—	—	C _H =1.36	C _V =1.27	66

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (H22-P701)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
ラック取付ボルト (i=2)	□	□	12 (M12)	113.1	8	206 (40mm<径)	385 (40mm<径)

部材	l _{1 i} (mm)	l _{2 i} (mm)	l _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	□	□	□	2	4	—	247	—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=185^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=142$

二

すべて許容応力以下である。

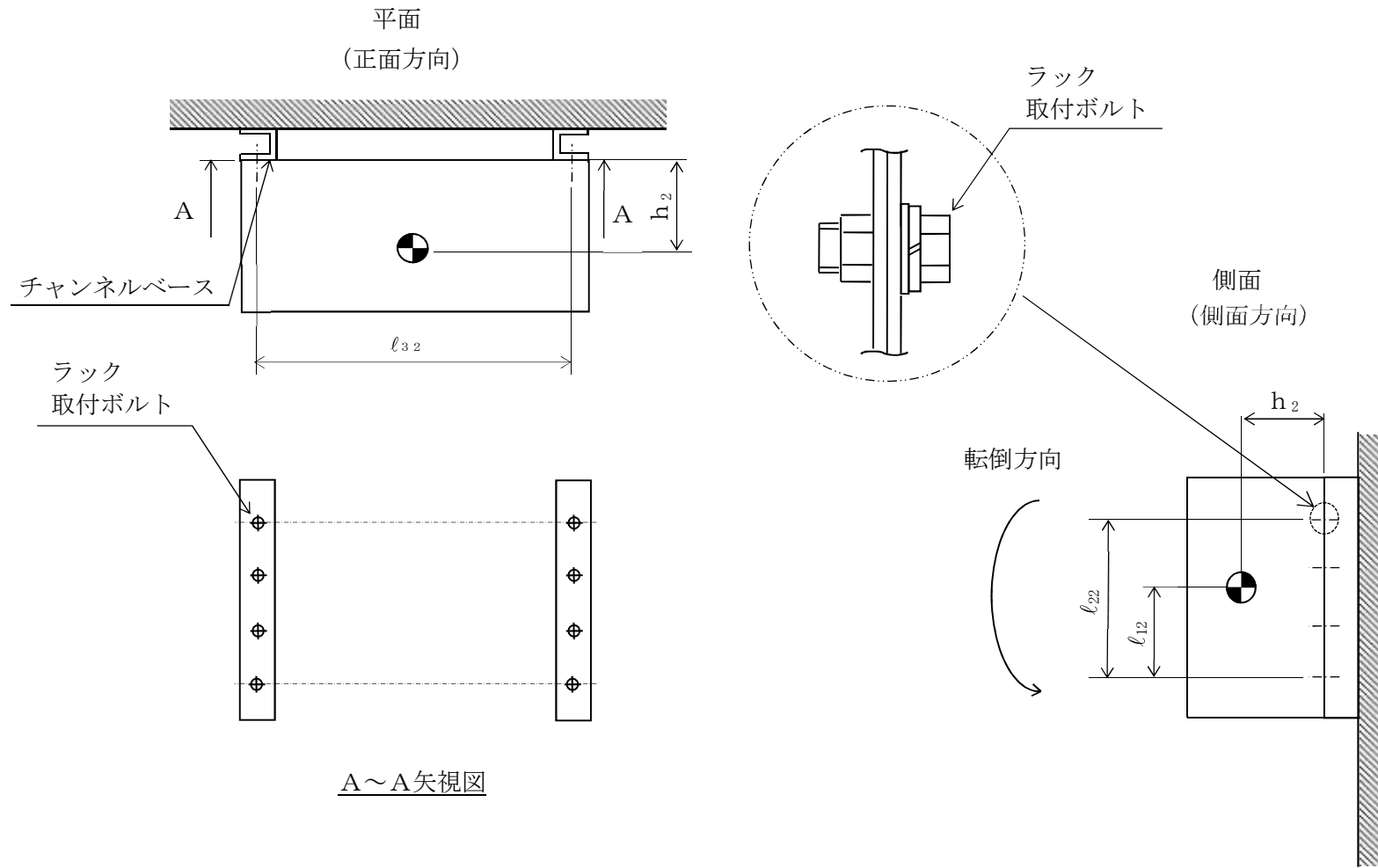
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器 入口冷却水流量 (P21-FT008A)	水平方向	1.12	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.06	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_sにより定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



2. 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量(P21-FT008B)

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スターションに固定される。計器スターションは、溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物に設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量】</p> <p>(単位：mm)</p>

2.2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価フローを図2-1に示す。

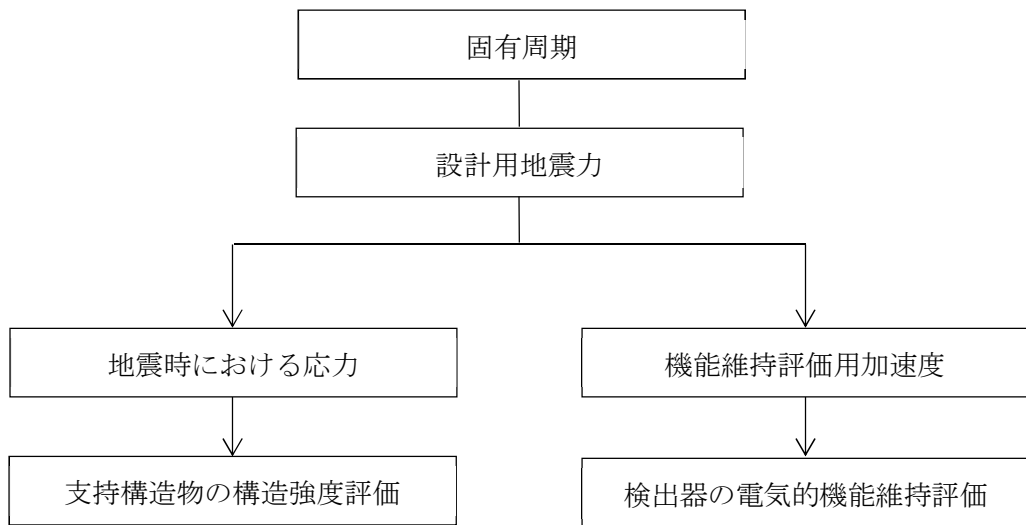


図2-1 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A_w	溶接部の有効断面積	mm ²
A_{w1}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
A_{w2}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
b_1, b_2	溶接の有効長さ	mm
b_3	b_1, b_2 の溶接部における溶接長さの短い方の値	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1) に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F_w	溶接部に作用する引張力	N
F_{w1}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
F_{w2}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
f_{sw}	溶接部の許容せん断応力	MPa
f_{tw}	溶接部の許容引張応力	MPa
f_w	溶接部の許容組合せ応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_1	据付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と溶接部端部との距離*	mm
l_2	重心と溶接部端部との距離*	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	溶接箇所数	—
n_{f1}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (正面方向転倒)	—
n_{f2}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数 (側面方向転倒)	—
Q_w	溶接部に作用するせん断力	N
s	溶接脚長	mm

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	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
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_{t1}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_{t2}	鉛直方向地震及び直立形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

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	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

2.3 評価部位

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価は「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部について評価を実施する。

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 基本方針

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

2.4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 2-3 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-3 固有周期

(単位：s)

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008B)	水平	□
	鉛直	□

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物に設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	残留熱除去系熱交換器 入口冷却水流量	常設／防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 2-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2, *3} (ボルト等以外)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

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

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

*3：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

表 2-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
溶接部	STKR400	周囲環境温度	66	216	385	—

2.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 2-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
残留熱除去系熱交換 器入口冷却水流量 (P21-FT008B)	原子炉建屋 T. M. S. L. -1. 700*			—	—	C _H =1. 36	C _V =1. 27

注記*：基準床レベルを示す。

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張りとせん断力について計算する。

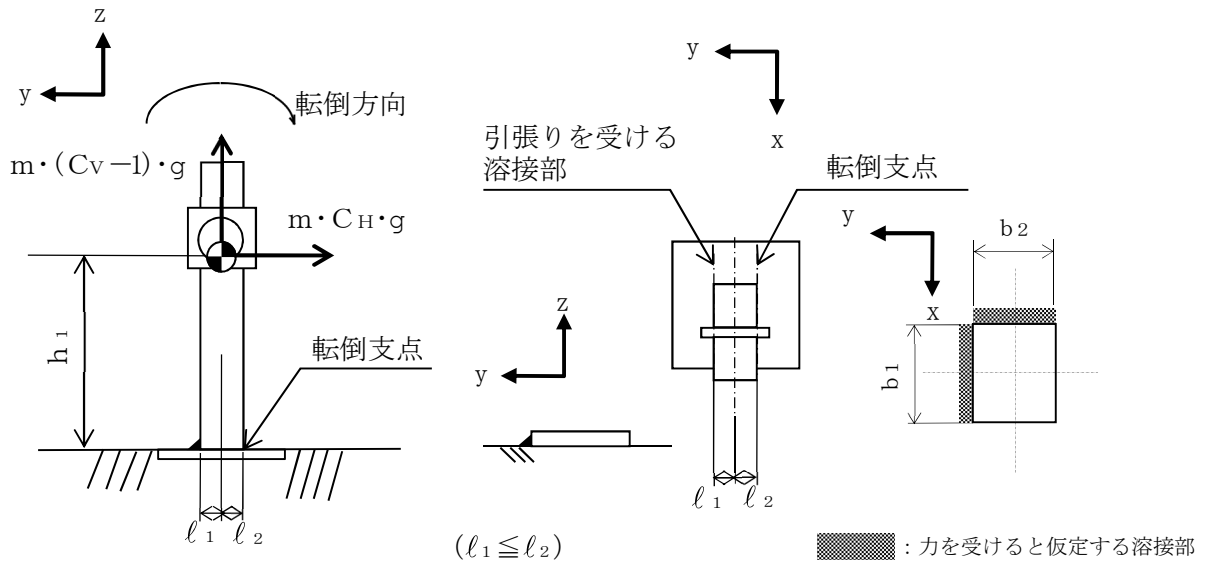


図2-2 計算モデル（正面方向）

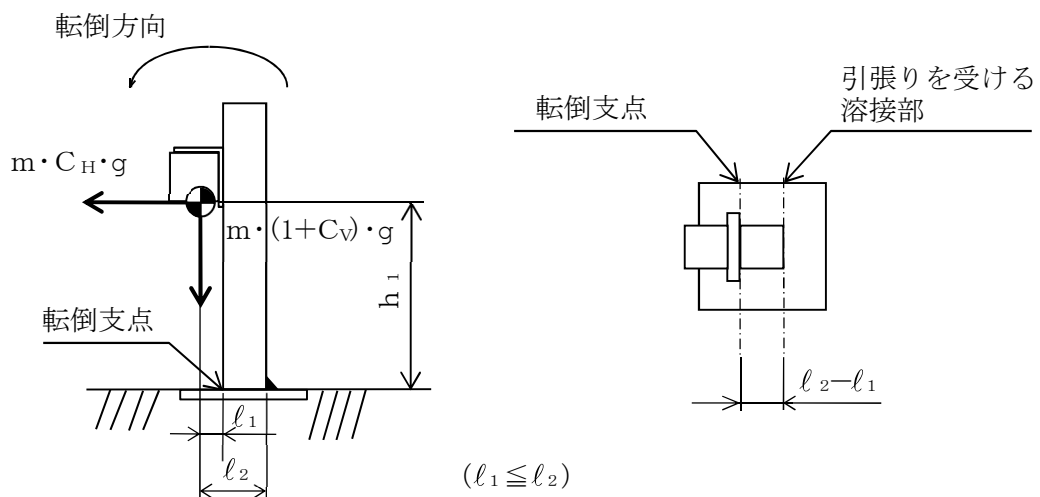


図2-3 計算モデル（側面方向）

(1) 引張応力

溶接部に対する引張力は、図2-2及び図2-3それぞれの溶接部を支点とする転倒を考え、これを片側の溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図2-2の場合の引張力

$$F_{w1} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_2}{n_{f1} \cdot (l_1 + l_2)} \quad \dots \quad (2.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図2-3の場合の引張力

$$F_{w2} = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 + m \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot l_1}{n_{f2} \cdot (l_2 - l_1)} \quad \dots \quad (2.5.4.1.1.2)$$

$$F_w = \text{Max} (F_{w1}, F_{w2}) \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_{t1} = \frac{F_{w1}}{A_{w1}} \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{t2} = \frac{F_{w2}}{A_{w2}} \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.5)$$

ここで、溶接部の有効断面積 A_{w1} 及び A_{w2} は、次式により求める。

$$A_{w1} = a \cdot b_1 \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.6)$$

$$A_{w2} = a \cdot b_2 \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.7)$$

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、次式により求める。

$$a = 0.7 \cdot s \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.8)$$

$$\sigma_t = \text{Max} (\sigma_{t1}, \sigma_{t2}) \quad \dots \dots \dots (2.5.4.1.1.9)$$

(2) せん断応力

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

せん断力

$$Q_w = m \cdot g \cdot C_H \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.10)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{Q_w}{n \cdot A_w} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.11)$$

ここで、せん断力を受ける溶接部の有効断面積 A_w は、次式により求める。

$$A_w = a \cdot b_3 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.12)$$

ただし、 b_3 は b_1 、 b_2 の溶接部における溶接長さの短い方とする。

(3) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t)^2 + \tau^2} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.13)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008B) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 溶接部の応力評価

2.5.4.1 項で求めた溶接部の各応力は以下の表に示す許容応力以下であること。

	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_{tw}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の電氣的機能維持評価については以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-8 に示す。

表 2-8 機能確認済加速度

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

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008B)	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 T. M. S. L. -1.700*	□	□	—	—	C _H =1.36	C _V =1.27	66

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	s (mm)	a (mm)	A _w (mm ²)	A _{w1} (mm ²)	A _{w2} (mm ²)	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	b ₃ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	n	n _{f1}	n _{f2}	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
																				弾性設計用 地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
溶接部	□	□	3.2	2.2	181.0	181.0	181.0	80.8	80.8	80.8	□	□	1	1	—	216	385	—	260	—	側面方向
											□	□		—	1						

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

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	F _w		Q _w	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	STKR400	引張り	—	—	$\sigma_t = 17$	$f_{tw} = 150^*$
		せん断	—	—	$\tau = 3$	$f_{sw} = 150^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 18$	$f_w = 150^*$

すべて許容応力以下である。

注記*：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

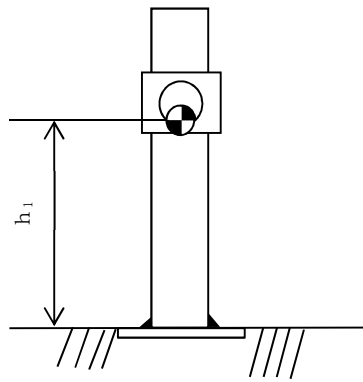
33

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

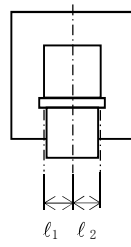
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器 入口冷却水流量 (P21-FT008B)	水平方向	1.12	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.06	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

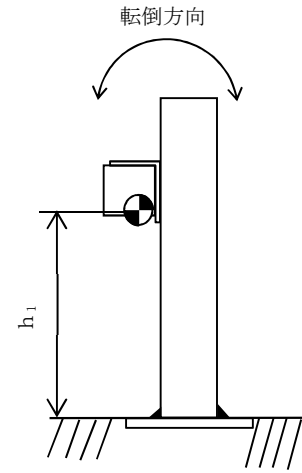
機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



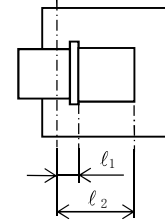
(正面方向)



$(l_1 \leq l_2)$



(側面方向)



$(l_1 \leq l_2)$

3. 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量(P21-FT008C)

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スターションに固定される。計器スターションは、溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物に設置する。</p>	<p>差圧式流量検出器</p>	<p>【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量】</p> <p>(単位：mm)</p>

3.2.2 評価方針

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.2.1 構造計画」にて示す残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の部位を踏まえ「3.3 評価部位」にて設定する箇所において、「3.4 固有周期」で確認した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「3.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「3.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.7 評価結果」に示す。

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価フローを図3-1に示す。

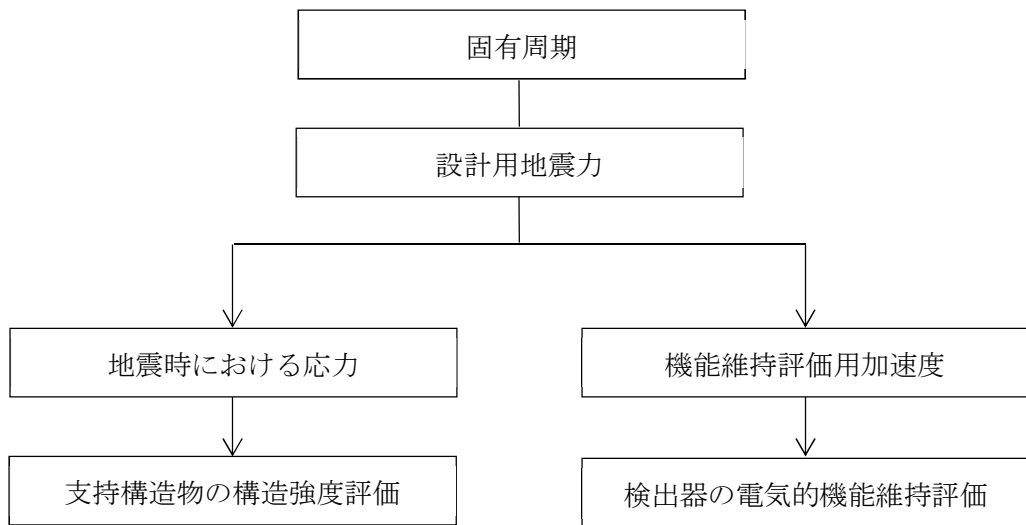


図3-1 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価フロー

3.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

3.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	溶接部の有効のど厚	mm
A _w	溶接部の有効断面積	mm ²
A _{w1}	壁掛形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
A _{w2}	鉛直方向地震により作用する応力に対する溶接部の有効断面積	mm ²
b ₁ , b ₂	溶接の有効長さ	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1) に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3 に定める値	MPa
F _w	溶接部に作用する引張力	N
F _{w1}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し左右方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
F _{w2}	鉛直方向地震及び壁掛形計器スタンションの据付面に対し前後方向の水平方向地震により溶接部に作用する引張力	N
f _{sw}	溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{tw}	溶接部の許容引張応力	MPa
f _w	溶接部の許容組合せ応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h ₂	据付面から重心までの距離	mm
l ₃	重心と下側溶接部端部との距離	mm
l _a	側面(左右)溶接部間の距離	mm
l _b	下側溶接部端部と上側溶接部端部との距離	mm
m	計器スタンションの質量	kg
n	溶接箇所数	—
n _{fH}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数(正面方向転倒)	—
n _{fV}	評価上引張力を受けるとして期待する溶接箇所数(側面方向転倒)	—
Q _w	溶接部に作用するせん断力	N
Q _{w1}	水平方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
Q _{w2}	鉛直方向地震により溶接部に作用するせん断力	N
s	溶接脚長	mm

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	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
σ_t	溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_w	溶接部に生じる組合せ応力	MPa
τ	溶接部に生じるせん断応力	MPa

3.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 3-2 に示すとおりとする。

表 3-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3.3 評価部位

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価は「3.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる溶接部について評価を実施する。

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の耐震評価部位については、表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4 固有周期

3.4.1 基本方針

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

3.4.2 固有周期の確認方法


プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の外形図を表 3-1 の概略構造図に示す。

3.4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3-3 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 3-3 固有周期

(単位：s)

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008C)	水平	
	鉛直	0.05 以下

3.5 構造強度評価

3.5.1 構造強度評価方法

- (1) 計器スタンションの質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は計器スタンションに対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 計器スタンションは溶接により基礎に埋め込まれた埋込金物に設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 計器スタンションの重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-4 に示す。

3.5.2.2 許容応力

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-5 のとおりとする。

3.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 3-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	残留熱除去系熱交換器 入口冷却水流量	常設／防止 (DB 拡張)	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／防止（DB 拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 3-5 許容応力（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, *3} (ボルト等以外)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IVAS	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)		

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

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

*3：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

表 3-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
溶接部	STKR400	周囲環境温度	66	216	385	—

3.5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-7 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 3-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008C)	原子炉建屋 T. M. S. L. -1.700 (T. M. S. L. 4.800*)	□	0.05 以下	—	—	C _H =1.36	C _V =1.31

注記*：基準床レベルを示す。

(水平方向の基準床レベルは T. M. S. L. -1.700 とする。)

3.5.4 計算方法

3.5.4.1 応力の計算方法

3.5.4.1.1 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

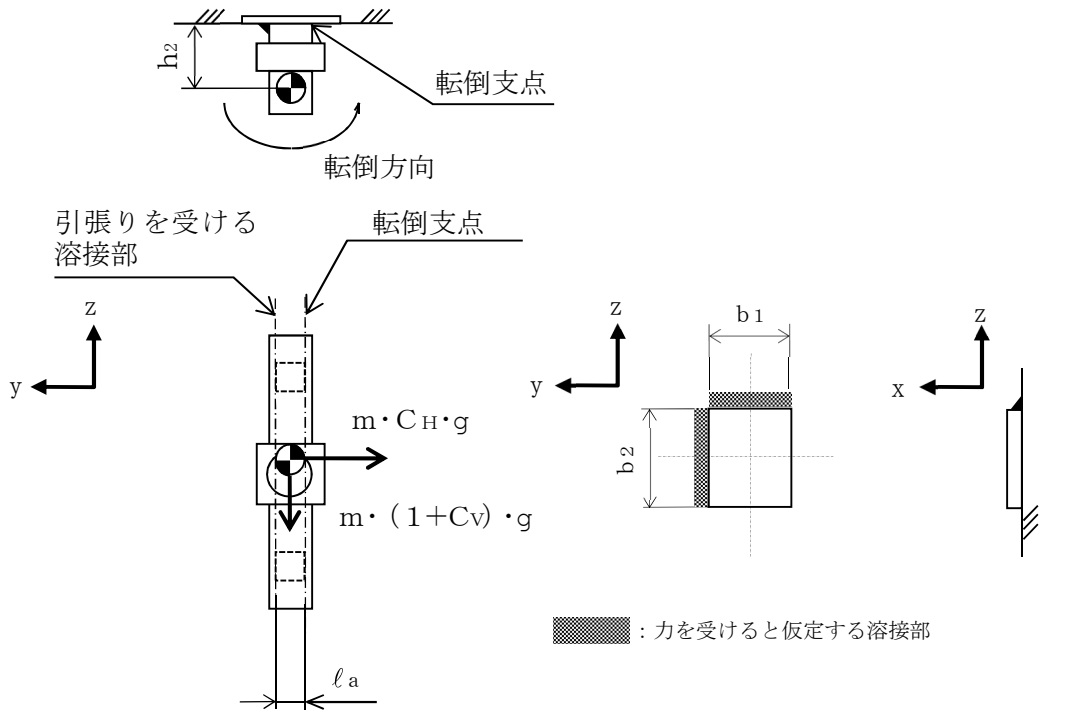


図 3-2 計算モデル（正面方向）

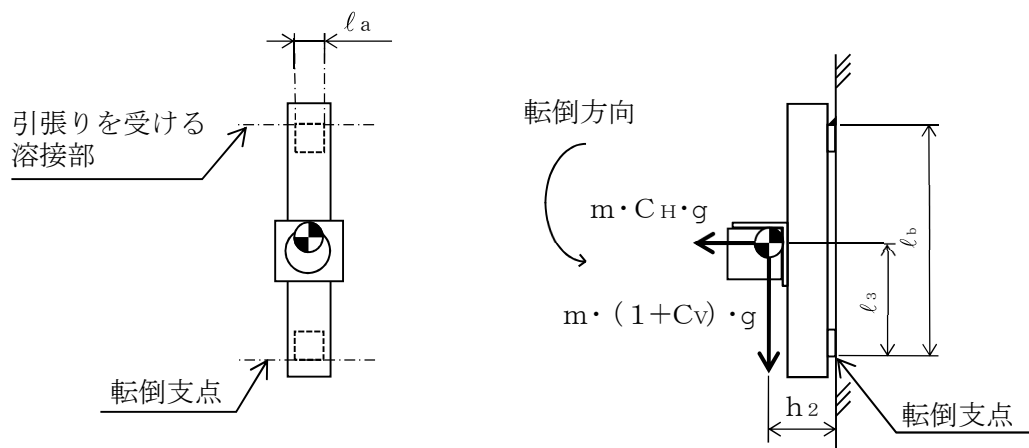


図 3-3 計算モデル（側面方向）

(1) 引張応力

溶接部に対する引張力は、図3-2及び図3-3それぞれの溶接部を支点とする転倒を考え、これを全溶接断面積で受けるものとして計算する。

引張力

計算モデル図3-2の場合の引張力

$$F_{w1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot h_2}{n_{fH} \cdot l_a} + \frac{(1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.1)$$

計算モデル図3-3の場合の引張力

$$F_{w2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{C_H \cdot l_3 + (1 + C_V) \cdot h_2}{n_{fV} \cdot l_b} \right) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.2)$$

$$F_w = \text{Max} (F_{w1}, F_{w2}) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.3)$$

引張応力

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

ここで、溶接部の有効断面積 A_w は、次式により求める。

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

ただし、溶接部の有効のど厚 a は、次式により求める。

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

(2) せん断応力

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

せん断力

$$Q_{w1} = m \cdot g \cdot C_H \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.7)$$

$$Q_{w2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.8)$$

$$Q_w = \sqrt{(Q_{w1})^2 + (Q_{w2})^2} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.9)$$

せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{Q_{w1}}{n \cdot A_{w1}} \right)^2 + \left(\frac{Q_{w2}}{n \cdot A_{w2}} \right)^2} \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.10)$$

ここで、せん断力を受ける溶接部の有効断面積 A_{w1} 及び A_{w2} は、次式により求める。

$$A_{w1} = a \cdot b_1 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.11)$$

$$A_{w2} = a \cdot b_2 \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.12)$$

(3) 組合せ応力

溶接に対する組合せ応力は、各応力を足し合わせたものとして計算する。

$$\sigma_w = \sqrt{(\sigma_t)^2 + \tau^2} \quad \dots\dots\dots (3.5.4.1.1.13)$$

3.5.5 計算条件

3.5.5.1 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008C) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.5.6 応力の評価

3.5.6.1 溶接部の応力評価

3.5.4.1 項で求めた溶接部の各応力は以下の表に示す許容応力以下であること。

	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_{tw}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

3.6 機能維持評価

3.6.1 電氣的機能維持評価方法

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の電氣的機能維持評価については以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-8 に示す。

表 3-8 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008C)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

3.7 評価結果

3.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008C) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量 (P21-FT008C)	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 T. M. S. L. -1.700 (T. M. S. L. 4.800*)	<input type="text"/>	0.05 以下	—	—	C _H =1.36	C _V =1.31	66

注記* : 基準床レベルを示す。(水平方向の基準床レベルは T. M. S. L. -1.700 とする。)

1.2 機器要目

1.2.1 残留熱除去系熱交換器入口冷却水流量

部材	m (kg)	h ₂ (mm)	s (mm)	a (mm)	A _w (mm ²)	A _{w1} (mm ²)	A _{w2} (mm ²)	n	b ₁ (mm)	b ₂ (mm)	l ₃ (mm)	l _a (mm)	l _b (mm)	n _{fV}	n _{fH}	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
																				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3.2	2.2	182.8	91.39	91.39	2	40.8	40.8	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	1	2	216	385	—	260	—	正面方向

1.3 計算数値

1.3.1 溶接部に作用する力 (単位：N)

部材	F _w		Q _w	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 溶接部の応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
溶接部	STKR400	引張り	—	—	$\sigma_t = 5$	$f_{tw} = 150^*$
		せん断	—	—	$\tau = 5$	$f_{sw} = 150^*$
		組合せ	—	—	$\sigma_w = 6$	$f_w = 150^*$

すべて許容応力以下である。

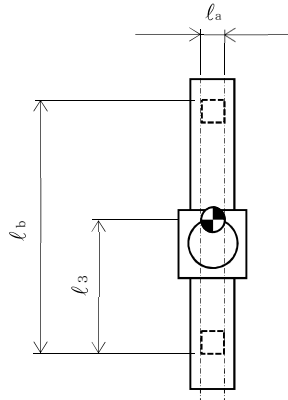
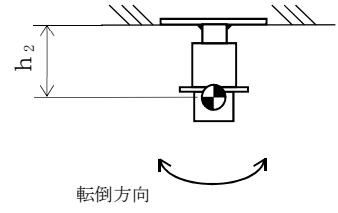
注記*：すみ肉溶接部の許容応力は母材の許容せん断応力とする。

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

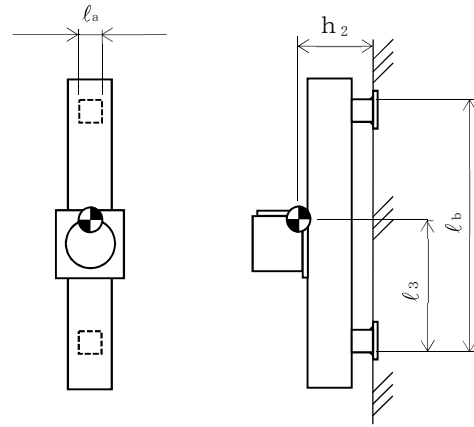
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
残留熱除去系熱交換器 入口冷却水流量 (P21-FT008C)	水平方向	1.12	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.08	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



(正面方向)



(側面方向)

VI-2-6-7-25 復水移送ポンプ吐出圧力の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の確認	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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、復水移送ポンプ吐出圧力が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

復水移送ポンプ吐出圧力は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお、復水移送ポンプ吐出圧力は、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の直立形スタンションであるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

復水移送ポンプ吐出圧力の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図														
基礎・支持構造	主体構造															
<p>検出器は、計器取付ボルトにより取付板に固定され、取付板は、取付板取付ボルトにより計器スターションに固定される。計器スターションは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>弾性圧力検出器</p>	<p>【復水移送ポンプ吐出圧力】</p>														
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A)</th> <th>復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B)</th> <th>復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>335</td> <td>335</td> <td>335</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>160</td> <td>160</td> <td>160</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>1100</td> <td>1100</td> <td>1100</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>	機器名称	復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A)	復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B)	復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C)	たて	335	335	335	横	160	160	160	高さ	1100
機器名称	復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A)	復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B)	復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C)													
たて	335	335	335													
横	160	160	160													
高さ	1100	1100	1100													

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置(圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器)により記録解析する。試験の結果、剛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)

復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	0.05 以下
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	0.05 以下
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

復水移送ポンプ吐出圧力の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

復水移送ポンプ吐出圧力の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

復水移送ポンプ吐出圧力の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

復水移送ポンプ吐出圧力の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A) の耐震性についての計算結果】、【復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B) の耐震性についての計算結果】、【復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	復水移送ポンプ吐出圧力	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	66	206	385	—

5. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

復水移送ポンプ吐出圧力の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

スタンションに設置される検出器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

復水移送ポンプ吐出圧力の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建屋 T. M. S. L. -6.100*	□	0.05 以下	—	—	C _H =1.38	C _V =1.25	66

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 復水移送ポンプ吐出圧力

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	□	□	12 (M12)	113.1	4	206 (40mm<径)	385 (40mm<径)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S d 又は 静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	□	□	2	—	247	—	側面方向
	□	□	2				

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=6$	$f_{ts}=148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=1$	$f_{sb}=114$

二

すべて許容応力以下である。

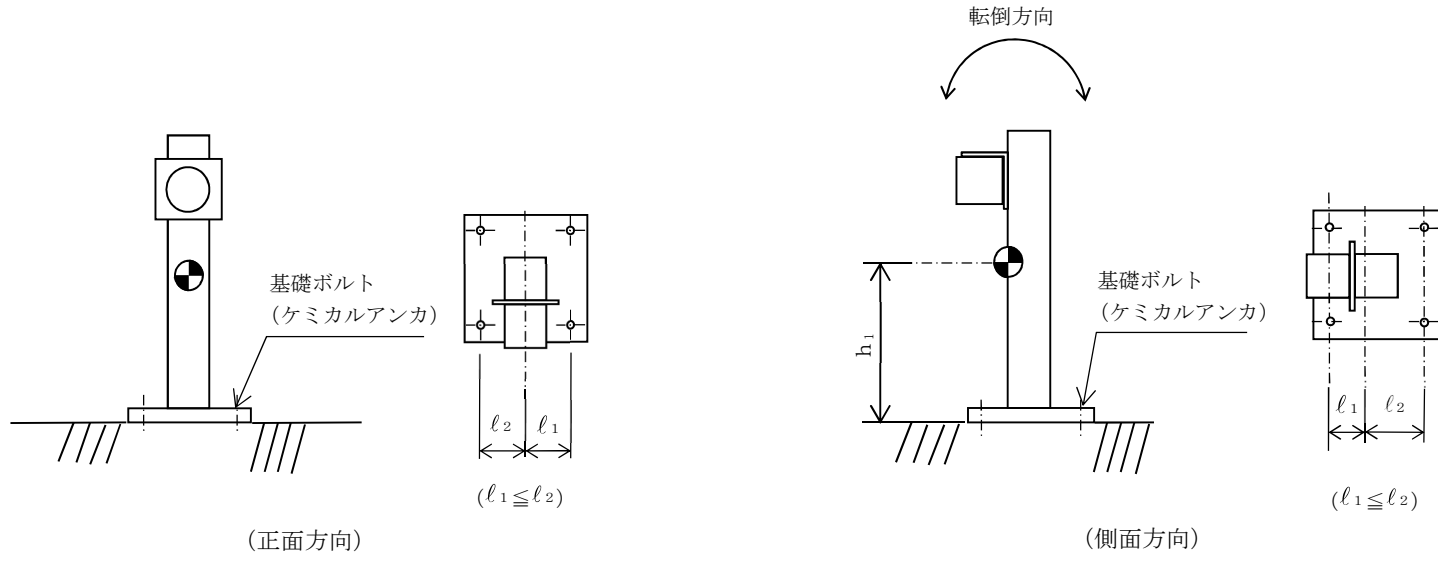
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012A)	水平方向	1.15	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.05	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建屋 T. M. S. L. -6.100*	□	0.05 以下	—	—	C _H =1.38	C _V =1.25	66

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 復水移送ポンプ吐出圧力

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	□	□	12 (M12)	113.1	4	206 (40mm<径)	385 (40mm<径)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S d 又は 静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	□	□	2	—	247	—	側面方向
	□	□	2				

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 114$

すべて許容応力以下である。

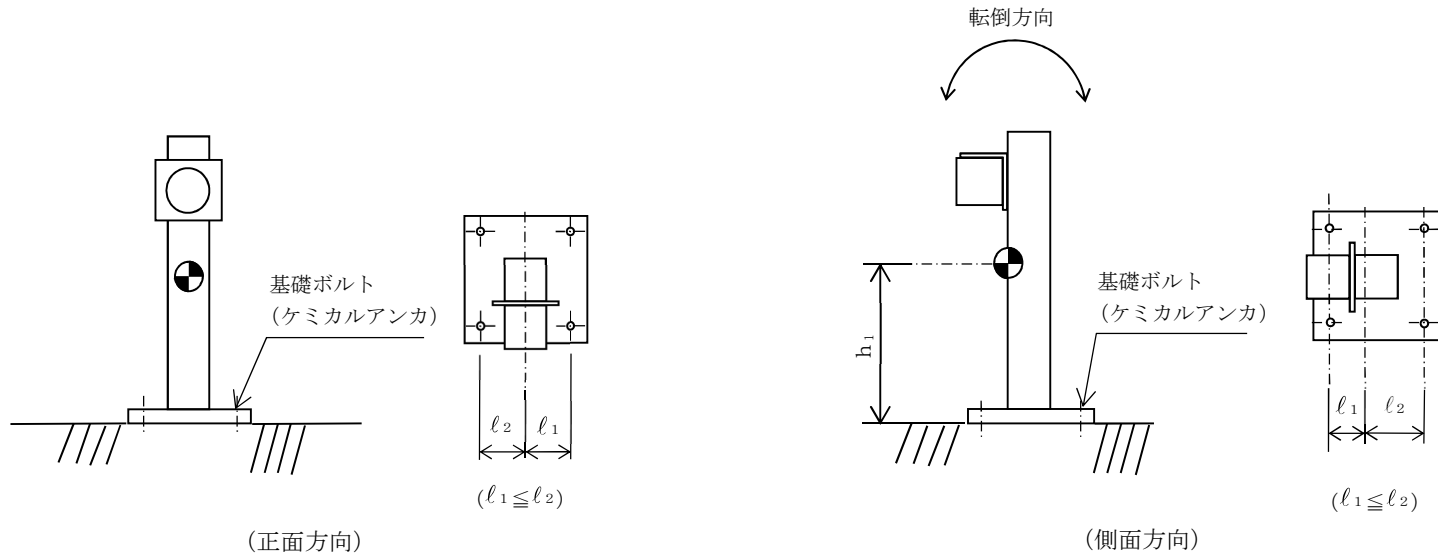
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012B)	水平方向	1.15	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.05	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C)	常設耐震/防止 常設/緩和	廃棄物処理建屋 T. M. S. L. -6.100*	<input type="text"/>	0.05 以下	—	—	C _H =1.38	C _V =1.25	66

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 復水移送ポンプ吐出圧力

部材	m (kg)	h ₁ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	S _y (MPa)	S _u (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12 (M12)	113.1	4	206 (40mm<径)	385 (40mm<径)

部材	ℓ ₁ * (mm)	ℓ ₂ * (mm)	n _f * (mm)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用 地震動 S d 又は 静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	—	247	—	側面方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2				

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 6$	$f_{ts} = 148^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 114$

すべて許容応力以下である。

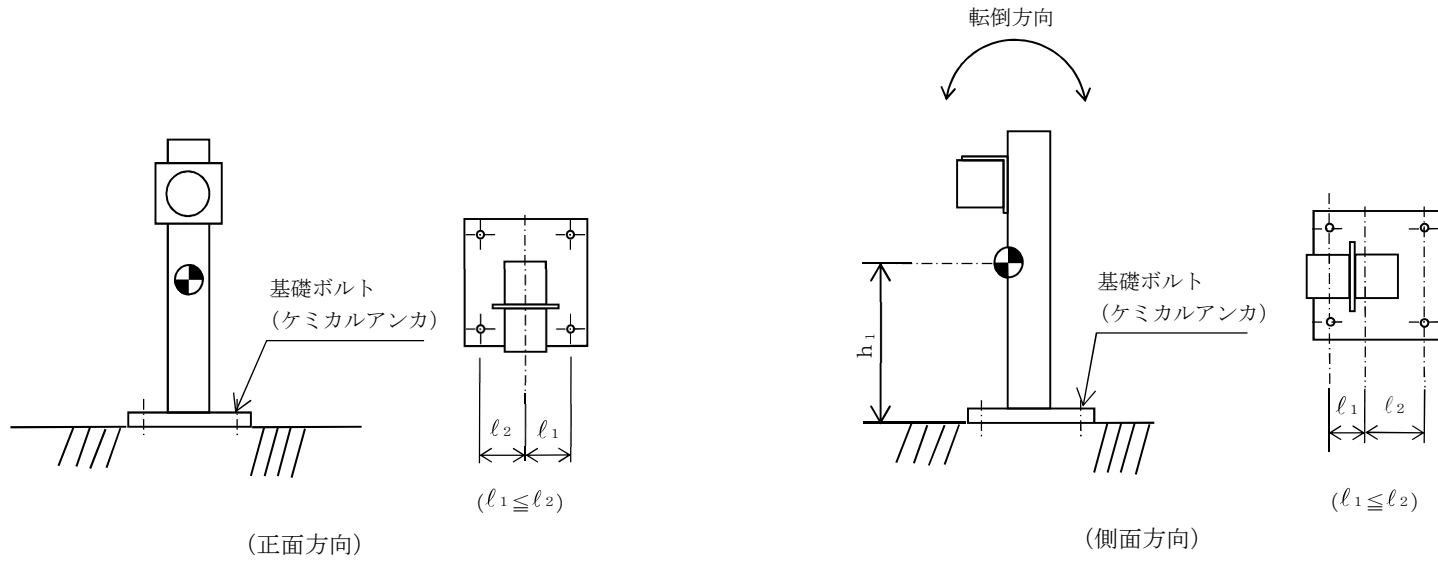
注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
復水移送ポンプ吐出圧力 (P13-PT012C)	水平方向	1.15	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.05	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-26 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性
についての計算書

目 次

1. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001A, 001B)	1
1.1 概要	1
1.2 一般事項	1
1.2.1 構造計画	1
1.2.2 評価方針	3
1.2.3 適用規格・基準等	4
1.2.4 記号の説明	5
1.2.5 計算精度と数値の丸め方	6
1.3 評価部位	7
1.4 固有周期	8
1.4.1 固有値解析方法	8
1.4.2 解析モデル及び諸元	8
1.4.3 固有値解析結果	10
1.5 構造強度評価	11
1.5.1 構造強度評価方法	11
1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
1.5.3 設計用地震力	15
1.5.4 計算方法	16
1.5.5 計算条件	19
1.5.6 応力の評価	19
1.6 機能維持評価	20
1.6.1 電気的機能維持評価方法	20
1.7 評価結果	21
1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21
2. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A, 002B)	28
2.1 概要	28
2.2 一般事項	28
2.2.1 構造計画	28
2.2.2 評価方針	31
2.2.3 適用規格・基準等	32
2.2.4 記号の説明	33
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	34
2.3 評価部位	35
2.4 固有周期	36
2.4.1 固有値解析方法	36
2.4.2 解析モデル及び諸元	36

2.4.3	固有値解析結果	38
2.5	構造強度評価	39
2.5.1	構造強度評価方法	39
2.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	39
2.5.3	設計用地震力	43
2.5.4	計算方法	44
2.5.5	計算条件	49
2.5.6	応力の評価	49
2.6	機能維持評価	50
2.6.1	電氣的機能維持評価方法	50
2.7	評価結果	51
2.7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	51

1. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001A, 001B)

1.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、静的触媒式水素再結合器動作監視装置が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置は、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電氣的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、サポート鋼材に固定し、サポート鋼材は、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【静的触媒式水素再結合器動作監視装置】</p> <p>平面 基礎(壁面) 検出器</p> <p>正面 側面</p> <p>基礎ボルト (メカニカルアンカ)</p> <p>サポート鋼材 (L字鋼)</p> <p>90</p> <p>T71-TE-001A</p> <p>平面 基礎(壁面) 検出器</p> <p>正面 側面</p> <p>基礎ボルト (メカニカルアンカ)</p> <p>サポート鋼材 (L字鋼)</p> <p>150</p> <p>T71-TE-001B</p> <p>(単位: mm)</p>

1.2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の応力評価は、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、「1.2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合器動作監視装置の部位を踏まえ「1.3 評価部位」にて設定する箇所において、「1.4 固有周期」で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、「1.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、静的触媒式水素再結合器動作監視装置の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「1.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震評価フローを図1-1に示す。

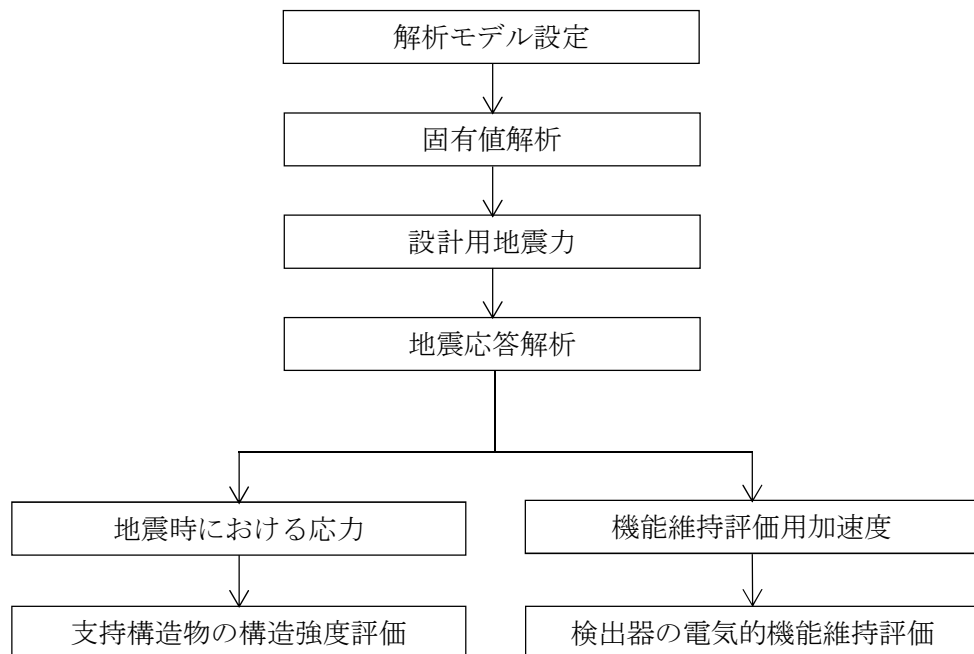


図1-1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震評価フロー

1.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

1.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_x	サポート基礎部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	サポート基礎部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	サポート基礎部に作用する力 (z 方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
l_1	ボルトの応力計算に用いる距離 (水平方向)	mm
l_2	ボルトの応力計算に用いる距離 (鉛直方向)	mm
l_3	ボルトの応力計算に用いる距離 (水平方向と鉛直方向の小さい方)	mm
M_x	サポート基礎部に作用するモーメント (x 軸周り)	N・mm
M_y	サポート基礎部に作用するモーメント (y 軸周り)	N・mm
M_z	サポート基礎部に作用するモーメント (z 軸周り)	N・mm
n	基礎ボルトの本数	—
n_y	M_y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_z	M_z の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	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
ν	ポアソン比	—
W	検出器の荷重	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

1.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 1-2 に示すとおりとする。

表 1-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

1.3 評価部位

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震評価は、「1.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震評価部位については、表 1-1 の概略構造図に示す。

1.4 固有周期

1.4.1 固有値解析方法

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の固有値解析方法を以下に示す。

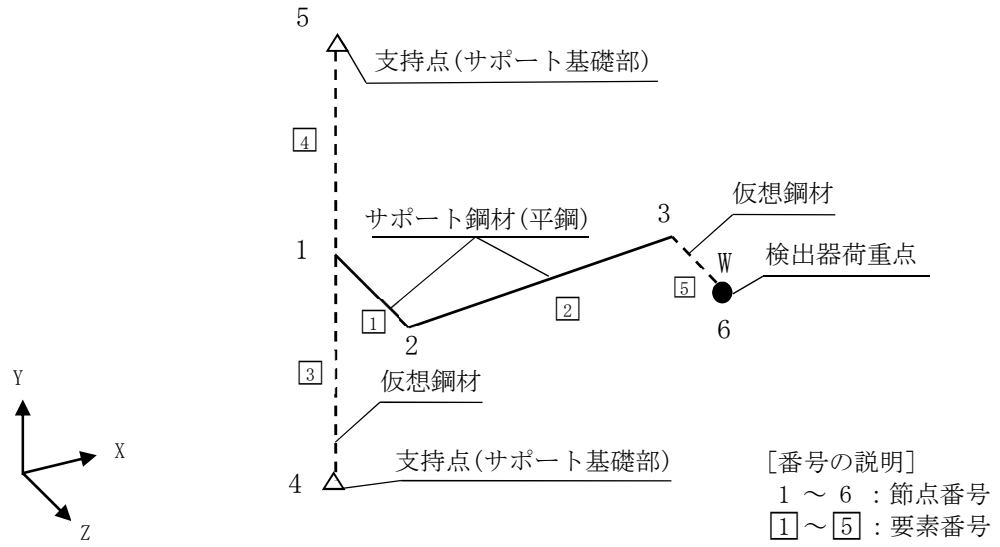
- (1) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置は、「1.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルとして考える。

1.4.2 解析モデル及び諸元

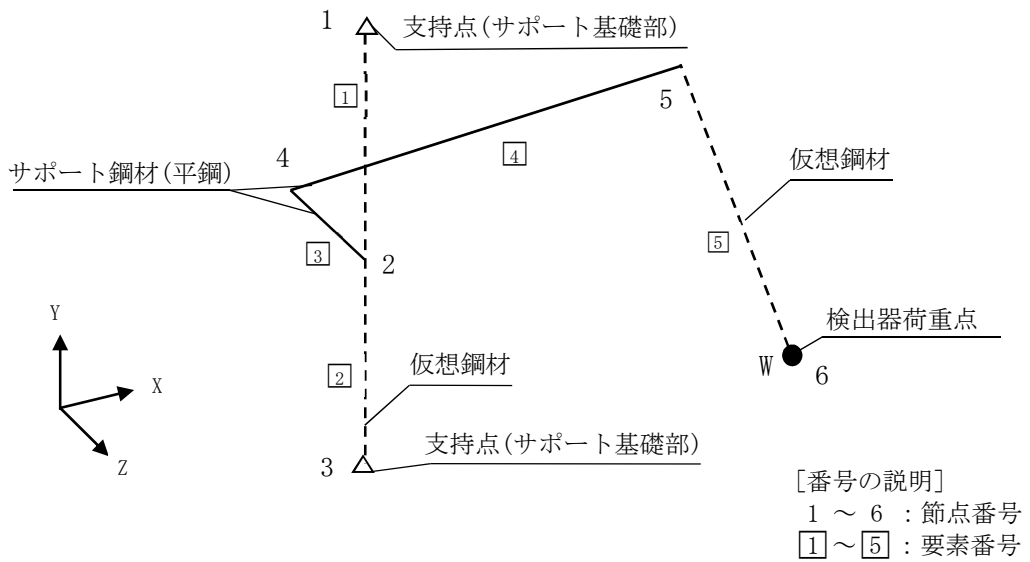
静的触媒式水素再結合器動作監視装置モデルを図1-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算結果 (T71-TE-001A)】、【静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算結果 (T71-TE-001B)】のその他の機器要目に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の検出器の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の検出器の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、サポート基礎部の並進方向と、ボルト軸直角2方向の回転方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

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



T71-TE-001A



T71-TE-001B

図 1-2 解析モデル

1.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 1-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 1-3 固有値解析結果

計器番号	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
				X方向	Z方向	
T71-TE-001A	1次	水平		—	—	—
T71-TE-001B	1次	水平		—	—	—

1.5 構造強度評価

1.5.1 構造強度評価方法

1.4.2 項(1)～(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、静的触媒式水素再結合器動作監視装置に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、荷重を求める。

1.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素再結合器動作監視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 1-4 に示す。

1.5.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の使用材料の許容応力評価条件のうちの評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	静的触媒式水素再結合器 動作監視装置	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 1-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 1-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	77	202	380	—

1.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-7 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 1-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001A)	原子炉建屋 T. M. S. L. 31.700 (T. M. S. L. 38.200*)	□	0.05 以下	—	—	$C_H=1.98$	$C_V=1.49$
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001B)	原子炉建屋 T. M. S. L. 31.700 (T. M. S. L. 38.200*)	□	0.05 以下	—	—	$C_H=1.98$	$C_V=1.49$

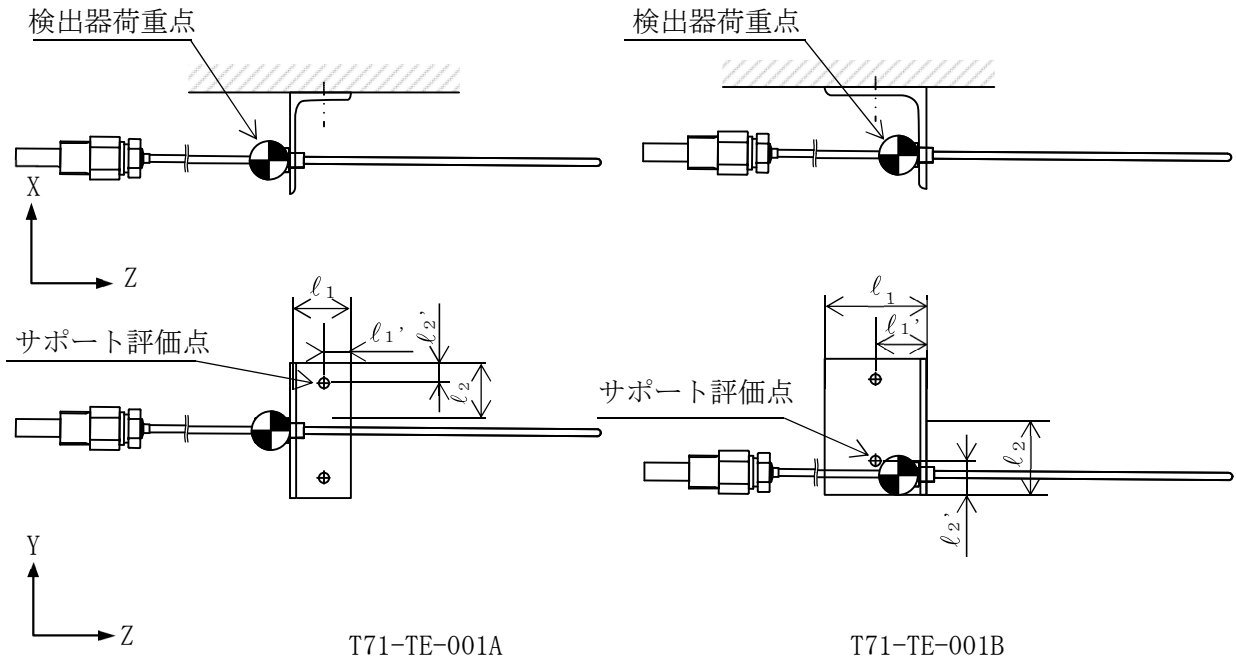
注記*：基準床レベルを示す。

1.5.4 計算方法

1.5.4.1 応力の計算方法

1.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる解析からサポート基礎部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。



K6 ① VI-2-6-7-26 R0

l_1 : Z方向における基礎ボルトから端部までの距離 (l_1') の2倍とする。
 l_2 : Y方向における基礎ボルトから端部までの距離 (l_2') の2倍とする。

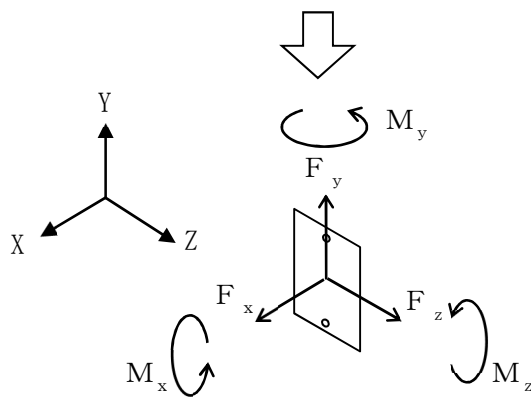


図1-3 計算モデル (サポート基礎部, 基礎ボルト)

解析によって得られたサポート基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表1-8に示す。

表1-8 サポート発生反力，モーメント

機器名称	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001A)						
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001B)						

注記*：ボルト軸直角2方向のみを拘束しているため，軸周りのモーメントは発生しない。

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力

$$F_b = \frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{l_1 \cdot n_y} + \frac{M_z}{l_2 \cdot n_z} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (1.5.4.1.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (1.5.4.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本あたり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_x}{l_3 \cdot n} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.4)$$

ここで，ボルトの応力計算に用いる距離 l_3 は次式により求める。

$$l_3 = \text{Min}(l_1, l_2) \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (1.5.4.1.1.6)$$

1.5.5 計算条件

1.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001A) の耐震性についての計算結果】、【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001B) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

1.5.6 応力の評価

1.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

1.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (1.5.6.1.1)$$

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

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

1.6 機能維持評価

1.6.1 電氣的機能維持評価方法

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。静的触媒式水素再結合器動作監視装置の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-9 に示す。

表 1-9 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

1.7 評価結果

1.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合器動作監視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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001A)	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 31. 700 (T. M. S. L. 38. 200*)	□	0.05 以下	—	—	C _H =1.98	C _V =1.49	77

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	W (N)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _y	n _z	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□	80	60	12 (M12)	113.1	1	1	1	202 (40 mm < 径)	380 (40 mm < 径)	242

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部材	M _x		M _y		M _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注記*：ボルト軸直角 2 方向のみを拘束しているため、軸周りのモーメントは発生しない。

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=145^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=111$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

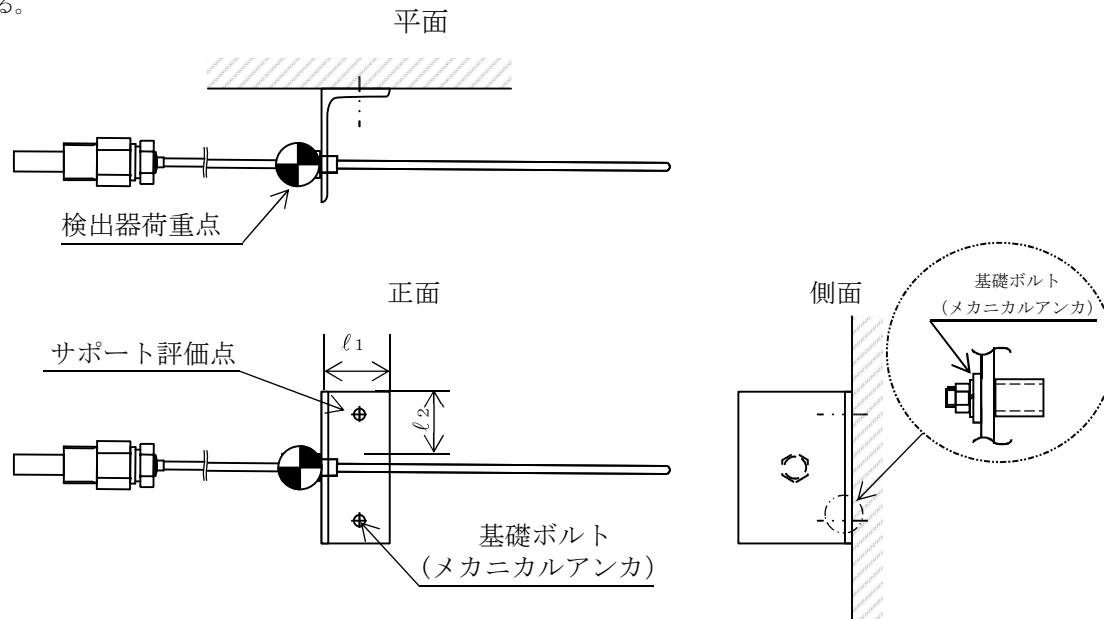
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001A)	水平方向	1.64	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.24	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
縦弾性係数	E	MPa	2.00×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	5
節点数	—	個	6



【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001B)	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 31. 700 (T. M. S. L. 38. 200*)	□	0.05 以下	—	—	C _H =1.98	C _V =1.49	77

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	W (N)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _y	n _z	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□	150	100	12 (M12)	113.1	1	1	1	202 (40 mm < 径)	380 (40 mm < 径)	242

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部材	M _x		M _y		M _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

注記*：ボルト軸直角 2 方向のみを拘束しているため、軸周りのモーメントは発生しない。

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=4$	$f_{ts}=145^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=111$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

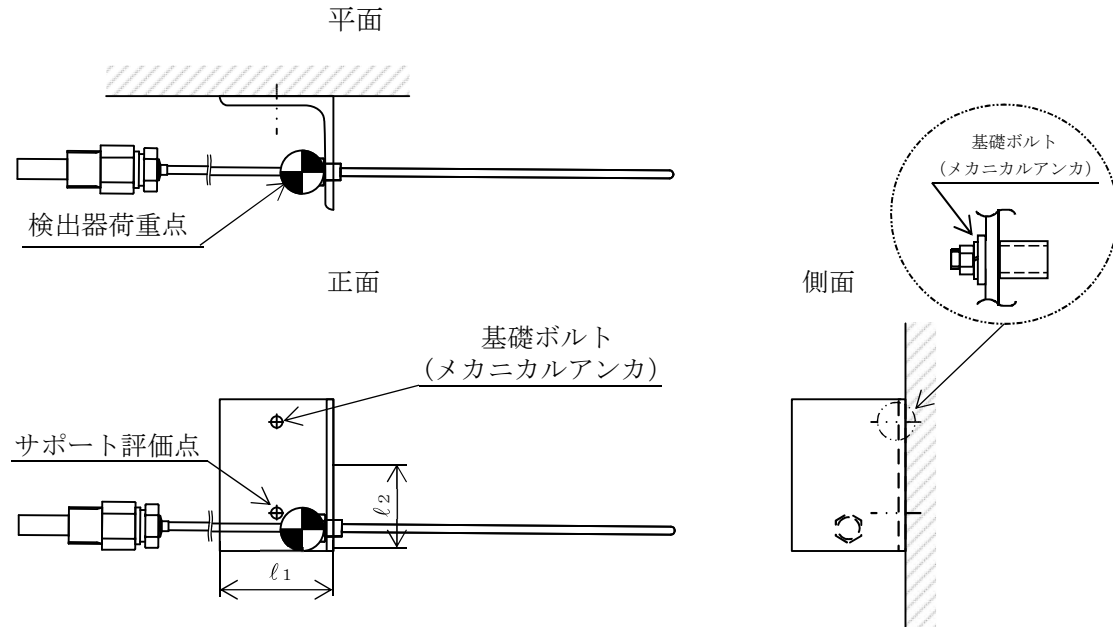
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-001B)	水平方向	1.64	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.24	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SS400
縦弾性係数	E	MPa	2.00×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	5
節点数	—	個	6



2. 静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A, 002B)

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、静的触媒式水素再結合器動作監視装置が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置は、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電氣的機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 (1/2) 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>検出器は、サポート鋼材に固定し、サポート鋼材は、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A)】</p> <p>平面 497.5 基礎 (壁面) サポート鋼材 (角型鋼管) サポート鋼材 (角型鋼管) サポート鋼材 (L字鋼) 正面 側面 基礎ボルト (メカニカルアンカ) 検出器 基礎 (壁面) 250 582 (単位 : mm)</p>

表 2-1 (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>検出器は、サポート鋼材に固定し、サポート鋼材は、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>熱電対</p>	<p>【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002B)】</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2.2 評価方針

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の応力評価は、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、「2.2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素再結合器動作監視装置の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で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、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、静的触媒式水素再結合器動作監視装置の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

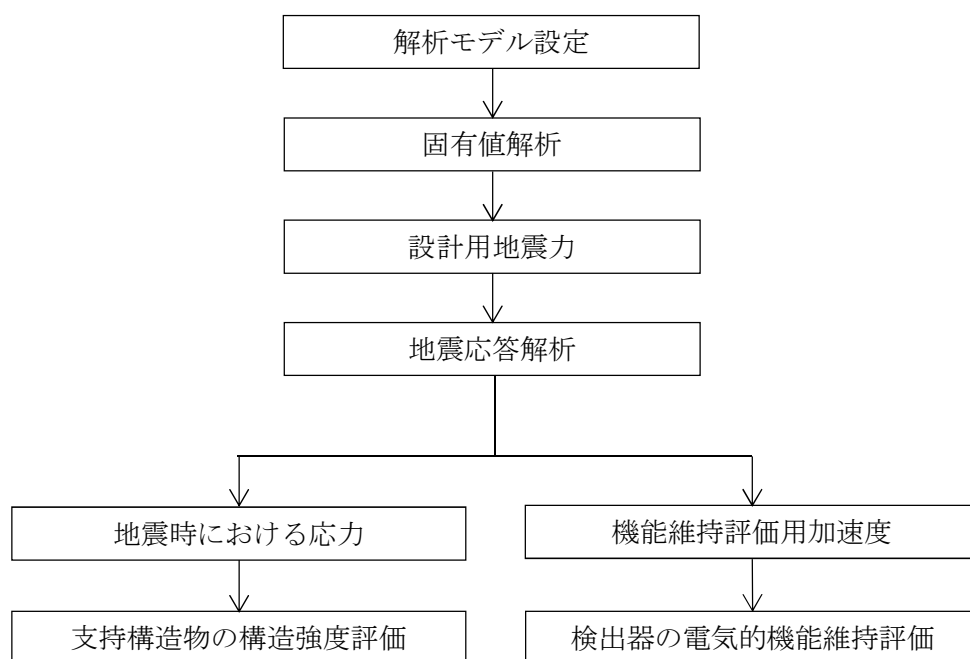


図2-1 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_x	サポート基礎部に作用する力 (x 方向)	N
F_y	サポート基礎部に作用する力 (y 方向)	N
F_z	サポート基礎部に作用する力 (z 方向)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
l_1	ボルト間距離 (水平方向)	mm
l_2	ボルト間距離 (鉛直方向)	mm
l_3	ボルト間距離 (水平方向と鉛直方向の小さい方)	mm
M_x	サポート基礎部に作用するモーメント (x 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y	サポート基礎部に作用するモーメント (y 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_z	サポート基礎部に作用するモーメント (z 軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
n	基礎ボルトの本数	—
n_x	M_x の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_y	M_y の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
n_z	M_z の引張力に耐えうる基礎ボルトの本数	—
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	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
ν	ポアソン比	—
W	検出器の荷重	N
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

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 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

2.3 評価部位

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。静的触媒式水素再結合器動作監視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。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置は、「2.4.2 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。

2.4.2 解析モデル及び諸元

静的触媒式水素再結合器動作監視装置モデルを図2-2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【静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算結果 (T71-TE-002A)】、【静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性についての計算結果 (T71-TE-002B)】のその他の機器要目に示す。

- (1) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の検出器の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 静的触媒式水素再結合器動作監視装置の検出器の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定するものとする。
- (3) 拘束条件は、サポート基礎部を完全拘束とする。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

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

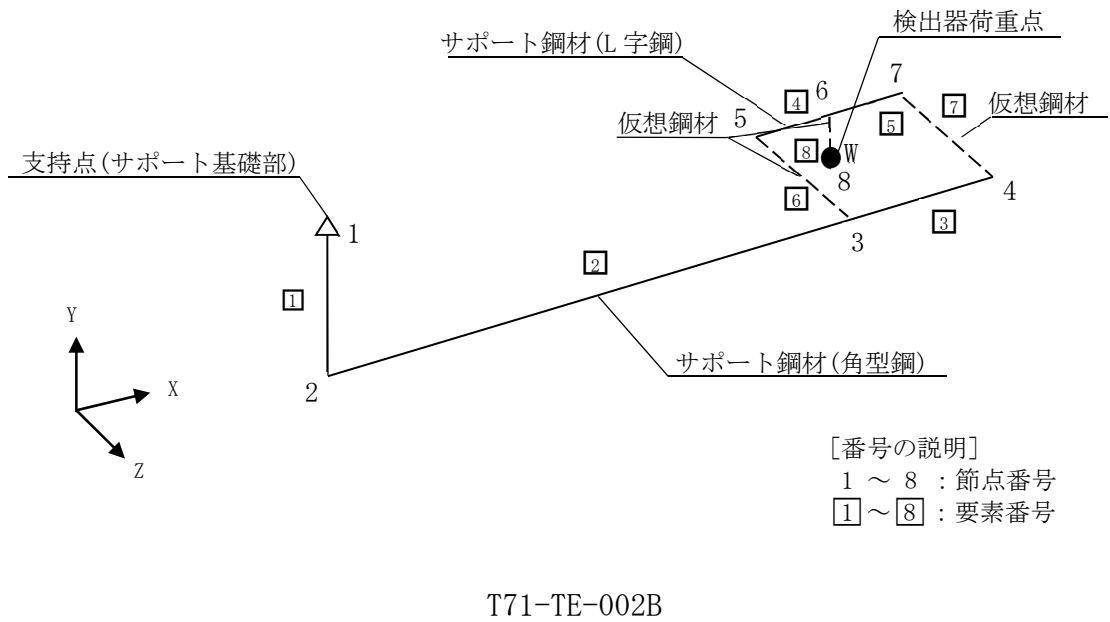
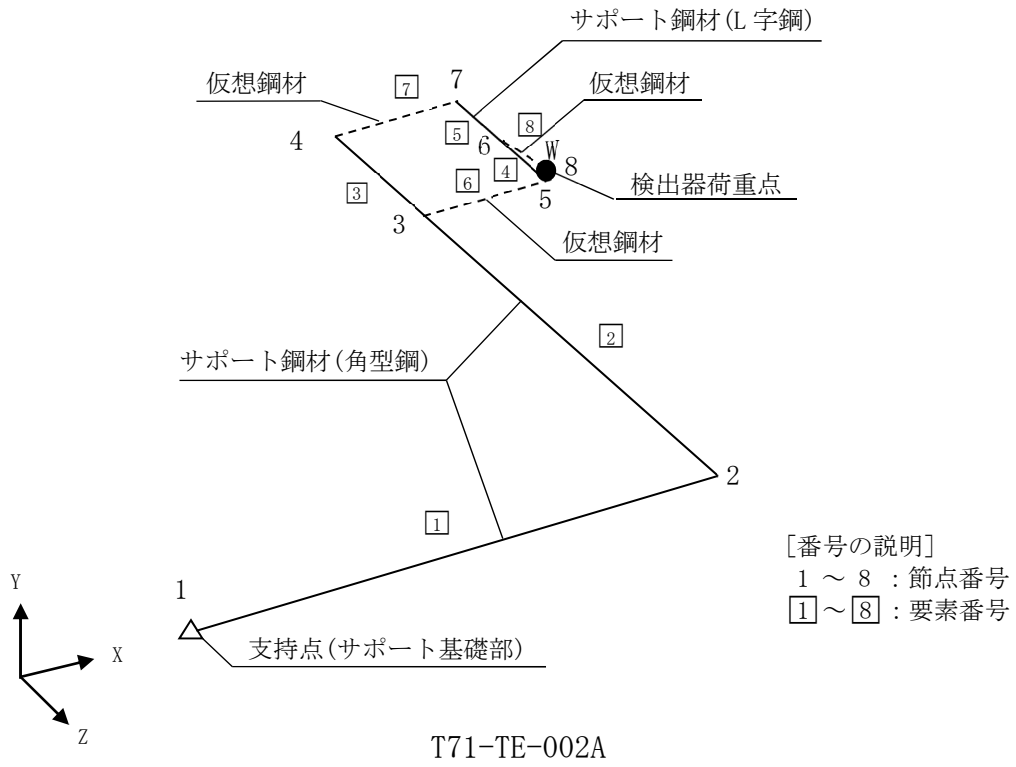


図 2-2 解析モデル

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-3 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 2-3 固有値解析結果

計器番号	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
				X 方向	Z 方向	
T71-TE-002A	1 次	鉛直		—	—	—
T71-TE-002B	1 次	水平		—	—	—

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2 項(1)～(4)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、静的触媒式水素再結合器動作監視装置に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、荷重を求める。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素再結合器動作監視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 2-4 に示す。

2.5.2.2 許容応力

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-5 のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の使用材料の許容応力評価条件のうちの評価に用いるものを表 2-6 に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の計測 制御系統施設	静的触媒式水素 再結合器動作監視装置	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 2-5 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 2-6 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	77			
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	77	202	380	—

2.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 2-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002A)	原子炉建屋 T. M. S. L. 31.700 (T. M. S. L. 49.700*)	0.05 以下	<input type="text"/>	—	—	$C_H=2.76$	$C_V=1.54$
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002B)	原子炉建屋 T. M. S. L. 31.700 (T. M. S. L. 38.200*)	<input type="text"/>	0.05 以下	—	—	$C_H=1.98$	$C_V=1.49$

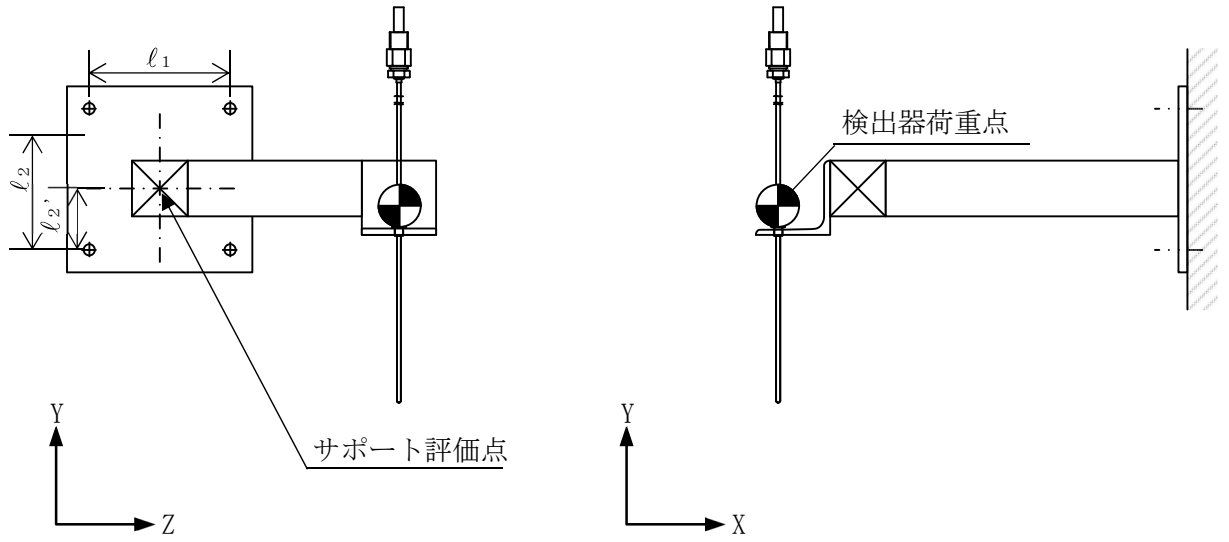
注記*：基準床レベルを示す。

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる解析からサポート基礎部の内力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。



l_2 : Y方向における基礎ボルトから部材中心までの距離 (l_2') の2倍とする。

T71-TE-002A

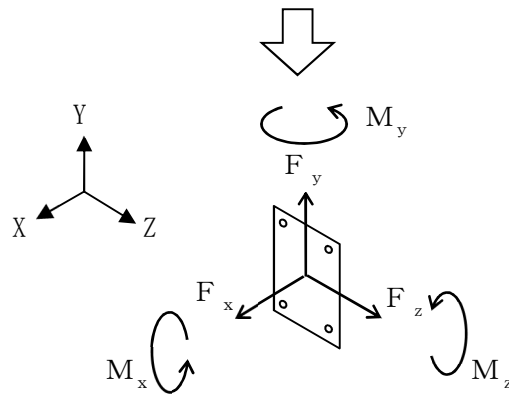
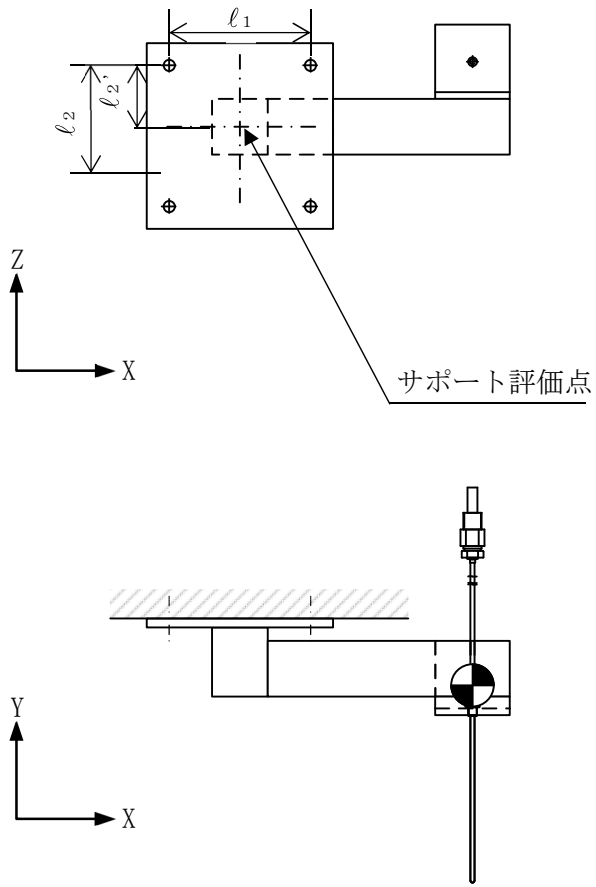


図 2-3 計算モデル (サポート基礎部, 基礎ボルト)



l_2 : Z 方向における基礎ボルトから部材中心までの距離 (l_2') の 2 倍とする。

T71-TE-002B

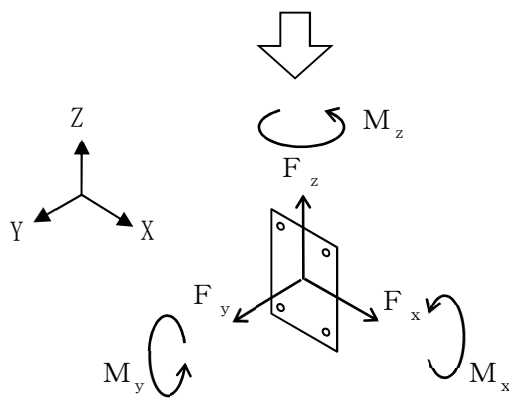


図 2-4 計算モデル (サポート基礎部, 基礎ボルト)

解析によって得られたサポート基礎部の評価点の最大反力とモーメントを表2-8に示す。

表2-8 サポート発生反力，モーメント

機器名称	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002A)						
静的触媒式 水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002B)						

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本当たり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張力

$$(T71-TE-002A) : F_b = \frac{F_x}{n} + \frac{M_y}{\ell_1 \cdot n_y} + \frac{M_z}{\ell_2 \cdot n_z} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

$$(T71-TE-002B) : F_b = \frac{F_y}{n} + \frac{M_z}{\ell_1 \cdot n_z} + \frac{M_x}{\ell_2 \cdot n_x} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.4)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本あたり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断力

$$(T71-TE-002A) : Q_b = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n} + \frac{M_x}{l_3 \cdot n} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.5)$$

$$(T71-TE-002B) : Q_b = \frac{\sqrt{F_z^2 + F_x^2}}{n} + \frac{M_y}{l_3 \cdot n} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.6)$$

ここで，ボルト間距離 l_3 は次式により求める。

$$l_3 = \text{Min}(l_1, l_2) \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.7)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.8)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A) の耐震性についての計算結果】、【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002B) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容引張応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

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

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

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

2.6 機能維持評価

2.6.1 電氣的機能維持評価方法

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる応答加速度を設定する。

静的触媒式水素再結合器動作監視装置の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似の検出器単体の正弦波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-9 に示す。

表 2-9 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

2.7 評価結果

2.7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素再結合器動作監視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及び電氣的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002A)	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 31.700 (T. M. S. L. 49.700*)	0.05 以下		—	—	C _H =2.76	C _V =1.54	77

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	W (N)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _y	n _z	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト		190	165	12 (M12)	113.1	4	2	2	202 (40 mm < 径)	380 (40 mm < 径)	242

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部材	M _x		M _y		M _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=8$	$f_{ts}=145^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=111$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

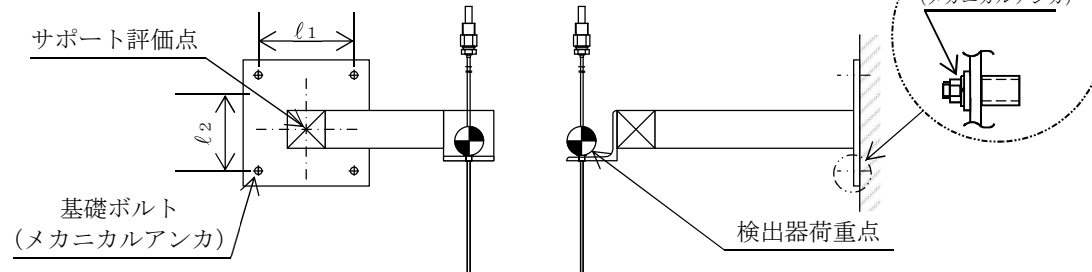
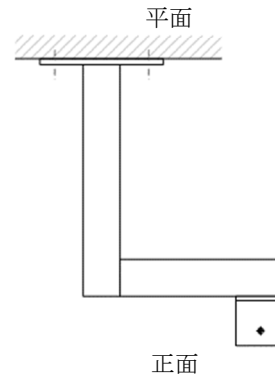
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002A)	水平方向	2.29	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.28	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SUS304
縦弾性係数	E	MPa	1.91×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	8
節点数	—	個	8



【静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002B) の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002B)	常設／緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 31. 700 (T. M. S. L. 38. 200*)		0.05 以下	—	—	C _H =1.98	C _V =1.49	77

注記*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	W (N)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	n	n _x	n _z	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト		190	165	12 (M12)	113.1	4	2	2	202 (40 mm < 径)	380 (40 mm < 径)	242

1.3 計算数値

1.3.1 サポート基礎部に作用する力

(単位：N)

部材	F _x		F _y		F _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.2 サポート基礎部に作用するモーメント

(単位：N・mm)

部材	M _x		M _y		M _z	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
サポート基礎部	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.3.3 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=3$	$f_{ts}=145^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=2$	$f_{sb}=111$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電氣的機能の評価結果

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

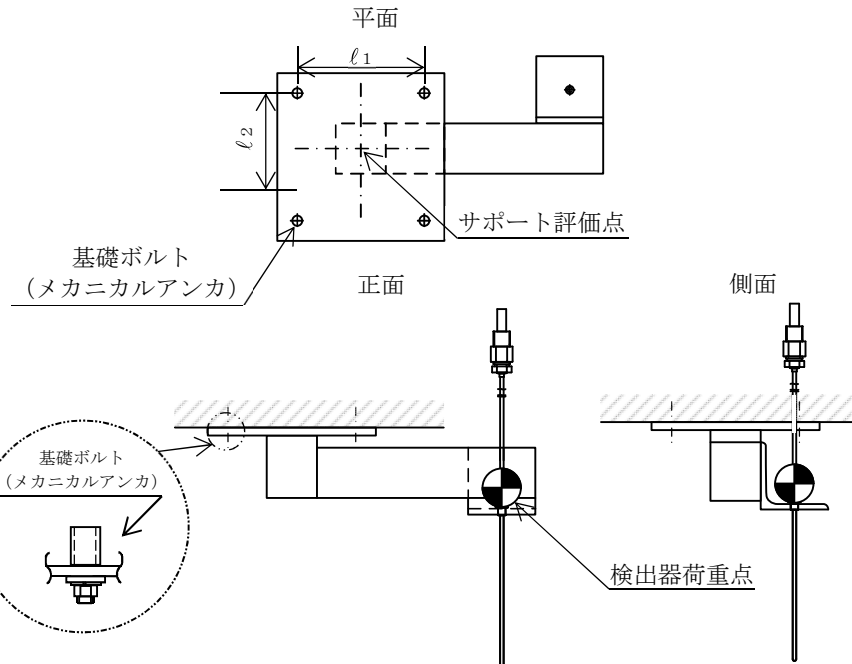
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
静的触媒式水素再結合器 動作監視装置 (T71-TE-002B)	水平方向	1.64	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.24	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SUS304
縦弾性係数	E	MPa	1.91×10^5
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	8
節点数	—	個	8



VI-2-6-7-27 格納容器内ガスサンプリングポンプの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
5. 機能維持評価	8
5.1 動的機能維持評価方法	8
6. 評価結果	9
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
6.2 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、格納容器内ガスサンプリングポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

格納容器内ガスサンプリングポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設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及び動的機能維持評価を示す。

なお、格納容器内ガスサンプリングポンプが設置される計装ラックは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の直立形であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

格納容器内ガスサンプリングポンプの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>ポンプは、ポンプ取付ボルトによりポンプベースに固定され、ポンプベースは、ポンプベース取付ボルトにより計装ラックに固定される。</p> <p>計装ラックは、チャンネルベースにラック取付ボルトで設置する。</p>	<p>ポンプ</p>	<p>【格納容器内ガスサンプリングポンプ】</p> <p>(長辺方向) (短辺方向)</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>格納容器内 ガスサンプリングポンプ (H22-P311)</th> <th>格納容器内 ガスサンプリングポンプ (H22-P312)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>800</td> <td>800</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>2250</td> <td>2250</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>1900</td> <td>1900</td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位: mm)</p>	機器名称	格納容器内 ガスサンプリングポンプ (H22-P311)	格納容器内 ガスサンプリングポンプ (H22-P312)	たて	800	800	横	2250	2250	高さ	1900	1900
機器名称	格納容器内 ガスサンプリングポンプ (H22-P311)	格納容器内 ガスサンプリングポンプ (H22-P312)												
たて	800	800												
横	2250	2250												
高さ	1900	1900												

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

格納容器内ガスサンプリングポンプ（H22-P311）が設置される計装ラックの固有周期は、プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。試験の結果、剛であることを確認した。格納容器内ガスサンプリングポンプ（H22-P312）が設置される計装ラックの固有周期は、構造が同等であり、同様な振動特性を持つ計装ラックに対する振動試験（自由振動試験）の結果確認された固有周期を使用する。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)

格納容器内ガスサンプリングポンプ (H22-P311)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	0.05 以下
格納容器内ガスサンプリングポンプ (H22-P312)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

格納容器内ガスサンプリングポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内ガスサンプリングポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 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

格納容器内ガスサンプリングポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 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

格納容器内ガスサンプリングポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 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【格納容器内ガスサンプリングポンプ (D23-C002A) の耐震性についての計算結果】、【格納容器内ガスサンプリングポンプ (D23-C002B) 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	格納容器内 ガスサンプリングポンプ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-2 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	格納容器内 ガスサンプリングポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 4-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
ラック取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	40	235	400	—

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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
ラック取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

格納容器内ガスサンプリングポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

計装ラックに設置されるポンプの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式のポンプ単体の正弦波加振試験において、動的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
格納容器内ガスサンプリングポンプ (D23-C002A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>
格納容器内ガスサンプリングポンプ (D23-C002B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	<input type="text"/>

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器内ガスサンプリングポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持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

格納容器内ガスサンプリングポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【格納容器内ガスサンプリングポンプ (D23-C002A) 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	
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002A)	S	原子炉建屋 T.M.S.L. 27.000 (T.M.S.L. 31.700*)	<input type="text"/>	0.05 以下	C _H =0.88	C _V =0.73	C _H =1.75	C _V =1.45	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内ガスサンプリングポンプ (H22-P311)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	16 (M16)	201.1	18	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	9	235	280	長辺方向	長辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	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 _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=6$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=36$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=161$

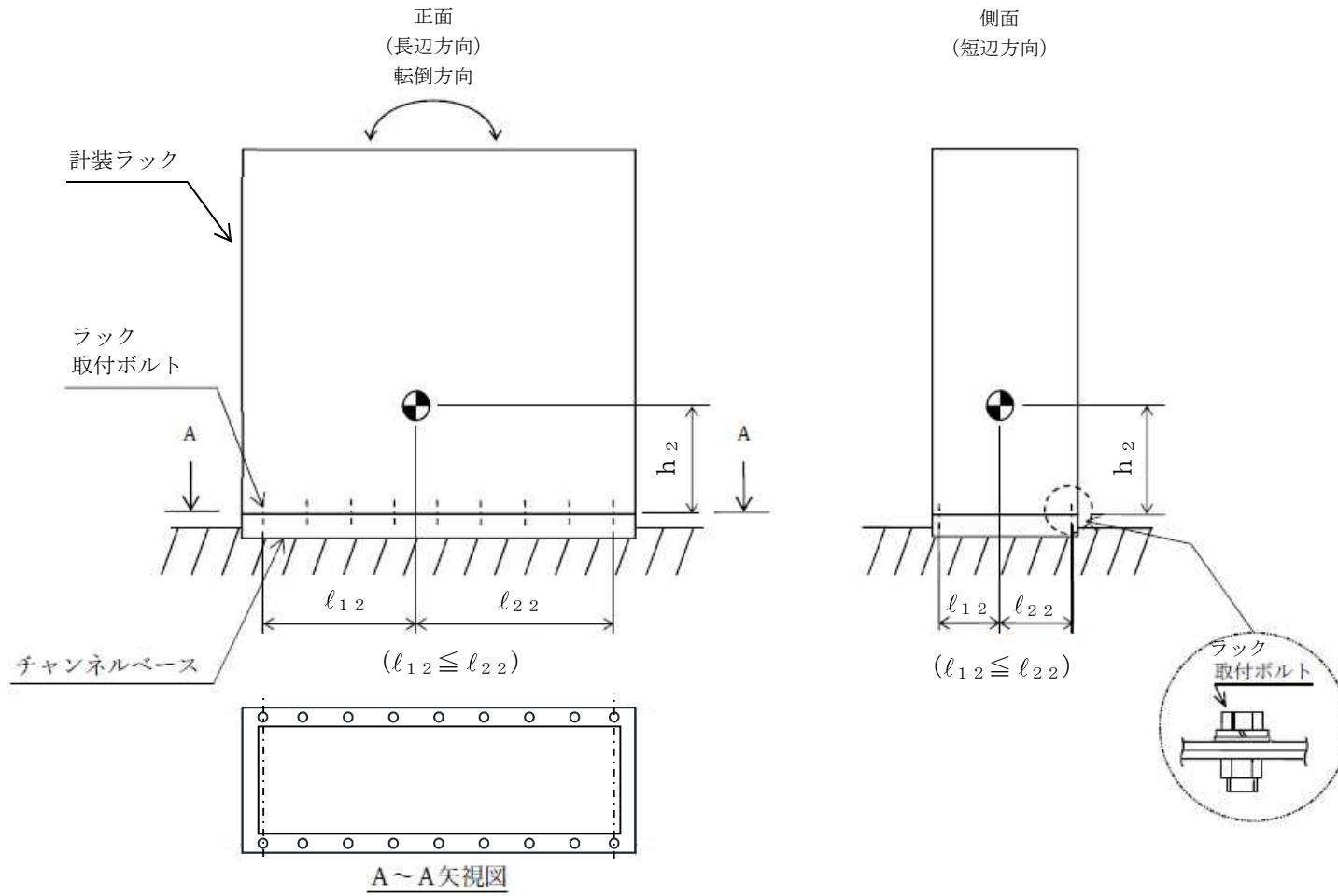
二 すべて許容応力以下である。 注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002A)	水平方向	1.46	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.20	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 27. 000 (T. M. S. L. 31. 700*)	□	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 75	C _V =1. 45	50

注記*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 格納容器内ガスサンプリングポンプ (H22-P311)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
ラック取付ボルト (i=2)	□	□	16 (M16)	201. 1	18	231 (16mm<径≤40mm)	394 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	□	□	9	—	276	—	長辺方向
	□	□	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。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=36$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=159$

すべて許容応力以下である。

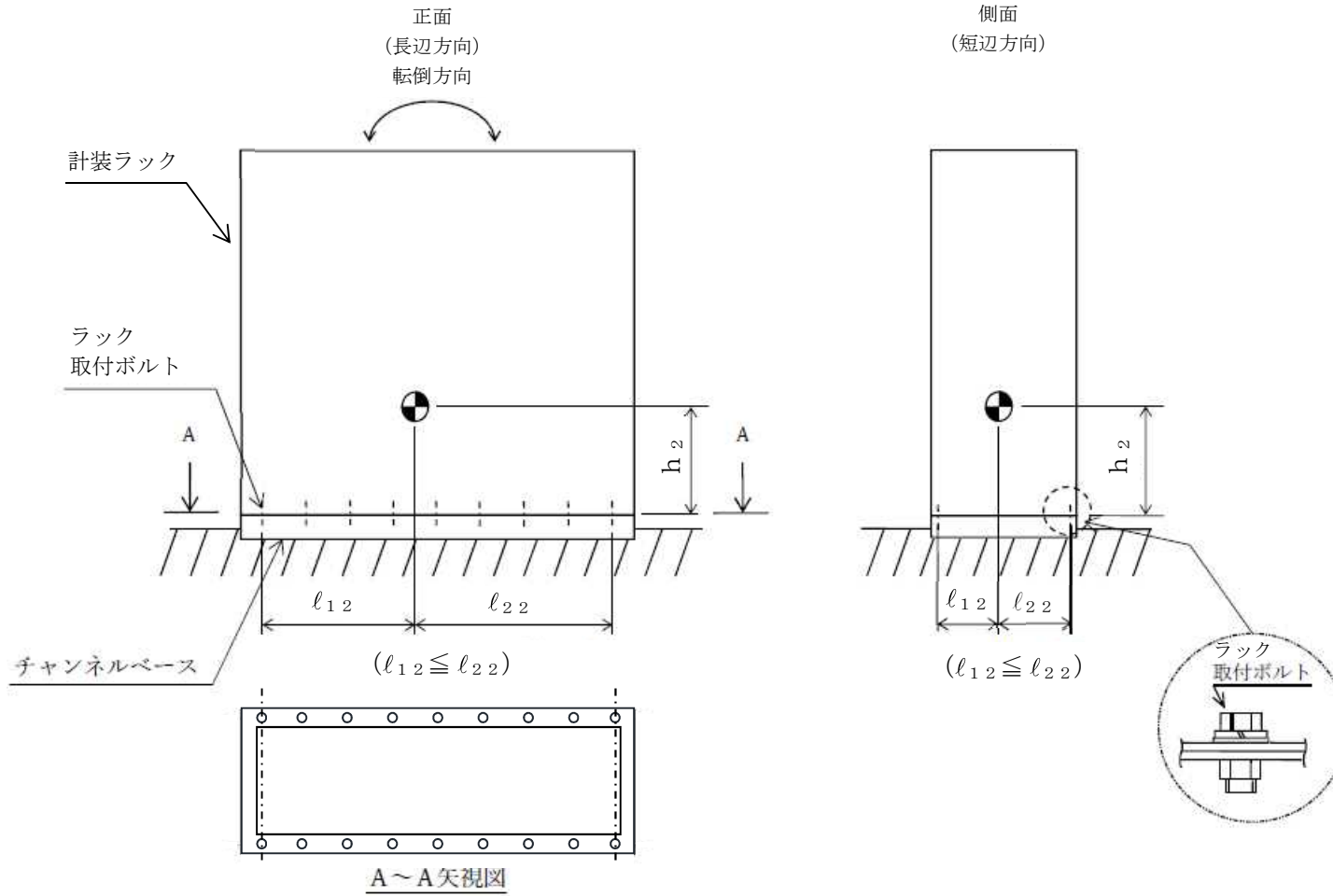
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002A)	水平方向	1.46	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.20	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



【格納容器内ガスサンプリングポンプ (D23-C002B) 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	
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002B)	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500*	0. 05 以下	0. 05 以下	C _H =0. 78	C _V =0. 72	C _H =1. 53	C _V =1. 41	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 格納容器内ガスサンプリングポンプ (H22-P312)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	16 (M16)	201. 1	18	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} * (mm)	ℓ _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	9	235	280	短辺方向	長辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	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 _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	□	□	□	□

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=32$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

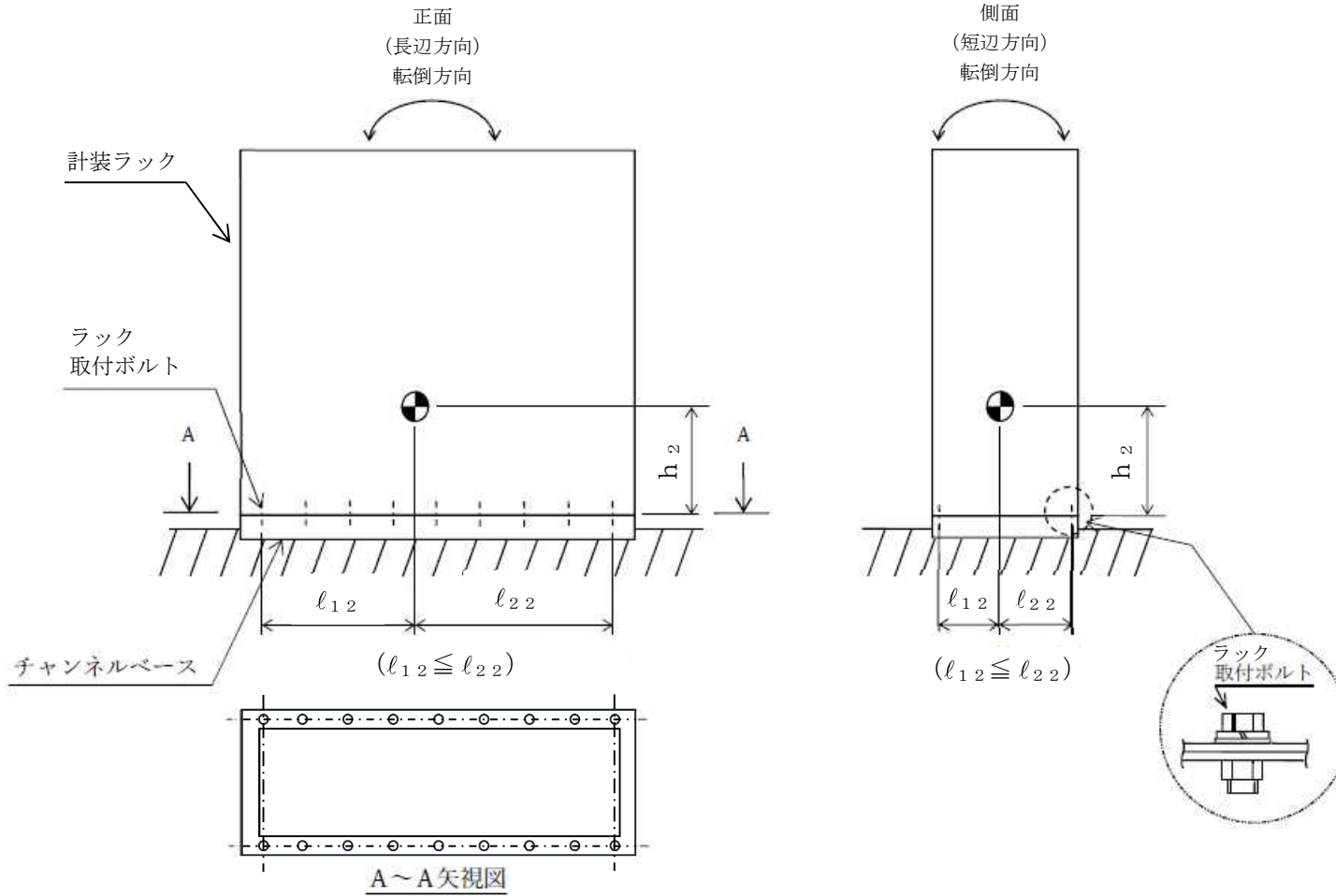
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002B)	水平方向	1.27	□
	鉛直方向	1.18	□

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002B)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500*	0. 05 以下	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 53	C _V =1. 41	50

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

2.2.1 格納容器内ガスサンプリングポンプ (H22-P312)

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	16 (M16)	201. 1	18	231 (16mm<径≤40mm)	394 (16mm<径≤40mm)

部材	l _{1 i} * (mm)	l _{2 i} * (mm)	n _{f i} *	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	9	—	276	—	長辺方向
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	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。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ラック取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ラック取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=32$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=159$

すべて許容応力以下である。

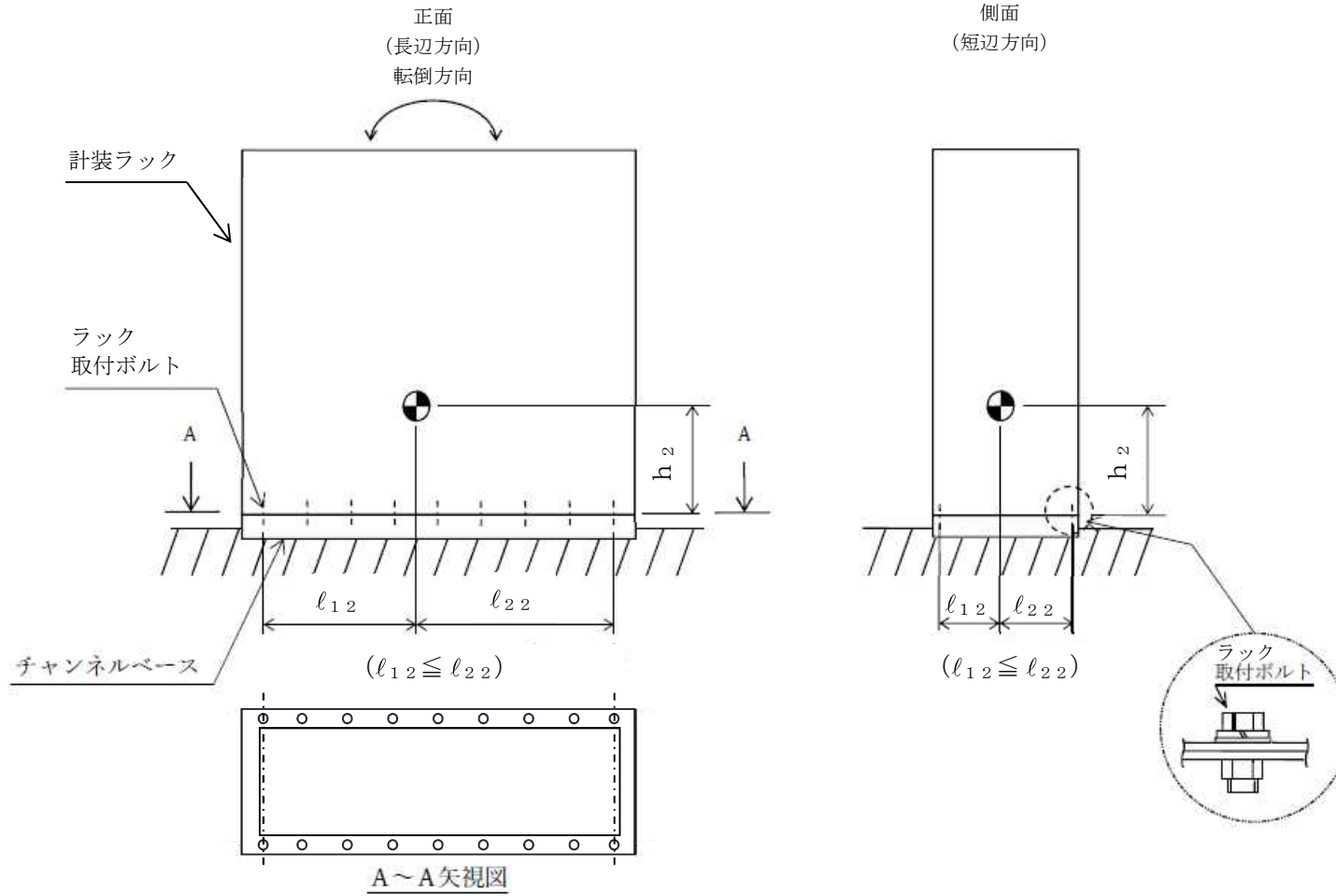
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.2 動的機能の評価結果 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
格納容器内 ガスサンプリングポンプ (D23-C002B)	水平方向	1.27	<input type="text"/>
	鉛直方向	1.18	<input type="text"/>

注記*：基準地震動 S_s により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-6-7-28 格納容器内ガス冷却器の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	8
4.1 基本方針	8
4.2 固有周期の確認方法	8
4.3 固有周期の確認結果	8
5. 構造強度評価	9
5.1 構造強度評価方法	9
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
5.2.2 許容応力	9
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
5.3 設計用地震力	13
5.4 計算方法	14
5.4.1 応力の計算方法	14
5.5 計算条件	20
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	20
5.5.2 取付ボルトの応力計算条件	20
5.6 応力の評価	21
5.6.1 ボルトの応力評価	21
6. 機能維持評価	22
7. 評価結果	22
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	22
7.2 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-2-1-9「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、格納容器内ガス冷却器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

格納容器内ガス冷却器は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備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

格納容器内ガス冷却器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図												
基礎・支持構造	主体構造													
<p>冷却器は、取付ボルトによりチャンネルベースに固定される。 チャンネルベースは、基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>冷却器</p>	<p>【格納容器内ガス冷却器】</p> <table border="1" data-bbox="824 1145 1883 1364"> <thead> <tr> <th>機器名称</th> <th>格納容器内ガス冷却器 (D23-B001A)</th> <th>格納容器内ガス冷却器 (D23-B001B)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>たて</td> <td>487</td> <td>487</td> </tr> <tr> <td>横</td> <td>700</td> <td>700</td> </tr> <tr> <td>高さ</td> <td>940</td> <td>940</td> </tr> </tbody> </table> <p>(単位：mm)</p>	機器名称	格納容器内ガス冷却器 (D23-B001A)	格納容器内ガス冷却器 (D23-B001B)	たて	487	487	横	700	700	高さ	940	940
機器名称	格納容器内ガス冷却器 (D23-B001A)	格納容器内ガス冷却器 (D23-B001B)												
たて	487	487												
横	700	700												
高さ	940	940												

2.2 評価方針

格納容器内ガス冷却器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す格納容器内ガス冷却器の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で確認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「7. 評価結果」に示す。

格納容器内ガス冷却器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

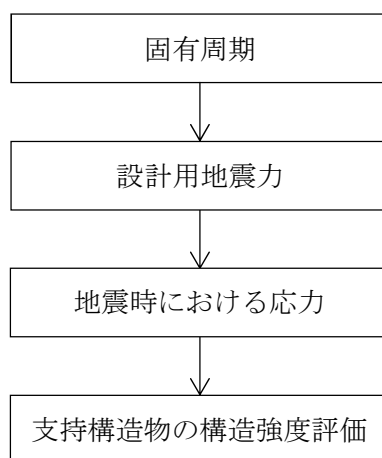


図 2-1 格納容器内ガス冷却器の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
F_{b1i}	鉛直方向地震及び据付面又は取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり) (壁掛形) * ¹	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び据付面又は取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1 本当たり) (壁掛形) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離* ²	mm
l_{1i}	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形) * ¹	mm
l_{2i}	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離 (壁掛形) * ¹	mm
l_{3i}	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離 (壁掛形) * ¹	mm
m_i	質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fvi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向) (壁掛形) * ¹	—
n_{fHi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向) (壁掛形) * ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_{b1i}	水平方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形) * ¹	N
Q_{b2i}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力 (壁掛形) * ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi} (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , F_{b1i} , F_{b2i} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{ii} , l_{2i} ,
 l_{3i} , n_i , n_{fv_i} , n_{fHi} , Q_{bi} , Q_{b1i} , Q_{b2i} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi} (RT)$,
 σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 冷却器+チャンネルベース

$i = 2$: 冷却器

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	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

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

3. 評価部位

格納容器内ガス冷却器の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

格納容器内ガス冷却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. 固有周期

4.1 基本方針

格納容器内ガス冷却器の固有周期は、振動試験（自由振動試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

プラスチックハンマ等により、当該装置に振動を与え自由減衰振動を固有振動数測定装置（圧電式加速度ピックアップ、振動計、分析器）により記録解析する。格納容器内ガス冷却器の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 4-1 に示す。試験の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

格納容器内ガス冷却器 (D23-B001A)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	0.05 以下
格納容器内ガス冷却器 (D23-B001B)	水平	<input type="text"/>
	鉛直	0.05 以下

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 格納容器内ガス冷却器の質量は重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は格納容器内ガス冷却器に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 格納容器内ガス冷却器は取付ボルトによりチャンネルベースに固定されており、固定端とする。また、チャンネルベースは基礎に基礎ボルトで設置されており、固定端とする。
- (4) 転倒方向は、計算モデルにおける正面方向及び側面方向について検討し、計算書には結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 格納容器内ガス冷却器の重心位置については、転倒方向を考慮して、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

格納容器内ガス冷却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

格納容器内ガス冷却器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

格納容器内ガス冷却器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 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
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	格納容器内ガス冷却器	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	その他の 計測制御 系統施設	格納容器内ガス冷却器	常設耐震／防止 常設／緩和	—* ²	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ _A S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S (V _A Sとして Ⅳ _A Sの許容限 界を用いる。)

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

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	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	—

表 5-5 使用材料の許容応力評価条件 (重大事故等対処設備)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (40mm<径)	周囲環境温度	50	211	394	—
取付ボルト	SS400 (16mm<径≦40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

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
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001A)	原子炉建屋 T. M. S. L. 27. 000 (T. M. S. L. 31. 700*)		0.05 以下	C _H =0.88	C _V =0.73	C _H =1.75	C _V =1.45
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001B)	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500 (T. M. S. L. 31. 700*)		0.05 以下	C _H =0.88	C _V =0.73	C _H =1.75	C _V =1.45

注記*：基準床レベルを示す。

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001A)	原子炉建屋 T. M. S. L. 27. 000 (T. M. S. L. 31. 700*)		0.05 以下	—	—	C _H =1.75	C _V =1.45
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001B)	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500 (T. M. S. L. 31. 700*)		0.05 以下	—	—	C _H =1.75	C _V =1.45

注記*：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

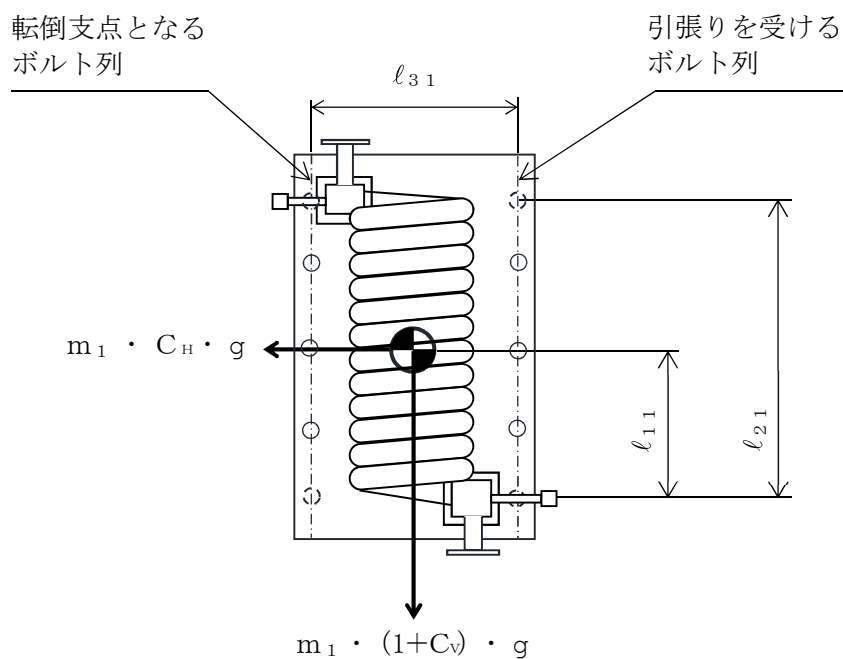
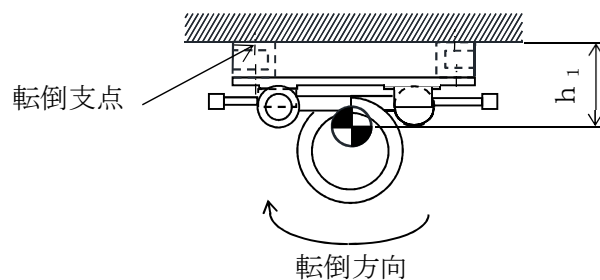


図5-1 計算モデル（壁掛形 正面方向転倒の場合）

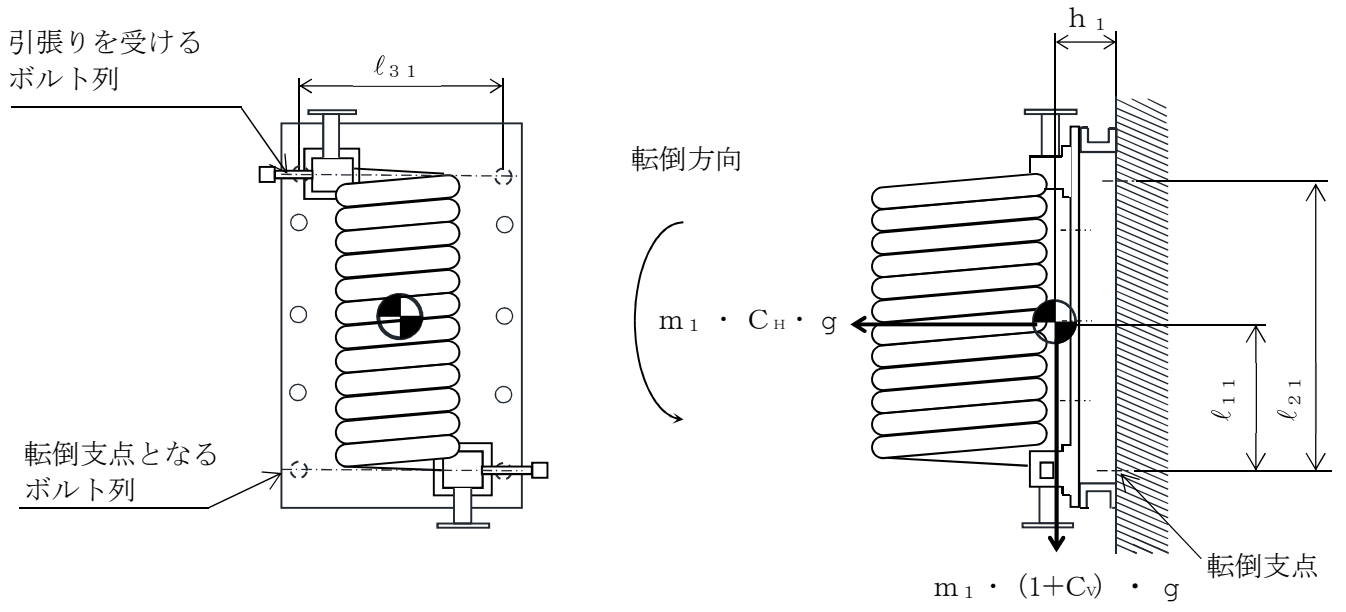


図5-2 計算モデル (壁掛形 側面方向転倒の場合)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1及び図5-2でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b11} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g}{n f V_1 \cdot \ell_{21}} + \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g}{n f H_1 \cdot \ell_{31}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

$$F_{b21} = \frac{m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot C_H \cdot \ell_{11} \cdot g}{n f V_1 \cdot \ell_{21}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

$$F_{b1} = \text{Max} (F_{b11}, F_{b21}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

ただし、 F_{b1} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、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

$$Q_{b11} = m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b21} = m_1 \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_{b1} = \sqrt{(Q_{b11})^2 + (Q_{b21})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

5.4.1.2 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

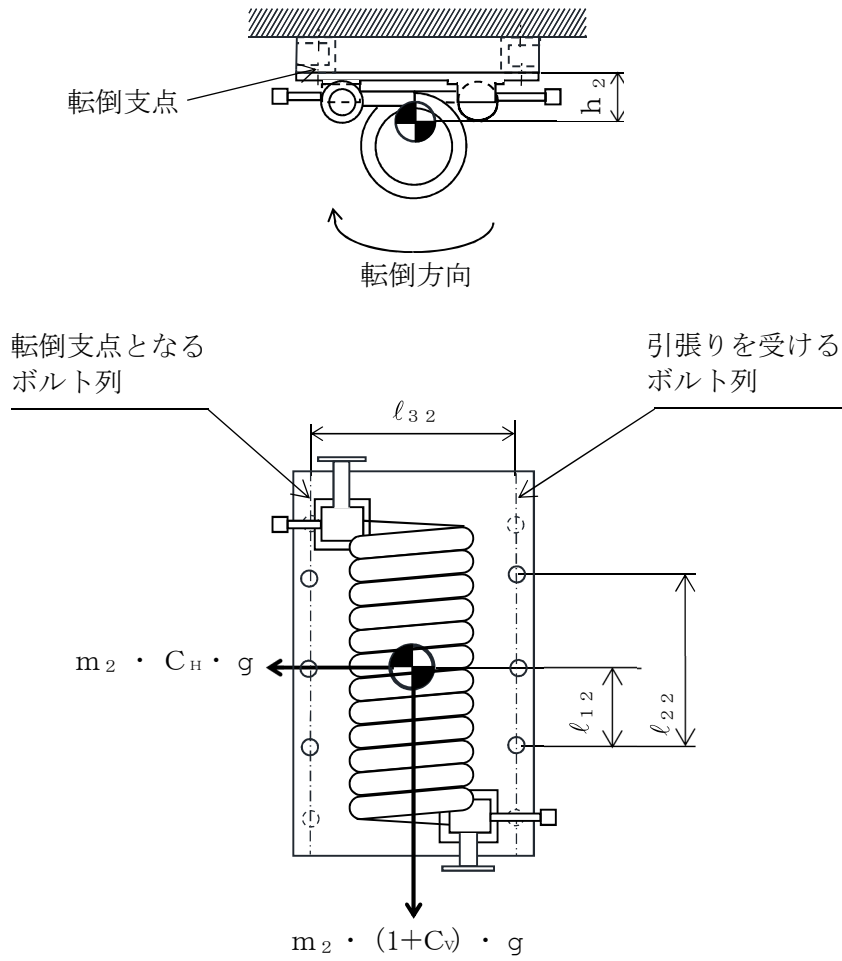


図5-3 計算モデル（壁掛形 正面方向転倒の場合）

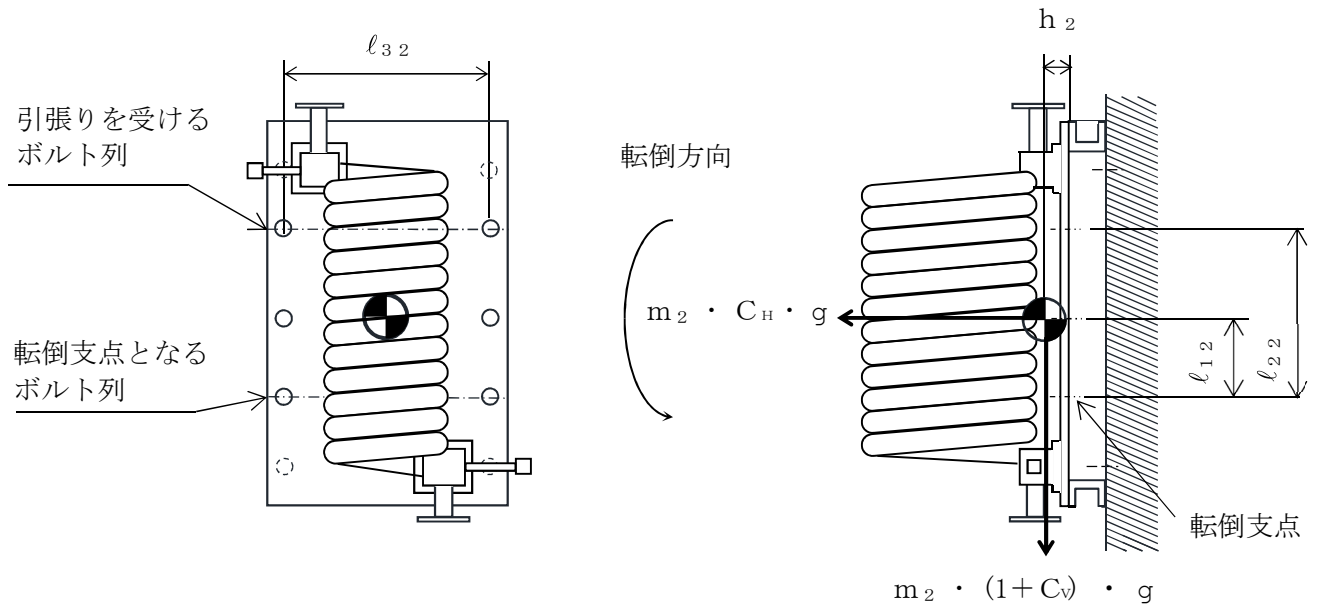


図5-4 計算モデル（壁掛形 側面方向転倒の場合）

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-3及び図5-4でそれぞれのボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b12} = \frac{m_2 \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g}{n f V_2 \cdot l_{22}} + \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g}{n f H_2 \cdot l_{32}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

$$F_{b22} = \frac{m_2 \cdot (1 + C_V) \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot C_H \cdot l_{12} \cdot g}{n f V_2 \cdot l_{22}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

$$F_{b2} = \text{Max} (F_{b12}, F_{b22}) \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

ただし、 F_{b2} が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

取付ボルト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計算する。

せん断力

$$Q_{b12} = m_2 \cdot C_H \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.6)$$

$$Q_{b22} = m_2 \cdot (1 + C_V) \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.7)$$

$$Q_{b2} = \sqrt{(Q_{b12})^2 + (Q_{b22})^2} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.9)$$

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【格納容器内ガス冷却器（D23-B001A）の耐震性についての計算結果】、【格納容器内ガス冷却器（D23-B001B）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 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【格納容器内ガス冷却器（D23-B001A）の耐震性についての計算結果】、【格納容器内ガス冷却器（D23-B001B）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

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

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

6. 機能維持評価

格納容器内ガス冷却器は構造強度のみで機能維持が可能な構造のため、電氣的機能維持評価は行わない。

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

格納容器内ガス冷却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。

7.2 重大事故等対処設備としての評価結果

格納容器内ガス冷却器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し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。

【格納容器内ガス冷却器 (D23-B001A) 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	
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001A)	S	原子炉建屋 T.M.S.L. 27.000 (T.M.S.L. 31.700*)	<input type="text"/>	0.05 以下	C _H =0.88	C _V =0.73	C _H =1.75	C _V =1.45	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12 (M12)	113.1	4	215 (40mm<径)	400 (40mm<径)
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	20 (M20)	314.2	6	235 (16mm<径≤40mm)	400 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	2	215	258	側面方向	側面方向
取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	3	235	280	側面方向	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	□	□	□	□
取付ボルト (i=2)	□	□	□	□

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

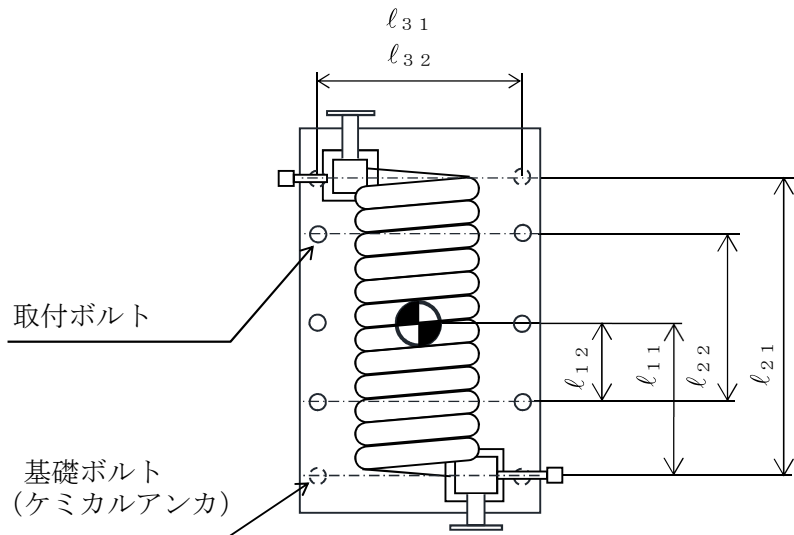
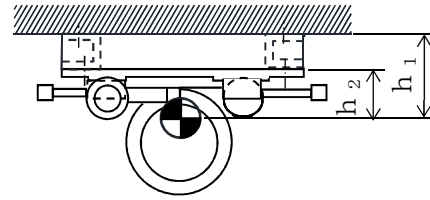
(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=8$	$f_{ts1}=129^*$	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=99$	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=2$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

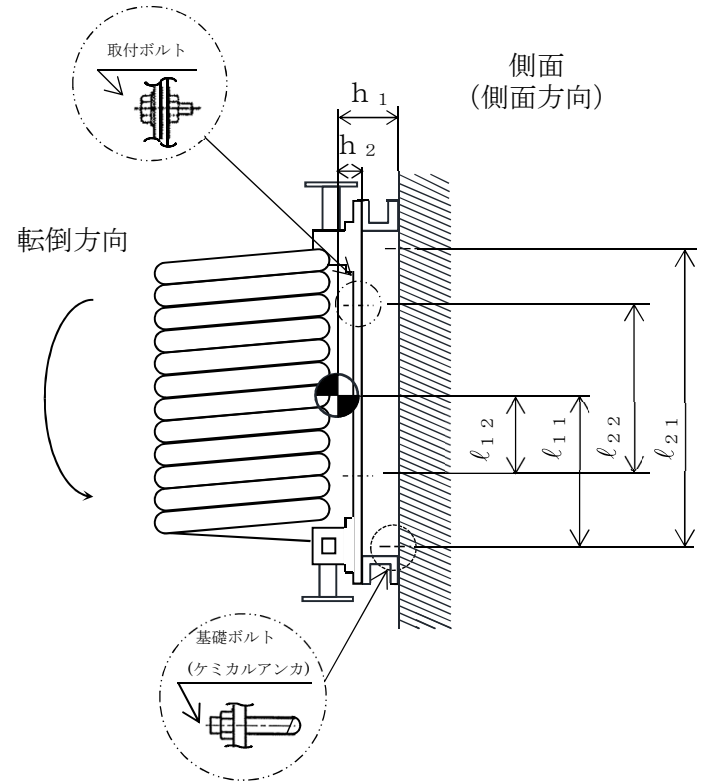
すべて許容応力以下である。

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

平面
(正面方向)



側面
(側面方向)



2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001A)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 27. 000 (T. M. S. L. 31. 700*)	□	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 75	C _V =1. 45	50

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	□	□	12 (M12)	113. 1	4	211 (40mm<径)	394 (40mm<径)
取付ボルト (i=2)	□	□	20 (M20)	314. 2	6	231 (16mm<径≤40mm)	394 (16mm<径≤40mm)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	□	□	□	2	2	—	253	—	側面方向
取付ボルト (i=2)	□	□	□	2	3	—	276	—	側面方向

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

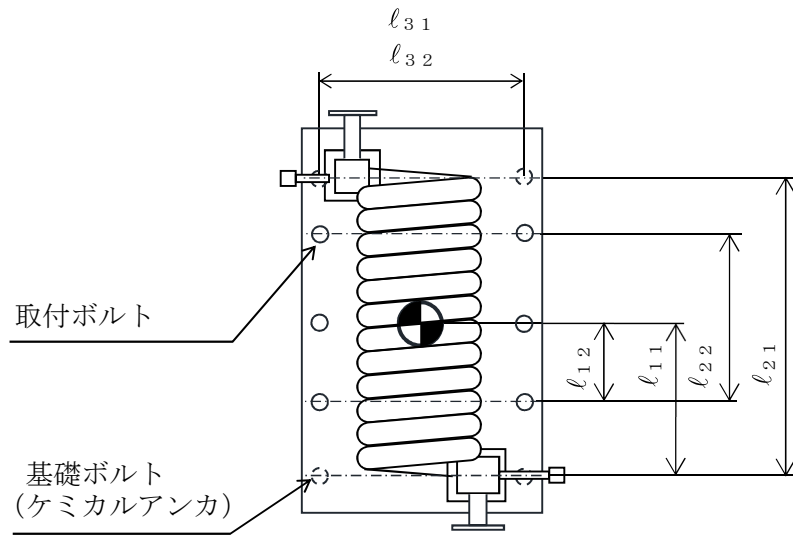
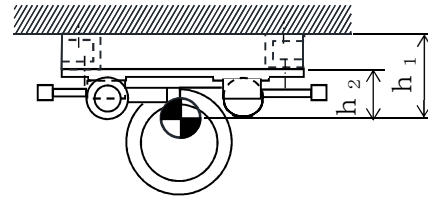
2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=152^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=117$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=159$

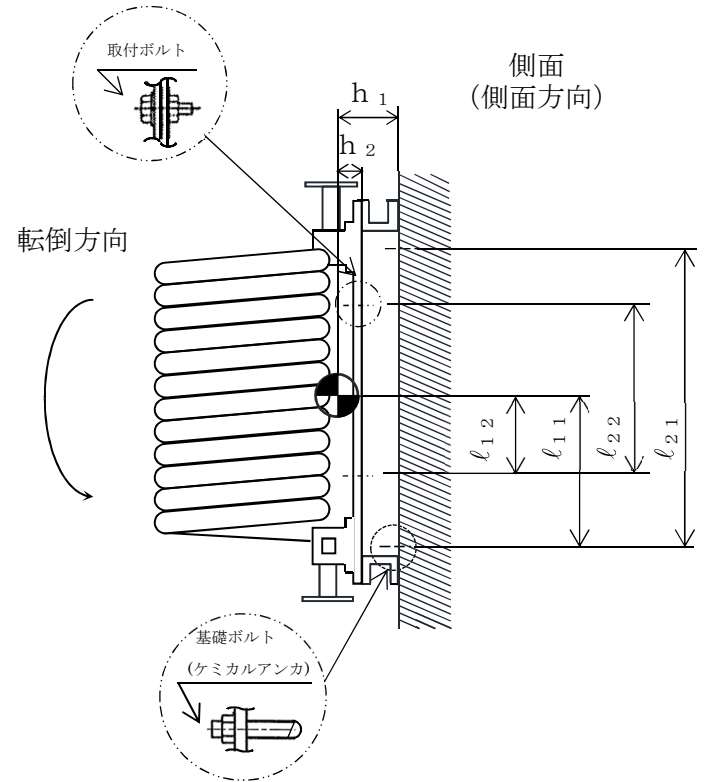
すべて許容応力以下である。

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

平面
(正面方向)



側面
(側面方向)



【格納容器内ガス冷却器 (D23-B001B) 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	
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001B)	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500 (T. M. S. L. 31. 700*)	<input type="text"/>	0. 05 以下	C _H =0. 88	C _V =0. 73	C _H =1. 75	C _V =1. 45	40

注記* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i = 1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12 (M12)	113. 1	4	215 (40mm < 径)	400 (40mm < 径)
取付ボルト (i = 2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	20 (M20)	314. 2	6	235 (16mm < 径 ≤ 40mm)	400 (16mm < 径 ≤ 40mm)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	2	215	258	側面方向	側面方向
取付ボルト (i = 2)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	2	3	235	280	側面方向	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	□	□	□	□
取付ボルト (i=2)	□	□	□	□

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

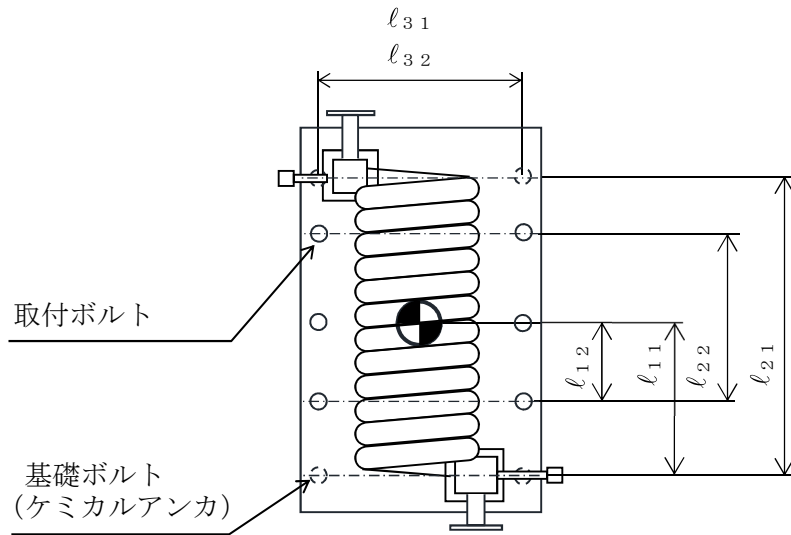
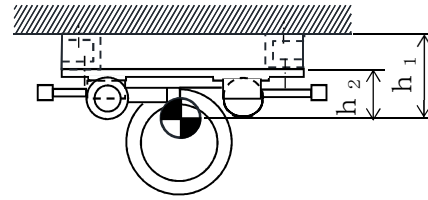
(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=8$	$f_{ts1}=129^*$	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=154^*$
		せん断	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=99$	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=2$	$f_{ts2}=176^*$	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=210^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

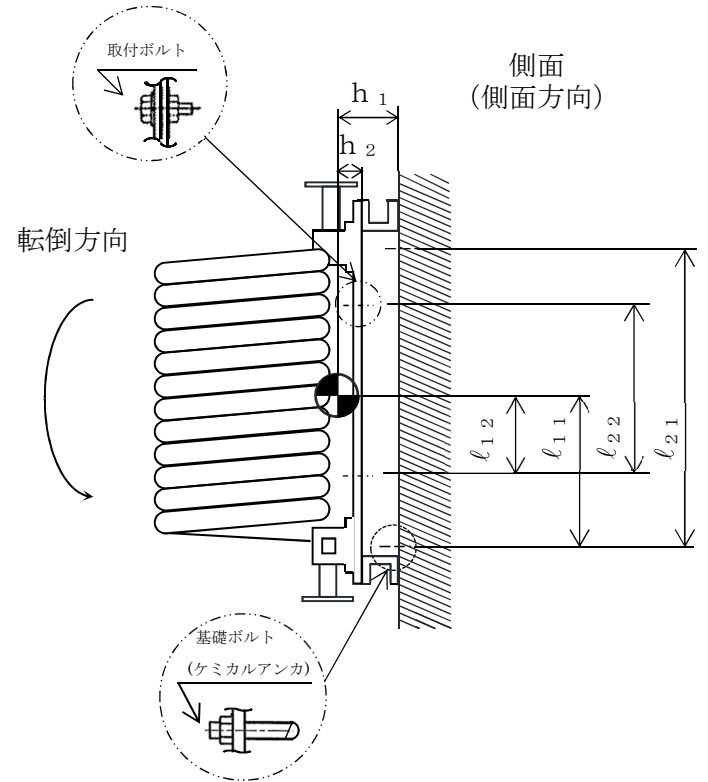
すべて許容応力以下である。

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

平面
(正面方向)



側面
(側面方向)



2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
格納容器内 ガス冷却器 (D23-B001B)	常設耐震/防止 常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 23. 500 (T. M. S. L. 31. 700*)	□	0. 05 以下	—	—	C _H =1. 75	C _V =1. 45	50

注記* : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)
基礎ボルト (i=1)	□	□	12 (M12)	113. 1	4	211 (40mm<径)	394 (40mm<径)
取付ボルト (i=2)	□	□	20 (M20)	314. 2	6	231 (16mm<径≦40mm)	394 (16mm<径≦40mm)

部材	ℓ _{1 i} (mm)	ℓ _{2 i} (mm)	ℓ _{3 i} (mm)	n _{f v i}	n _{f H i}	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	□	□	□	2	2	—	253	—	側面方向
取付ボルト (i=2)	□	□	□	2	3	—	276	—	側面方向

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
取付ボルト (i=2)	—	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>

2.4 結論

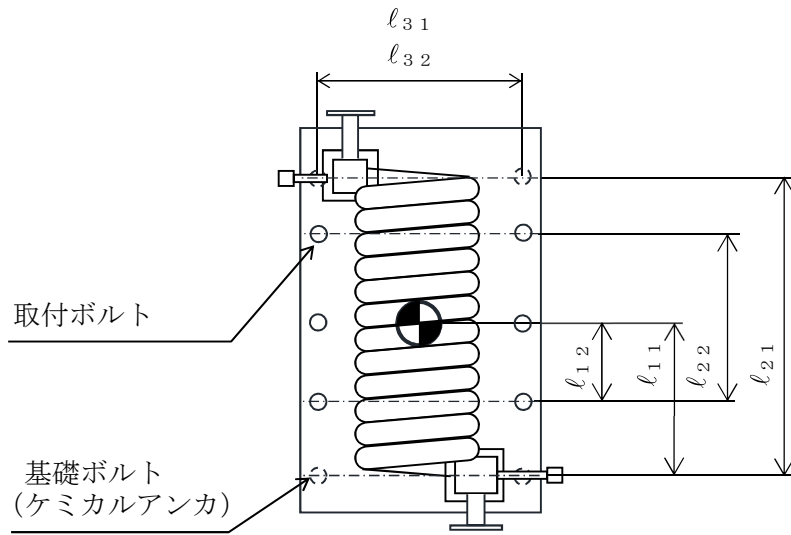
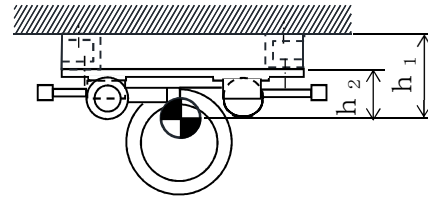
2.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=152^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=117$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=159$

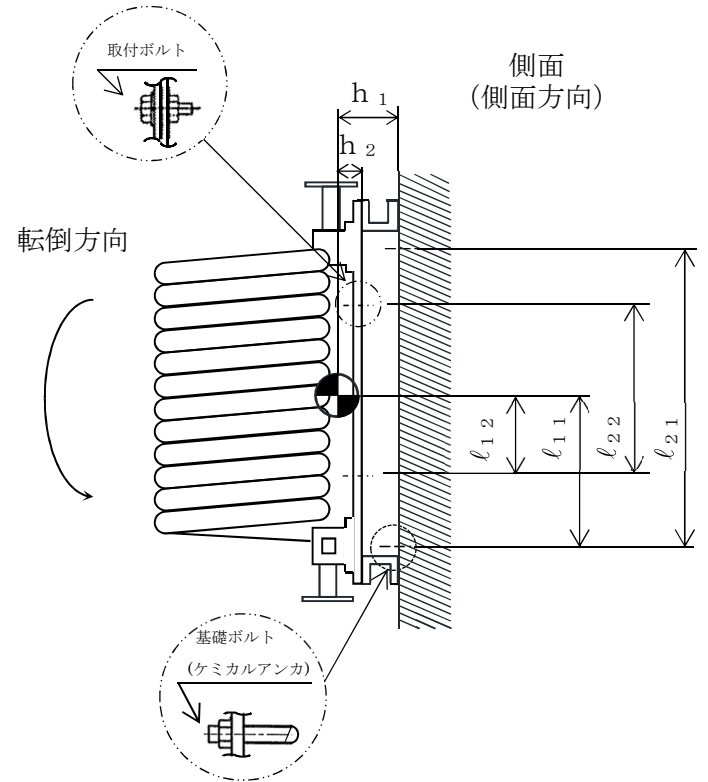
すべて許容応力以下である。

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

平面
(正面方向)



側面
(側面方向)



VI-2-7 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性に関する説明書

VI-2-7-1 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1
3. 技術基準規則第 5 条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算	3
3.1 耐震計算の概要	3

1. 概要

本資料は、放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

放射性廃棄物の廃棄施設に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件との差異の有無を整理した。結果を表1に示す。

放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算は表1に示す計算書に記載することとする。

表1 耐震評価条件整理一覧表 (1/1)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類	設計基準対 象施設との 評価条件の 差異	耐震計算の 記載箇所	
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	放射性ドレン移送系	主要弁	S	無	VI-2-7-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-7-1	—	—	—
		主排気筒（内筒）		S	無	VI-2-7-2-1	—	—	—
		主排気筒（外筒）		C	有	VI-2-7-2-1	—	—	—

3. 技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備の耐震計算

3.1 耐震計算の概要

本章は、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、放射性廃棄物の廃棄施設のうち、技術基準規則第5条の要求事項の変更に伴う評価対象設備である放射性ドレン移送系主要弁、放射性ドレン移送系主配管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。放射性ドレン移送系主要弁、放射性ドレン移送系主配管の計算結果を次ページ以降に示す。

- (1) 管の耐震性についての計算書（気体，液体又は
固体廃棄物処理設備 放射性ドレン移送系）

設計基準対象施設

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	7
3.1 計算方法	7
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
3.3 設計条件	9
3.4 材料及び許容応力	21
3.5 設計用地震力	22
4. 解析結果及び評価	23
4.1 固有周期及び設計震度	23
4.2 評価結果	35
4.2.1 管の応力評価結果	35
4.2.2 支持構造物評価結果	38
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	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「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、放射性ドレン移送系の管、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及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点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

設計及び工事の計画書に記載される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。



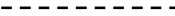
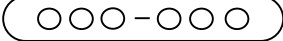

(3) 弁

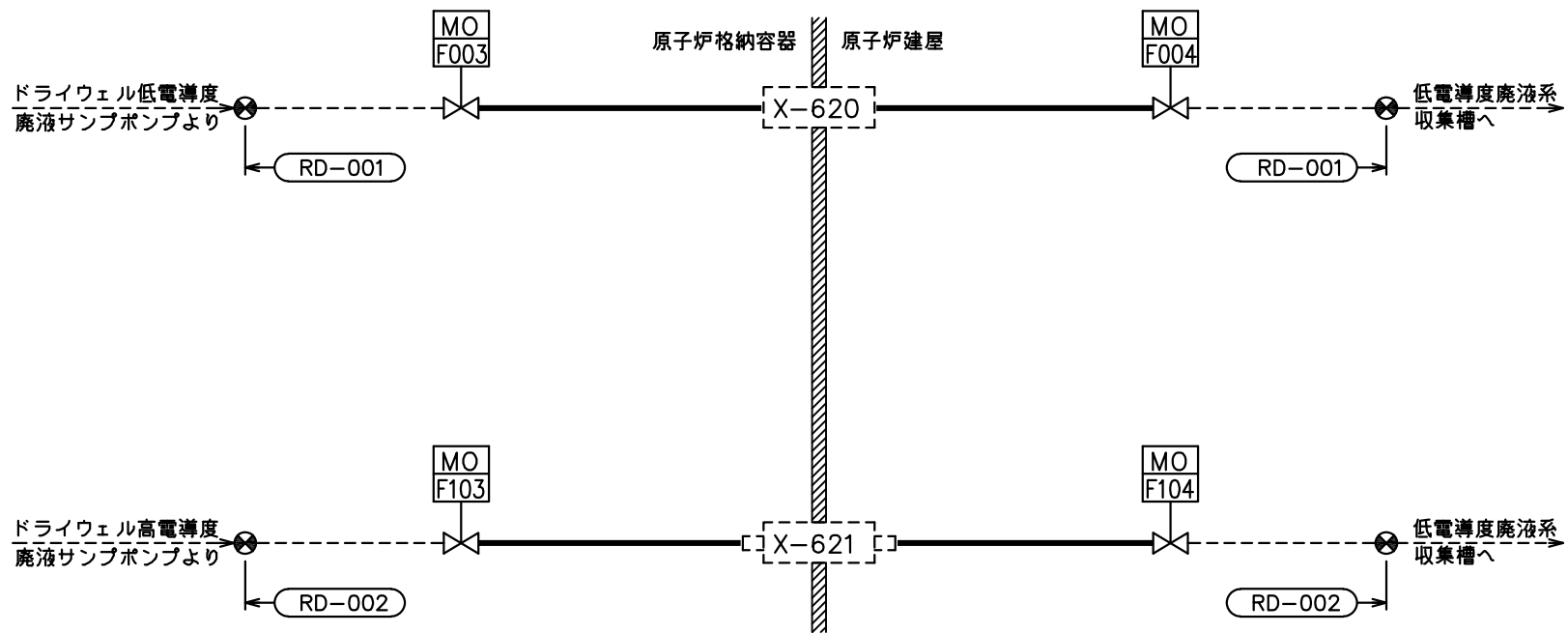
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、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
	鳥瞰図番号
	アンカ




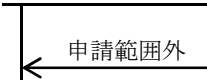
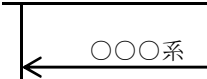


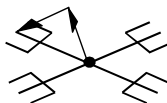
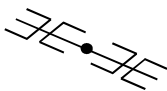

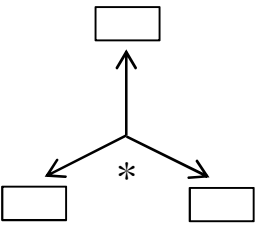
3

放射性ドレン移送系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

K6 ① VI-2-7-1(1) (設) R0

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印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。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)</p>

5

9

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、「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、別紙「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
放射性廃棄物の廃棄施設	気体、液体又は固体 廃棄物貯蔵設備	放射性ドレン 移送系	DB	—	クラス2管	S	I _{L+S d}	III _{AS}
							II _{L+S d}	
							I _{L+S s}	IV _{AS}
							II _{L+S s}	

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

- ∞ *2：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名称で区分し, 管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R D - 0 0 1

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	171	76.3	5.2	STS410	S	193320

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RD-001

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	27	30	31	32	33
	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	801				

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 RD-001

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
14		19		30		35		40	
15		20		31		36		41	
16		21		32		37		42	
17		22		33		38		801	
18		27		34		39			

鳥 瞰 図 RD-001

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
11		43	
12		28	
13		45	
47		29	
46		48	

鳥 瞰 図 R D - 0 0 1

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	12			
弁2	28			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RD-001

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
14						
34						
46						
48						

設計条件

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

鳥 瞰 図 R D - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	0.98	171	76.3	5.2	SUS316LTP	S	184320

管名称と対応する評価点
評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 RD-002

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	29	30	31	32	33
	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	801	

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 RD-002

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
16		22		32		38		44	
17		23		33		39		45	
18		24		34		40		801	
19		29		35		41			
20		30		36		42			
21		31		37		43			

鳥 瞰 図 RD-002

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
13		46	
14		47	
15		48	
50		52	
51		53	

鳥 瞰 図 R D - 0 0 2

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	14			
弁2	47			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RD-002

支持点部のばね定数を下表に示す。

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
36						
43						
51						
53						

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 _h
STS410	171	—	211	404	—
SUS316LTP	171	—	125	416	107

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曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを
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	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
RD-001	原子炉建屋		
	原子炉本体基礎		
RD-002	原子炉建屋		
	原子炉本体基礎		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RD-001

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
9 次							
動的震度*2							
静的震度*3							

注記*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。
 *3： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RD-001

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* : 刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

26

代表的振動モード図(2次)

代表的振動モード図(3次)

28

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RD-002

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
9 次							
10 次							
動的震度*2							
静的震度*3							

注記*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。
 *2：S d 又はS s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。
 *3： $3.6C_I$ 及び $1.2C_V$ より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RD-002

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*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

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、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

32

代表的振動モード図(2次)

33

代表的振動モード図(3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{p r m}(S d)$ $S_{p r m}(S s)$	許容応力 S_y $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
RD-001	III _A S	14	$S_{p r m}(S d)$	80	211	—	—	—
	IV _A S	14	$S_{p r m}(S s)$	138	363	—	—	—
	IV _A S	14	$S_n(S s)$	—	—	238	422	—

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

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{p r m}(S d)$ $S_{p r m}(S s)$	許容応力 S_y^* $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
RD-002	III _A S	15	$S_{p r m}(S d)$	66	128	—	—	—
	IV _A S	15	$S_{p r m}(S s)$	114	374	—	—	—
	IV _A S	15	$S_n(S s)$	—	—	202	250	—

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 $1.2 \cdot S_h$ 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)
RD-001-046B	ロッドレストレイント	RST-S1	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		4	19

37

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			
RD-001-014R	レストレイント	Uプレート	SS400	171	4	4	4	—	—	—	組合せ	79	241

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	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 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

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、応力分類毎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。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 III _A S					許容応力状態 IV _A S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価 点	疲労 累積 係数	代表
1	RD-001	14	80	211	2.63	—	14	138	363	2.63	○	14	238	422	1.77	—	—	—	—
2	RD-002	15	66	128	1.93	○	15	114	374	3.28	—	15	202	250	1.23	○	—	—	—

注記*：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

VI-2-7-2 気体，液体又は固体廃棄物処理設備の耐震性についての計算書

VI-2-7-2-1 主排気筒の耐震性についての計算書

(I) 主排気筒の地震応答計算書

(II) 主排気筒の耐震計算書

(I) 主排気筒の地震応答計算書

目 次

1. 構造及びモデル化	1
2. 解析方法	16
2.1 入力地震動	16
2.2 建屋応答の不確かさ等	33
3. 応答解析の結果	34
3.1 固有値解析結果	34
3.2 地震応答解析結果	34

1. 構造及びモデル化

本主排気筒は、原子炉建屋_{R1}～_{R2}, _{RC}～_{RD}間の屋上 (T. M. S. L. *¹38.2m) に位置し、内径 2.8m の鋼板製筒身 (換気空調系用排気筒) を鋼管四角形鉄塔 (制震装置付) で支えた鉄塔支持形排気筒である。

また、筒身内部には、非常用ガス処理系 (以下「SGTS」という。) 用排気筒が筒身に支持されている。

主排気筒の配置図を図 1-1 に、概要図を図 1-2 に、主要レベルの概略平面図を図 1-3 に、材料諸元を表 1-1 に示す。

構造概要

構造形状	四角鉄塔支持形鋼管構造 (制震装置付)
主排気筒の高さ	46.8m (T. M. S. L. 85.0m)
鉄塔高さ	41.8m (T. M. S. L. 80.0m)
鉄塔幅	頂部 5.0m 根開き NS 方向 7.1m, EW 方向 8.0m
筒身支持点位置	T. M. S. L. 48.0m, 76.25m
基礎	T. M. S. L. 38.2m 以高の鉄骨鉄筋コンクリート造* ² 立上り部を基礎とする。

主排気筒の地震応答解析モデルは、原子炉建屋屋上 (T. M. S. L. 38.2m) より上部を対象とした立体フレームモデルとする。主排気筒の地震応答解析モデルを図 1-4 に、主要レベルのモデル図について図 1-5 に、部材諸元一覧を表 1-2 に示す。また、主排気筒の T. M. S. L. 76.25m には 8 台の制震装置 (オイルダンパー) が設置されている。制震装置 (オイルダンパー) の概要を図 1-6 に、諸元を表 1-3 に示す。地震応答解析は時刻歴応答解析により行う。

なお、減衰は、剛性比例型減衰 (鉄塔部の水平方向 1 次固有振動数に対し、鉄骨造は 2%, 鉄筋コンクリート造 (基礎) は 5%を設定) として評価する。

注記*1 : 東京湾平均海面を、以下「T. M. S. L.」という。

*2 : 基礎は鉄筋コンクリート造として評価する。

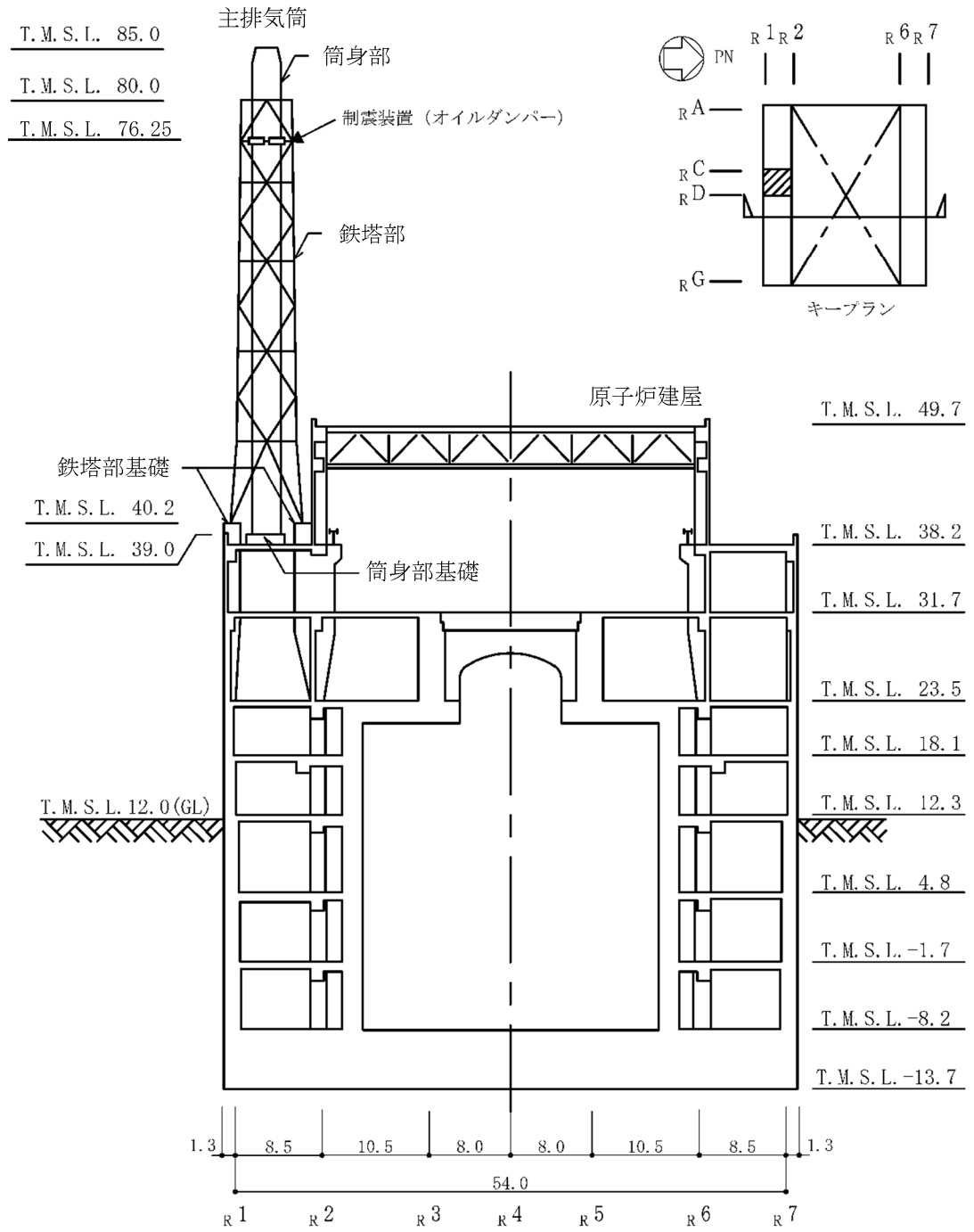
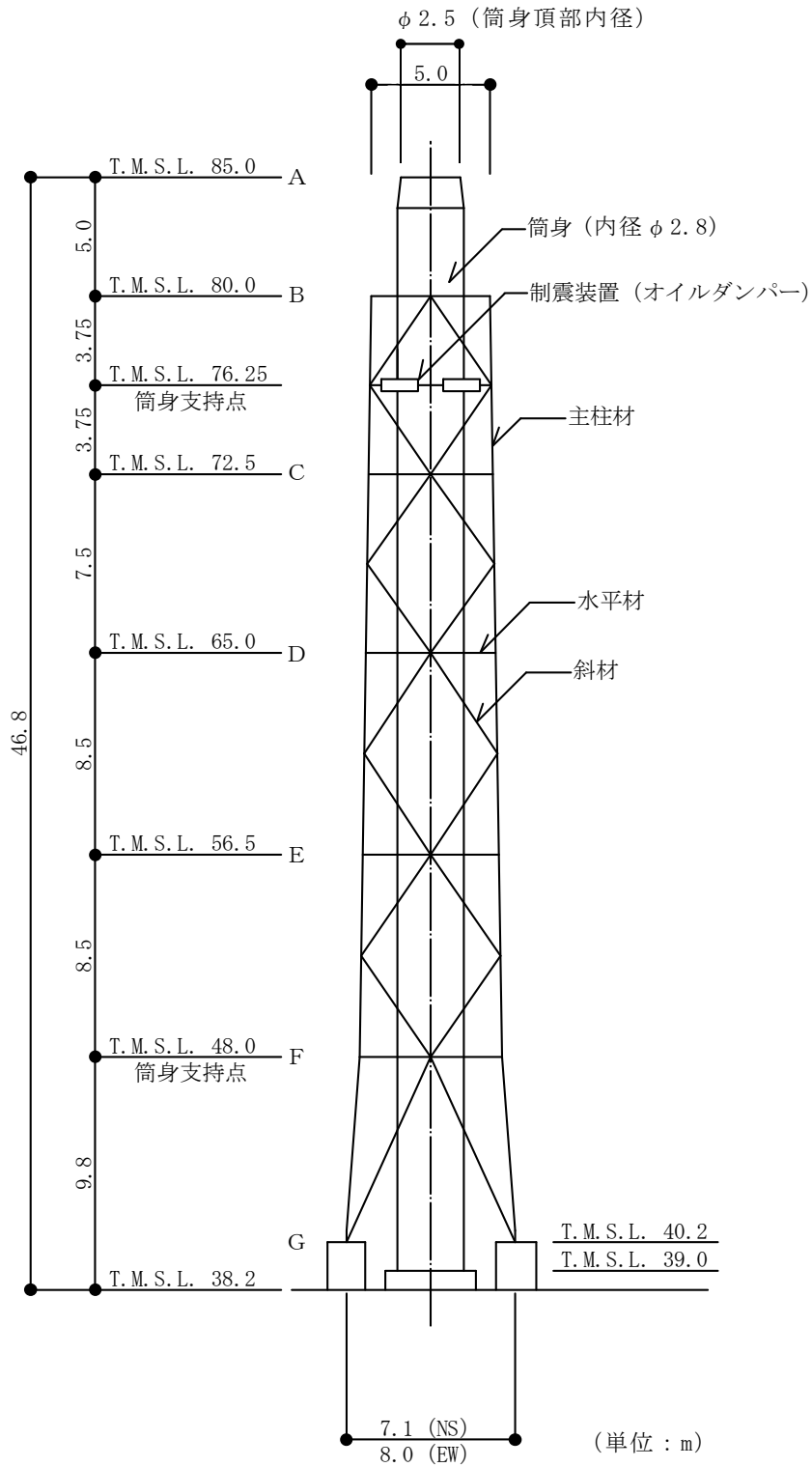


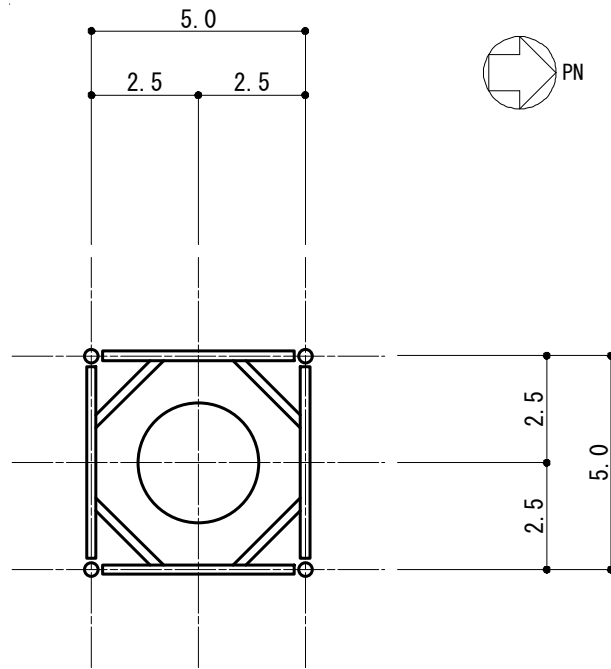
図 1-1 主排気筒配置図 (単位 : m)



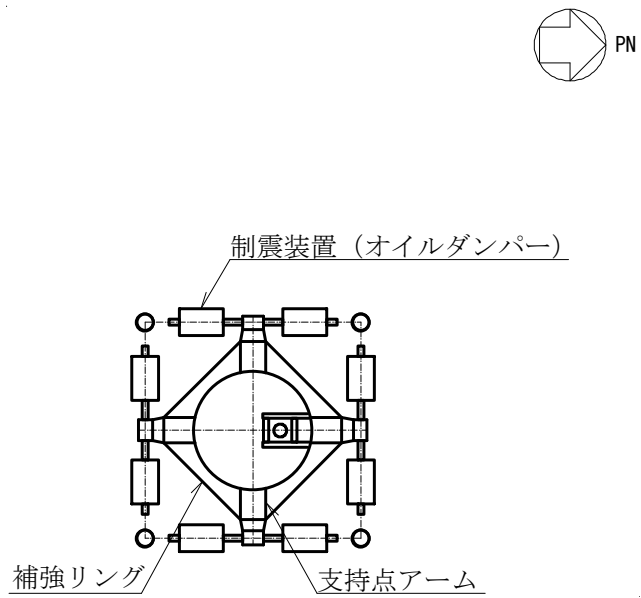
STK490[STK50]*	φ 711.2 × 19	φ 609.6 × 16	φ 508.0 × 7.9	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6
支柱材					
STK400[STK41]*	φ 406.4 × 6.4	φ 318.5 × 6	φ 216.3 × 4.5	φ 216.3 × 4.5	φ 216.3 × 4.5
水平材					
STK490[STK50]*	φ 406.4 × 12.7	φ 355.6 × 7.9	φ 267.4 × 6	φ 216.3 × 4.5	φ 216.3 × 4.5
斜材					
SMA400AP[SMA41A]*	t = 12	t = 8	t = 8	t = 6	t = 6
筒身板厚					
部材リスト (単位 : mm)					

注記* : 以下[]内は従来標記を示す。

図 1-2 主排気筒概要図

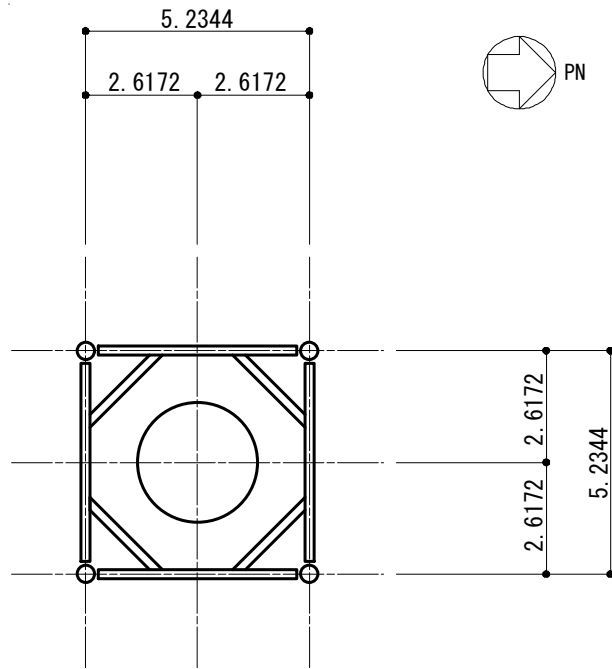


(a) T. M. S. L. 80.0m

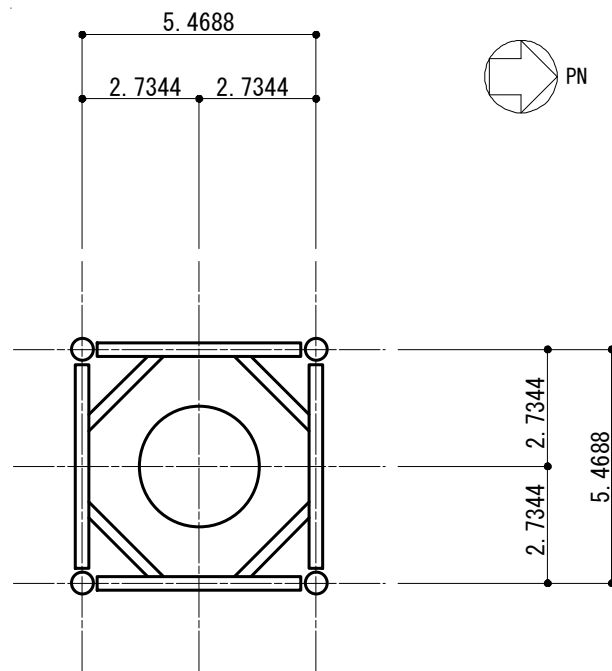


(b) T. M. S. L. 76.25m (筒身支持点)

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位: m) (1/4)

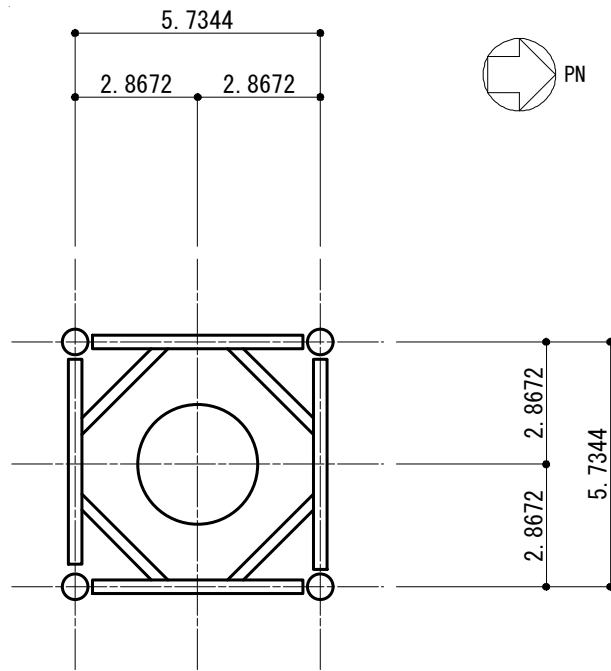


(c) T. M. S. L. 72.5m

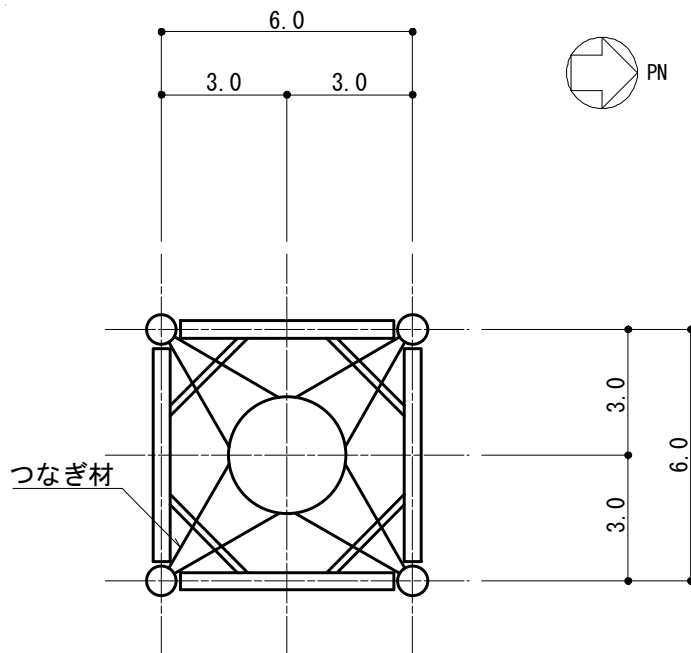


(d) T. M. S. L. 65.0m

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位 : m) (2/4)

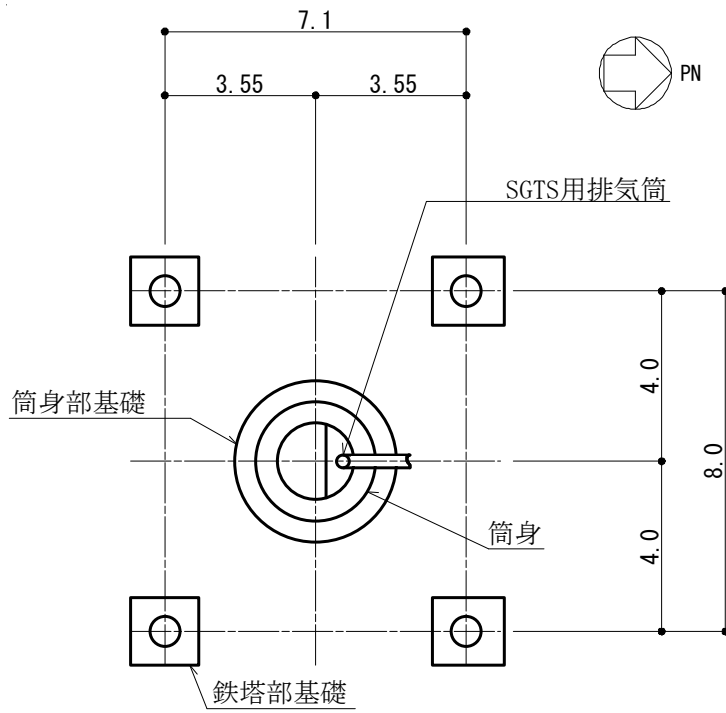


(e) T. M. S. L. 56.5m



(f) T. M. S. L. 48.0m (筒身支持点)

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位: m) (3/4)



(g) T. M. S. L. 38.2m (基礎)

図 1-3 主要レベルの概略平面図 (単位 : m) (4/4)

表 1-1 主排気筒材料諸元

部位	材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)
鉄塔部 筒身部	鋼材	2.05×10^5	0.3	2
基礎	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1$ (N/mm ²) 鉄筋 : SD345 [SD35]	2.88×10^4	0.2	5

注記* : 実強度に基づくコンクリート強度を示す。

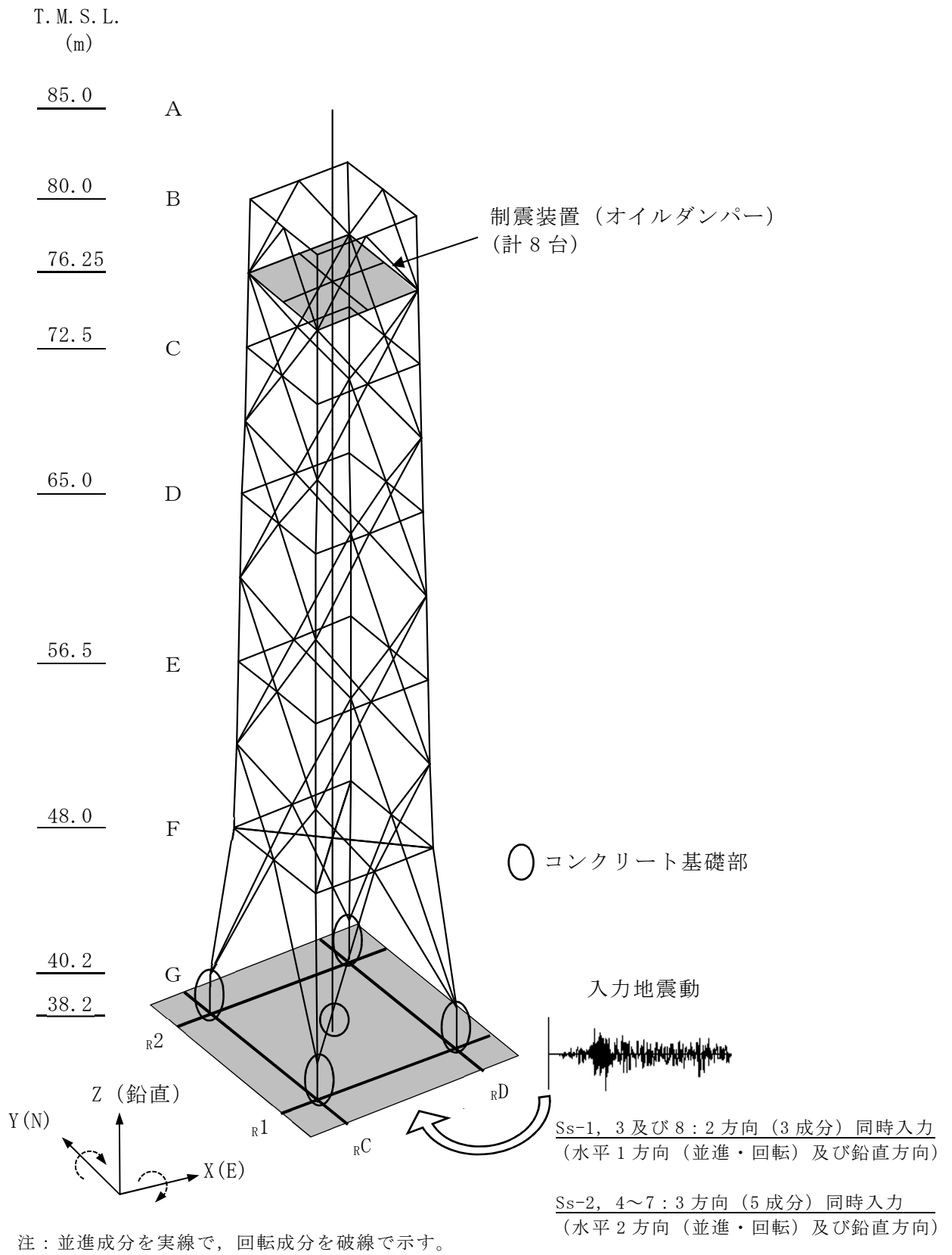
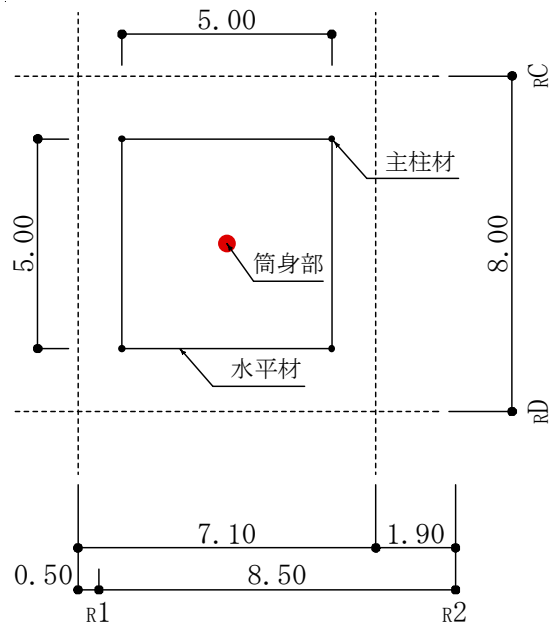
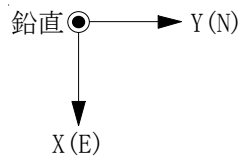


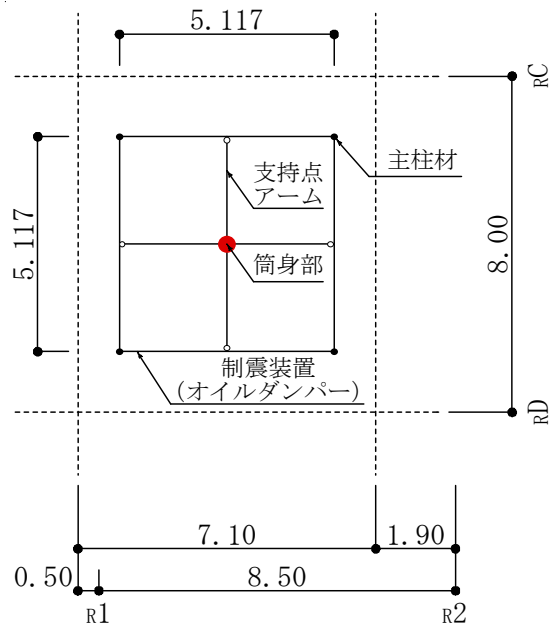
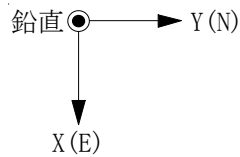
図 1-4 主排気筒の地震応答解析モデル



(a) T. M. S. L. 80.0m

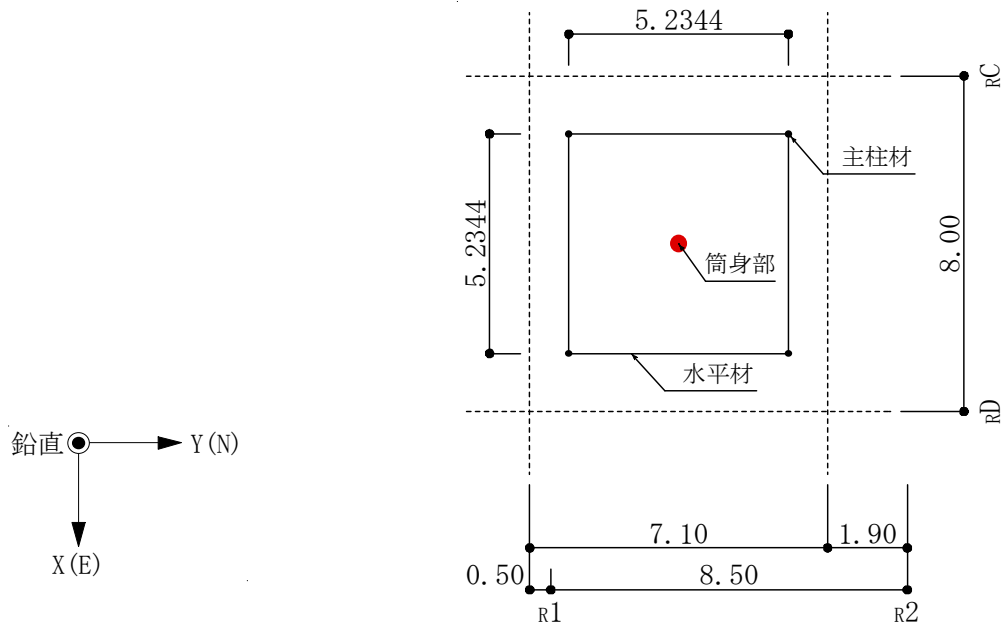
支持点アームについて

- ・使用要素：はり要素
- ・境界条件：
ピン接合（○部）－剛接合
（詳細は図 1-6 参照。）

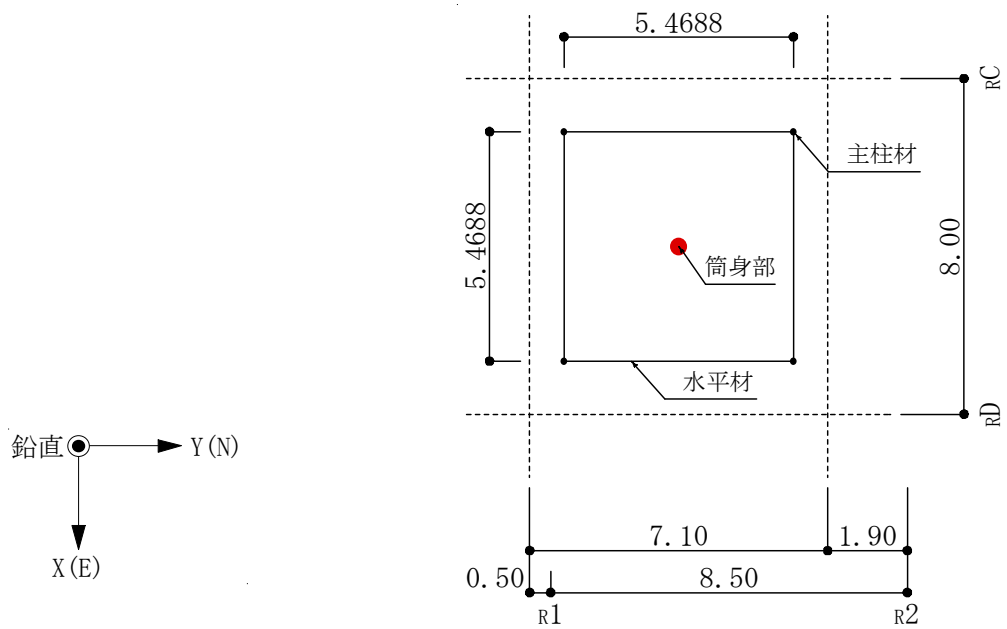


(b) T. M. S. L. 76.25m (筒身支持点)

図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位：m) (1/4)

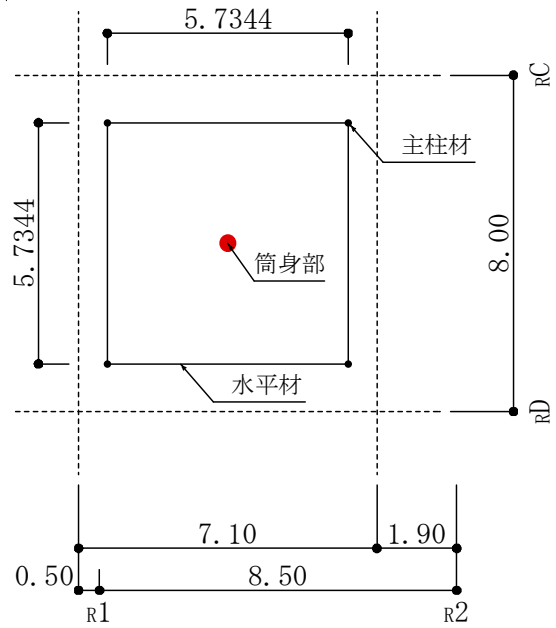
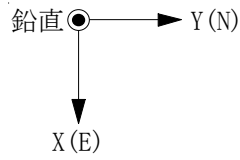


(c) T. M. S. L. 72.5m



(d) T. M. S. L. 65.0m

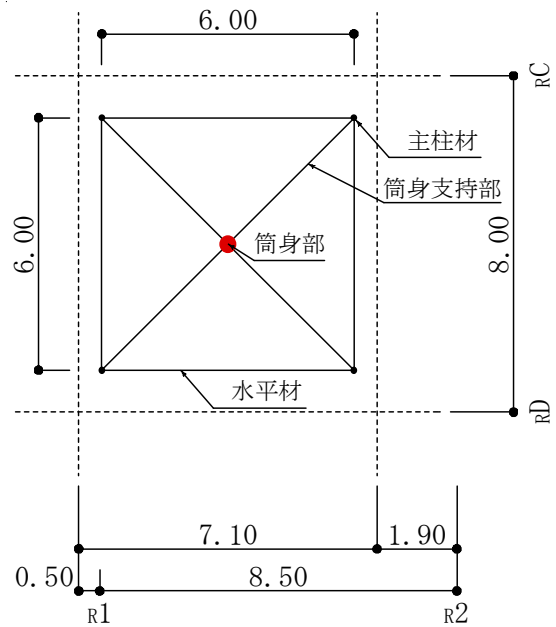
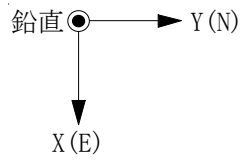
図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位 : m) (2/4)



(e) T. M. S. L. 56.5m

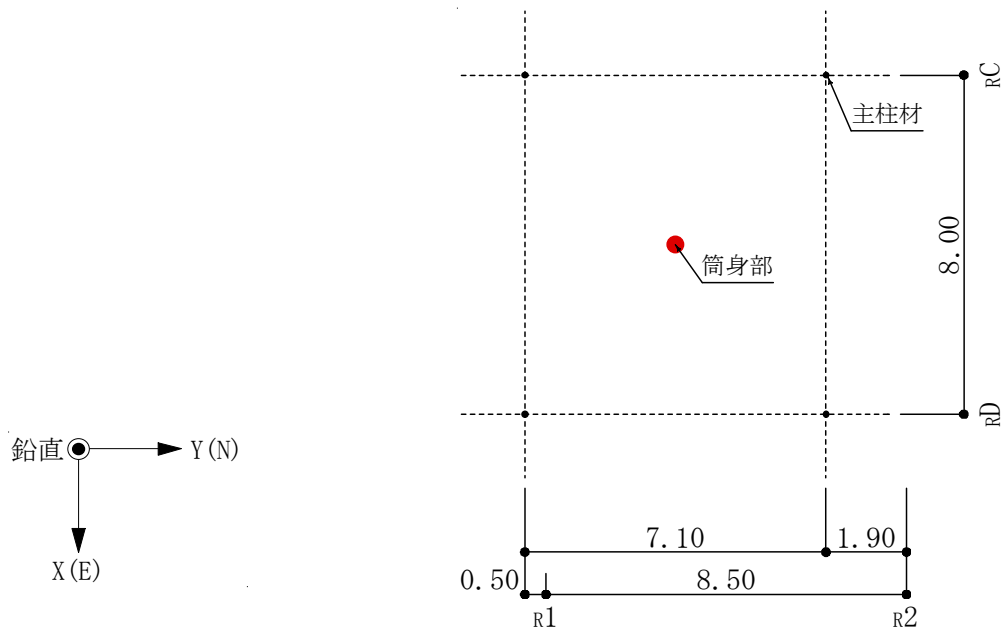
筒身支持部について

- ・ 使用要素：ばね要素
(水平方向)
- ・ 境界条件：
剛接合－剛接合



(f) T. M. S. L. 48.0m (筒身支持点)

図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位：m) (3/4)

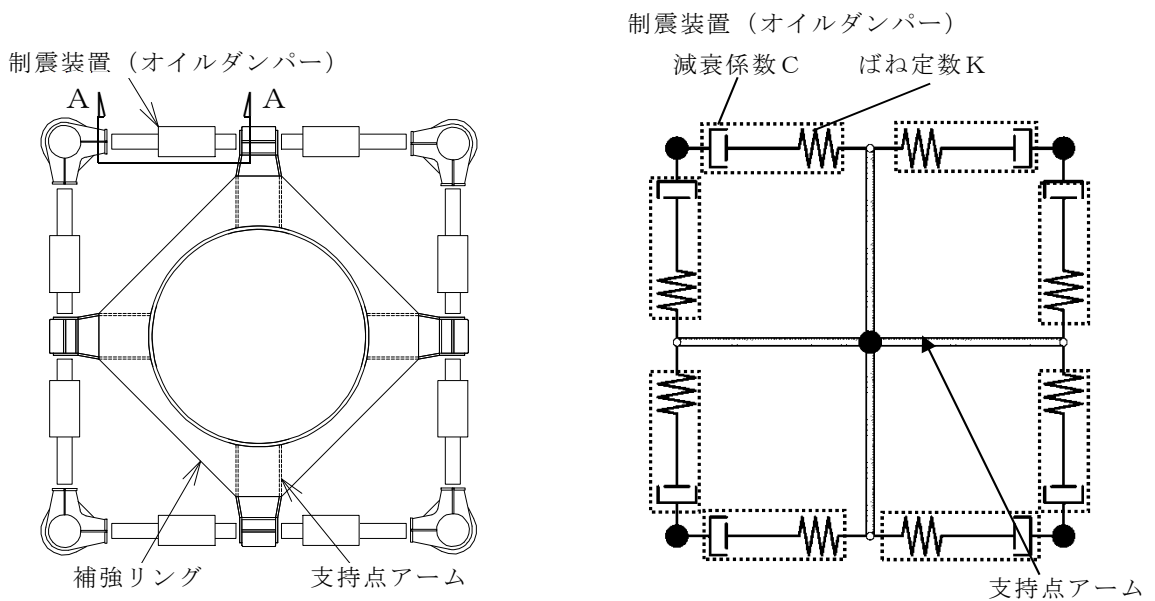


(g) T. M. S. L. 38.2m (基礎)

図 1-5 主要レベルのモデル図 (単位 : m) (4/4)

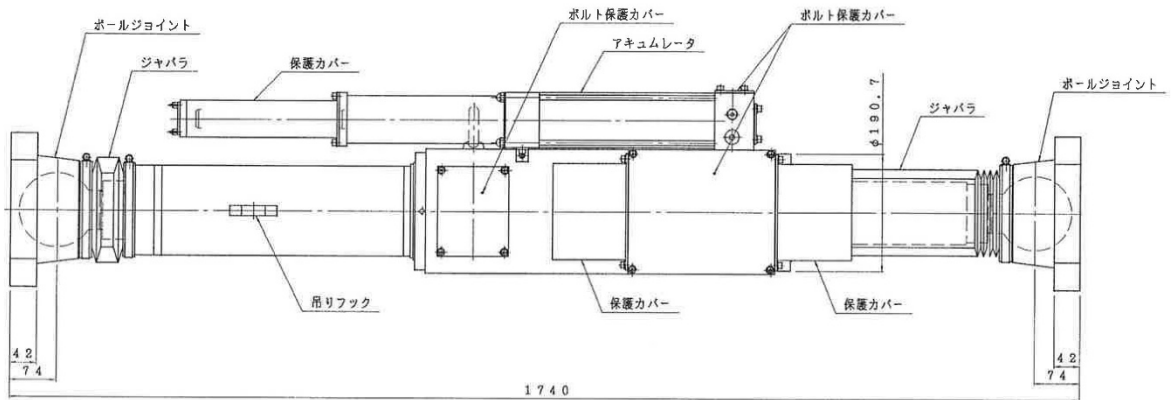
表 1-2 主排気筒の部材諸元一覧

部材	部材間	寸法 (mm)	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)	有効せん断 断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)
支柱材	B - C	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	C - D	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	16100	40.21
	D - E	$\phi 508.0 \times 7.9$	124.1	38800	62.05
	E - F	$\phi 609.6 \times 16$	298.4	132000	149.2
	F - G	$\phi 711.2 \times 19$	413.2	248000	206.6
斜材	B - C	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	C - D	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	4210	24.64
	D - E	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	13000	43.15
	E - F	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	30500	78.55
	F - G	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	101000	136.4
水平材	B	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	C	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	1680	14.97
	D	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	E	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	7190	29.46
	F	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	16100	40.21
筒身部	A - B	$\phi 2812 \times 6$	528.9	5210000	264.5
	B - C	$\phi 2812 \times 6$	528.9	5210000	264.5
	C - D	$\phi 2812 \times 6$	528.9	5210000	264.5
	D - E	$\phi 2816 \times 8$	705.7	6960000	352.9
	E - F	$\phi 2816 \times 8$	705.7	6960000	352.9
	F - G	$\phi 2824 \times 12$	1060	10500000	530.1



(a) 平面図 (T.M.S.L. 76.25m)

(b) モデル概要図



(c) A-A制震装置 (オイルダンパー) 詳細図 (単位: mm)

図 1-6 制震装置 (オイルダンパー) の概要

表 1-3 制震装置 (オイルダンパー) の諸元

重量	6.0 (kN/台)
ばね定数 K	0.3×10^8 (N/m)
減衰係数 C	1.05×10^5 (N·s/m)

2. 解析方法

主排気筒の地震応答解析（直接積分法）には，解析コード「f a p p a s e」を用いる。また，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.1 入力地震動

主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 Ss-1～Ss-8 による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる屋上レベル（T. M. S. L. 38. 2m）における応答値を用いることとし，主排気筒の基礎脚部を固定として入力する。応答スペクトルに基づく地震動である Ss-1 及び Ss-3，震源を特定せず策定する地震動である Ss-8 については，2 方向（3 成分）（水平 1 方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。一方で，断層モデルに基づく地震動である Ss-2 及び Ss-4～Ss-7 については，3 方向（5 成分）（水平 2 方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。

また，原子炉建屋全体の地震応答解析では，接地率が 65%未満となるケースについては誘発上下動を考慮しており，主排気筒についても当該ケースについては誘発上下動を考慮した応答を用いるものとする。

代表して，入力地震動のうち，基準地震動 Ss-1～Ss-8 の基本ケースの加速度時刻歴波形を以下に示す。また，入力地震動の組合せを表 2-1 に示す。（建屋応答の不確かさを考慮する解析ケースの入力地震動の組合せについては，別紙 3「地震応答解析における原子炉建屋の材料物性の不確かさに関する検討」参照。）

NS 方向	並進成分	図 2-1
EW 方向	並進成分	図 2-2
	鉛直方向	図 2-3
NS 方向	回転成分	図 2-4
EW 方向	回転成分	図 2-5

基本ケースにおいて，原子炉建屋全体の地震応答解析では Ss-2 のみ接地率が 65%未満となるため誘発上下動を考慮しており，主排気筒についても図 2-3(b)に示す Ss-2 の鉛直方向の入力地震動では誘発上下動を考慮している。

表 2-1 入力地震動の組合せ（基本ケース）

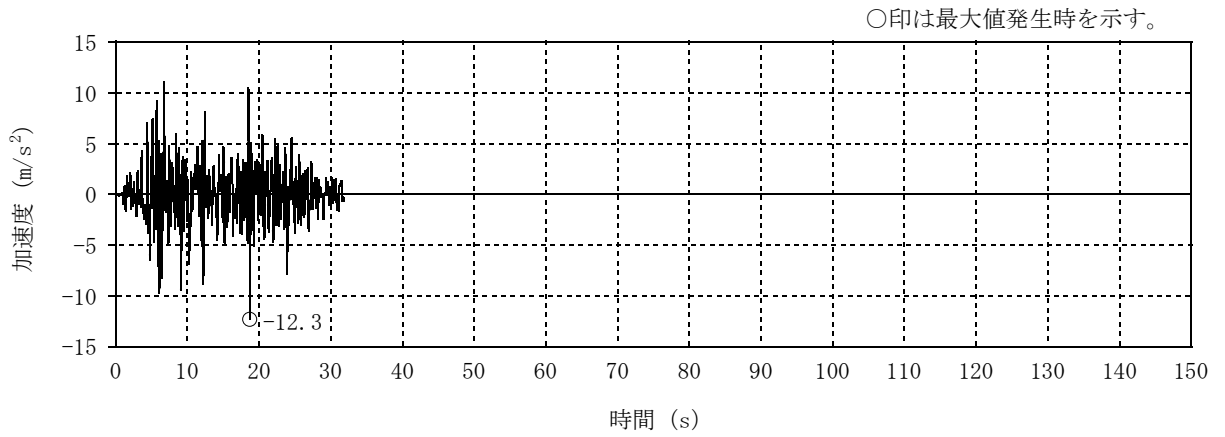
入力地震動* ¹		水平方向* ²				鉛直 方向* ²	備考* ³
		NS 方向		EW 方向			
		並進	回転	並進	回転		
S _s -1	NS+鉛直	○	○	—	—	○	—
	EW+鉛直	—	—	○	○	○	—
S _s -2	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	誘発上下動考慮
S _s -3	NS+鉛直	○	○	—	—	○	—
	EW+鉛直	—	—	○	○	○	—
S _s -4	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -5	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -6	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -7	NS+EW+鉛直	○	○	○	○	○	—
S _s -8	NS+鉛直	○	○	—	—	○	—
	EW+鉛直	—	—	○	○	○	—

注記*¹：入力地震動の詳細について以下に示す。

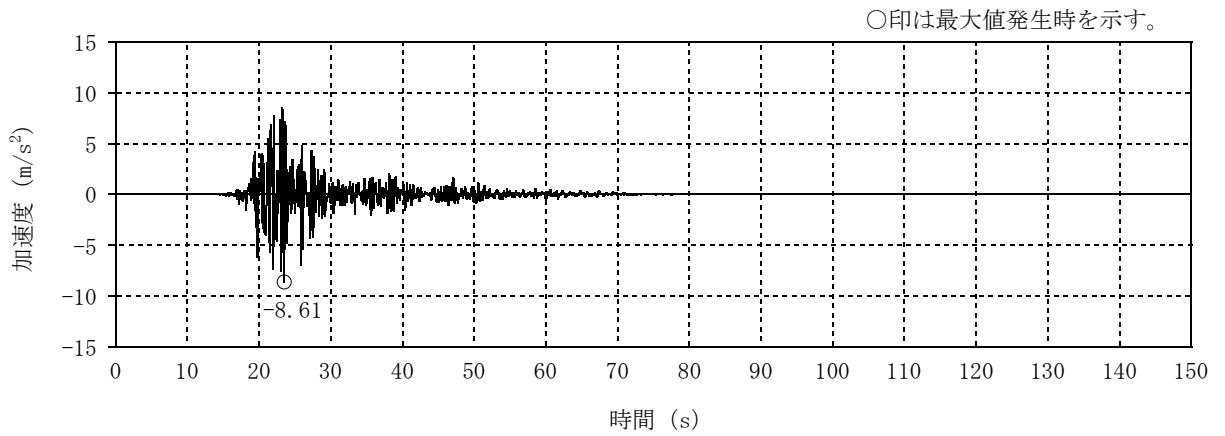
- ・方向性のある地震動
S_s-2, S_s-4～S_s-7…断層モデルに基づく地震動
- ・方向性のない地震動
S_s-1 及び S_s-3…応答スペクトルに基づく地震動
S_s-8…震源を特定せず策定する地震動

*²：組み合わせる成分を「○」で、組み合わせない成分を「—」で示す。

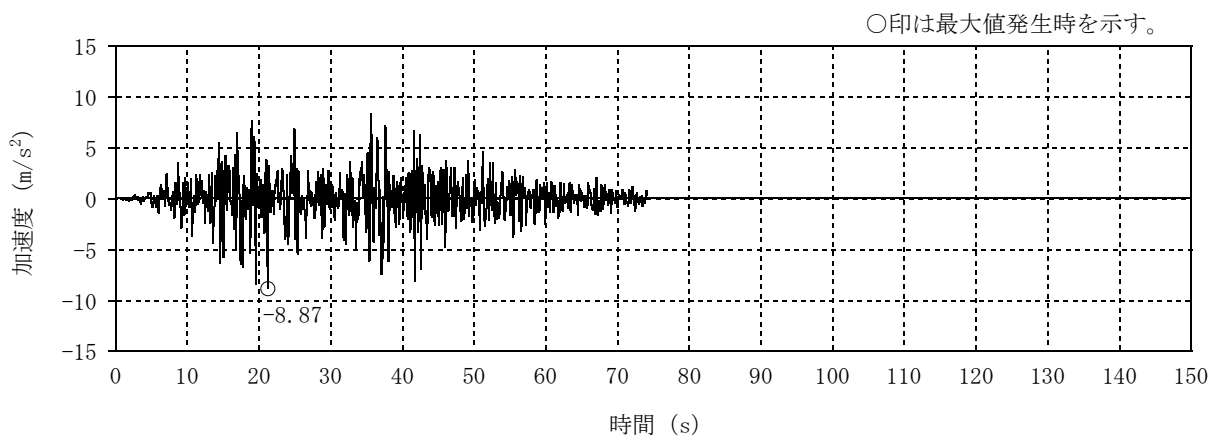
*³：誘発上下動を考慮しない場合は「—」で示す。



(a) S_s-1NS

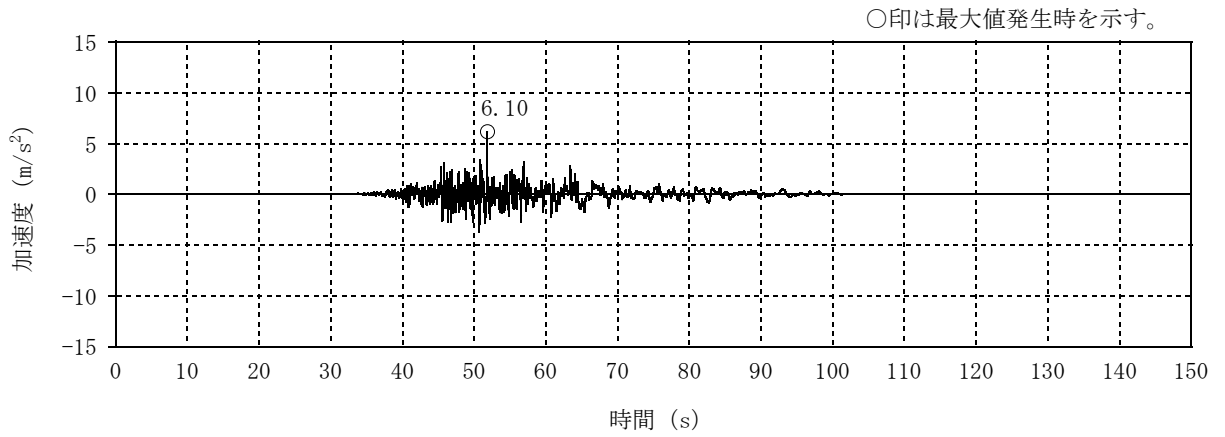


(b) S_s-2NS

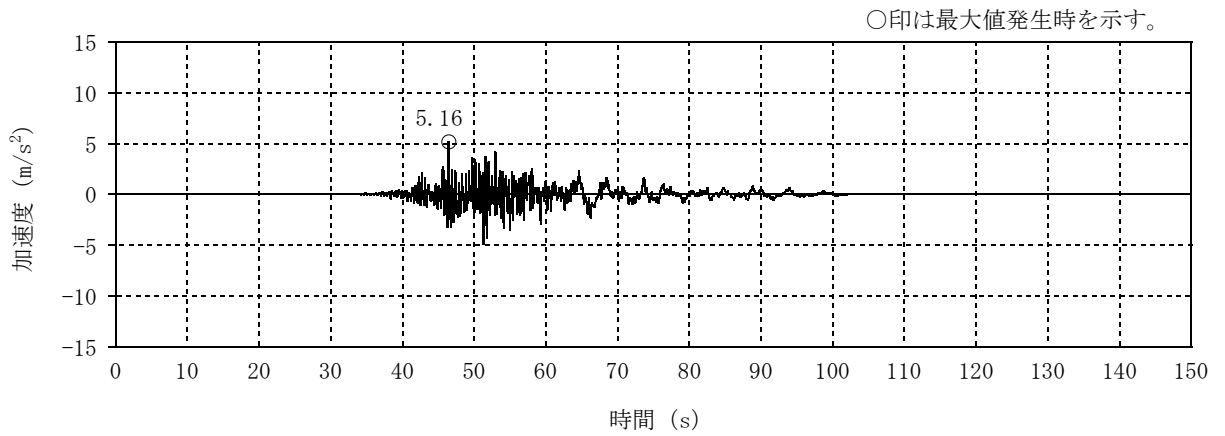


(c) S_s-3NS

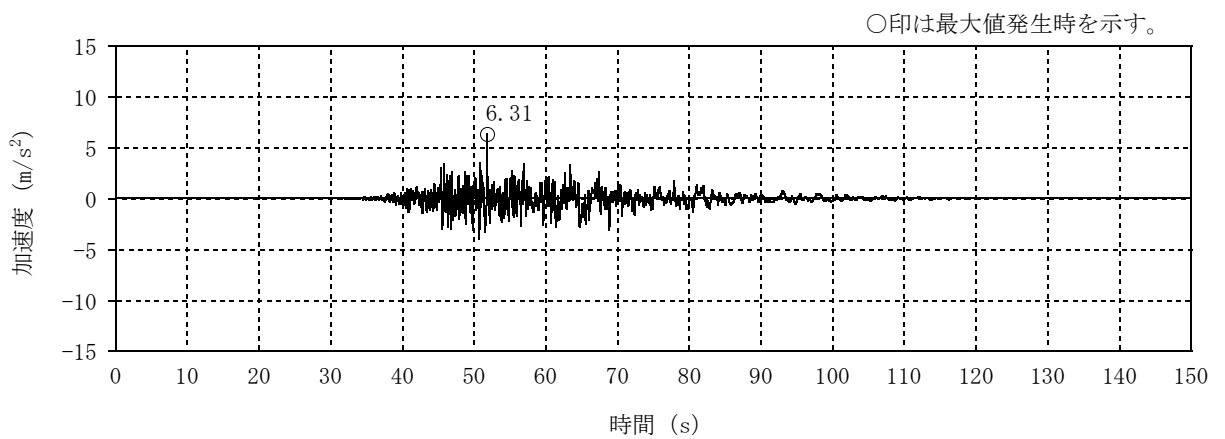
図 2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向並進成分) (1/3)



(d) S_s-4NS

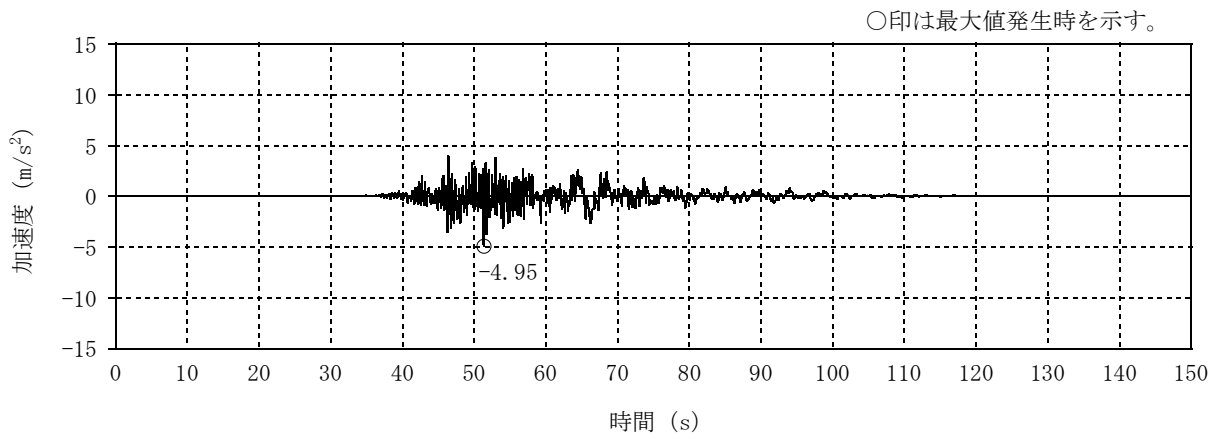


(e) S_s-5NS

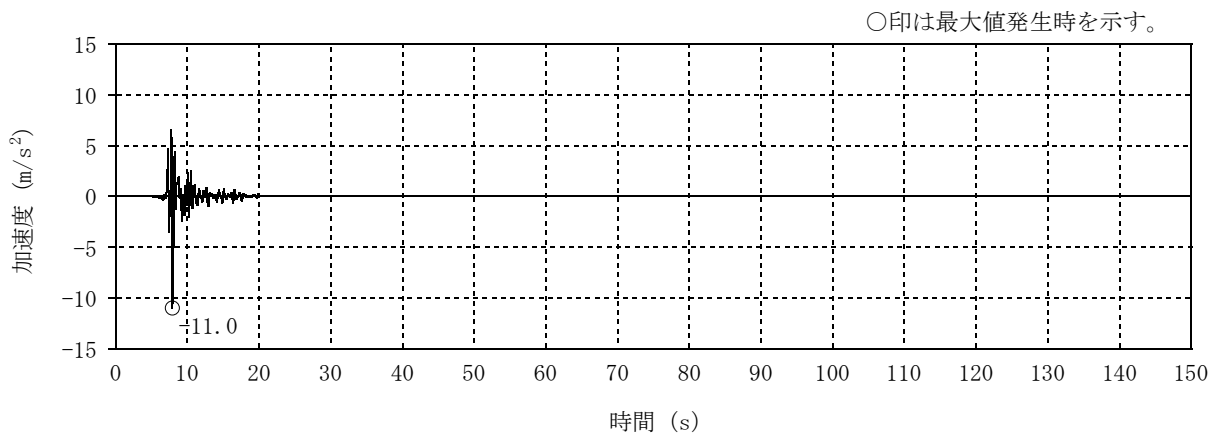


(f) S_s-6NS

図 2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向並進成分) (2/3)

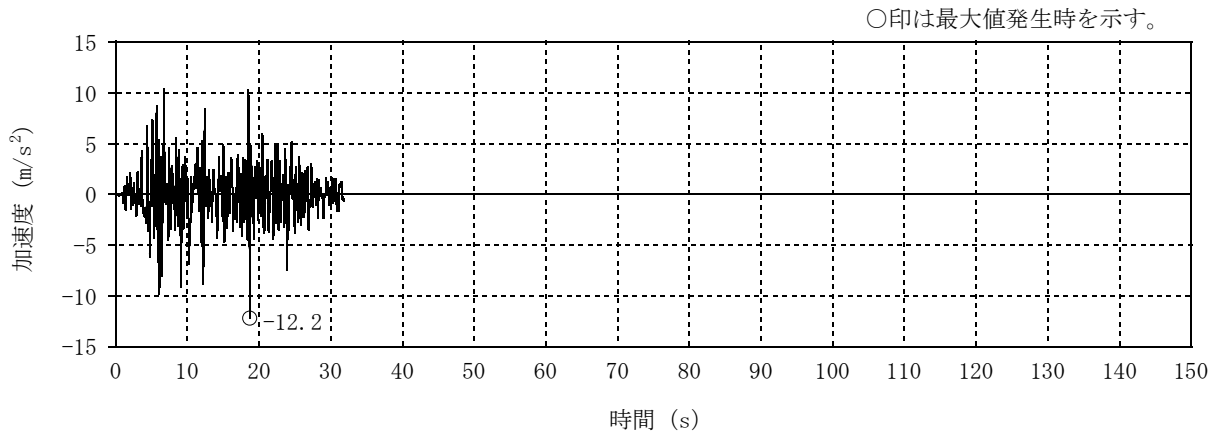


(g) Ss-7NS

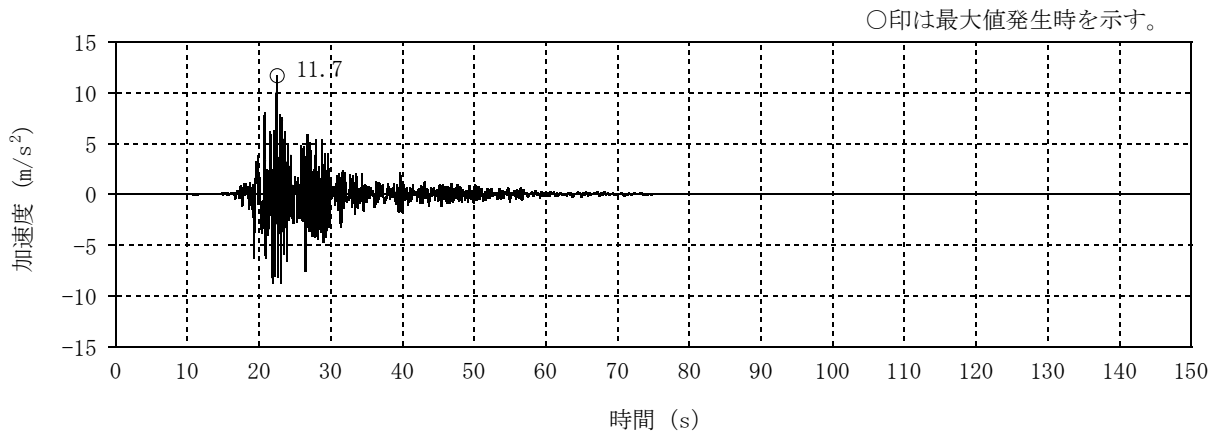


(h) Ss-8NS

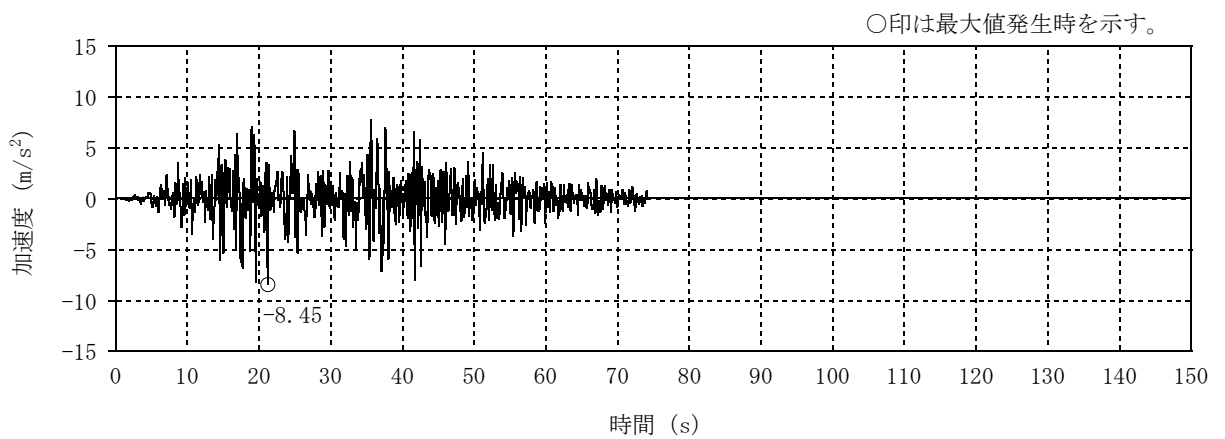
図 2-1 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , NS 方向並進成分) (3/3)



(a) Ss-1EW

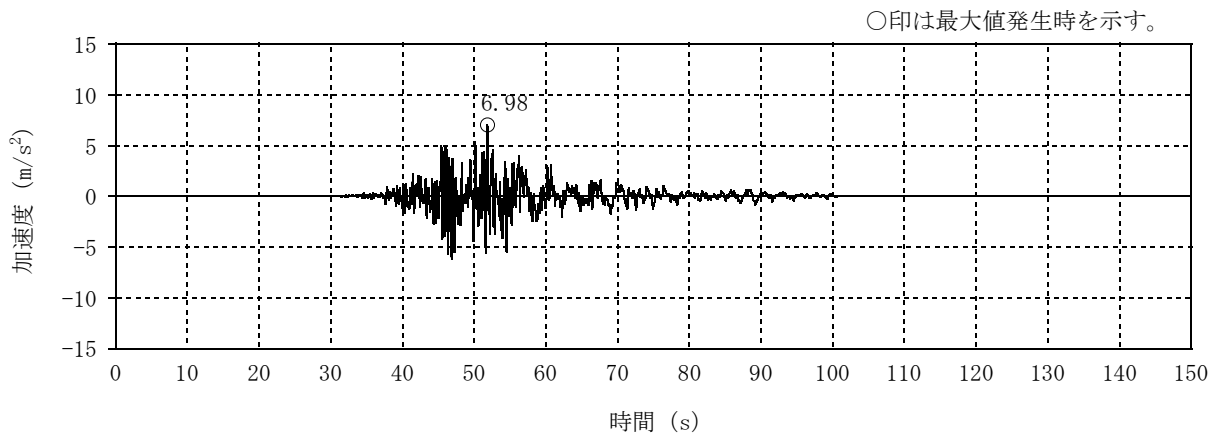


(b) Ss-2EW

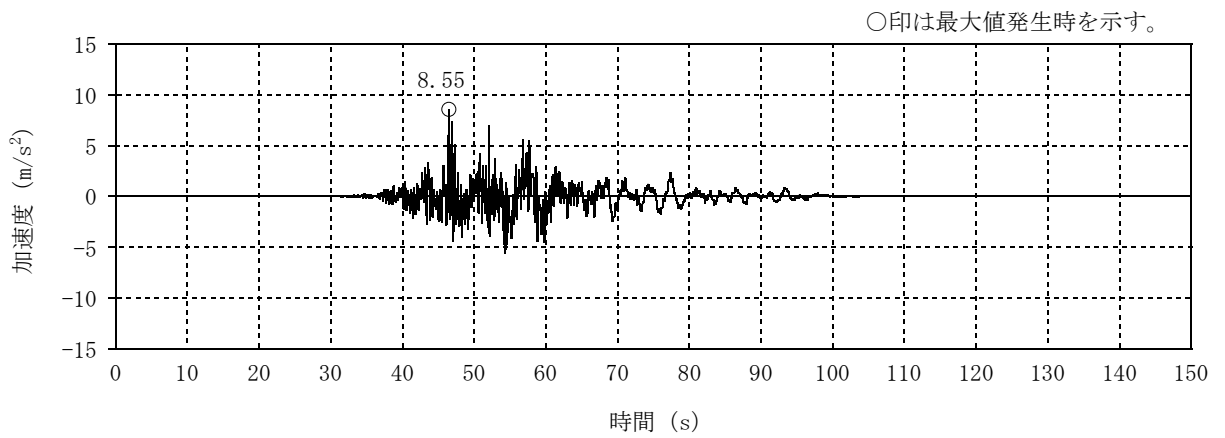


(c) Ss-3EW

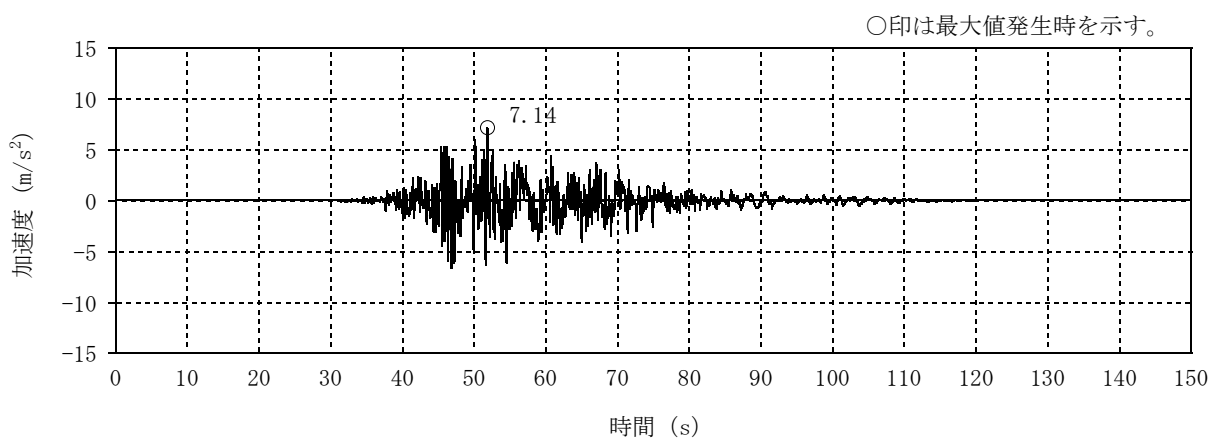
図 2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , EW 方向並進成分) (1/3)



(d) Ss-4EW

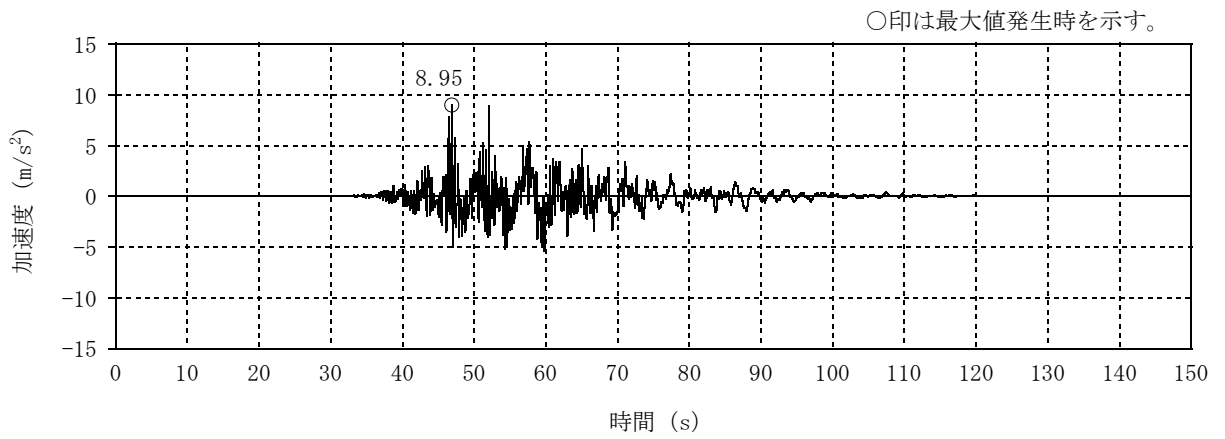


(e) Ss-5EW

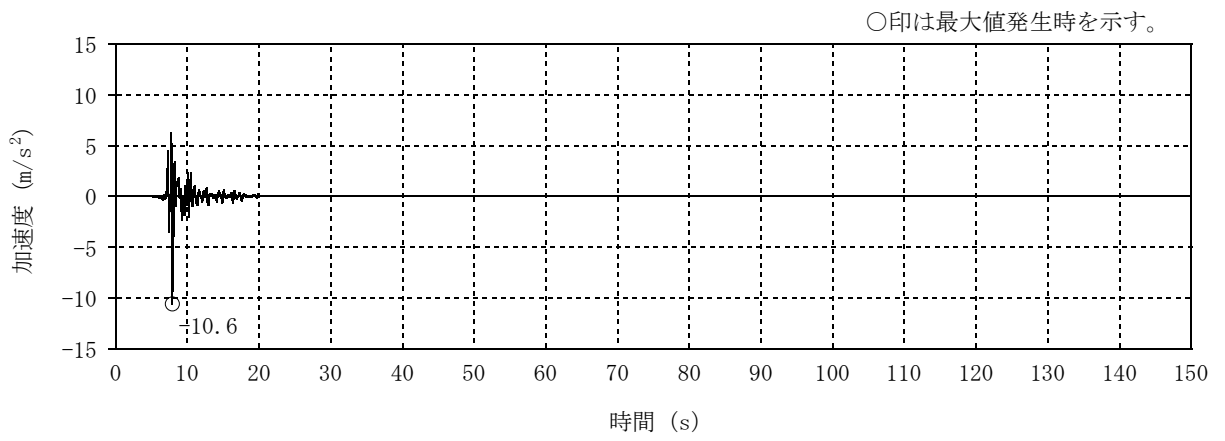


(f) Ss-6EW

図 2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , EW 方向並進成分) (2/3)

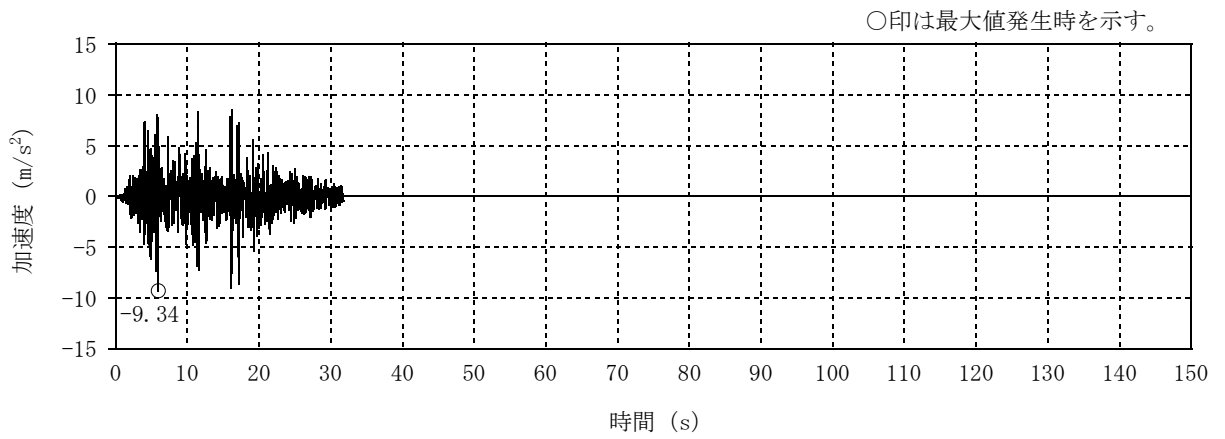


(g) Ss-7EW

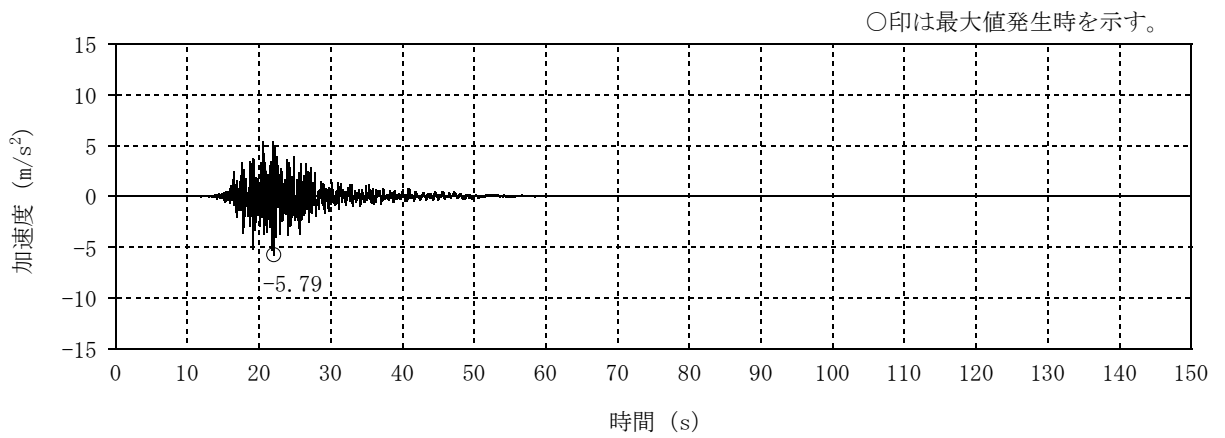


(h) Ss-8EW

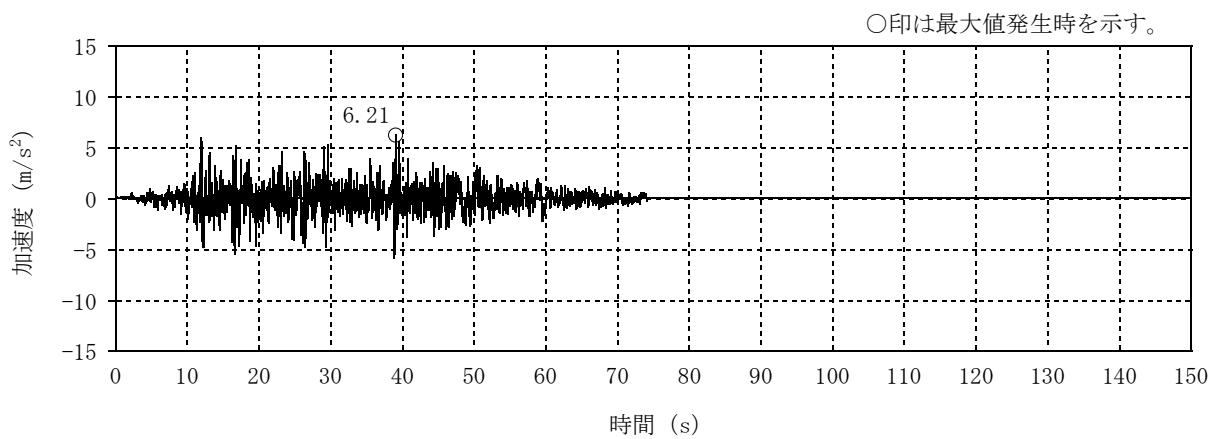
図 2-2 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , EW 方向並進成分) (3/3)



(a) Ss-1UD



(b) Ss-2UD (誘発上下動考慮)



(c) Ss-3UD

図 2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , 鉛直方向) (1/3)

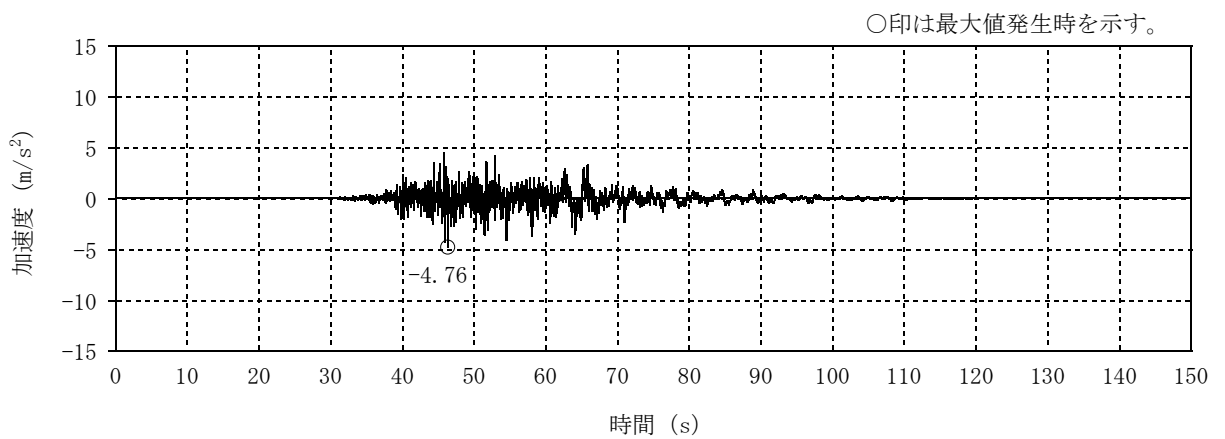
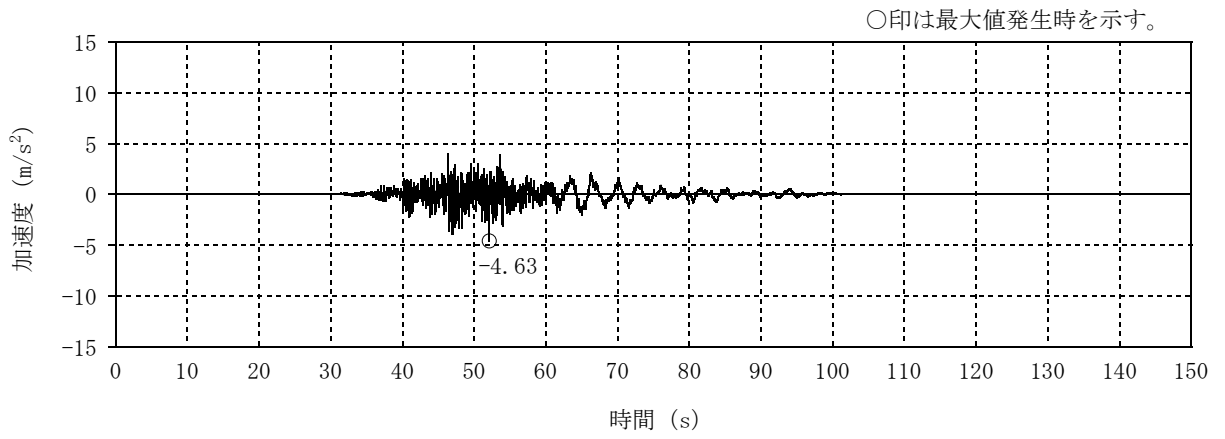
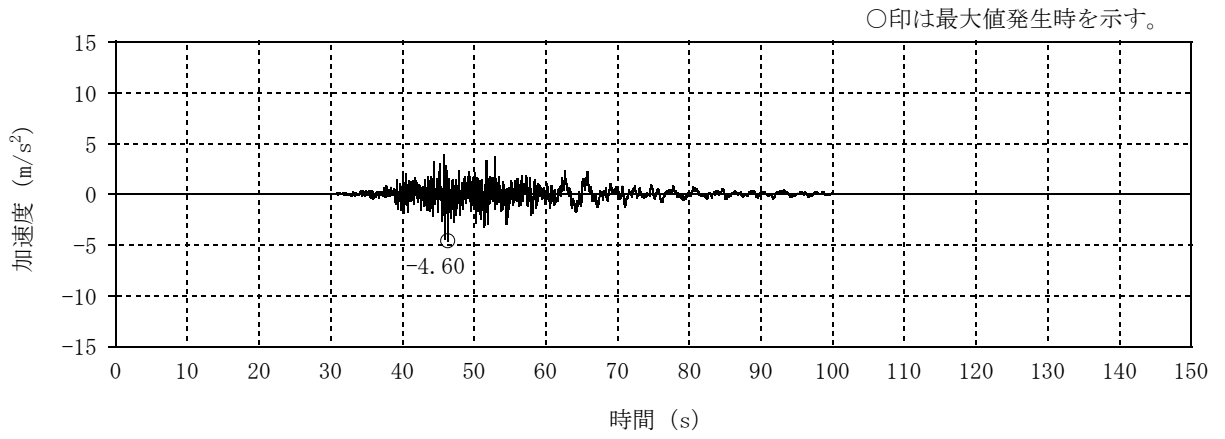
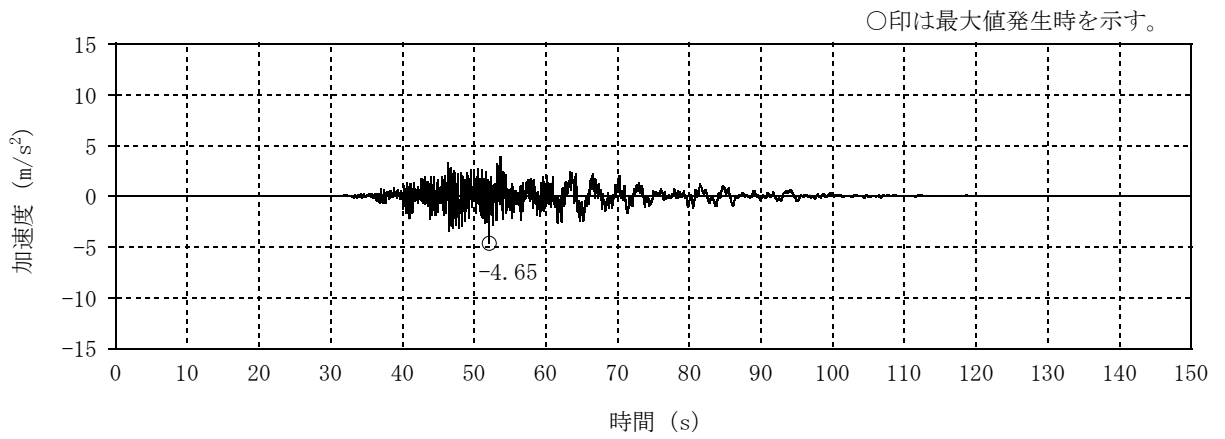
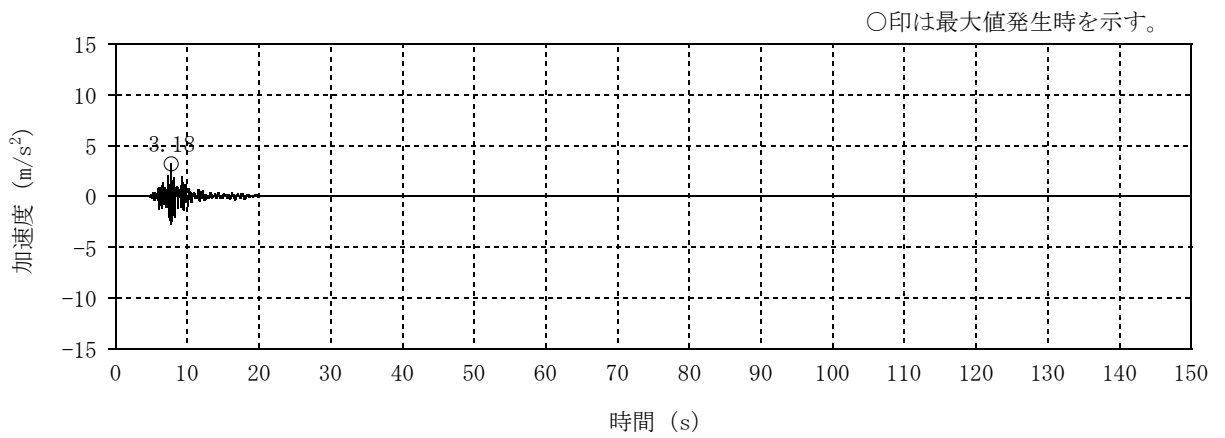


図 2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形（基準地震動 S_s，鉛直方向）（2/3）

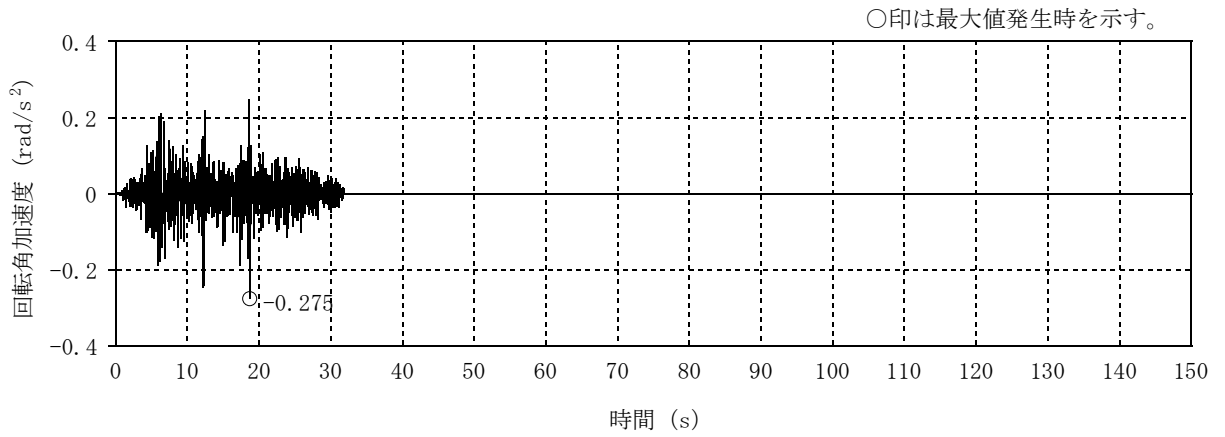


(g) Ss-7UD

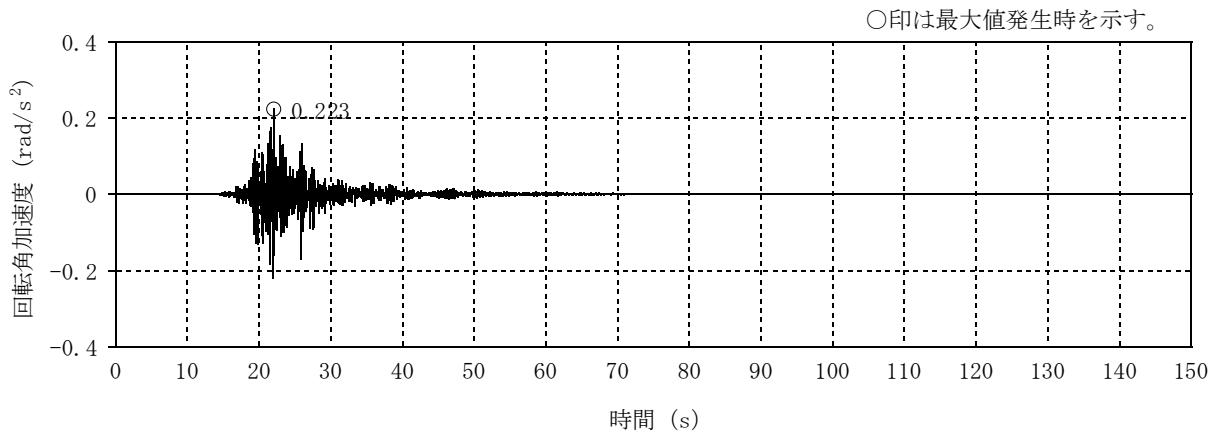


(h) Ss-8UD

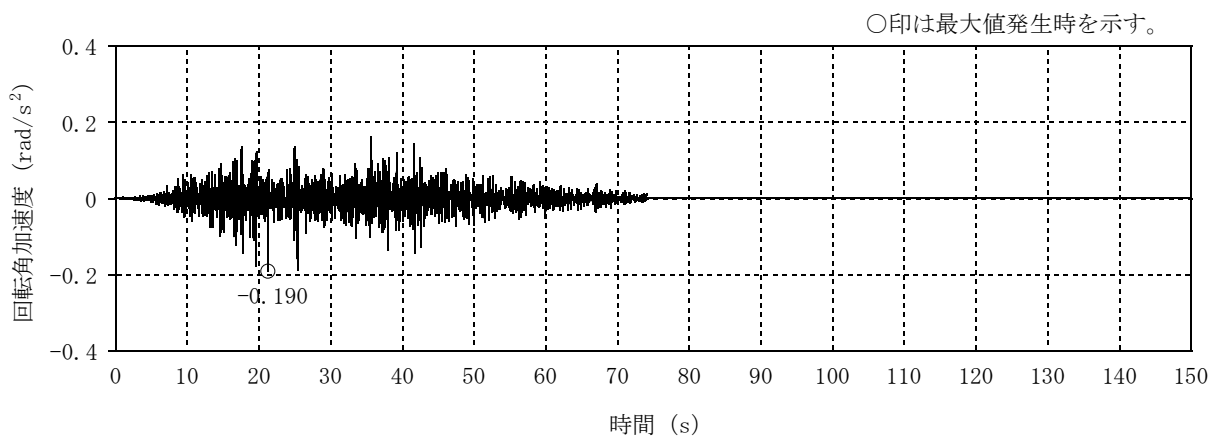
図 2-3 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, 鉛直方向) (3/3)



(a) S_s-1NS

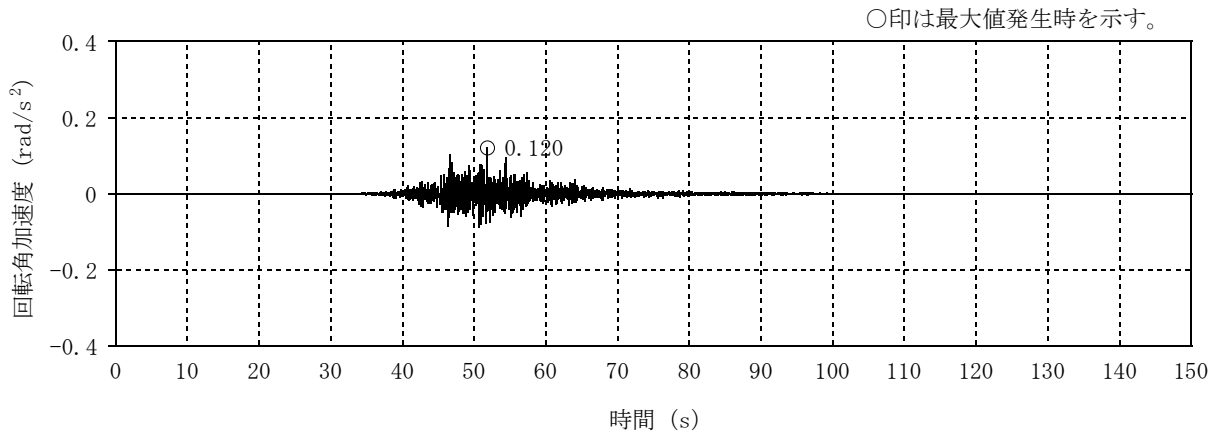


(b) S_s-2NS

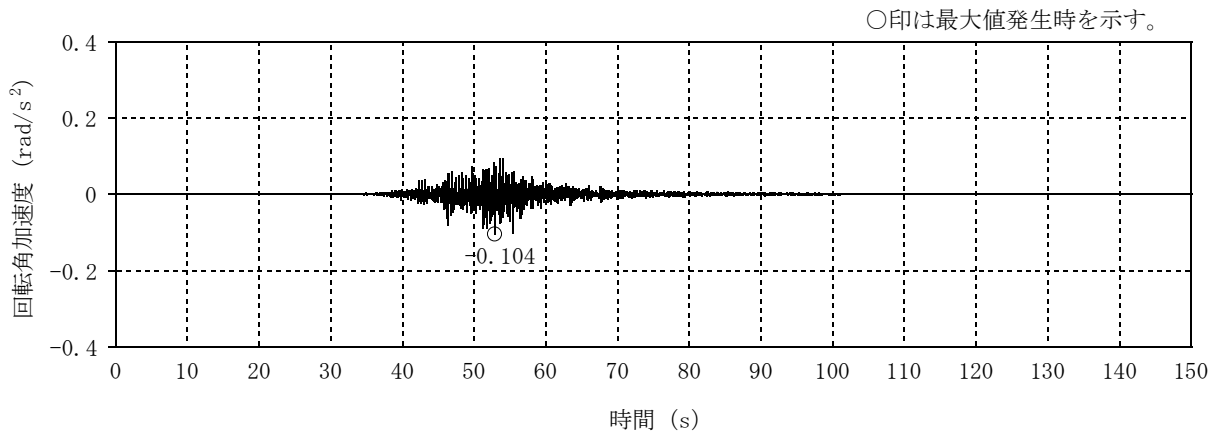


(c) S_s-3NS

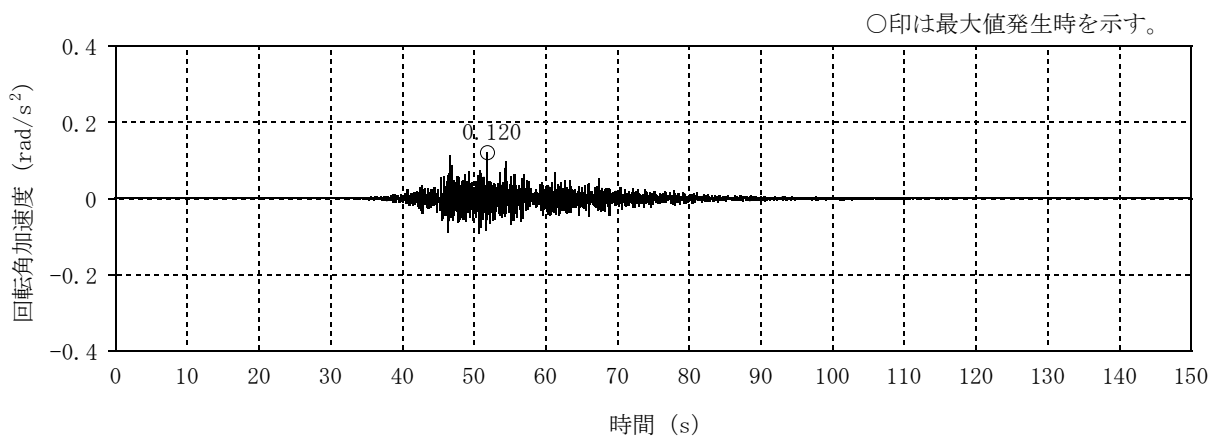
図 2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向回転成分) (1/3)



(d) Ss-4NS

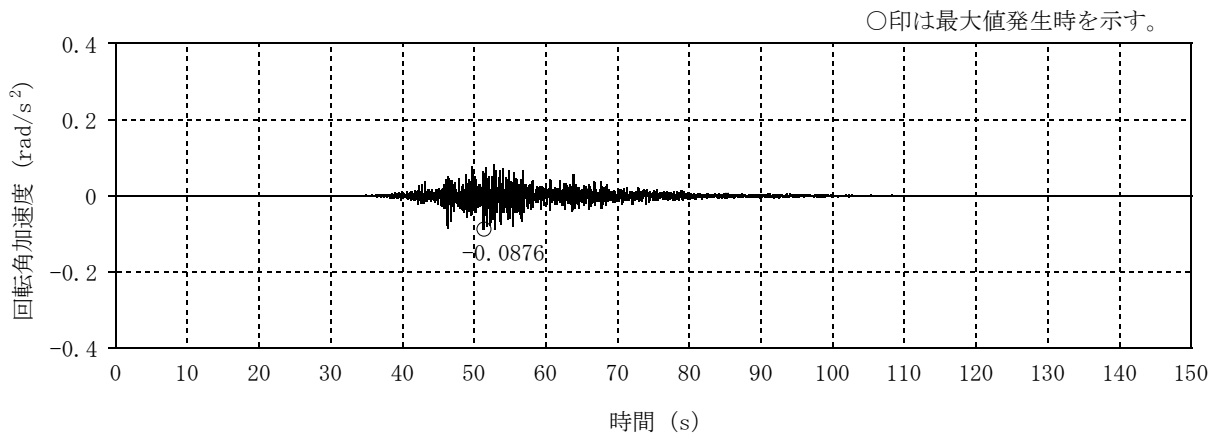


(e) Ss-5NS

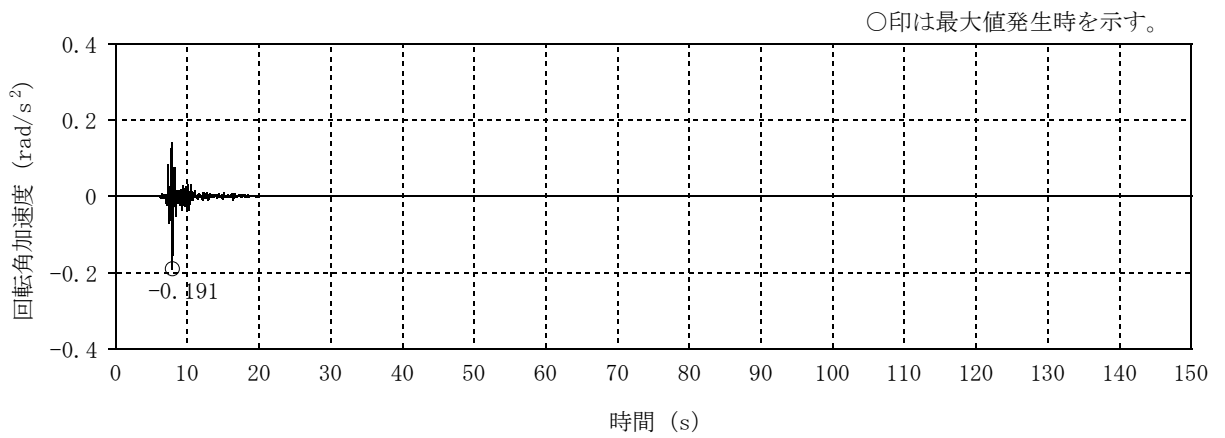


(f) Ss-6NS

図 2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, NS 方向回転成分) (2/3)

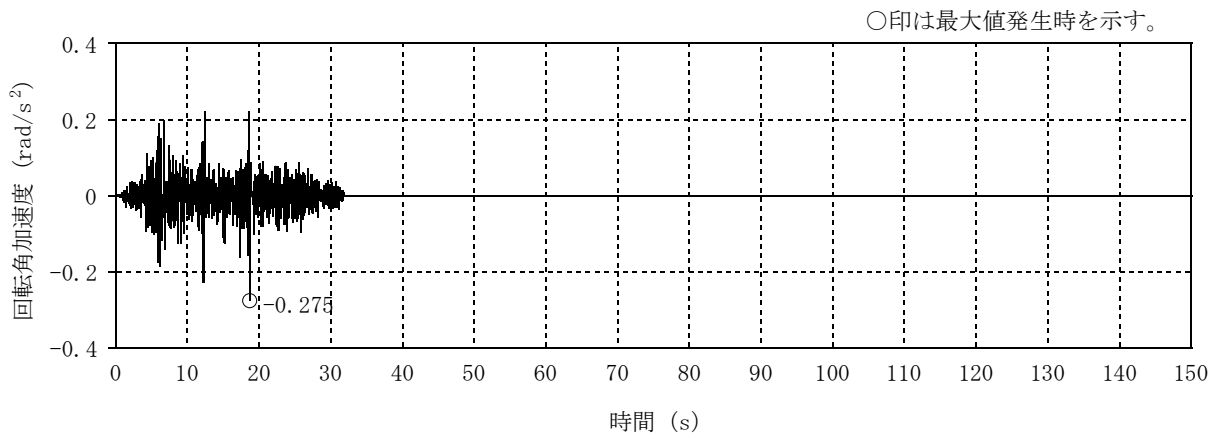


(g) Ss-7NS

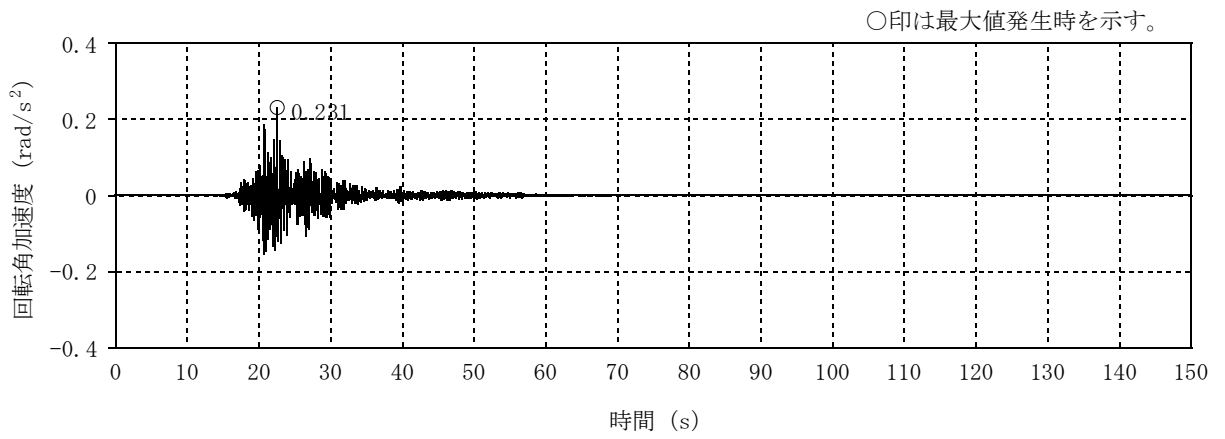


(h) Ss-8NS

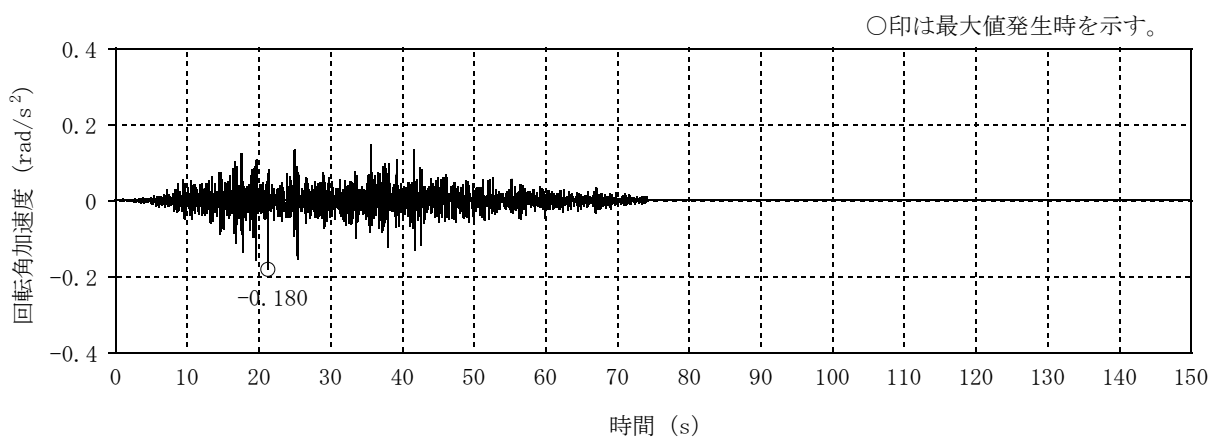
図 2-4 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , NS 方向回転成分) (3/3)



(a) Ss-1EW

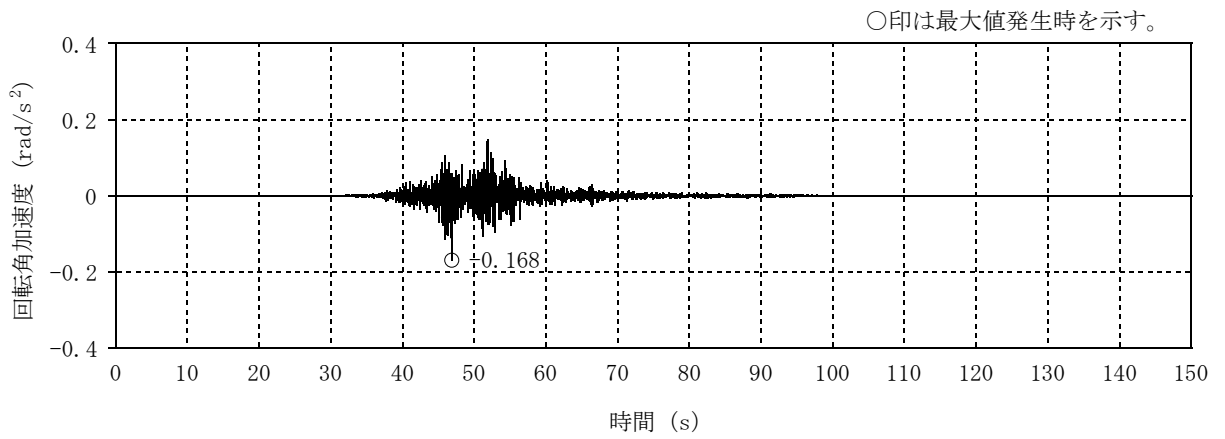


(b) Ss-2EW

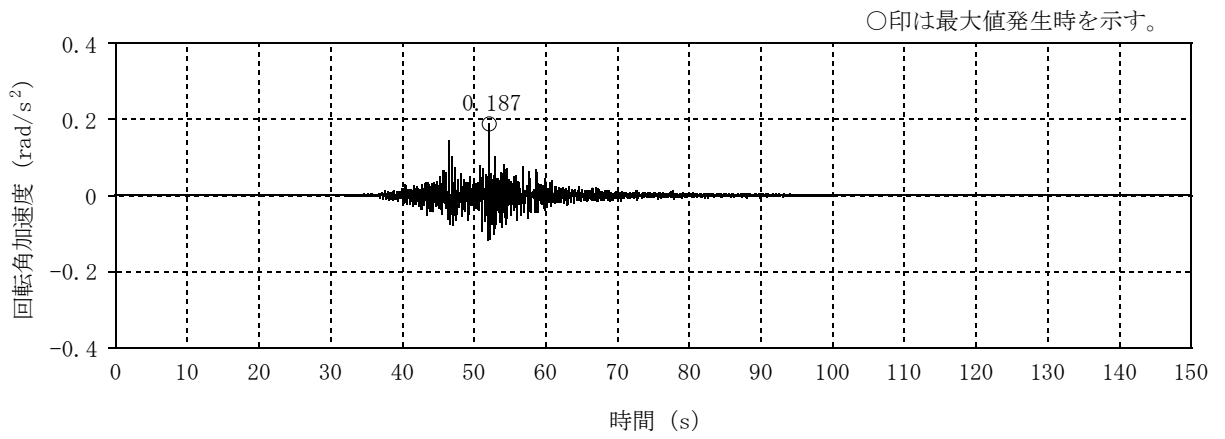


(c) Ss-3EW

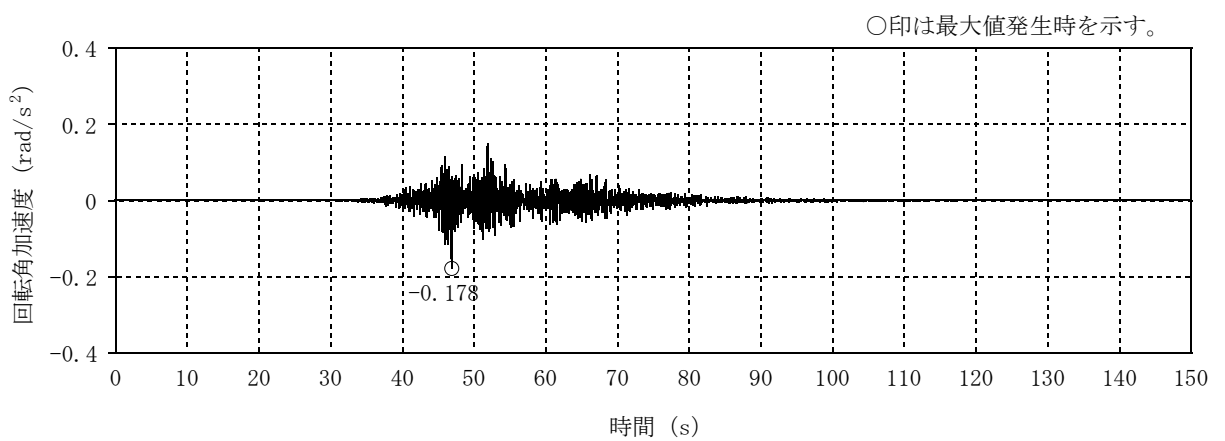
図 2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s , EW 方向回転成分) (1/3)



(d) Ss-4EW

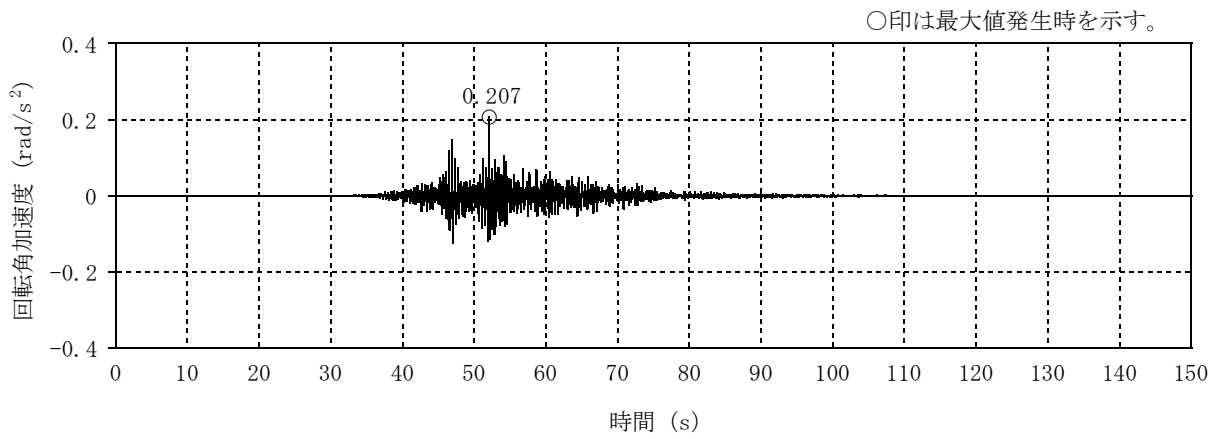


(e) Ss-5EW

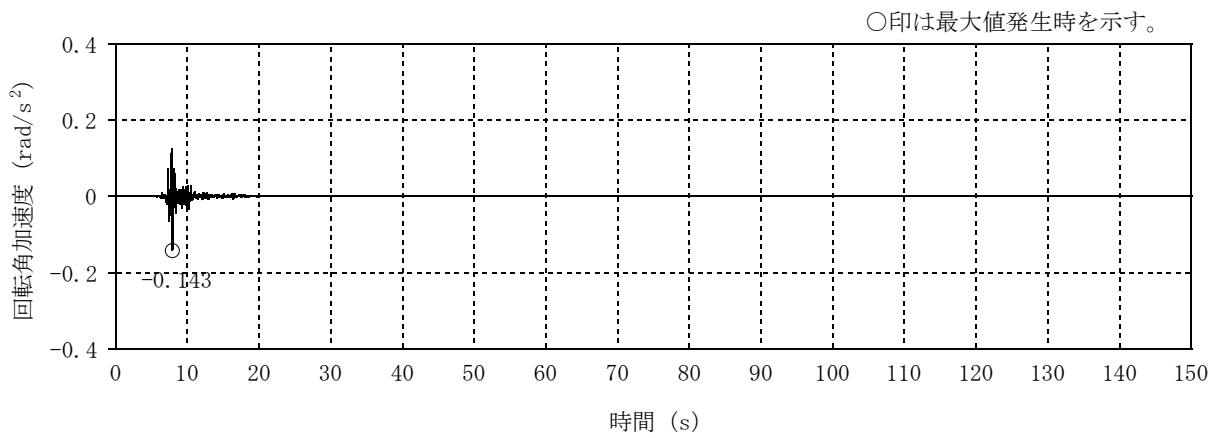


(f) Ss-6EW

図 2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S_s, EW 方向回転成分) (2/3)



(g) Ss-7EW



(h) Ss-8EW

図 2-5 入力地震動の加速度時刻歴波形 (基準地震動 S s , EW 方向回転成分) (3/3)

2.2 建屋応答の不確かさ等

原子炉建屋の地震応答解析における基本ケースの応答値を用いた解析を基本ケースとし、建屋応答の不確かさを考慮する。建屋応答の不確かさを考慮した地震応答解析は、主排気筒応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし、基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる基準地震動 S_s に対して実施することとする。

建屋応答の不確かさを考慮する解析ケースを表 2-2 に示す。

表 2-2 建屋応答の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	回転ばね 定数	地盤剛性	備考
①ケース 1 (工認モデル)	実強度 (43.1N/mm ²)	100%	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 (建屋剛性 + σ , 地盤剛性 + σ)	実強度 + σ (46.0N/mm ²)	100%	標準地盤 + σ (新期砂層+13%, 古安田層+25%, 西山層+10%)	—
③ケース 3 (建屋剛性 - σ , 地盤剛性 - σ)	実強度 - σ (40.2N/mm ²)	100%	標準地盤 - σ (新期砂層-13%, 古安田層-25%, 西山層-10%)	—
④ケース 4 (建屋剛性コア平均)	実強度 (コア平均) (55.7N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑤ケース 5 (建屋剛性 - 2σ)	実強度 - 2σ (37.2N/mm ²)	100%	標準地盤	—
⑥ケース 6 (回転ばね低減)	実強度 (43.1N/mm ²)	50%	標準地盤	—

3. 応答解析の結果

本資料においては、代表として基本ケースの地震応答解析結果を示す。

3.1 固有値解析結果

図 1-4 に示す解析モデルについて固有値解析を行い、その結果を表 3-1 に、固有モードを図 3-1 に示す。

3.2 地震応答解析結果

各質点位置での最大応答値を図 3-2～図 3-33 に示す。また、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値を表 3-2 に示す。

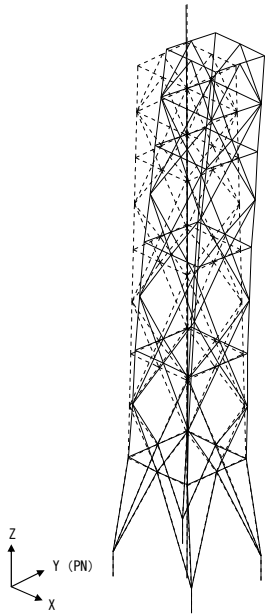
なお、地震応答解析結果のうち、制震装置（オイルダンパー）の最大応答値は仕様における許容値以下である。

表 3-1 固有値解析結果

方向	固有モード	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	刺激係数		
				X (EW方向)	Y (NS方向)	Z (鉛直方向)
NS	筒身1次	1.20	0.832	0.000	-1.566	0.000
	筒身2次	7.73	0.129	0.000	-1.434	0.000
	鉄塔1次	3.65	0.274	0.000	1.565	0.000
	鉄塔2次	10.99	0.091	0.000	0.843	0.000
EW	筒身1次	1.21	0.828	1.543	0.000	0.000
	筒身2次	7.85	0.127	1.378	0.000	0.000
	鉄塔1次	3.67	0.272	1.525	0.000	0.000
	鉄塔2次	11.32	0.088	-0.869	0.000	0.001
鉛直	筒身1次	20.23	0.049	-0.007	0.000	-1.613
	鉄塔1次	20.39	0.049	0.000	0.000	-1.266

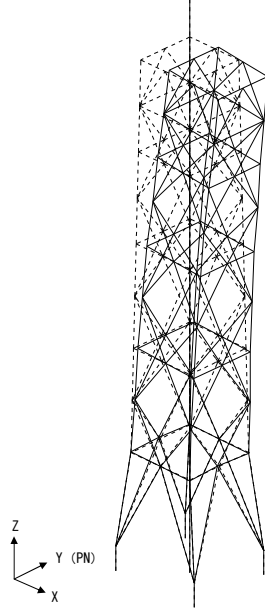
注：刺激係数は、モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる値を示す。

固有周期 0.274 s
固有振動数 3.65 Hz
刺激係数 1.565



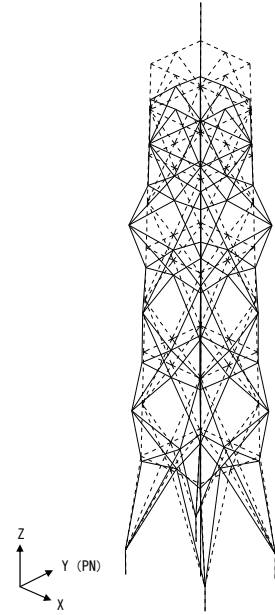
鉄塔 NS 方向 1 次

固有周期 0.272 s
固有振動数 3.67 Hz
刺激係数 1.525



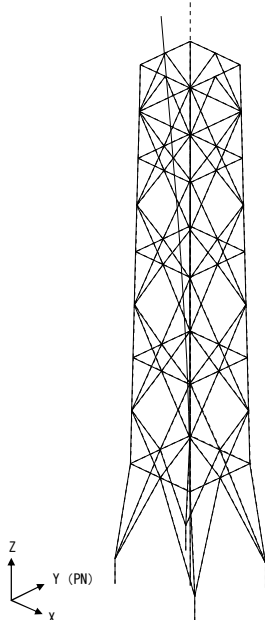
鉄塔 EW 方向 1 次

固有周期 0.049 s
固有振動数 20.23 Hz
刺激係数 -1.613



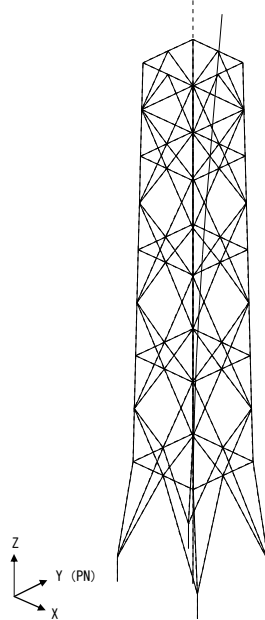
鉄塔鉛直方向 1 次

固有周期 0.832 s
固有振動数 1.20 Hz
刺激係数 -1.566



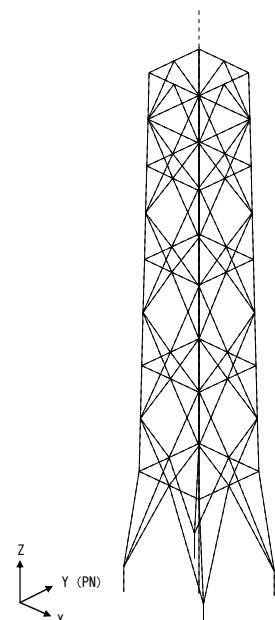
筒身 NS 方向 1 次

固有周期 0.828 s
固有振動数 1.21 Hz
刺激係数 1.543



筒身 EW 方向 1 次

固有周期 0.049 s
固有振動数 20.39 Hz
刺激係数 -1.266



筒身鉛直方向 1 次

注：刺激係数は各方向の値のみ記載する。

図 3-1 固有モード

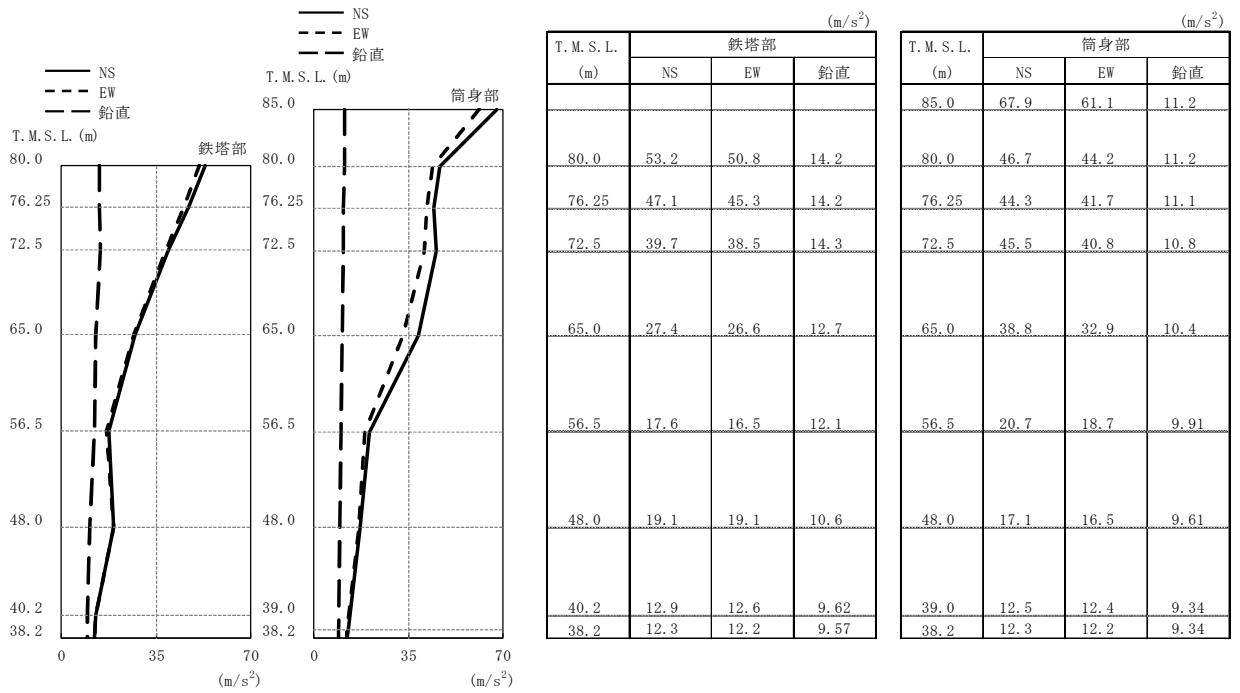


図 3-2 最大応答加速度 (Ss-1)

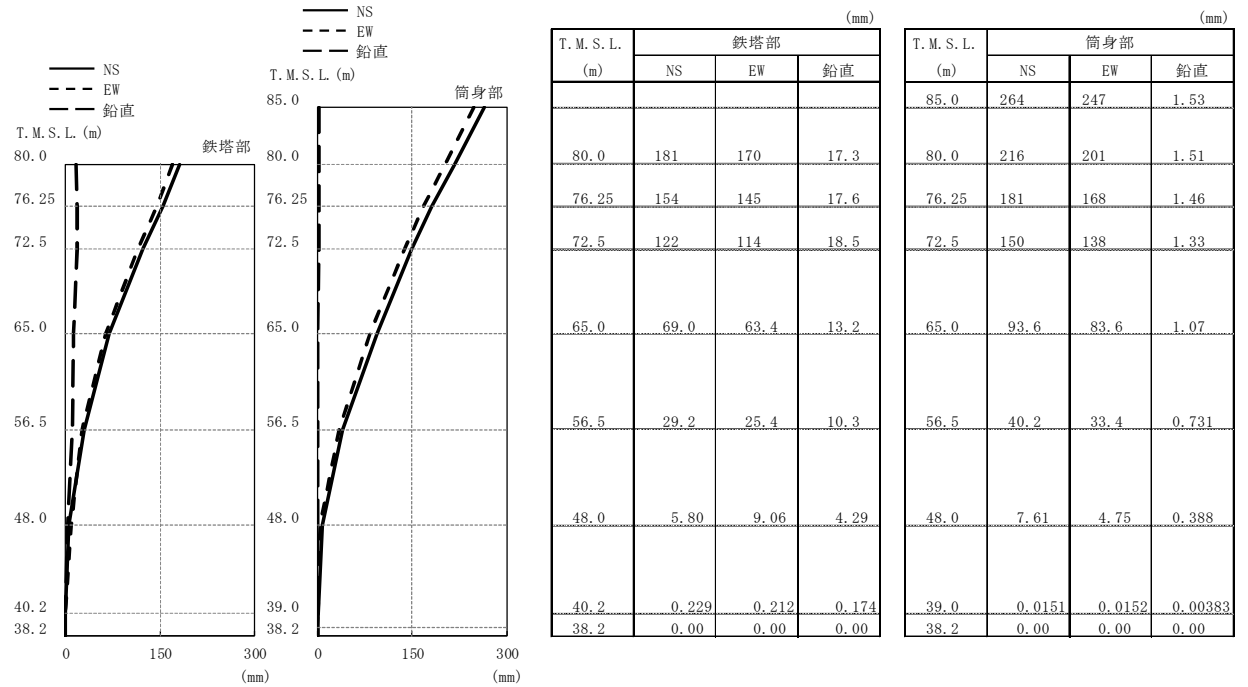
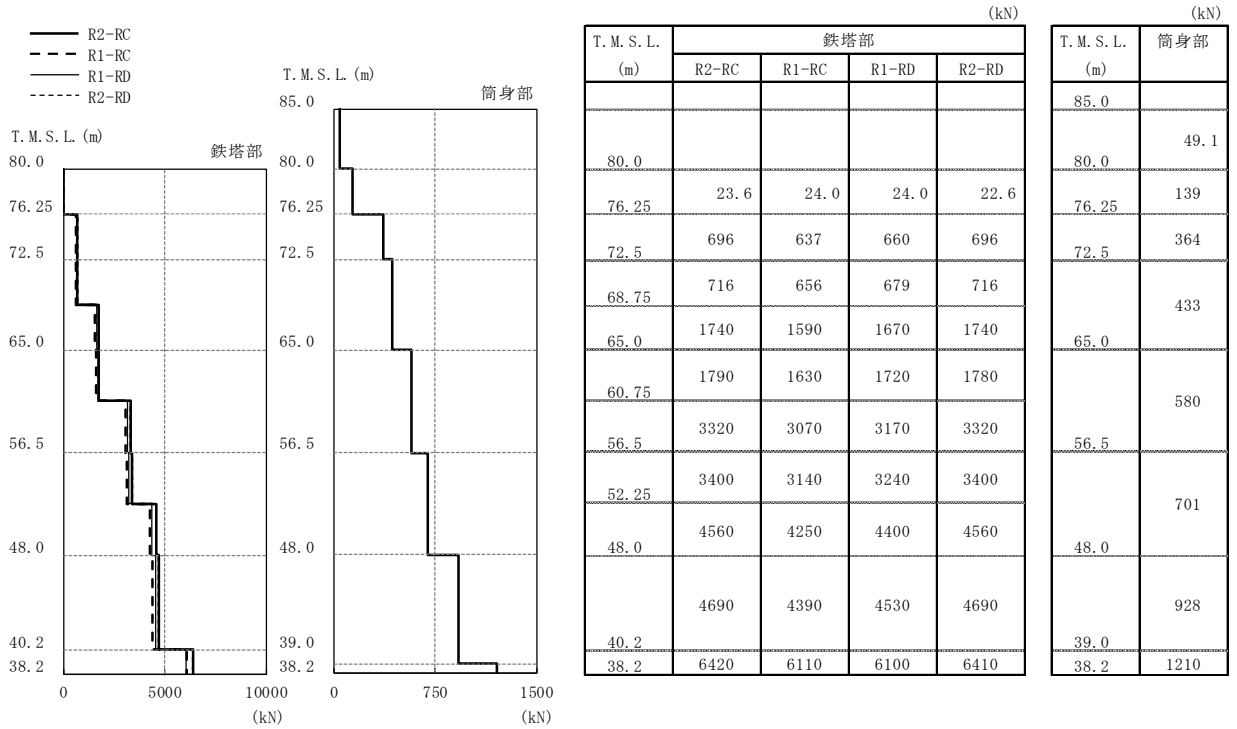
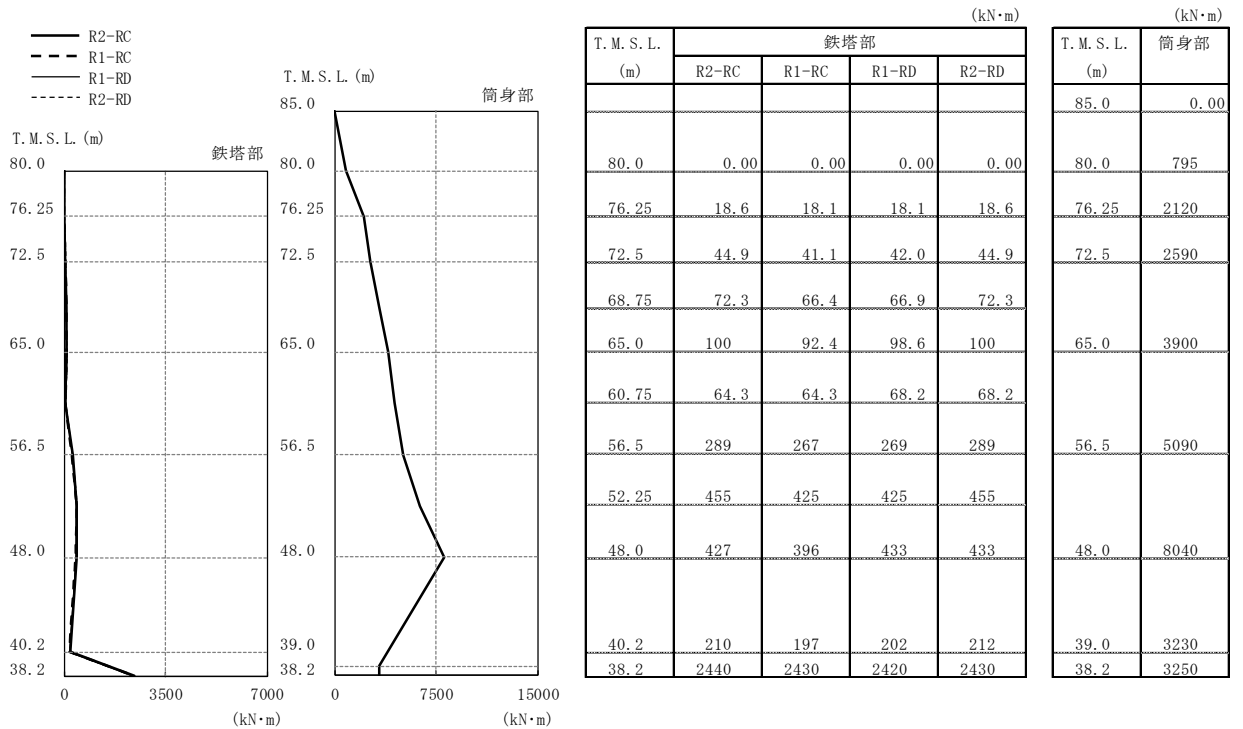


図 3-3 最大応答変位 (Ss-1)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-4 最大応答軸力 (Ss-1)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-5 最大応答曲げモーメント (Ss-1)

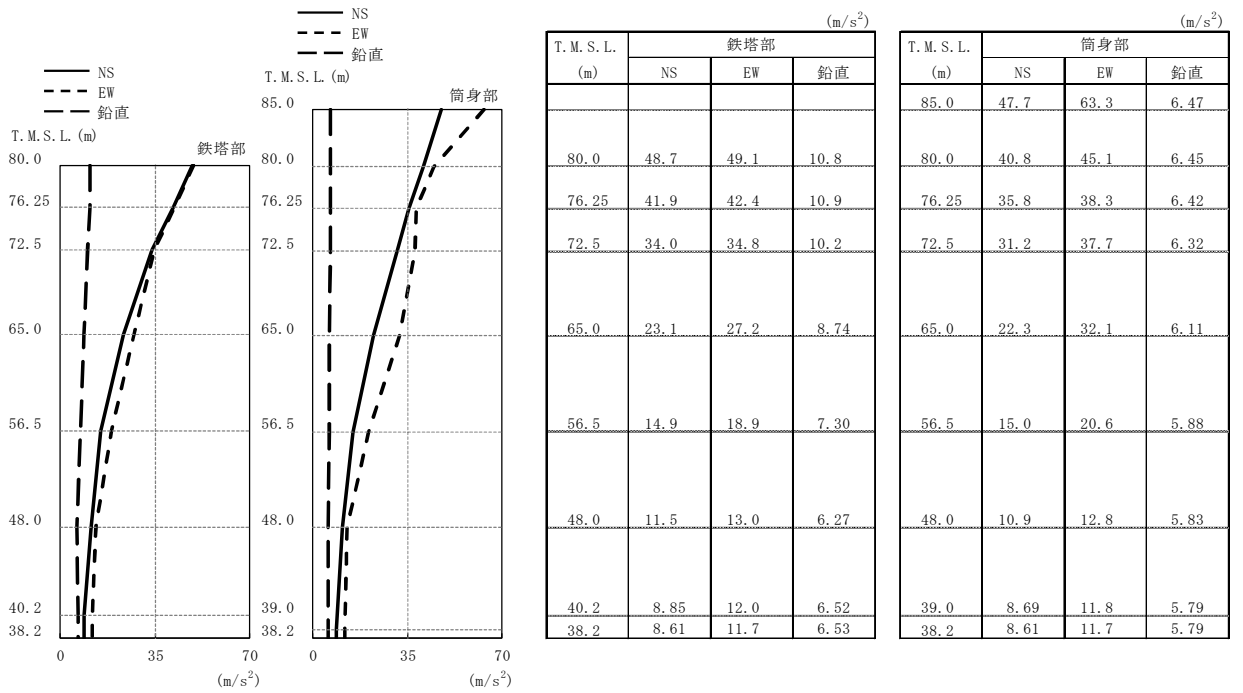


図 3-6 最大応答加速度 (Ss-2)

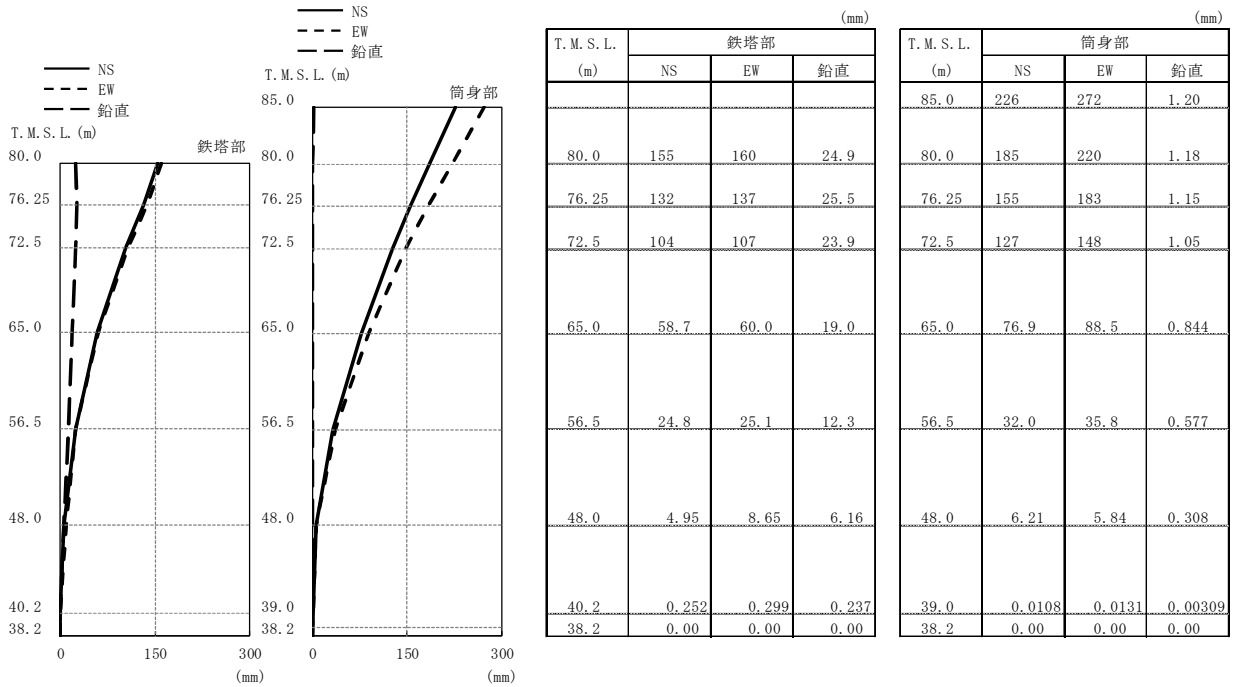
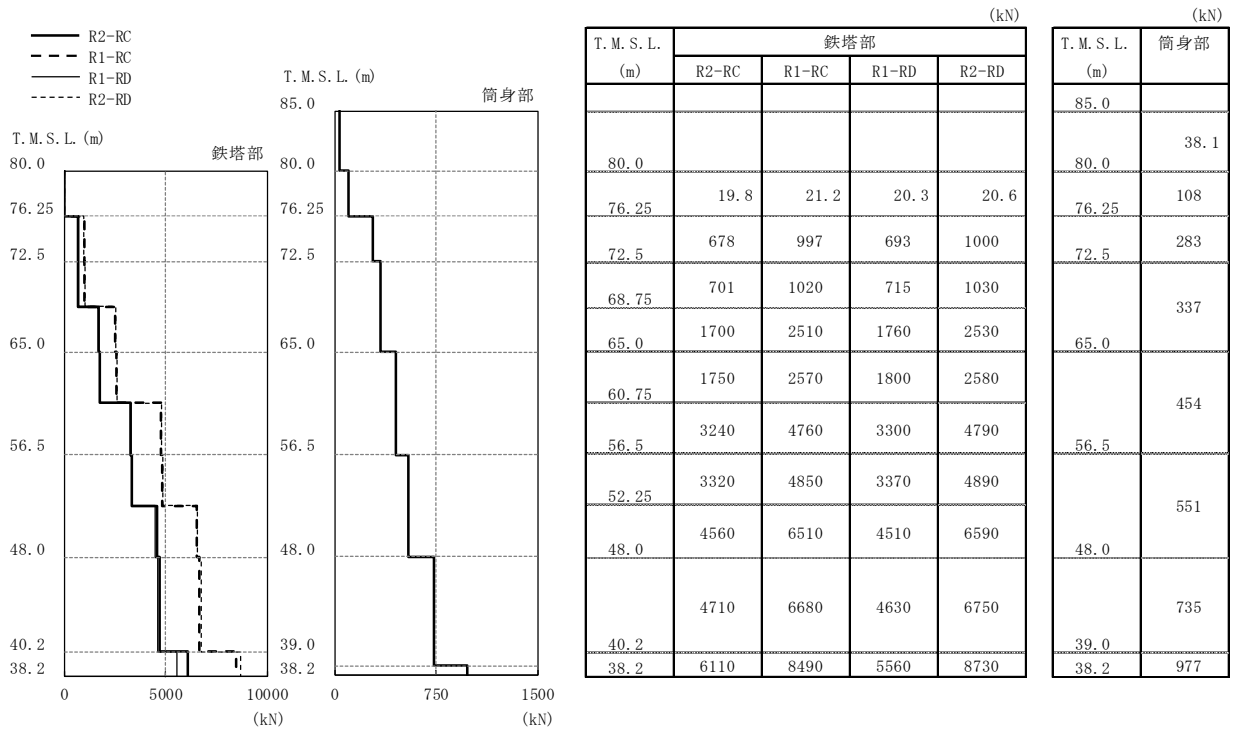
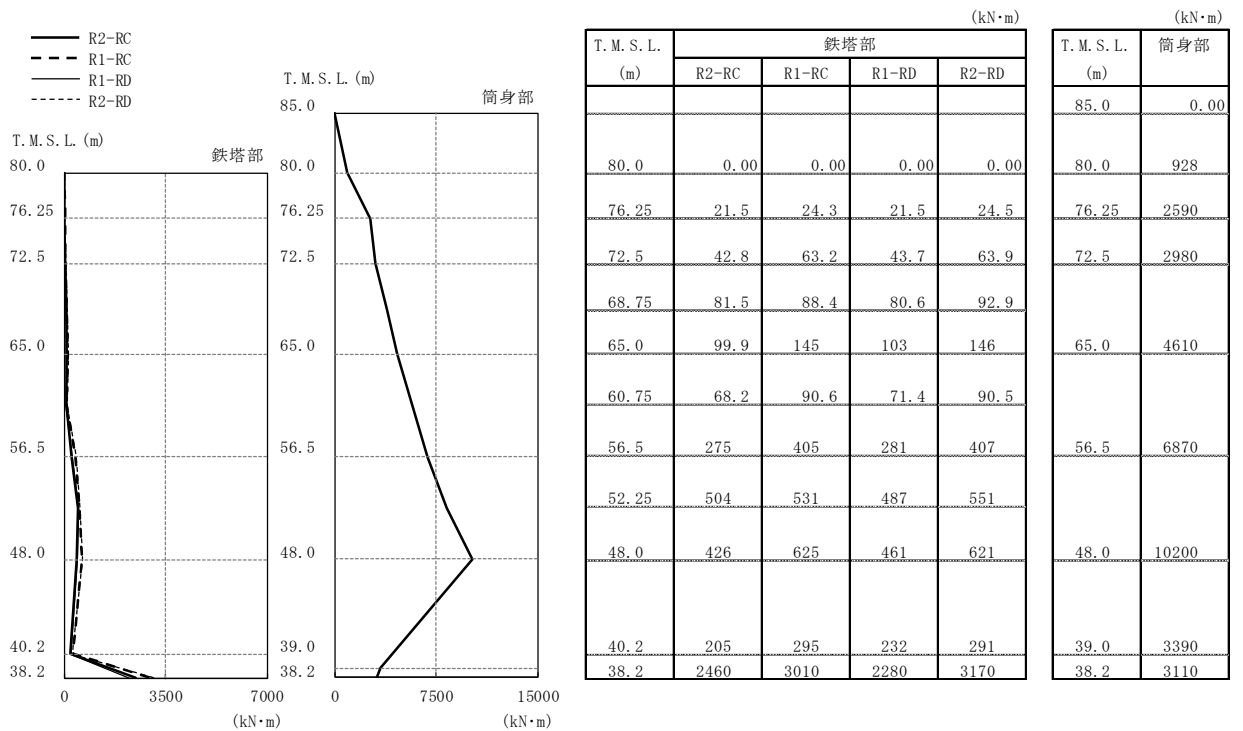


図 3-7 最大応答変位 (Ss-2)



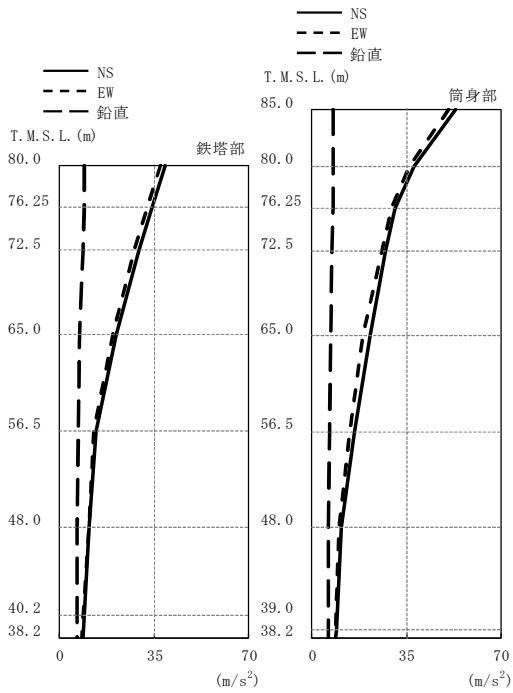
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-8 最大応答軸力 (Ss-2)



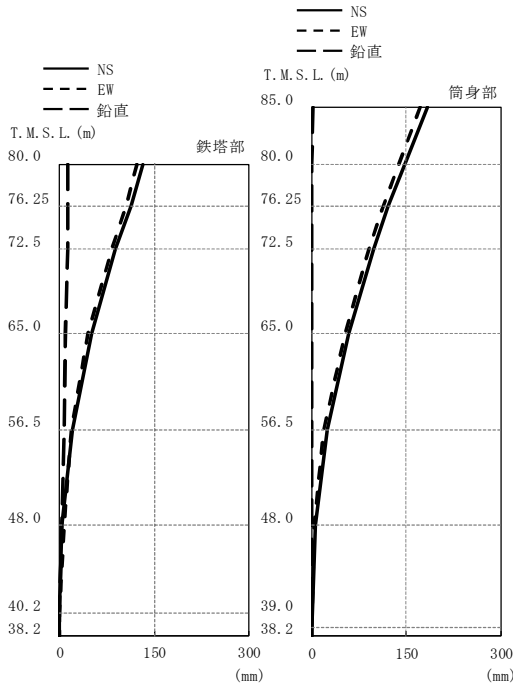
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-9 最大応答曲げモーメント (Ss-2)



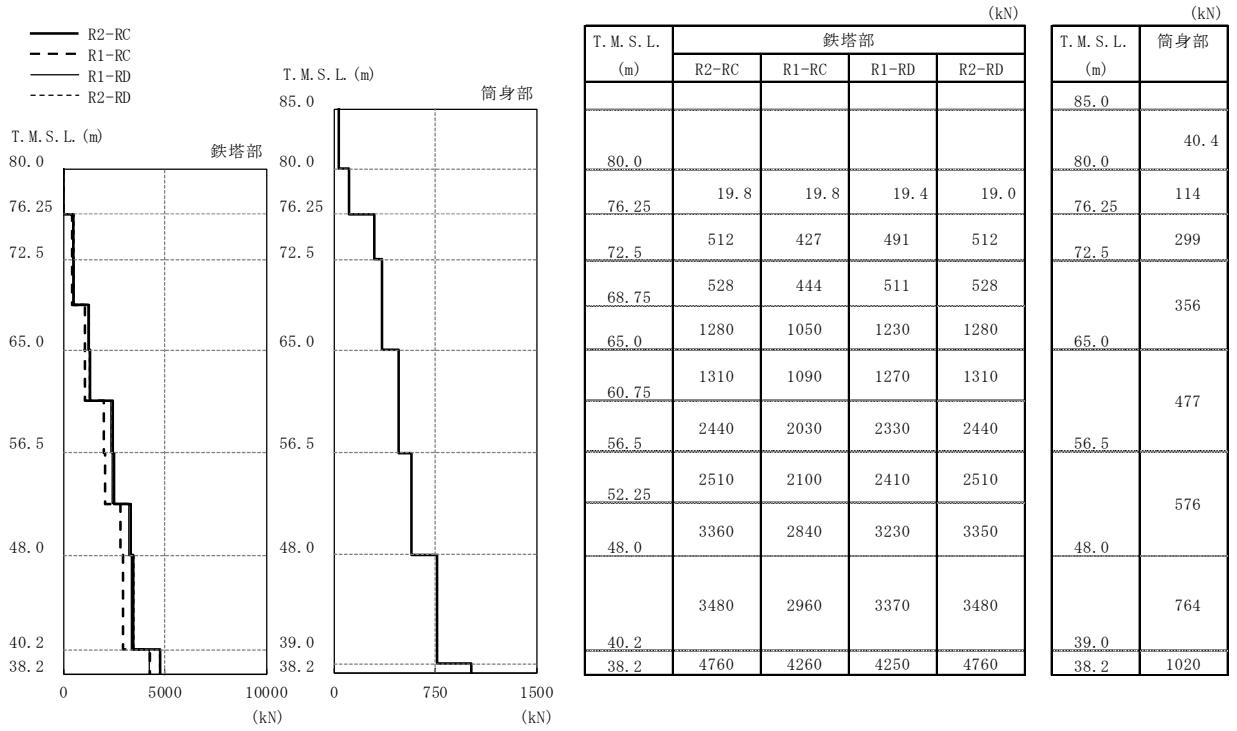
T. M. S. L. (m)	(m/s ²)			T. M. S. L. (m)	(m/s ²)		
	NS	EW	鉛直		NS	EW	鉛直
				85.0	53.1	50.6	7.86
80.0	39.0	37.4	9.13	80.0	38.0	36.3	7.82
76.25	34.1	32.6	8.97	76.25	31.0	29.5	7.72
72.5	29.3	27.8	8.87	72.5	27.3	25.8	7.45
65.0	20.9	19.6	7.60	65.0	21.6	19.1	6.97
56.5	13.7	12.7	7.02	56.5	15.8	14.0	6.46
48.0	10.9	11.0	6.43	48.0	10.8	10.1	6.28
40.2	9.16	8.70	6.32	39.0	8.98	8.54	6.21
38.2	8.87	8.45	6.32	38.2	8.87	8.45	6.21

図 3-10 最大応答加速度 (Ss-3)



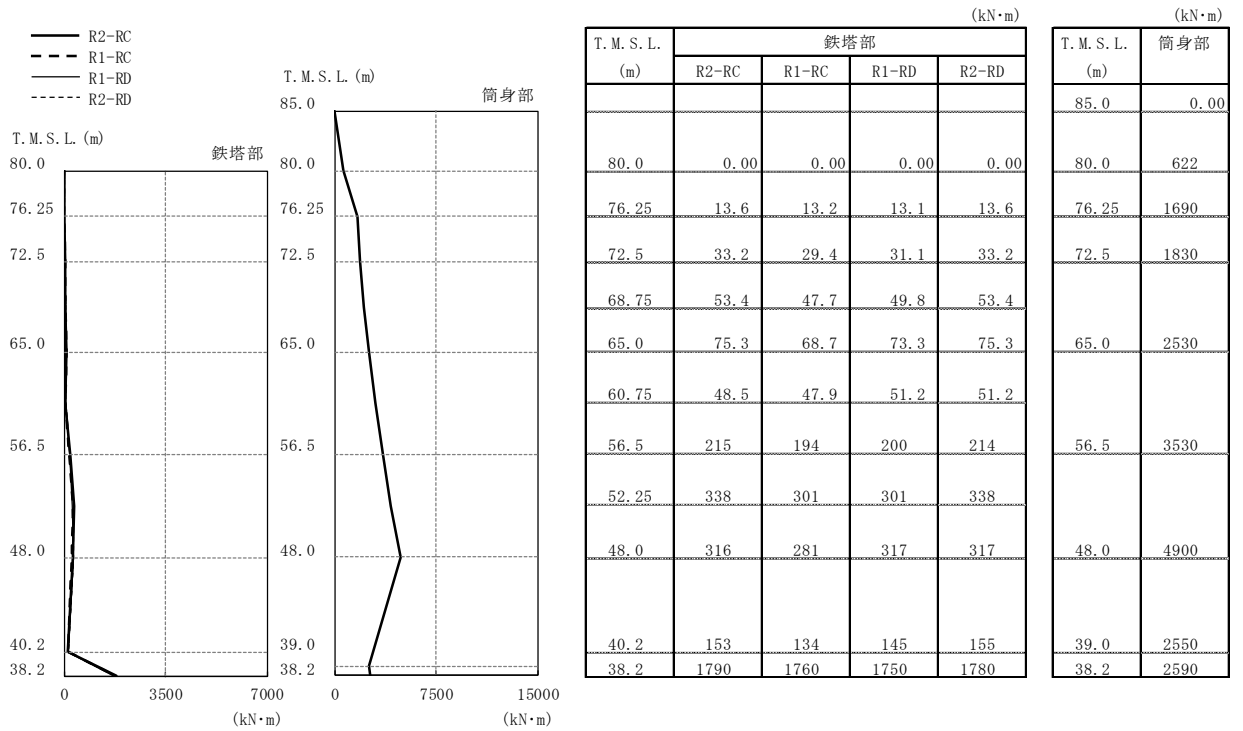
T. M. S. L. (m)	(mm)			T. M. S. L. (m)	(mm)		
	NS	EW	鉛直		NS	EW	鉛直
				85.0	183	172	1.26
80.0	131	123	12.8	80.0	147	138	1.24
76.25	112	105	13.0	76.25	121	113	1.20
72.5	88.1	82.0	13.6	72.5	97.8	90.5	1.10
65.0	50.1	45.8	9.75	65.0	58.0	52.3	0.881
56.5	21.2	18.4	7.64	56.5	24.1	20.1	0.601
48.0	4.35	6.63	3.19	48.0	5.24	3.47	0.319
40.2	0.171	0.154	0.129	39.0	0.0103	0.00998	0.00321
38.2	0.00	0.00	0.00	38.2	0.00	0.00	0.00

図 3-11 最大応答変位 (Ss-3)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-12 最大応答軸力 (Ss-3)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-13 最大応答曲げモーメント (Ss-3)

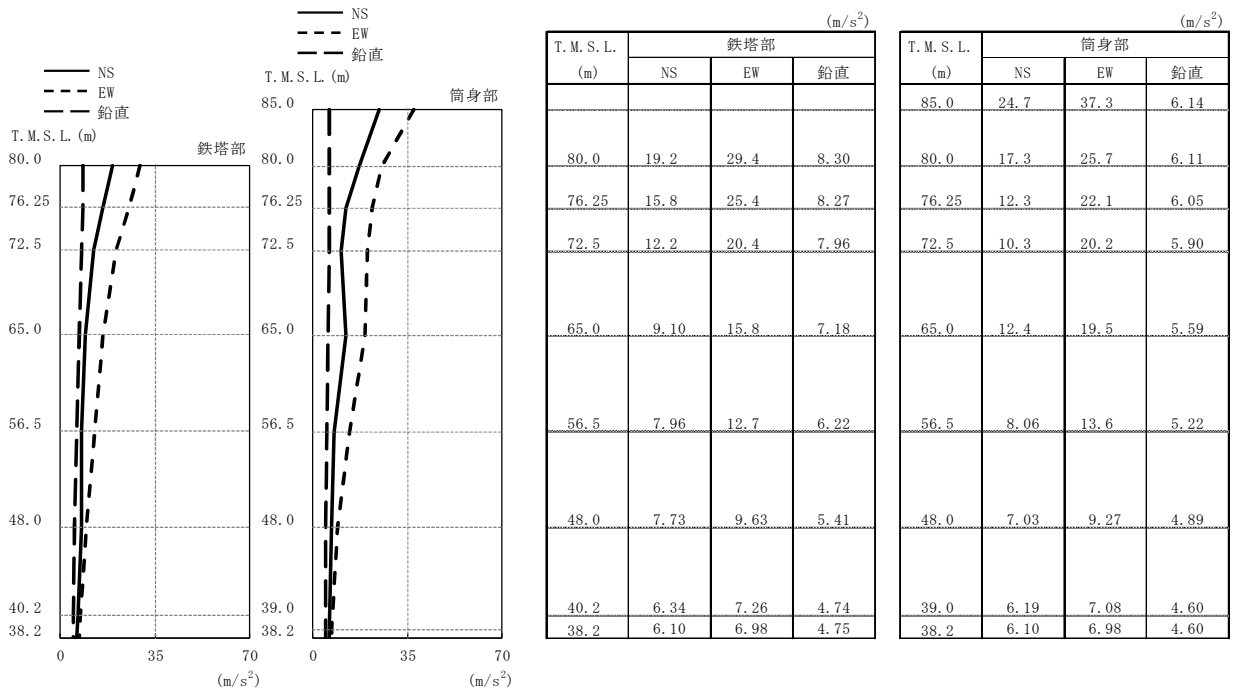


图 3-14 最大応答加速度 (Ss-4)

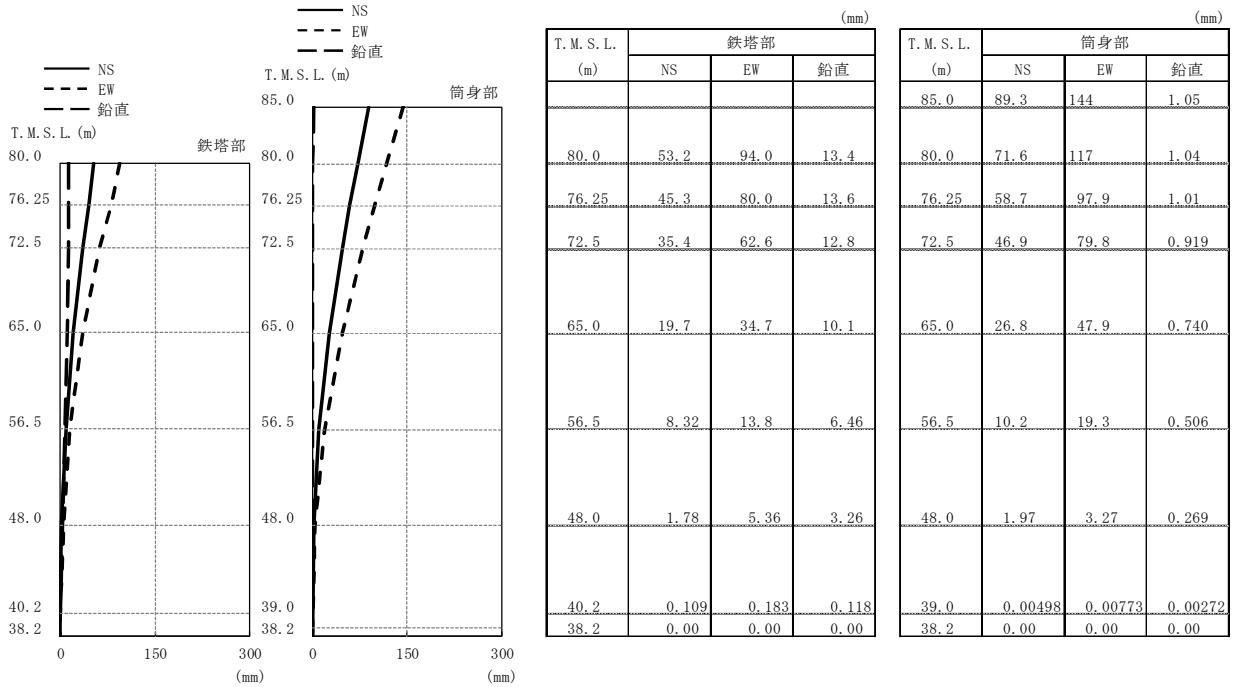
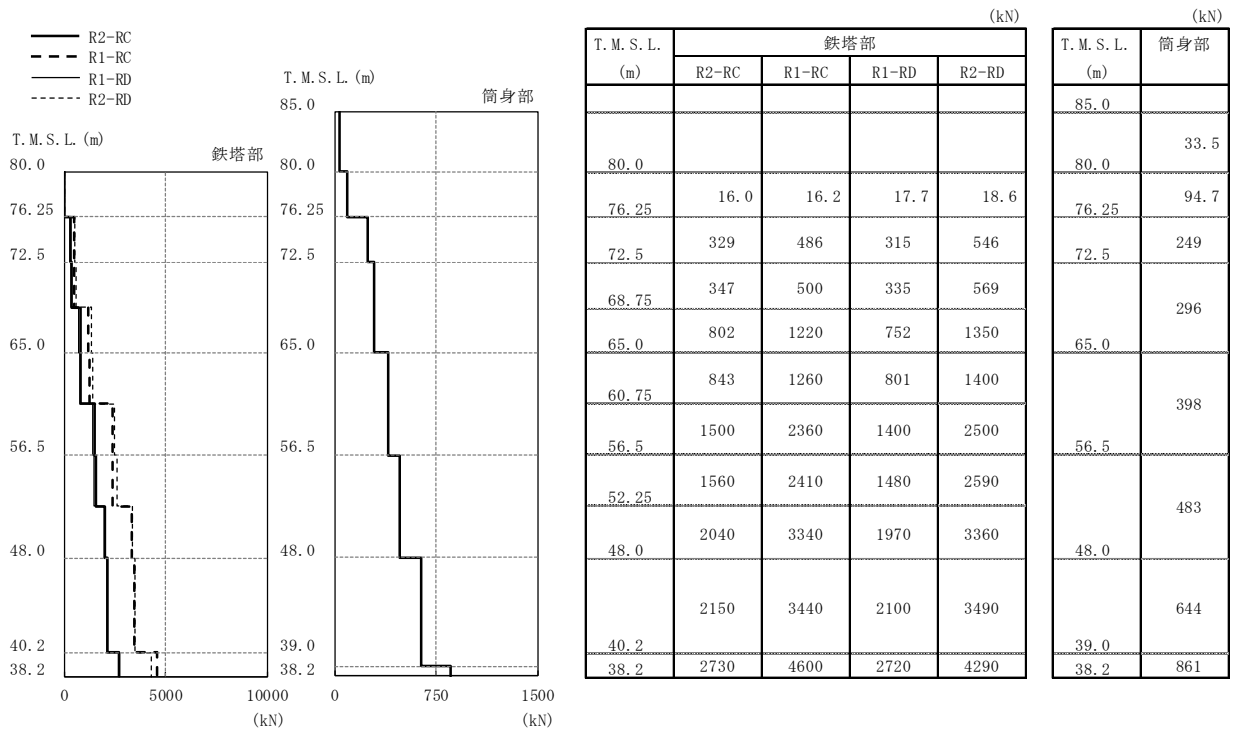
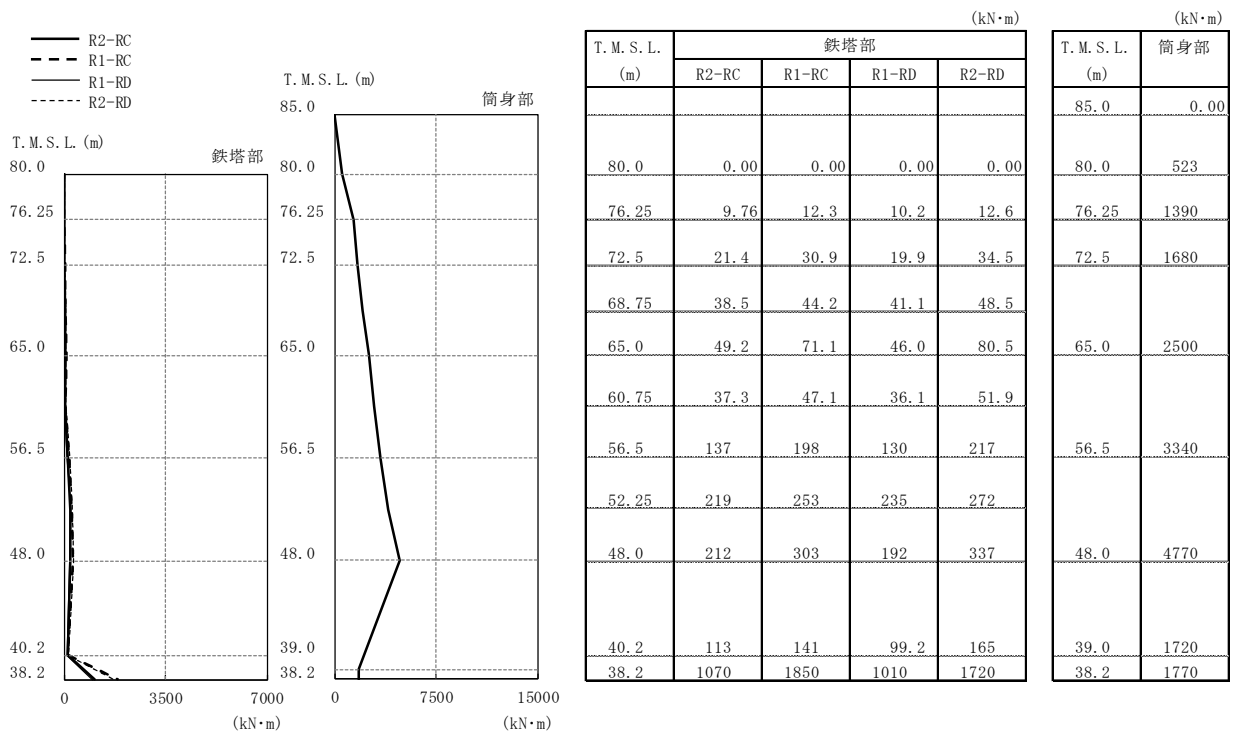


图 3-15 最大応答変位 (Ss-4)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-16 最大応答軸力 (Ss-4)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-17 最大応答曲げモーメント (Ss-4)

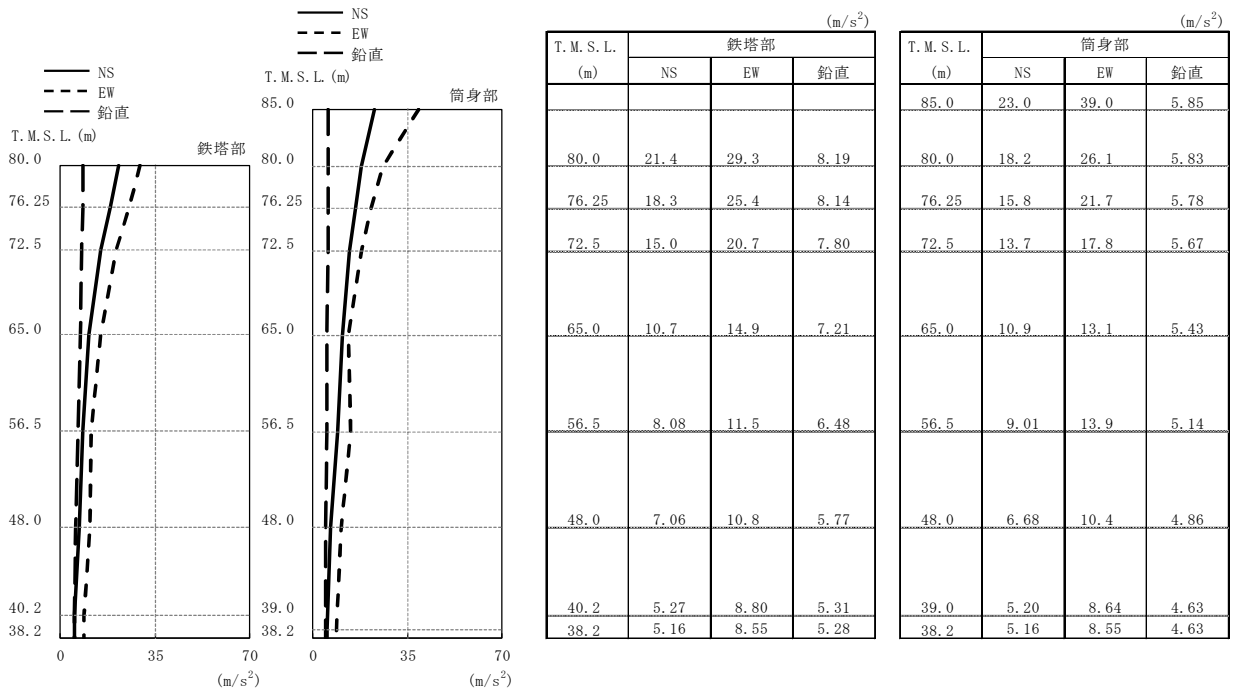


图 3-18 最大応答加速度 (Ss-5)

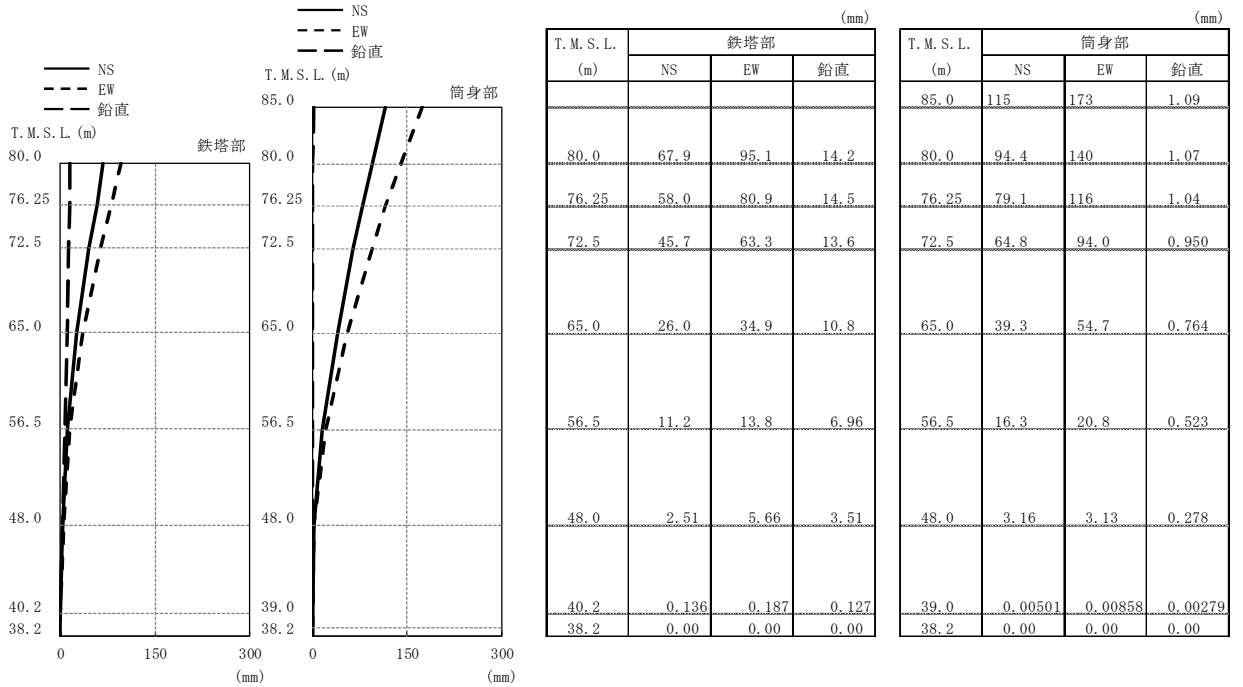
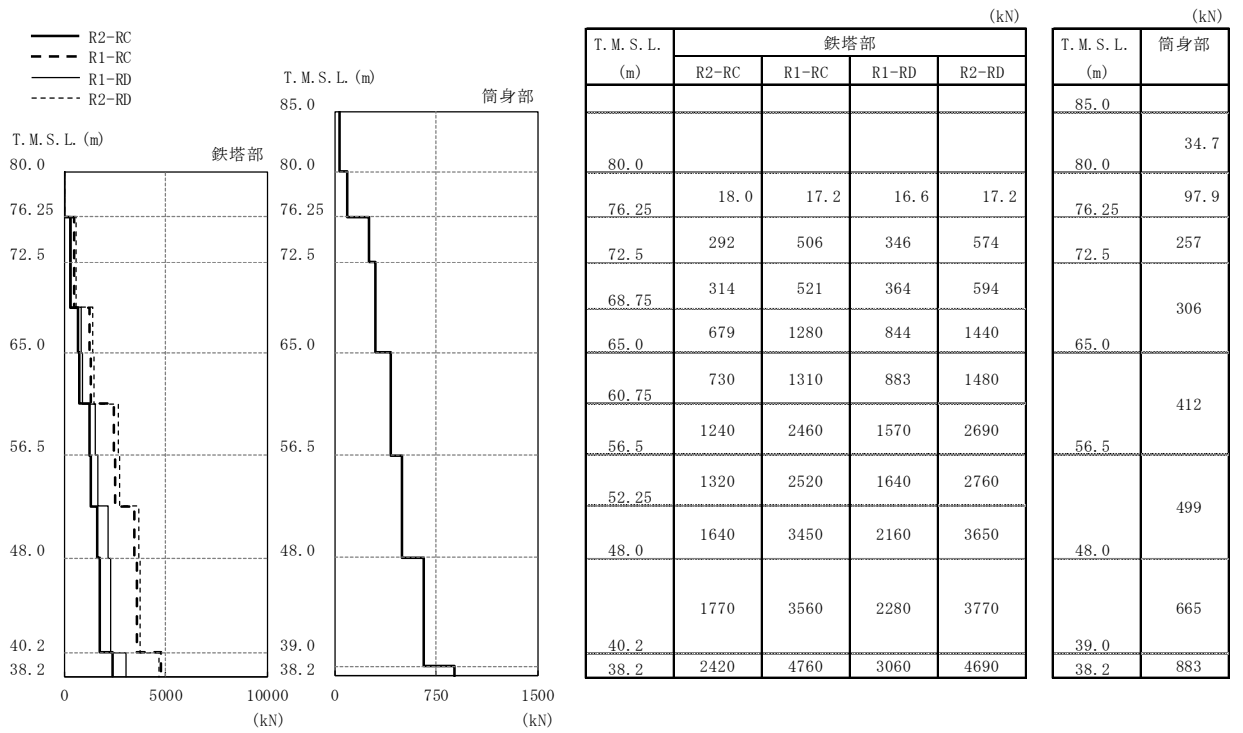
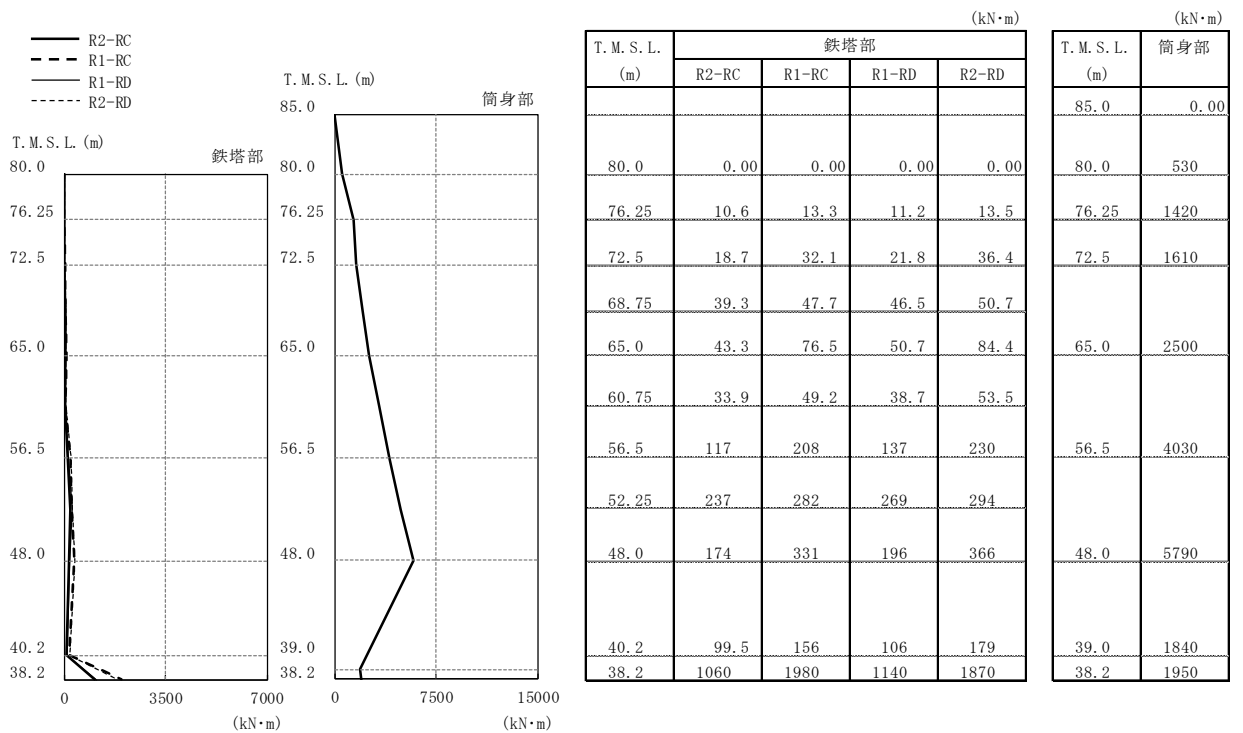


图 3-19 最大応答変位 (Ss-5)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-20 最大応答軸力 (Ss-5)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する主柱材を示す。（他も同様）

図 3-21 最大応答曲げモーメント (Ss-5)

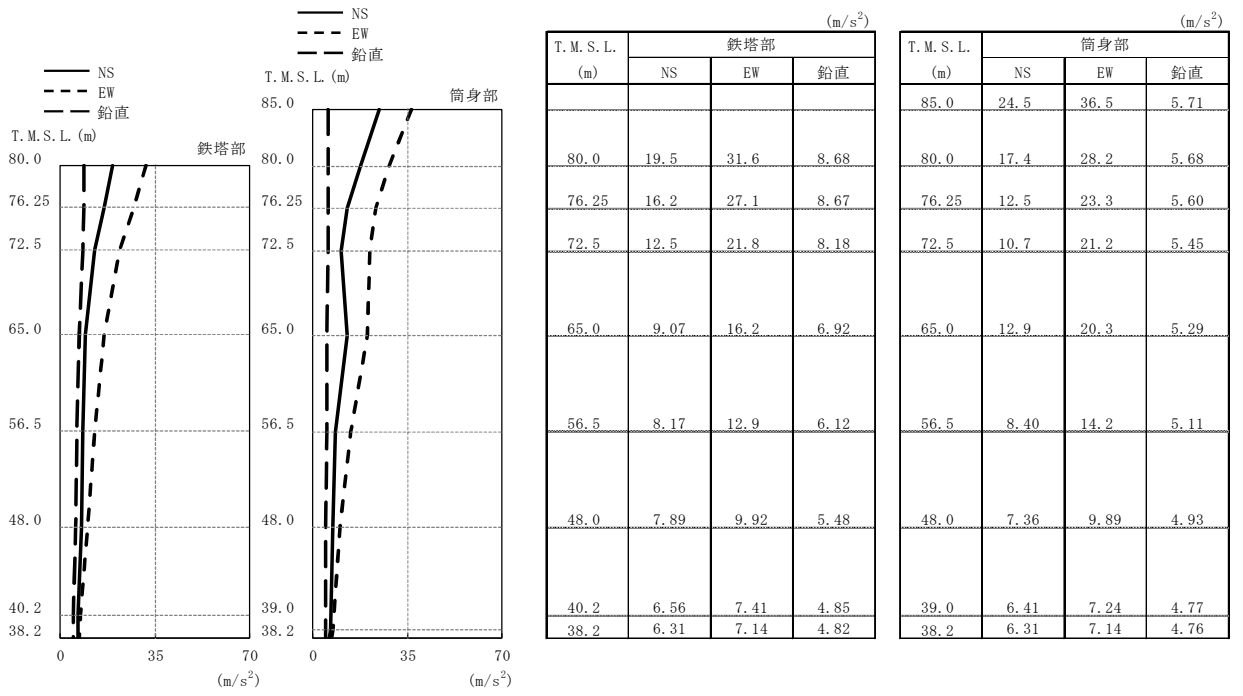


图 3-22 最大応答加速度 (Ss-6)

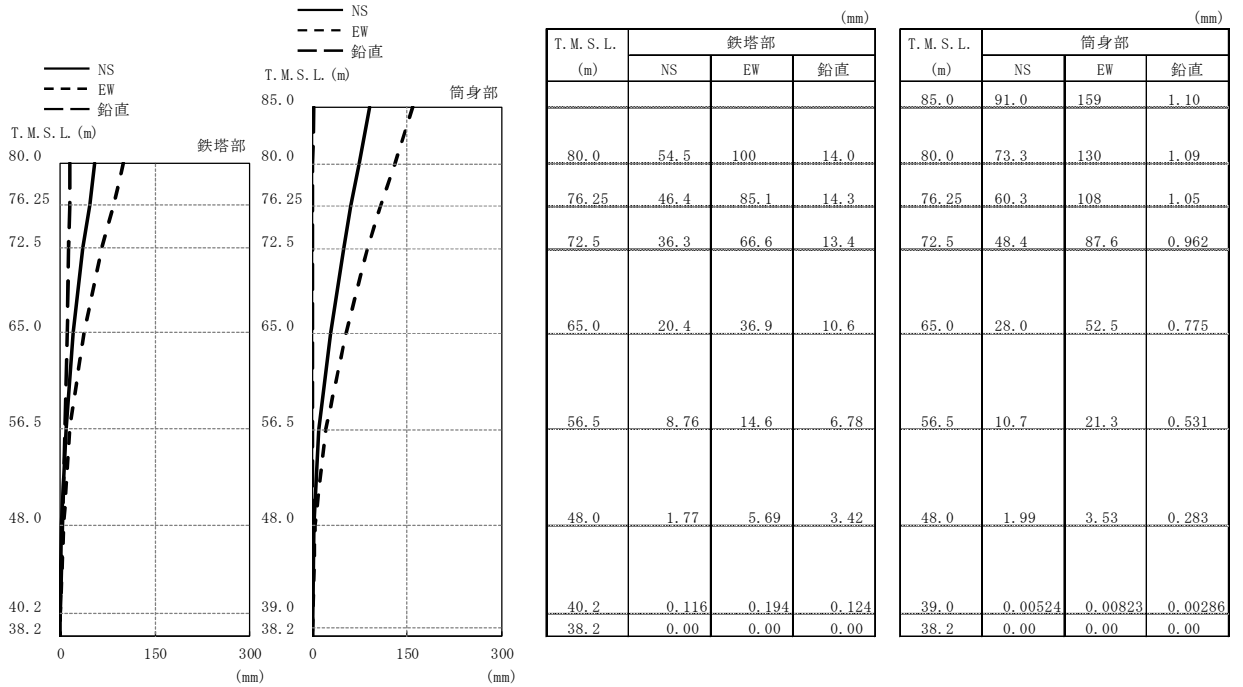
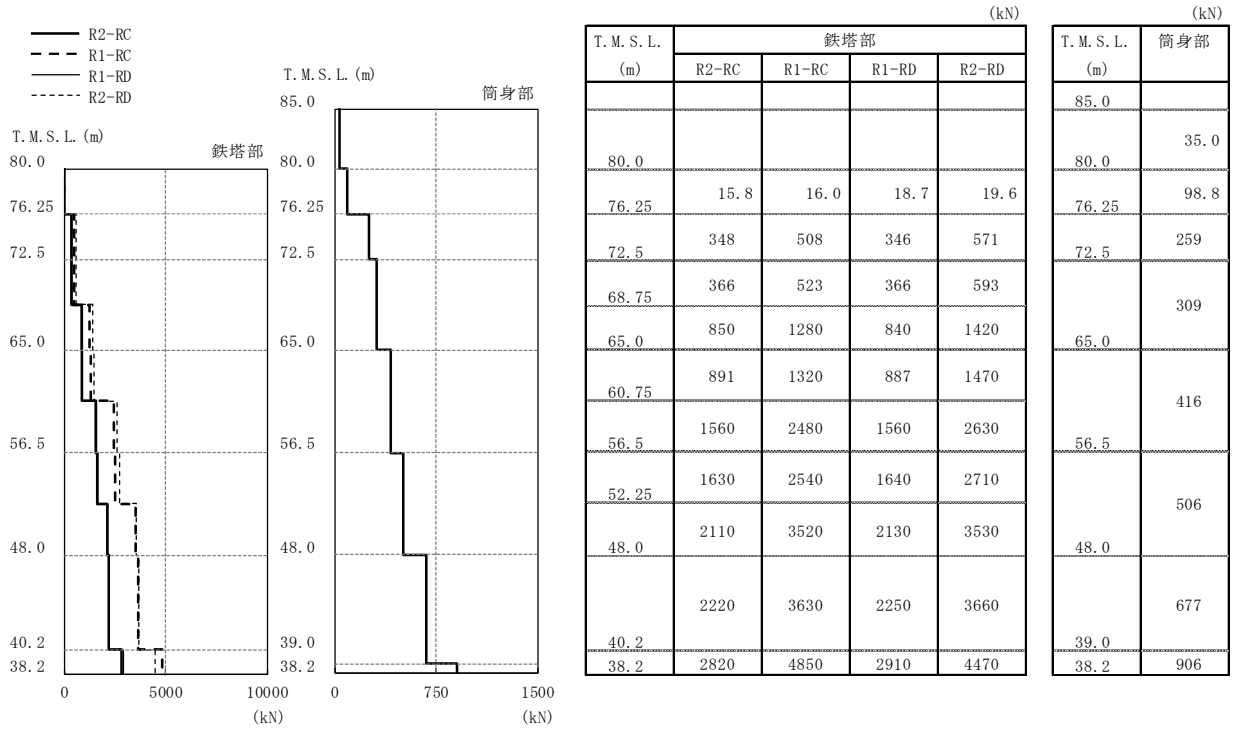
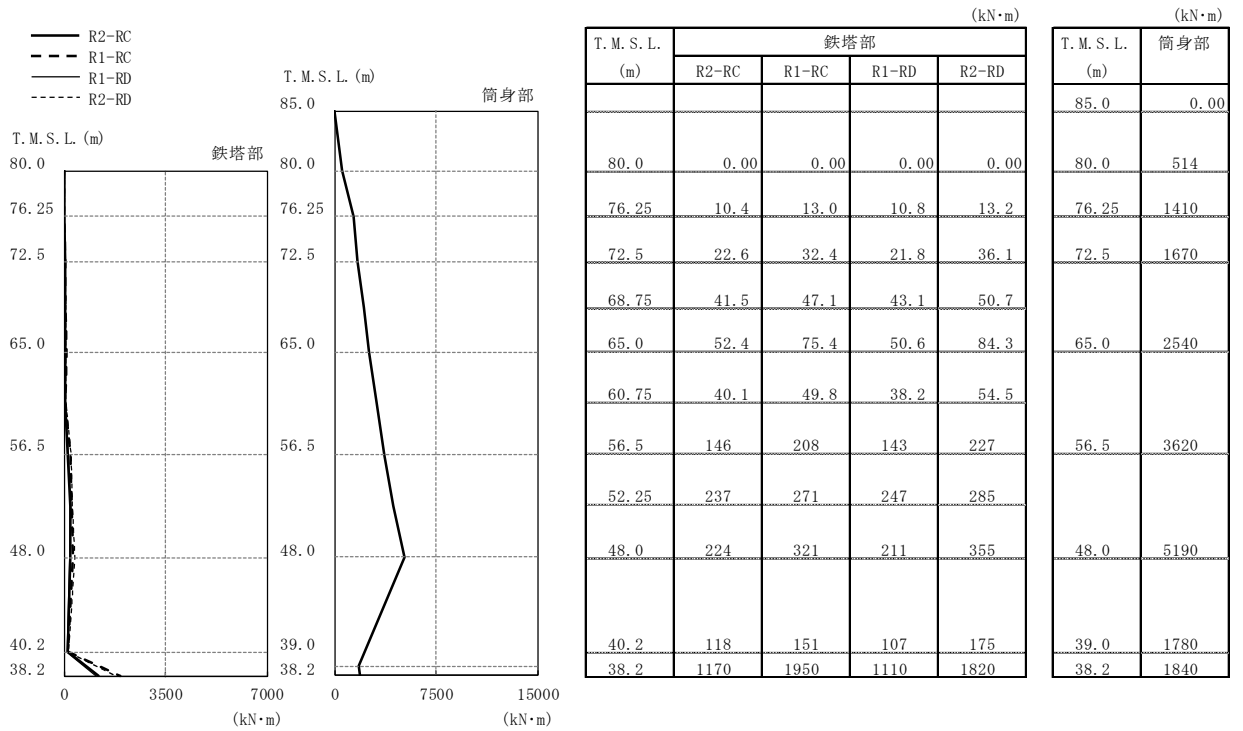


图 3-23 最大応答変位 (Ss-6)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-24 最大応答軸力 (Ss-6)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R1 通りと RC 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-25 最大応答曲げモーメント (Ss-6)

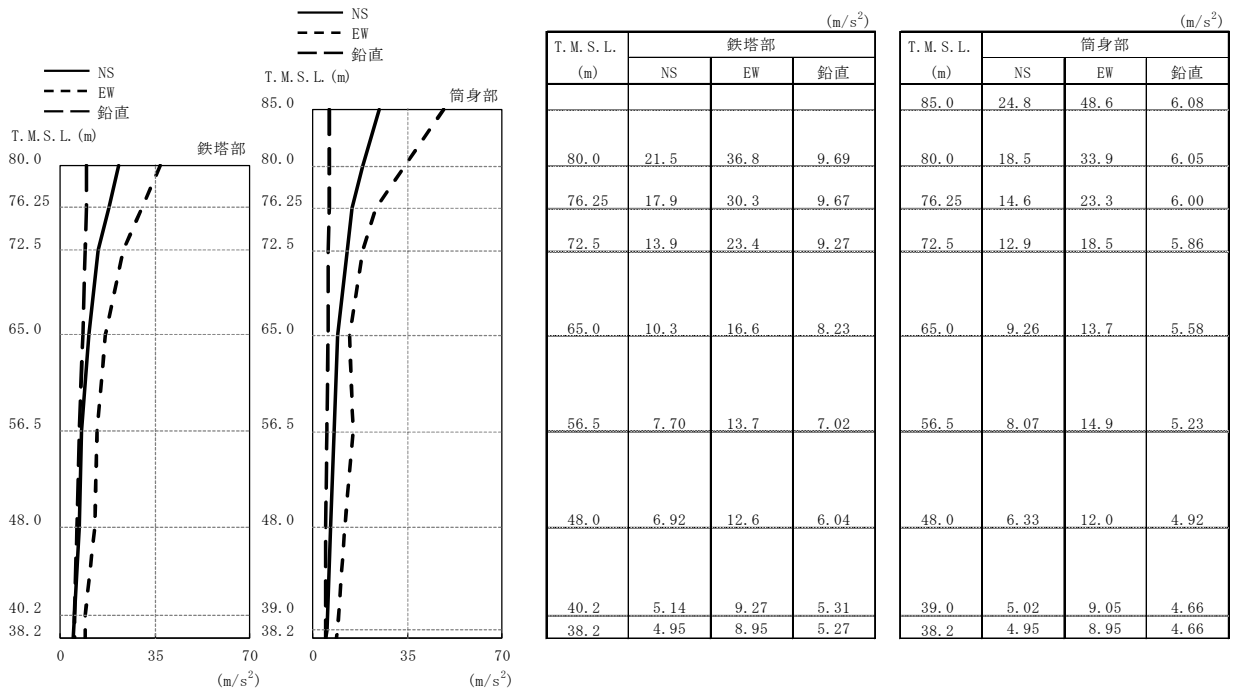


图 3-26 最大応答加速度 (Ss-7)

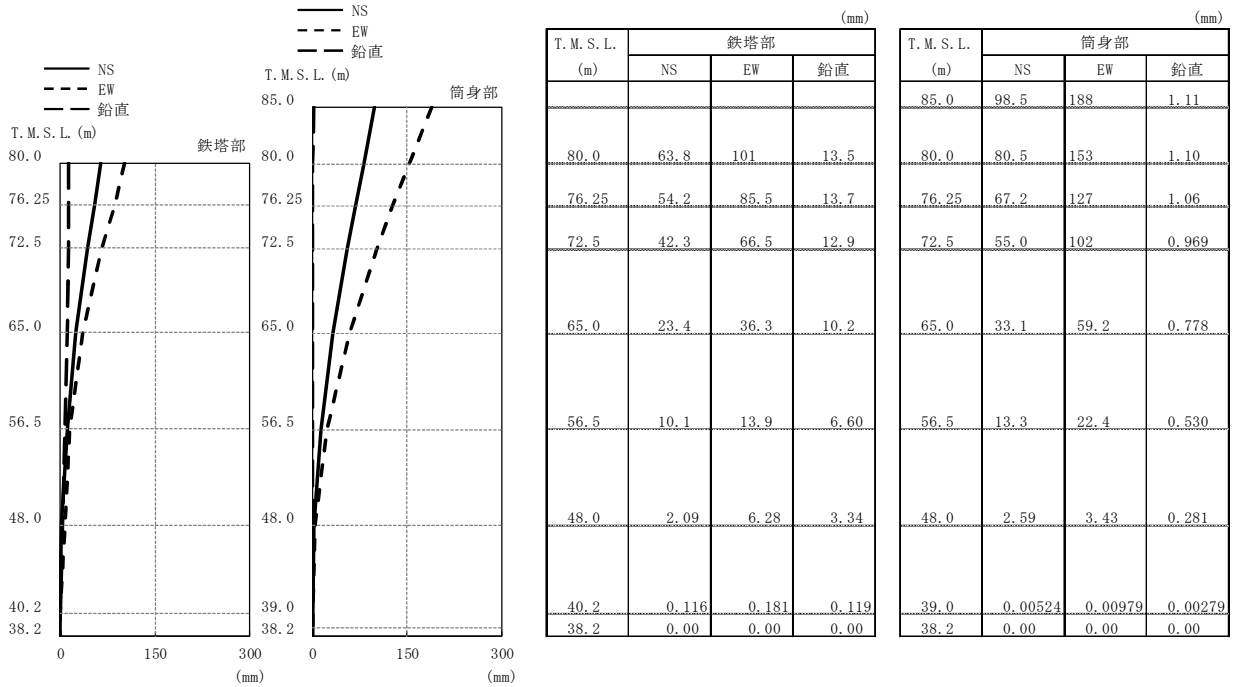
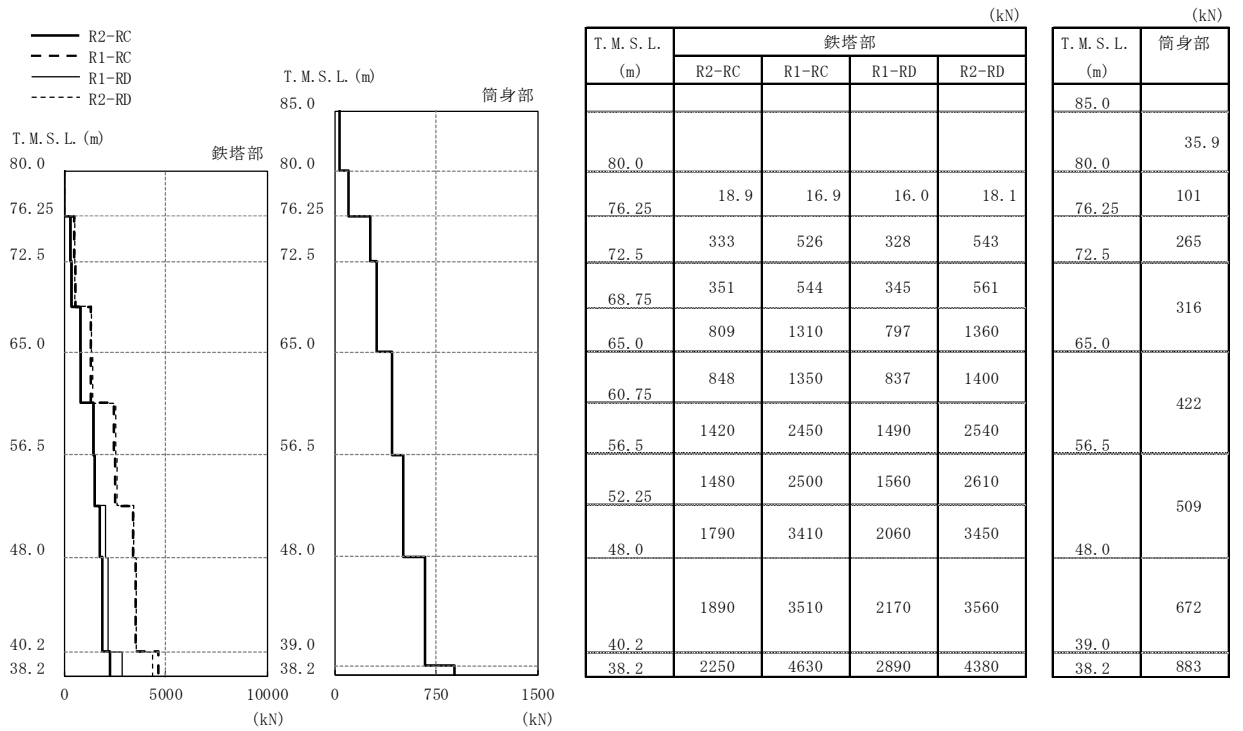
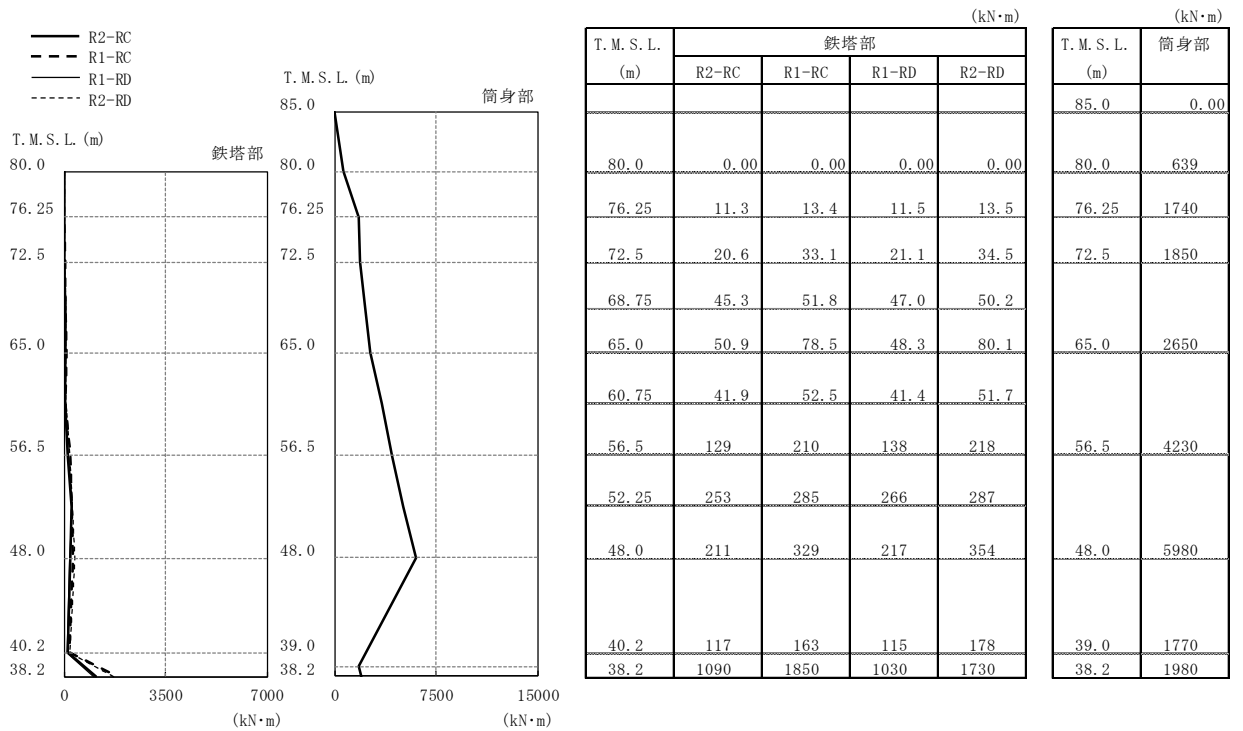


图 3-27 最大応答変位 (Ss-7)



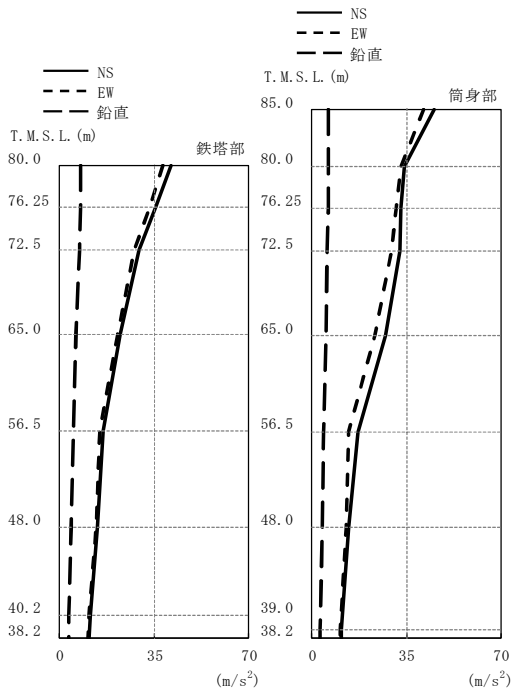
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-28 最大応答軸力 (Ss-7)



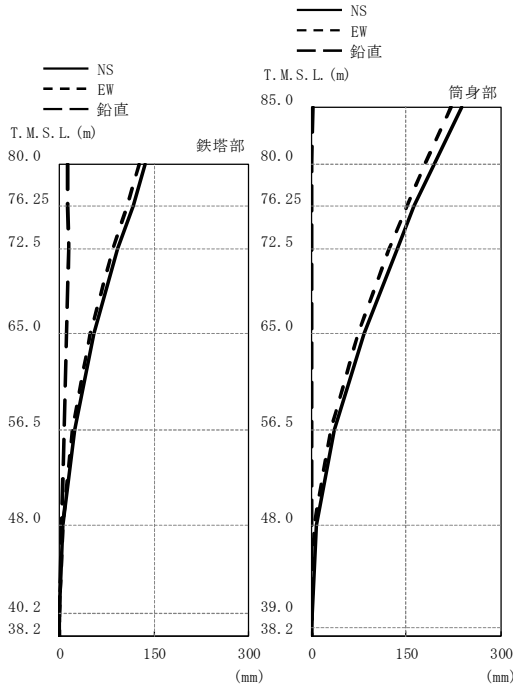
注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-29 最大応答曲げモーメント (Ss-7)



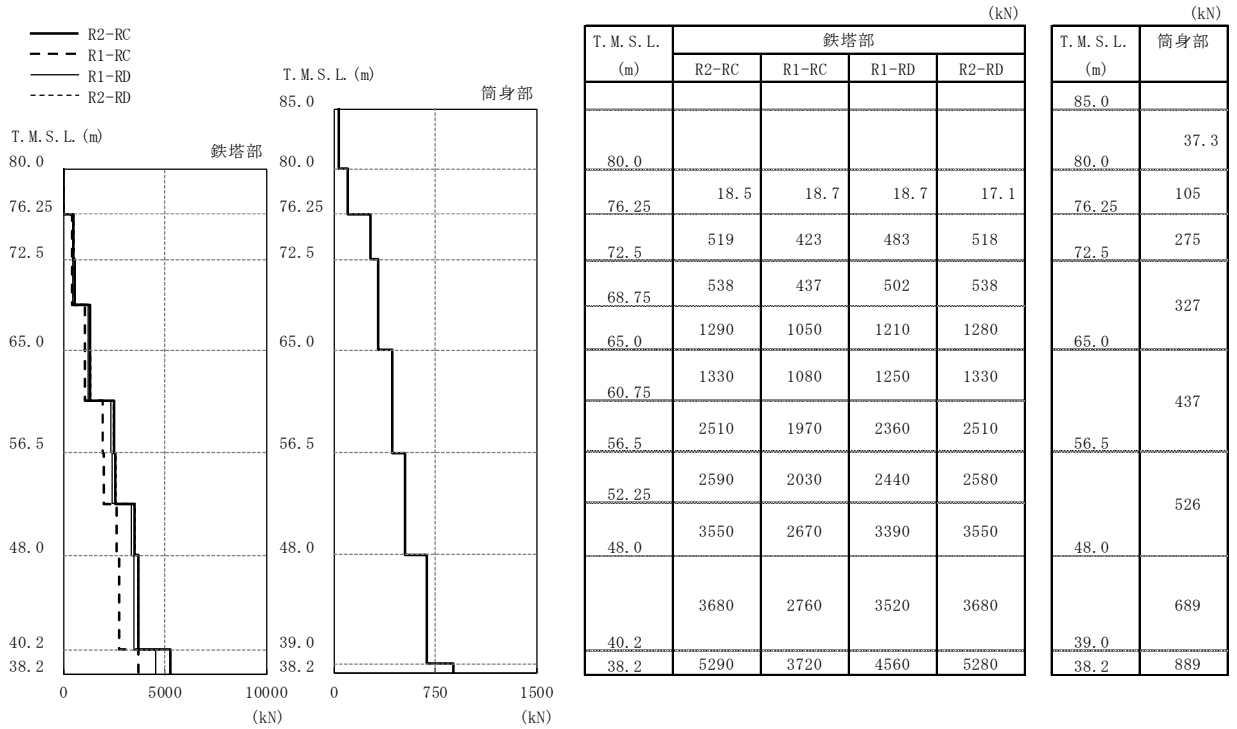
T. M. S. L. (m)	(m/s ²)			T. M. S. L. (m)	(m/s ²)		
	NS	EW	鉛直		NS	EW	鉛直
				85.0	45.4	41.3	6.15
80.0	41.3	38.2	7.81	80.0	34.5	32.8	6.10
76.25	35.5	33.2	7.65	76.25	33.0	31.1	6.00
72.5	29.3	27.5	7.56	72.5	32.5	29.4	5.74
				65.0	27.2	23.2	5.20
65.0	22.3	21.3	6.03	65.0	27.2	23.2	5.20
56.5	16.2	14.7	5.09	56.5	17.0	13.6	4.51
48.0	14.1	13.4	4.15	48.0	13.6	12.8	3.85
				39.0	11.1	10.7	3.18
40.2	11.4	10.9	3.42	39.0	11.1	10.7	3.18
38.2	11.0	10.6	3.39	38.2	11.0	10.6	3.18

图 3-30 最大応答加速度 (S_s-8)



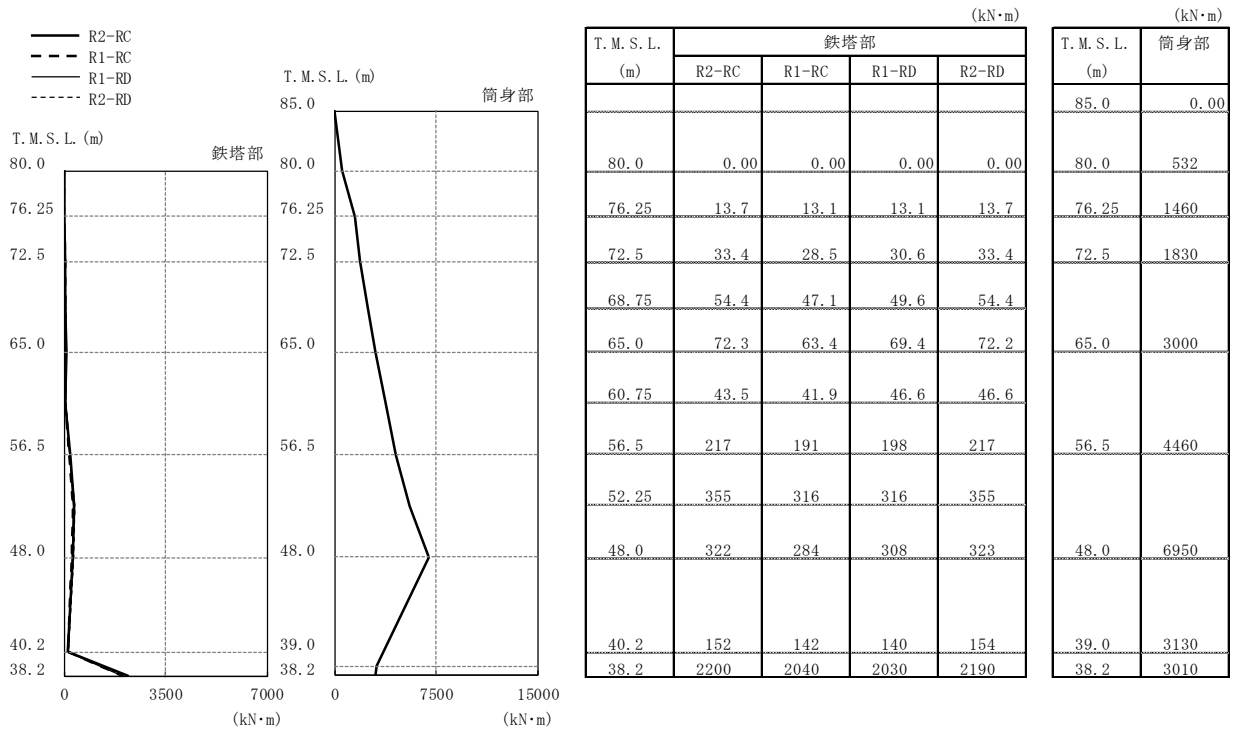
T. M. S. L. (m)	(mm)			T. M. S. L. (m)	(mm)		
	NS	EW	鉛直		NS	EW	鉛直
				85.0	237	220	1.15
80.0	136	126	13.1	80.0	194	180	1.13
76.25	117	108	13.4	76.25	163	151	1.10
72.5	92.4	85.0	14.0	72.5	135	123	1.00
				65.0	83.2	74.2	0.802
65.0	53.5	48.3	10.1	65.0	83.2	74.2	0.802
56.5	23.6	20.1	8.02	56.5	35.4	29.8	0.545
48.0	5.59	6.17	3.31	48.0	7.01	4.64	0.288
				39.0	0.0116	0.0100	0.00281
40.2	0.212	0.198	0.143	39.0	0.0116	0.0100	0.00281
38.2	0.00	0.00	0.00	38.2	0.00	0.00	0.00

图 3-31 最大応答変位 (S_s-8)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-32 最大応答軸力 (Ss-8)



注：凡例の R1-RC とは、原子炉建屋の R_1 通りと R_C 通りの交点に位置する支柱材を示す。（他も同様）

図 3-33 最大応答曲げモーメント (Ss-8)

表 3-2 制震装置（オイルダンパー）の最大応答値及び許容値

	オイルダンパーの最大応答値								許容値
	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6	Ss-7	Ss-8	
速度 (m/s)	2.04	1.87	1.47	1.10	1.14	1.17	1.22	1.52	2.60
変位 (mm)	137	144	94.4	78.1	92.4	86.3	101	129	175

(Ⅱ) 主排気筒の耐震計算書

目 次

1. 評価方針	1
1.1 耐風設計	4
1.2 耐震設計	6
2. 使用材料及び材料の許容応力度	7
3. 設計荷重	9
3.1 風荷重	9
3.2 地震荷重	11
4. 鉄塔部及び筒身部の応力評価	12
4.1 鉛直荷重	12
4.2 風荷重	12
4.3 静的地震荷重	12
4.4 動的地震荷重	12
4.5 荷重の組合せ	13
5. 部材応力	15
6. 断面算定	20
6.1 概要	20
6.2 鉄塔部材断面算定	20
6.3 筒身部材断面算定	20
7. 制震装置（オイルダンパー）支持部の評価	25
8. 基礎の評価	29
8.1 基礎の概要	29
8.2 荷重及び荷重の組合せ	31
8.3 基礎の評価	33
9. SGTS用排気筒の評価	39
9.1 SGTS用排気筒部の評価	39
9.2 支持部の評価	45
10. 評価結果	48

別紙 1 共振風速及び渦励振について

1. 評価方針

主排気筒の鉄塔及び筒身は設計基準対象施設において、「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備の間接支持構造物」に分類される。

主排気筒の鉄塔及び筒身の、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設としての評価においては、風荷重及び基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととする。 S_s 地震時に対する評価は「(I)主排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとし、建屋応答の不確かさを考慮する。主排気筒の鉄塔及び筒身の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、応力解析による評価において、最大部材応力に対して各部材断面を材料強度より算出した弾性限耐力による評価を行うことで、主排気筒の鉄塔及び筒身の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。

主排気筒の非常用ガス処理系（以下「SGTS」という。）用排気筒はSクラスの施設に該当し、設計基準対象施設において、「Sクラスの施設の主要設備」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

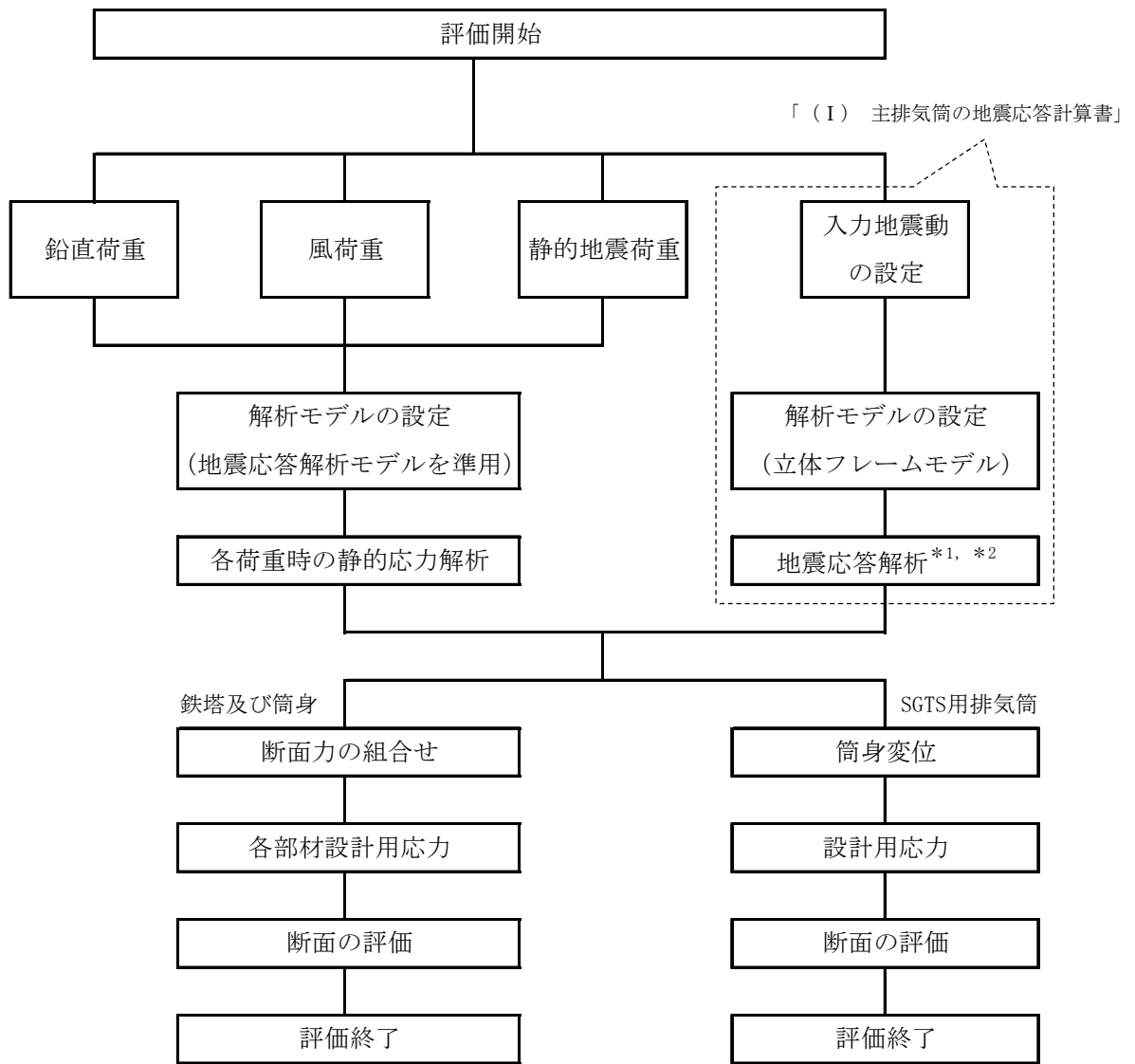
主排気筒のSGTS用排気筒の設計基準対象施設としての評価においては、風荷重及び S_s 地震時に対する評価を行うこととする。 S_s 地震時に対する評価は「(I)主排気筒の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとし、建屋応答の不確かさを考慮する。主排気筒のSGTS用排気筒の評価は、主排気筒の鉄塔及び筒身と同様の評価とする。

図1-1に鉄塔、筒身及びSGTS用排気筒の評価フローを示す。

評価に用いる関連法規，規準等は原則として下記のとおりである。

- (1) 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)
- (2) 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)
- (3) 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)
- (4) 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会，2005 改定)
(以下「鋼構造設計規準」という。)
- (5) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会，1999 改定)
- (6) 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会，2005 制定)
- (7) 塔状鋼構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会，1980 制定)
- (8) 煙突構造設計指針 ((社) 日本建築学会，2007 制定) (以下「煙突構造設計指針」という。)
- (9) 鋼構造座屈設計指針 ((社) 日本建築学会，1996 改定) (以下「鋼構造座屈設計指針」という。)
- (10) 建築基準法・同施行令
- (11) 容器構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会，2010 改定)
- (12) 日本産業規格 (J I S)
- (13) 2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所) (以下「技術基準解説書」という。)

なお，本計算書における使用計算機コードは「MSC NASTRAN」及び「f a p p a s e」である。また，解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，別紙「計算機プログラム (解析コード) の概要」に示す。



注記*1 : 鉛直荷重を考慮した応答値を示す。

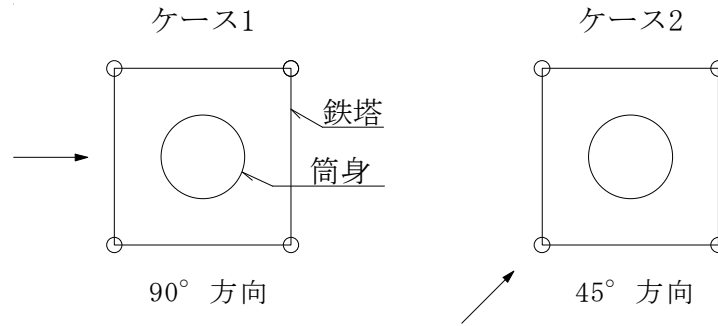
*2 : 建屋応答の不確かさを考慮する。

図 1-1 鉄塔，筒身及び SGTS 用排気筒の評価フロー

1.1 耐風設計

風荷重は、荷重方向として 90° 方向と 45° 方向の 2 ケースについて考慮する。

荷重方向：



矢印は荷重作用方向を示す。

風荷重 (P) は、次式により算定する。

$$P = q \cdot C_f \cdot A \dots\dots\dots (1. 1)$$

ここで、

- P : 風荷重 (N)
- q : 速度圧 (N/m²)
- C_f : 風力係数
- A : 鉄塔及び筒身の見付面積 (m²)

主要鉄塔部材及び筒身部の共振風速は 15m/s 以上とする。

主要鉄塔部材の共振風速は、次式により算定する。

$$V_r = D \cdot f / S \dots\dots\dots (1. 2)$$

ここで、

- V_r : 個材の共振風速 (m/s)
- D : 個材の見付幅 (m)
- f : 個材の 1 次固有振動数 (Hz)
- S : ストローハル数 (円形断面につき 0.18)

筒身部の共振風速は、次式により算定する。

$$U_r = 5 \cdot f_L \cdot D_m \cdots \cdots \cdots (1. 3)$$

ここで、

U_r : 筒身部の共振風速 (m/s)

f_L : 風直交方向振動の 1 次固有振動数 (Hz)

D_m : 筒身部の高さの 2/3 における筒身部の外径 (=2.816m)

1.2 耐震設計

鉄塔及び筒身はSクラスの施設の間接支持構造物であり，原子炉建屋屋上に設置されることから，地震荷重として，平成12年建設省告示第1389号（屋上から突出する水槽，煙突等の構造計算の基準を定める件）に定められた静的地震荷重及び「(I)主排気筒の地震応答計算書」による動的地震荷重を考慮する。

また，SGTS用排気筒は，Sクラスの施設の主要設備であり，静的地震荷重又は弾性設計用地震動 S_d による動的地震荷重のいずれか大きい方の地震荷重に対する評価及び S_s 地震時に対する評価を行う必要がある。しかし，SGTS用排気筒の評価において地震荷重として加える筒身の弾性設計用地震動 S_d による変位が，基準地震動 S_s による変位に比べて十分小さいことを踏まえ，弾性設計用地震動 S_d に対する評価を行うことはせず，静的地震荷重又は基準地震動 S_s による動的地震荷重のいずれか大きい方に対する評価とする。

耐震設計において考慮する地震力を図1-2に示す。ここで，動的地震荷重は建屋応答の不確かさを考慮する。

なお，鉛直方向の地震荷重については，VI-2-1-1「耐震設計の基本方針」に示す鉛直震度を考慮する。

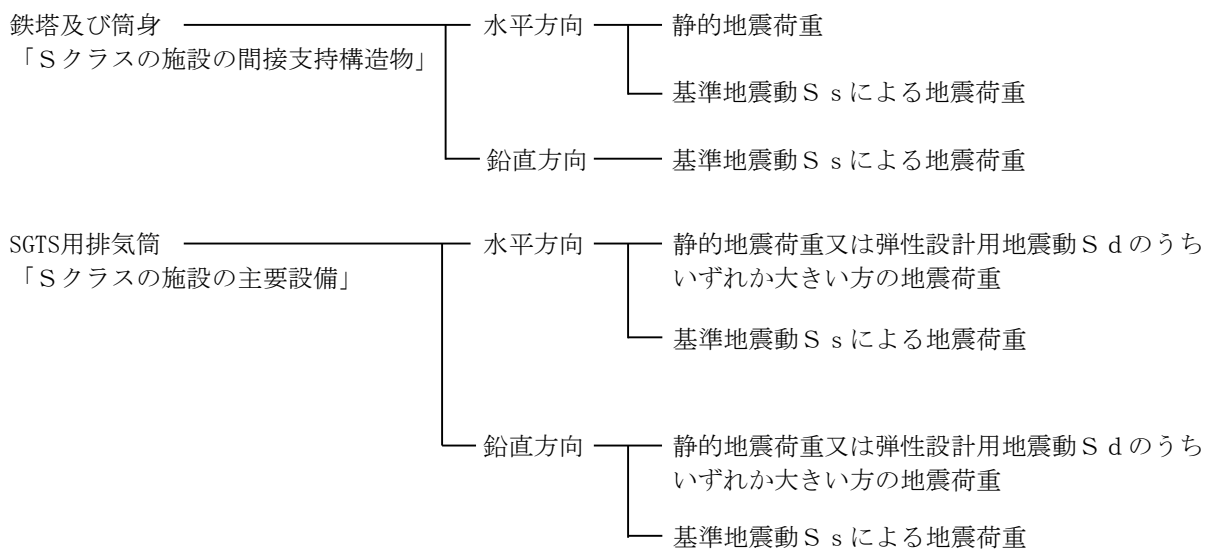


図 1-2 耐震設計において考慮する地震力

2. 使用材料及び材料の許容応力度

鋼材は J I S G 3 1 0 1 で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400[SS41]*, J I S G 3 1 0 6 で規定される溶接構造用圧延鋼材 SM400A[SM41A], J I S G 3 1 1 4 で規定される溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材 SMA400AP[SMA41A], J I S G 3 1 3 6 で規定される建築構造用圧延鋼材 SN490B, J I S G 3 4 4 4 で規定される一般構造用炭素鋼管 STK400[STK41], STK490[STK50]及び J I S G 3 4 5 5 で規定される高圧配管用炭素鋼管 STS410[STS42]を使用する。

なお、基礎に使用するコンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度 F_c は 32.3N/mm^2 、鉄筋は SD345[SD35]とする。各使用材料の許容応力度を表 2-1～表 2-4 に示す。

注記*：以下[]内は従来標記を示す。

表 2-1 鋼材の許容応力度

板厚	材料	基準強度 F (N/mm ²)	許容応力度
t ≤ 40mm	SN490B STK490[STK50]	325	「鋼構造設計規準」 及び「煙突構造設計 指針」に従って左記 F の値により求める。
	SS400[SS41] SM400A[SM41A] SMA400AP[SMA41A] STK400[STK41]	235	
	STS410[STS42]	245*	

注記*：「鋼構造設計規準」に準拠して基準強度 F を設定した。

表 2-2 基礎ボルトの許容応力度

部位	材料	基準強度 F (N/mm ²)	許容応力度
基礎ボルト (M80) (鉄塔部)	SS400[SS41]	215	「鋼構造設計規準」 に従って左記 F の値 により求める。
基礎ボルト (M36) (筒身部)	SS400[SS41]	235	

表 2-3 コンクリートの許容応力度 (単位：N/mm²)

	長 期			短 期		
	圧縮	引張	せん断	圧縮	引張	せん断
$F_c = 32.3$	10.7	—	0.81	21.5	—	1.21

表 2-4 鉄筋の許容応力度 (単位：N/mm²)

		長 期		短 期	
SD345 [SD35]	鉄筋径	引張 及び圧縮	せん断 補強	引張 及び圧縮	せん断 補強
	D25 以下	215	195	345	345
	D29 以上	195			

3. 設計荷重

3.1 風荷重

(1) 風方向荷重

$$P = q \cdot C_f \cdot A \cdots \cdots \cdots (3. 1)$$

ここで,

P : 風荷重(N)

q : 速度圧(N/m²) = 0.6 · E · V₀²

V₀ : 当該地の基準風速 (=40.1m/s)

E : 国土交通大臣が定める方法により算出した数値
= E_r² · G_f

E_r : 平均風速の高さ方向の分布を表す係数

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{Z_b}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H \leq Z_b)$$

$$= 1.7 \cdot \left(\frac{H}{Z_G} \right)^\alpha \quad (H > Z_b)$$

H : 建築物の高さ(m) (鉄塔部 68m, 筒身部 73m)

Z_b, Z_G, α : 地表面粗度区分に応じて示される数値
(当該地の地表面粗度区分Ⅱ : Z_b = 5m, Z_G = 350m, α = 0.15)

G_f : ガスト影響係数 (=2.0)

C_f : 風力係数

A : 鉄塔及び筒身の見付面積(m²)

以上より算定した風荷重を表 3-1 に示す。

表 3-1 風荷重計算表

(a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重*			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
80.0	3.42	1.92	3.4	23	1.50	5.4	28
76.25	3.42	1.82	7.6	48	1.44	11.9	59
72.5	3.42	1.86	9.6	62	1.45	15.5	77
65.0	3.42	1.72	16.8	99	1.36	27.1	127
56.5	3.42	1.63	21.0	118	1.26	34.1	147
48.0	3.42	1.48	24.3	123	1.15	39.7	157
40.2	3.42	1.43	11.0	54	1.10	18.5	70

注記* : NS 方向及び EW 方向の包絡値を示す。

(b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	速度圧 q (kN/m ²)	90° 方向風荷重			45° 方向風荷重		
		風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)	風力係数 C _f	見付面積 A (m ²)	風荷重 P (kN)
85.0	3.49	0.90	6.8	22	0.90	6.8	22
80.0	3.49	0.89	12.3	39	0.89	12.3	39
76.25	3.49	0.88	10.6	33	0.88	10.6	33
72.5	3.49	0.86	15.8	48	0.86	15.8	48
65.0	3.49	0.83	22.5	66	0.83	22.5	66
56.5	3.49	0.79	24.0	67	0.79	24.0	67
48.0	3.49	0.74	24.7	64	0.74	24.7	64
39.0	3.49	0.68	12.7	31	0.68	12.7	31

(2) 風直交方向荷重

風直交方向荷重は別紙 1「共振風速及び渦励振について」による。

3.2 地震荷重

(1) 静的地震荷重

「1. 評価方針」に基づき、Sクラスの施設の間接支持構造物である主排気筒の鉄塔及び筒身の静的地震荷重は、平成12年建設省告示第1389号に定められた次式による。

$$P = k \cdot W \dots\dots\dots (3.2)$$

ここで、

P : 地震荷重 (kN)

k : 水平震度 (k = 1.0)

W : 当該質点位置での固定荷重と積載荷重との和 (kN)

以上より算定した静的地震荷重を表3-2に示す。

表3-2 静的地震荷重計算表

(a) 鉄塔部

標高 T. M. S. L. (m)	W (kN)	k	P (kN)
80.0	42	1.0	42
76.25	108		108
72.5	56		56
65.0	148		148
56.5	257		257
48.0	396		396

(b) 筒身部

標高 T. M. S. L. (m)	W (kN)	k	P (kN)
85.0	23	1.0	23
80.0	42		42
76.25	106		106
72.5	33		33
65.0	72		72
56.5	61		61
48.0	118		118

(2) 動的地震荷重

動的地震荷重は「(I) 主排気筒の地震応答計算書」による。

4. 鉄塔部及び筒身部の応力評価

主排気筒の応力評価に用いる設計用荷重は、鉛直荷重、風荷重、静的地震荷重及び動的地震荷重を考慮する。

4.1 鉛直荷重

鉛直荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、柏崎刈羽原子力発電所第6号機「工事計画届出書」（総官発20第179号 平成20年8月25日）（以下「中越沖地震に伴う補強時（届出）」という。）による。なお、風荷重及び動的地震荷重については、各荷重に対する解析時に鉛直荷重を考慮する。

4.2 風荷重

風荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、表3-1に示す風方向荷重及び別紙1「共振風速及び渦励振について」に示す風直交方向荷重を組み合わせ、図4-1に示す解析モデルに加えた静的応力解析により行う。

4.3 静的地震荷重

静的地震荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、中越沖地震に伴う補強時（届出）による。

4.4 動的地震荷重

動的地震荷重に対する鉄塔部及び筒身部の分担応力の計算は、「(I)主排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による。なお、各部材応力の算出に当たっては建屋応答の不確かさを考慮する。

4.5 荷重の組合せ

各部位の評価における荷重組合せを許容限界と併せて表 4-1 に示す。

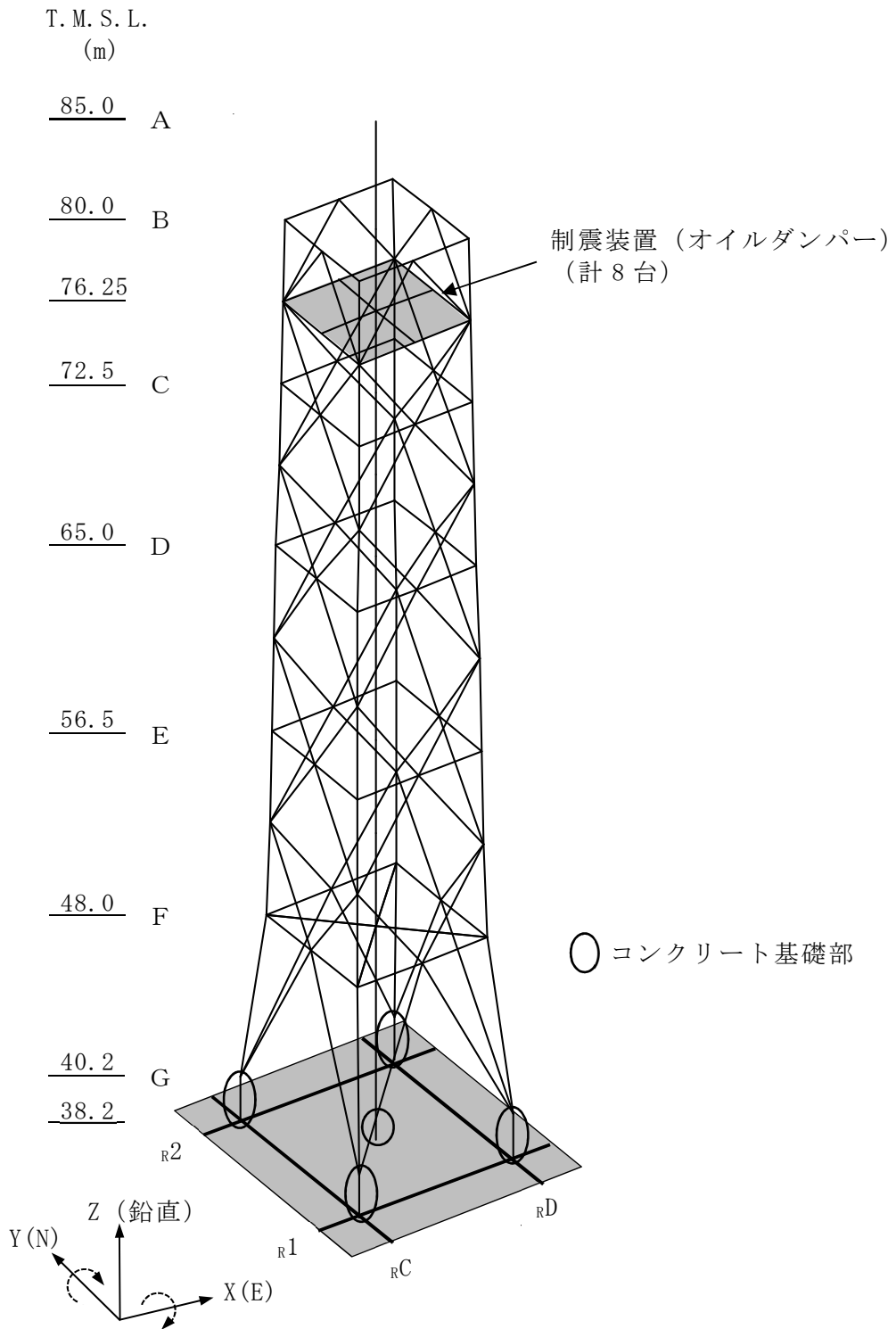
Sクラスの施設の間接支持構造物である鉄塔及び筒身の許容限界は「技術基準解説書」を参考にF値に1.1倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。なお、弾性設計用地震動S_dによる評価については、原子炉建屋の応答加速度が基準地震動S_sの約1/2倍であり、許容限界が基準地震動S_sの1/1.1倍であることから、基準地震動S_sにより生じる各部材の断面の応力が弾性限強度を超えないことを確認することで、弾性設計用地震動S_dによる評価は行わないこととする。

また、Sクラスの施設の主要設備であるSGTS用排気筒の許容限界は、短期許容応力度とし、基準地震動S_sにより生じる応力が短期許容応力度を超えないことを確認することで、鉄塔及び筒身と同様に弾性設計用地震動S_dによる評価は行わない。

表 4-1 各部位の評価における荷重組合せ

部位	荷重						許容限界
	鉛直荷重	風荷重	静的地震荷重		動的地震荷重		
			水平	鉛直	水平	鉛直	
鉄塔	○	○	—	—	—	—	弾性限強度
	○	—	○	—	—	—	
	○	—	—	—	○	○	
筒身	○	○	—	—	—	—	弾性限強度
	○	—	○	—	—	—	
	○	—	—	—	○	○	
SGTS用排気筒	○	○	—	—	—	—	短期許容 応力度
	○	—	○	○	—	—	
	○	—	—	—	○	○	

注：荷重の大きい組合せで評価するものとし、組み合わせる荷重を「○」で、組み合わせない荷重を「—」で示す。



注：並進成分を実線で，回転成分を破線で示す。

図 4-1 主排気筒の解析モデル

5. 部材応力

4章で示した解析より求まる各部材の評価用応力を表5-1～表5-4に示す。

鉄塔支柱材	表5-1
鉄塔斜材	表5-2
鉄塔水平材	表5-3
筒身	表5-4

なお、断面算定は、表4-1に示した荷重組合せのうち発生応力が最大となる組合せに対して実施するため、発生応力の最大値を評価用応力として表5-1～表5-4に併せて示す。

ただし、動的地震荷重に対する応力については、基本ケース及び建屋応答の不確かさを考慮した解析ケース各々に対して、筒身部以外については最大発生応力に対する断面算定、筒身部については時刻歴を考慮した断面算定を実施し、応力度比が最大となる解析ケースの応力を記載している。

ここで、動的地震荷重の評価用応力は、Ss-2（ケース3及びケース6）及びSs-1（ケース6）のいずれかによるものであり、特に支柱材は全てSs-2（ケース6）による応力である。これは、入力地震動の大きさと組合せによる影響と考えられる。

入力地震動である原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる屋上レベル（T.M.S.L. 38.2m）における各ケースの応答加速度は、Ss-1及びSs-2のいずれかが最大となり、Ss-2については、ケース3及びケース6の水平方向の応答加速度は基本ケースよりも大きい。また、Ss-1は応答スペクトルに基づく地震動であるため、2方向（3成分）の同時入力であるが、Ss-2は断層モデルに基づく地震動であるため、3方向（5成分）の同時入力であり、Ss-2による影響が大きい傾向である。

表 5-1 主柱材応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	鉛直荷重		風荷重*				地震荷重					評価用応力*		
				90° 方向		45° 方向		静的		動的*					
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	N (kN)	M (kN・m)	荷重
80.0	B-C	12.2	0.361	10.4	0.824	10.4	0.861	0.100	4.53	<u>21.5</u>	<u>27.2</u>	Ss-2 (ケース6)	21.5	27.2	動的 地震荷重
72.5	C-D	56.7	5.38	87.5	9.12	86.0	10.5	173	17.3	<u>1160</u>	<u>102</u>	Ss-2 (ケース6)	1160	102	動的 地震荷重
65.0	D-E	95.7	4.67	196	9.51	-263	7.11	509	25.4	<u>2910</u>	<u>164</u>	Ss-2 (ケース6)	2910	164	動的 地震荷重
56.5	E-F	173	28.5	435	72.5	-684	39.5	1080	121	<u>5510</u>	<u>609</u>	Ss-2 (ケース6)	5510	609	動的 地震荷重
48.0	F-G	255	20.4	732	60.1	-1200	45.3	1750	151	<u>7620</u>	<u>703</u>	Ss-2 (ケース6)	7620	703	動的 地震荷重

注記* : 鉛直荷重を考慮した値を示す。
注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)
M : 曲げモーメント

表 5-2 斜材応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	鉛直荷重 N (kN)	風荷重*1		地震荷重			評価用応力*1	
			90° 方向	45° 方向	静的	動的*1		N (kN)	荷重
			N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)		
80.0	B-C	1.90	34.5	47.1	122	<u>686</u>	Ss-1*2 (ケース6)	686	動的 地震荷重
72.5	C-D	1.90	60.5	82.8	167	<u>800</u>	Ss-1*2 (ケース6)	800	動的 地震荷重
65.0	D-E	4.40	109	-148	258	<u>1000</u>	Ss-1*2 (ケース6)	1000	動的 地震荷重
56.5	E-F	2.60	180	212	375	<u>1200</u>	Ss-2 (ケース3)	1200	動的 地震荷重
48.0	F-G	18.4	712	675	500	<u>1510</u>	Ss-2 (ケース6)	1510	動的 地震荷重
40.2									

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 5-3 水平材応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 位 置	鉛直荷重 N (kN)	風荷重*1		地震荷重			評価用応力*1	
			90° 方向	45° 方向	静的	動的*1		N (kN)	荷重
			N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)		
80.0	B	0.200	12.2	10.3	13.3	<u>65.1</u>	Ss-1*2 (ケース6)	65.1	動的 地震荷重
72.5	C	-1.30	29.1	28.9	28.0	<u>98.9</u>	Ss-2 (ケース6)	98.9	動的 地震荷重
65.0	D	-2.40	47.8	48.4	-53.6	<u>178</u>	Ss-2 (ケース6)	178	動的 地震荷重
56.5	E	-6.60	51.6	73.0	102	<u>342</u>	Ss-2 (ケース6)	342	動的 地震荷重
48.0	F	19.0	238	263	66.0	<u>274</u>	Ss-2 (ケース3)	274	動的 地震荷重

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 5-4 筒身応力

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	鉛直荷重		風荷重 ^{*1}				地震荷重					評価用応力 ^{*1}		
				90° 方向		45° 方向		静的		動的 ^{*1, *2}					
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	N (kN)	M (kN・m)	荷重
85.0	A-B	27.0	—	23.0	130	23.0	130	—	120	<u>16.6</u>	<u>827</u>	Ss-2 (ケース6)	16.6	827	動的 地震荷重
80.0	B-C	199	—	171	802	171	803	—	500	<u>149</u>	<u>2650</u>	Ss-2 (ケース6)	149	2650	動的 地震荷重
72.5	C-D	237	—	204	1410	204	1410	—	620	<u>192</u>	<u>3360</u>	Ss-2 (ケース6)	192	3360	動的 地震荷重
65.0	D-E	276	—	276	4030	276	4040	—	1260	<u>236</u>	<u>5910</u>	Ss-2 (ケース6)	236	5910	動的 地震荷重
56.5	E-F	337	—	337	5350	337	5350	—	1710	<u>228</u>	<u>7120</u>	Ss-2 (ケース3)	228	7120	動的 地震荷重
48.0	F-G	528	—	455	6660	455	6670	—	4790	<u>487</u>	<u>8490</u>	Ss-2 (ケース6)	487	8490	動的 地震荷重
39.0															

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 時刻歴評価に基づく応力を示す。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

M : 曲げモーメント

6. 断面算定

6.1 概要

表 5-1～表 5-4 の評価用応力に対して各部材の断面算定を行う。

各部材は、「鋼構造設計規準」，「鋼構造座屈設計指針」及び「煙突構造設計指針」に準拠して算定する。

6.2 鉄塔部材断面算定

鉄塔部材の代表部材についての断面算定結果を以下に示す。

主柱材の断面算定	表 6-1
斜材の断面算定	表 6-2
水平材の断面算定	表 6-3

なお、各表に記載した共振風速は個材振動の判定に用いるものであり、いずれの部材についても個材振動は発生しないことを確認している。（詳細は別紙 1「共振風速及び渦励振について」参照。）

6.3 筒身部材断面算定

筒身部材の断面算定結果を表 6-4 に示す。

なお、断面性能の算定には腐食代 2mm を考慮する。

表 6-1 主柱材の断面算定 (STK490[STK50])

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力			使 用 部 材				L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	共振風速 V_r^* (m/s)
		N (kN)	M (kN·m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)								
80.0	B-C	21.5	27.2	S _S -2 (ケース6)	φ 318.5 × 6	58.91	452	111	3750	34	339	357	3.7	60.2	0.18	175
72.5	C-D	1160	102	S _S -2 (ケース6)	φ 406.4 × 6.4	80.42	792	141	3750	27	345	357	144.3	128.8	0.78	414
65.0	D-E	2910	164	S _S -2 (ケース6)	φ 508.0 × 7.9	124.1	1530	177	4250	24	348	357	234.5	107.2	0.98	504
56.5	E-F	5510	609	S _S -2 (ケース6)	φ 609.6 × 16	298.4	4320	210	4250	20	350	357	184.7	141.0	0.93	719
48.0	F-G	7620	703	S _S -2 (ケース6)	φ 711.2 × 19	413.2	6960	245	7880	32	341	357	184.5	101.1	0.83	284

注記* : (1. 2) 式による検討を示す。

注 : 許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

- N : 軸力 λ : 細長比 (L_k / i)
M : 曲げモーメント f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
A : 断面積 f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
Z : 断面係数 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)
i : 断面二次半径 σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)
 L_k : 座屈長さ

表 6-2 斜材の断面算定 (STK490[STK50])

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力		使 用 部 材			L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	共振風速 V_r^{*2} (m/s)
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)						
80.0	B-C	686	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	4540	61	300	229.2	0.77	35
72.5	C-D	800	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 267.4 \times 6$	49.27	92.4	4610	50	319	162.4	0.51	52
65.0	D-E	1000	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 355.6 \times 7.9$	86.29	123	5090	41	331	115.9	0.36	118
56.5	E-F	1200	Ss-2 (ケース3)	$\phi 406.4 \times 12.7$	157.1	139	5160	37	336	76.4	0.23	149
48.0	F-G	1510	Ss-2 (ケース6)	$\phi 558.8 \times 16$	272.8	192	8590	45	326	55.4	0.17	103

注記*1 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

*2 : (1. 2) 式による検討を示す。

注 : 許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力

λ : 細長比 (L_k / i)

A : 断面積

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)

i : 断面二次半径

σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

L_k : 座屈長さ

表 6-3 水平材の断面算定 (STK400[STK41])

標高 T. M. S. L. (m)	部材 位置	評価用応力		使用部材			L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	共振風速 V_r^{*2} (m/s)
		N (kN)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	i (mm)						
80.0	B	65.1	Ss-1 ^{*1} (ケース6)	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	2500	33	249	21.8	0.09	29
72.5	C	98.9	Ss-2 (ケース6)	$\phi 216.3 \times 4.5$	29.94	74.9	5230	70	219	33.1	0.16	26
65.0	D	178	Ss-2 (ケース6)	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	2730	25	253	30.3	0.12	53
56.5	E	342	Ss-2 (ケース6)	$\phi 318.5 \times 6$	58.91	111	5730	52	236	58.1	0.25	48
48.0	F	274	Ss-2 (ケース3)	$\phi 406.4 \times 6.4$	80.42	141	3000	21	254	34.1	0.14	112

注記*1 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

*2 : (1. 2) 式による検討を示す。

注 : 許容応力度は材料強度評価に基づく。

記号の説明

N : 軸力

λ : 細長比 (L_k / i)

A : 断面積

f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)

i : 断面二次半径

σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)

L_k : 座屈長さ

表 6-4 筒身部の断面算定 (SMA400AP[SMA41A])

標高 T. M. S. L. (m)	部 材 間	評価用応力			使 用 部 材			$c f_{c r}$ (N/mm ²)	$b f_{b r}$ (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{c f_{c r}} + \frac{\sigma_b}{b f_{b r}}$	共振風速 U_r^{*2} (m/s)
		N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)	寸法 (mm)	A ^{*1} (×10 ² mm ²)	Z ^{*1} (×10 ³ mm ³)						
85.0	A-B	16.6	827	Ss-2 (ケース6)	φ 2812× 6	352	24700	186	201	0.5	33.5	0.17	40
80.0	B-C	149	2650	Ss-2 (ケース6)	φ 2812× 6	352	24700	186	201	4.3	107.3	0.56	
72.5	C-D	192	3360	Ss-2 (ケース6)	φ 2812× 6	352	24700	186	201	5.5	136.1	0.71	
65.0	D-E	236	5910	Ss-2 (ケース6)	φ 2816× 8	529	37000	208	219	4.5	159.8	0.76	
56.5	E-F	228	7120	Ss-2 (ケース3)	φ 2816× 8	529	37000	208	219	4.4	192.5	0.91	
48.0	F-G	487	8490	Ss-2 (ケース6)	φ 2824× 12	883	61800	231	237	5.6	137.4	0.61	
39.0													

注記*1 : 腐食代2mmを考慮する。

*2 : (1. 3) 式による検討を示す。

注 : 時刻歴断面算定結果を示す。

記号の説明

- N : 軸力 $c f_{c r}$: 局部座屈を考慮した圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
- M : 曲げモーメント $b f_{b r}$: 局部座屈を考慮した曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の1.1倍) による)
- A : 断面積 σ_c : 圧縮応力度 (N/A, 圧縮を正とする)
- Z : 断面係数 σ_b : 曲げ応力度 (M/Z)

7. 制震装置（オイルダンパー）支持部の評価

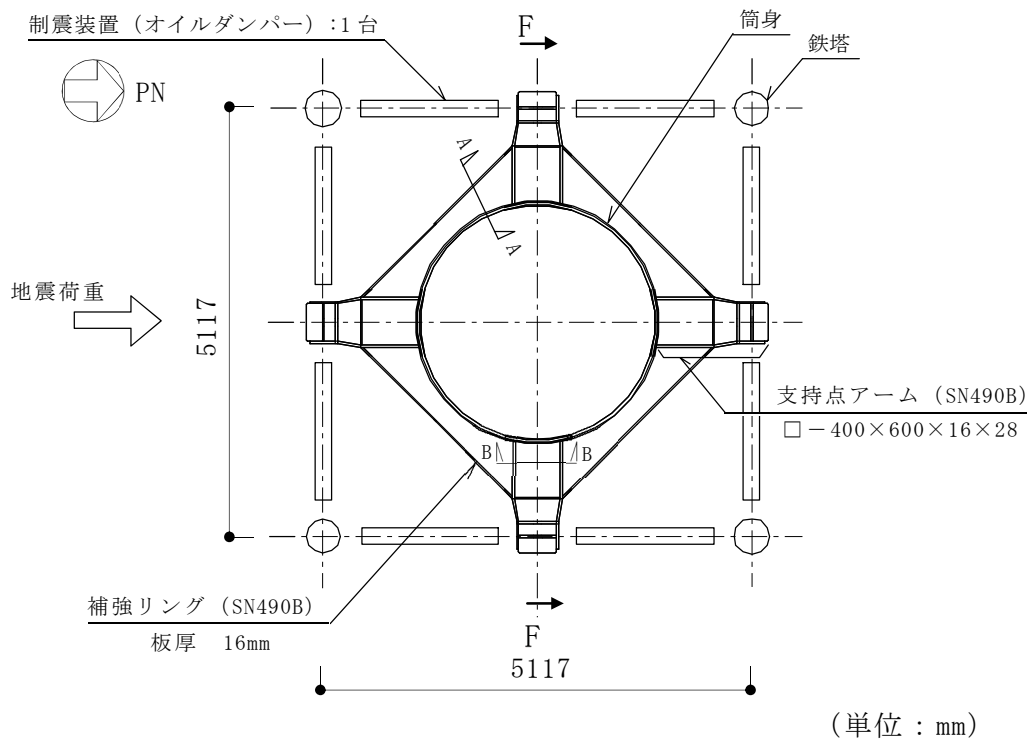
制震装置（オイルダンパー）支持部平面図及び支持点荷重を図 7-1 に示す。

制震装置（オイルダンパー）と筒身は，支持点アームの先端で接続しており，制震装置（オイルダンパー）の反力は支持点アームの先端に伝達し，筒身周囲に設けた補強リングによって抵抗させる。

制震装置（オイルダンパー）支持部の評価は，基準地震動 S_s による地震荷重に対して行う。地震荷重として支持点アームに加わる荷重は，基準地震動 S_s による主排気筒の地震応答解析より求まる制震装置（オイルダンパー）の反力から設定した値とする。

補強リング及び支持点アームの評価用応力は，補強リング及び支持点アームを線材置換した図 7-1 に示す 2 次元フレームモデルに，支持点荷重 F を作用させる静的解析に基づく最大発生応力とする。

補強リング及び支持点アームの評価用応力及び断面算定結果を表 7-1 及び表 7-2 に示す。



(単位 : mm)

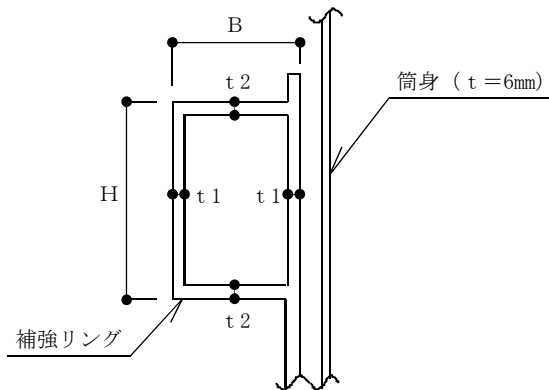
支持点レベル T. M. S. L. (m)	支持点荷重 F (kN/箇所)	地震動 (組合せ) (ケース)
76.25	444	Ss-1 (NS+鉛直) (ケース 6)
解析モデルに対する支持点荷重 F の载荷方法		

図 7-1 制震装置 (オイルダンパー) 支持部平面図及び支持点荷重

表 7-1 補強リングの断面算定 (SN490B)

断面寸法				評価用応力 (S_s-1 (NS+鉛直) (ケース 6))			断面性能		
H (mm)	B (mm)	t 1 (mm)	t 2 (mm)	N (kN)	M (kN・m)	Q (kN)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	A _s ($\times 10^2$ mm ²)
400	362	16	16	219	93.6	128	233.6	2650	105.6

応力度			許容応力度			許容応力度比	
σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _s (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$
9.4	35.4	12.2	325	325	187	0.14	0.07



補強リング断面図 (図 7-1 中 A-A 断面)

記号の説明

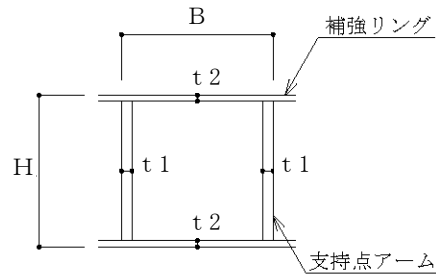
- H : 補強リング高さ
- B : 補強リング幅
- t 1, t 2 : 補強リング板厚
- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- Q : せん断力
- A : 断面積
- Z : 断面係数
- A_s : せん断断面積
- σ_c : 圧縮応力度
- σ_b : 曲げ応力度
- τ : せん断応力度
- f_c : 許容圧縮応力度
- f_b : 許容曲げ応力度
- f_s : 許容せん断応力度

表 7-2 支持点アームの断面算定 (SN490B)

断面寸法				評価用応力 (Ss-1 (NS+鉛直) (ケース 6))		断面性能		応力度		許容応力度		許容応力度比	
H (mm)	B (mm)	t1 (mm)	t2 (mm)	M (kN・m)	Q (kN)	Z ($\times 10^3 \text{ mm}^3$)	A _s ($\times 10^2 \text{ mm}^2$)	σ_b (N/mm ²)	τ (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	f _s (N/mm ²)	$\frac{\sigma_b}{f_b}$	$\frac{\tau}{f_s}$
400	600	28	16	350	444	7540	174.1	46.5	25.6	325	187	0.15	0.14

記号の説明

- H : 支持点アーム高さ
- B : 支持点アーム幅
- t1, t2 : 支持点アーム板厚
- M : 曲げモーメント
- Q : せん断力
- Z : 断面係数
- A_s : せん断断面積
- σ_b : 曲げ応力度
- τ : せん断応力度
- f_b : 許容曲げ応力度
- f_s : 許容せん断応力度

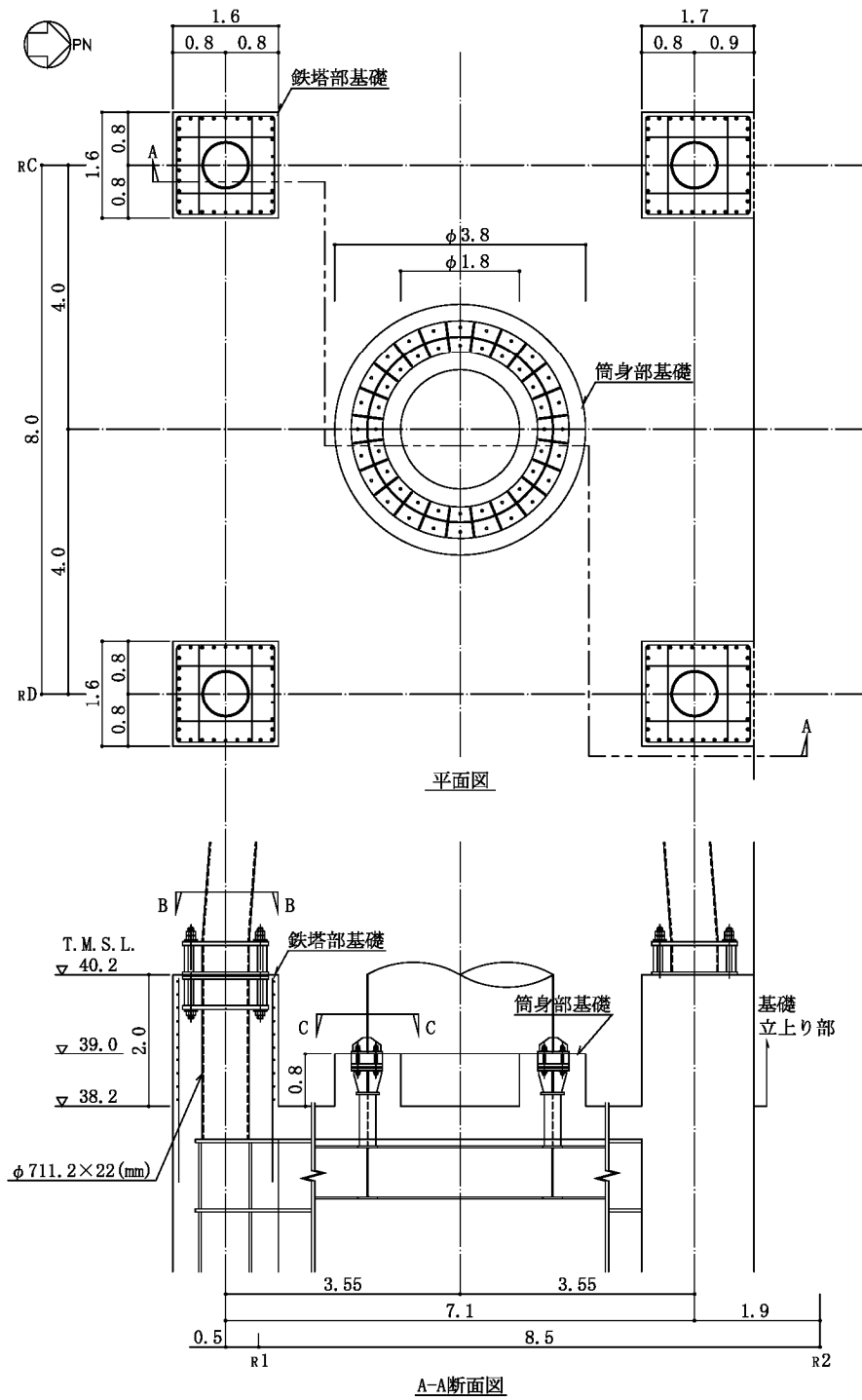


支持点アーム断面図 (図 7-1 中 B-B 断面)

8. 基礎の評価

8.1 基礎の概要

主排気筒の基礎は、原子炉建屋と一体となった鉄骨鉄筋コンクリート造の立上り部である。主排気筒の基礎の概要図を図8-1に、主排気筒の基礎の詳細図を図8-2に筒身部基礎の詳細図を図8-3に示す。



(単位：m)

図8-1 主排気筒の基礎の概要図

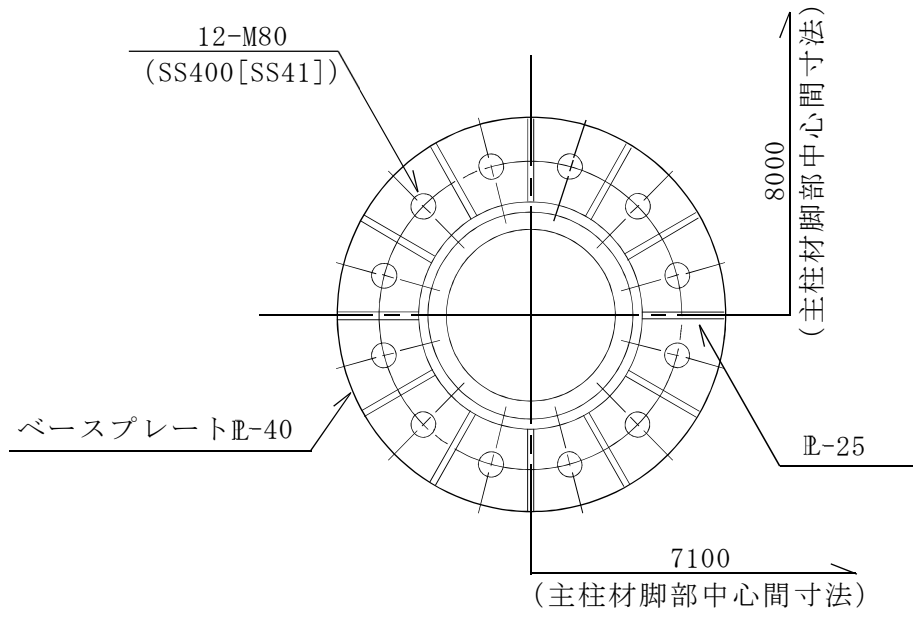


図 8-2 鉄塔部基礎の詳細図 (B-B 矢視) (単位 : mm)

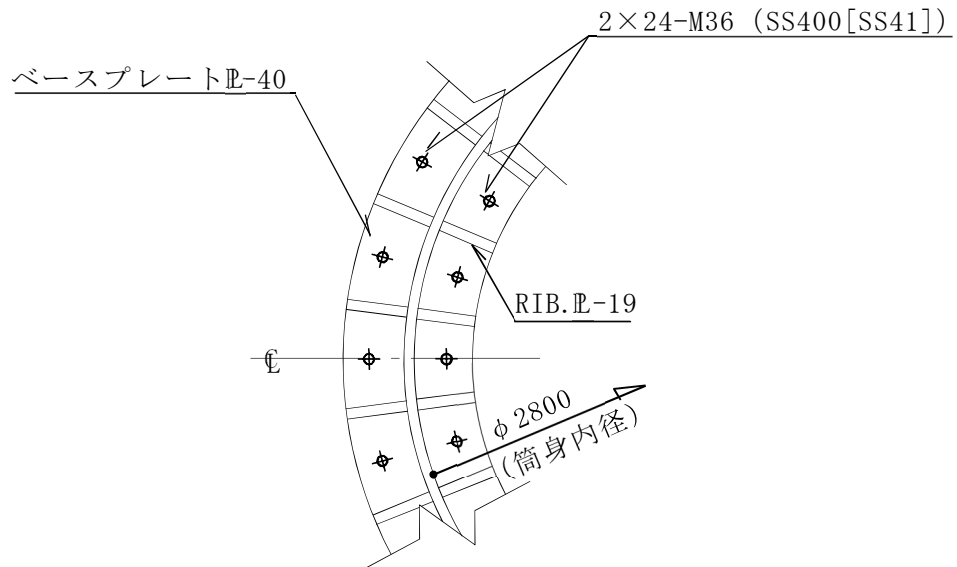


図 8-3 筒身部基礎の詳細図 (C-C 矢視) (単位 : mm)

8.2 荷重及び荷重の組合せ

主排気筒の基礎は、風荷重又は地震荷重の大きい方と主排気筒より受ける鉛直荷重を組合せたもののうち、最も不利な組合せを考慮する。基礎が主排気筒より受ける荷重を表 8-1 に示す。

表 8-1 基礎が主排気筒より受ける荷重

		鉛直荷重	水平荷重				評価用応力*	
			風荷重*		地震荷重			
			90° 方向	45° 方向	静的	動的*		
鉄塔部 基礎	引張側軸力 (kN)	250	-1010	-1750	-2410	<u>-8980</u>	S _s -2 (ケース6)	-8980 (動的地震荷重)
	圧縮側軸力 (kN)	347	1740	1520	2410	<u>9820</u>		9820 (動的地震荷重)
	水平力 (kN)	50.2	482	535	501	<u>1940</u>		1940 (動的地震荷重)
	曲げモーメント (kN・m)	12.5	78.1	109	54.1	<u>332</u>		332 (動的地震荷重)
筒身部 基礎	圧縮側軸力 (kN)	598	616	616	—	<u>978</u>	S _s -2 (ケース6)	978 (動的地震荷重)
	水平力 (kN)	—	561	568	293	<u>1170</u>		1170 (動的地震荷重)
	曲げモーメント (kN・m)	—	1670	1340	4790	<u>3930</u>		3930 (動的地震荷重)

注記* : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

注1 : 軸力は圧縮を正とする。

注2 : 下線部は最大となる応力を示す。

8.3 基礎の評価

(1) 鉄塔部

a. 基礎ボルトの評価

(a) 評価用応力

評価用応力を表 8-2 に示す。基礎ボルトの評価用応力は、地震応答解析の結果より設定する。

表 8-2 評価用応力

	軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	地震動 (ケース)
基準地震動 S _s による地震力	-8980	332	1940	Ss-2 (ケース 6)

鉄塔部基礎ボルトの評価位置 (T. M. S. L. 40.2m, 赤枠部)

(単位 : m)

注：軸力は圧縮を正とする。

(b) 評価結果

軸力、曲げモーメント及びせん断力を考慮する。なお、せん断力は各基礎ボルトに均等に作用するものとする。基礎ボルトの諸元を表 8-3 に、鉄塔の断面性能を表 8-4 に示す。

表 8-3 基礎ボルトの諸元

材料	基礎ボルト 本数 n	ねじ部 公称径 d ₀ (mm)	ねじ部 有効断面積 A ₀ (×10 ² mm ²)
ボルト (SS400[SS41])	12	80	43.40*

注記*：細目ねじとする。(M80×6)

表 8-4 鉄塔の断面性能 (主柱材: $\phi 711.2 \times 19\text{mm}$)

断面積 $A (\times 10^2 \text{mm}^2)$	断面係数 $Z (\times 10^3 \text{mm}^3)$
413.2	6960

(基準地震動 S_s による地震力に対する評価)

- 鉄塔の引張応力度

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} - \frac{N}{A} = 265.1 \text{N/mm}^2$$

- 基礎ボルト 1 本当たりの引張力 $T_a = \frac{\sigma_t \cdot A}{n} = 912.9 \text{kN}$

- 基礎ボルト 1 本当たりのせん断力 $Q_a = \frac{Q}{n} = 161.7 \text{kN}$

- 引張応力度 $\sigma = \frac{T_a}{A_0} = 211 \text{N/mm}^2 < 236 \text{N/mm}^2$ 可

- せん断応力度 $\tau = \frac{Q_a}{A_0} = 37.3 \text{N/mm}^2 < 236 \text{N/mm}^2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 136 \text{N/mm}^2$ 可

注記* : 許容引張応力度 (f_{ts}) = $1.4 f_{t0} - 1.6 \tau = 1.4 \times 236 - 1.6 \times 36.3$
 $= 270 \text{N/mm}^2$ かつ 236N/mm^2 以下
 $\rightarrow f_{ts} = 236 \text{N/mm}^2$

ここで,

T_a : 基礎ボルト 1 本当たりの引張力

Q_a : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断力

σ : 引張応力度

τ : せん断応力度

f_{ts} : せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力度 (鋼構造設計規準に基づく)

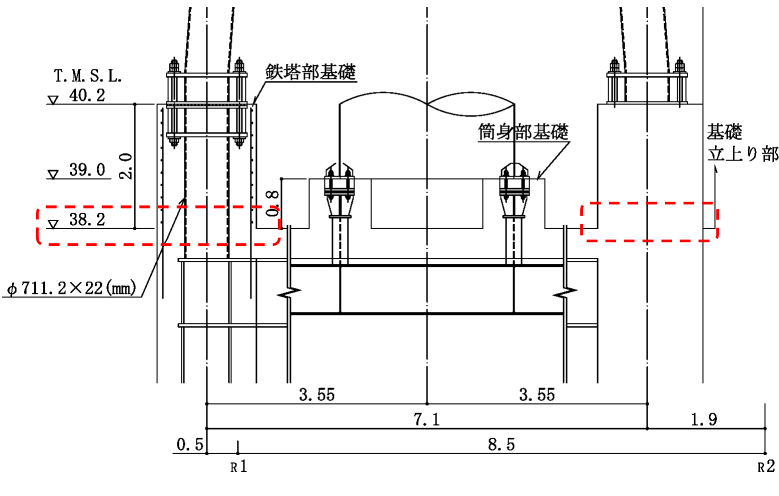
f_{t0} : ボルト (SS400[SS41], M80) の許容引張応力度 = $215 \times 1.1 = 236 \text{N/mm}^2$ (鋼構造設計規準に基づく)

b. 基礎立上り部の評価

(a) 評価用応力

評価用応力を表 8-5 に示す。基礎立上り部の評価用応力は、地震応答解析の結果より設定する。

表 8-5 評価用応力

		軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	地震動 (ケース)
基準地震動 S_s による地震力	引張側	-8980	3580	1940	Ss-2 (ケース 6)
	圧縮側	9820			
鉄塔部基礎立上り部の評価位置 (T. M. S. L. 38.2m, 赤枠部)					
					

注：軸力は圧縮を正とする。

(b) 評価結果

基礎は引張側より応力が支配的な圧縮側にて検討する。なお、曲げモーメント及びせん断力については鉄筋コンクリート部が負担し、軸力については鉄骨柱が負担するものとする。

鉄骨柱の諸元を表 8-6 に、鉄塔部基礎の断面性能を表 8-7 に示す。

基礎寸法は 2 種類 (1.6m×1.6m 及び 1.6m×1.7m) あるが、ここでは断面性能の低い基礎 (1.6m×1.6m) について評価を実施する。

表 8-6 鉄骨柱の諸元 (φ711.2×22mm)

断面積 $s A (\times 10^2 \text{mm}^2)$	断面係数 $s Z (\times 10^3 \text{mm}^3)$
476.3	7960

表 8-7 鉄塔部基礎の断面性能

断面積 $A (\times 10^2 \text{mm}^2)$	断面係数 $Z (\times 10^3 \text{mm}^3)$
20860	10234.3

注：基礎寸法 1.6m×1.6m の場合を示す。

(基準地震動 S_s による地震力に対する評価)

- 鉄筋コンクリート部主筋の応力度

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} = 350 \text{N/mm}^2 < 345 \times 1.1 = 379 \text{N/mm}^2 \quad \text{可}$$

- コンクリートのせん断応力度

$$\tau = \frac{Q}{A} = 0.931 \text{N/mm}^2 < 1.21 \text{N/mm}^2 \quad \text{可}$$

- 鉄骨柱の応力度

$$\sigma_c = \frac{N}{s A} = 207 \text{N/mm}^2 < 325 \times 1.1 = 357 \text{N/mm}^2 \quad \text{可}$$

ここで、

σ_t : 鉄筋コンクリート部主筋の応力度

τ : コンクリートのせん断応力度

σ_c : 鉄骨柱の応力度

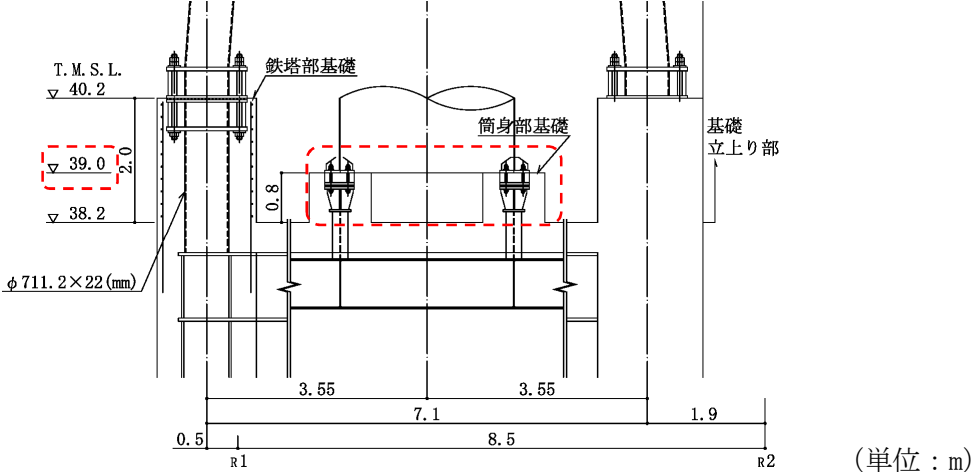
(2) 筒身部

a. 基礎ボルトの評価

(a) 評価用応力

基礎ボルトの評価用応力を表 8-8 に示す。基礎ボルトの評価用応力は、地震応答解析の結果より設定する。

表 8-8 基礎ボルトの評価用応力

	軸力 N (kN)	曲げモーメント M (kN・m)	せん断力 Q (kN)	地震動 (ケース)
基準地震動 S _s による地震力	598	3930	1170	Ss-2 (ケース 6)
筒身部基礎ボルトの評価位置 (T. M. S. L. 39.0m, 赤枠部)				
				

注：軸力は圧縮を正とする。

(b) 評価結果

軸力、曲げモーメント及びせん断力について考慮する。なお、せん断力は各基礎ボルトに均等に作用するものとする。基礎ボルトの諸元を表 8-9 に、筒身の断面性能を表 8-10 に示す。

表 8-9 基礎ボルトの諸元

材料	基礎ボルト 本数 n	ねじ部 公称径 d ₀ (mm)	ねじ部 有効断面積 A ₀ (×10 ² mm ²)
SS400[SS41]	2×24	36	8.17*

注記*：並目ねじとする。(M36×4)

表 8-10 筒身の断面性能

断面積 A (×10 ² mm ²)	断面係数 Z (×10 ³ mm ³)
883	61800

(基準地震動 S_s による地震力に対する評価)

・筒身の引張応力度

$$\sigma_t = \frac{M}{Z} - \frac{N}{A} = 56.9 \text{ N/mm}^2$$

・基礎ボルト 1 本当たりの引張力

$$T_a = \frac{\sigma_t \cdot A}{n} = 104.7 \text{ kN}$$

・基礎ボルト 1 本当たりのせん断力

$$Q_a = \frac{Q}{n} = 24.4 \text{ kN}$$

・引張応力度

$$\sigma = \frac{T_a}{A_0} = 129 \text{ N/mm}^2 < 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

・せん断応力度

$$\tau = \frac{Q_a}{A_0} = 29.9 \text{ N/mm}^2 < 258 \text{ N/mm}^2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 148 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

注記* : 許容引張応力度 (f_{ts}) = 1.4 f_{t0} - 1.6 τ = 1.4 × 258 - 1.6 × 29.9
 = 313 N/mm² かつ 258 N/mm² 以下
 → f_{ts} = 258 N/mm²

ここで,

T_a : 基礎ボルト 1 本当たりの引張力

Q_a : 基礎ボルト 1 本当たりのせん断力

σ : 引張応力度

τ : せん断応力度

f_{ts} : せん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力度 (鋼構造設計規準に基づく)

f_{t0} : ボルト (SS400[SS41]) の短期許容引張応力度 = 235 × 1.1 = 258 N/mm² (鋼構造設計規準に基づく)

9. SGTS 用排気筒の評価

9.1 SGTS 用排気筒部の評価

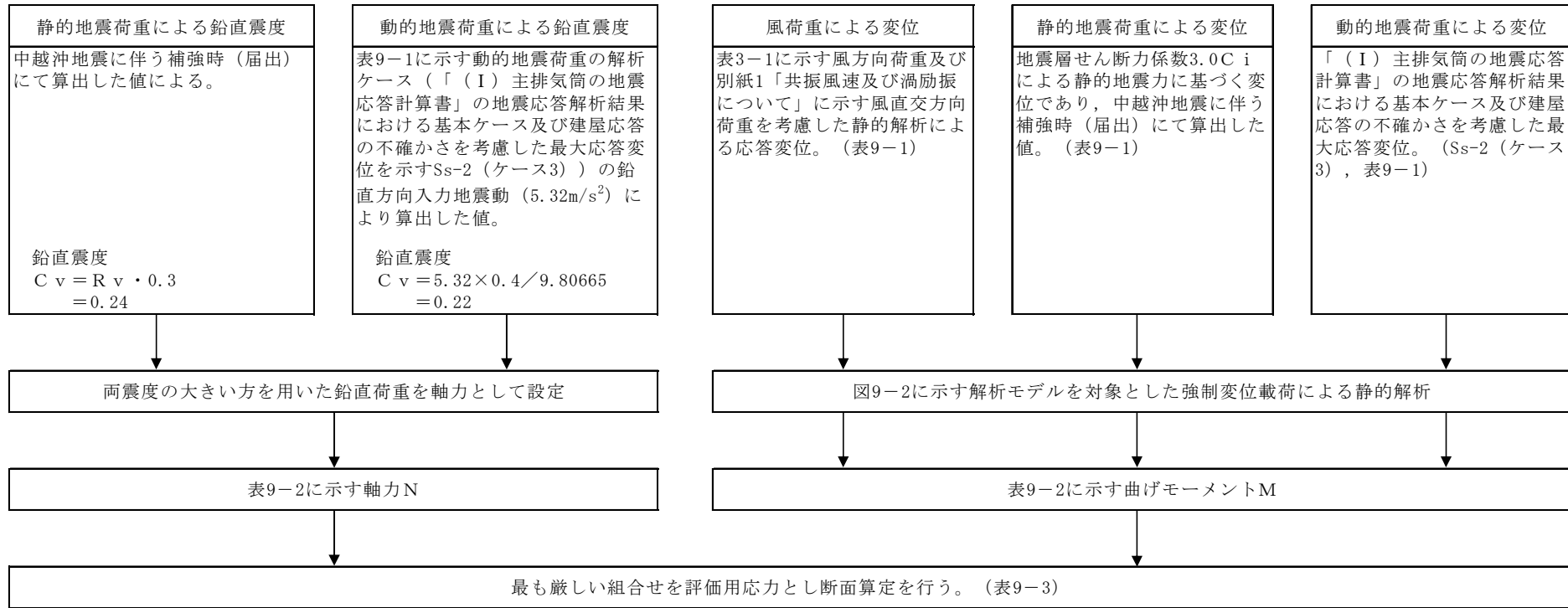
SGTS 用排気筒は、筒身に支持されている。SGTS 用排気筒の剛性は筒身の剛性に比べて小さいので、変形は筒身の変形に追従する。したがって、筒身の変位を SGTS 用排気筒に強制的に与えることにより応力を算出し、最大応力で断面の算定を行う。また、SGTS 用排気筒の各支持点間での 1 次固有振動数は高いので、筒身と共振することはない。

SGTS 用排気筒部の評価の概要を図 9-1 に示す。

SGTS 用排気筒部の評価用応力のうち、曲げモーメントについては、風荷重及び地震荷重による強制変位載荷により算出し、各部材間で最大となる応力を設定する。詳細には、表 9-1 に示す筒身脚部 (T. M. S. L. 38. 2m) に対する相対変位を図 9-2 に示す解析モデルに対し強制載荷する。このとき、動的地震荷重による変位は、「(I) 主排気筒の地震応答計算書」の地震応答解析結果による基本ケース及び建屋応答の不確かさを考慮した最大応答変位である。また、静的地震荷重による変位は、地震層せん断力係数 3.0 Ci による静的地震力に基づく変位であり、中越沖地震に伴う補強時 (届出) にて算出した値を用いる。風荷重による変位は、表 3-1 に示す風方向荷重及び別紙 1「共振風速及び渦励振について」に示す風直交方向荷重を考慮した静的解析による応答変位である。

軸力については、地震荷重による鉛直震度により算出し、各部材間で最大となる応力を設定する。このとき、動的荷重による鉛直震度は、表 9-1 に示す動的地震荷重の解析ケース (Ss-2 (ケース 3)) における入力地震動 (T. M. S. L. 38. 2m における原子炉建屋の鉛直方向応答加速度) により算出する。静的地震荷重による震度は、鉛直震度 0.3 を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して設定しており、中越沖地震に伴う補強時 (届出) にて算出した値を用いる。

図 9-3 に筒身部及び SGTS 用排気筒概要を、表 9-2 に SGTS 用排気筒応力及び表 9-3 に断面算定の結果を示す。なお、断面性能の算定には、保守的に腐食代を筒身部内側に 2mm を考慮する。



注：R_vは鉛直方向振動特性係数（0.8）を示す。

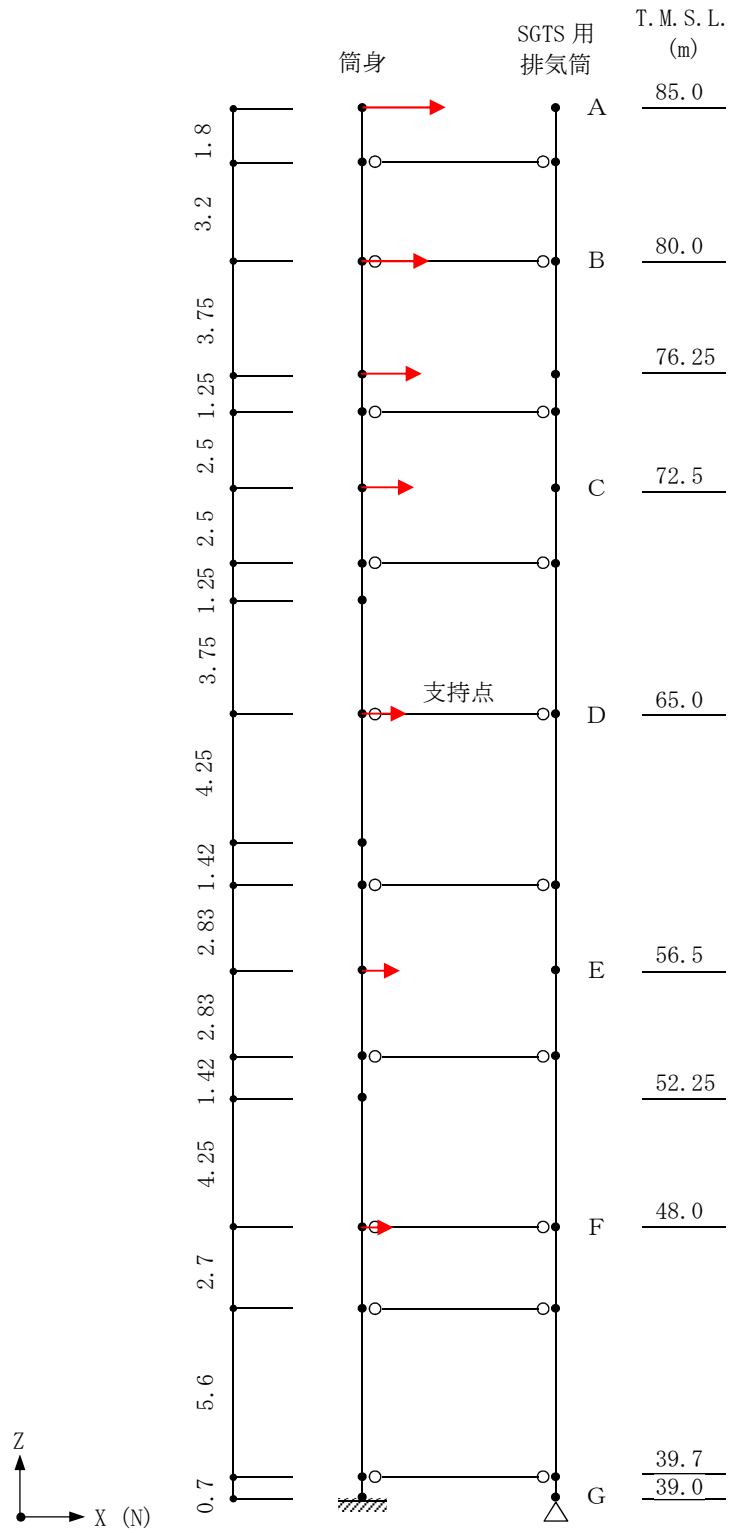
図9-1 SGTS用排気筒部の評価の概要

表 9-1 最大応答変位 (SGTS 用)

支持点	標高 T. M. S. L. (m)	風荷重 (mm)		地震荷重 (mm)	
		90° 方向*1	45° 方向	静的	動的*2
A	85.0	218	215	134	306
B	80.0	181	178	111	248
制震装置支持部	76.25	154	151	93.9	205
C	72.5	127	125	78.0	166
D	65.0	77.3	75.6	49.9	97.5
E	56.5	31.4	30.2	24.3	39.7
F	48.0	5.07	4.55	7.40	7.28

注記*1 : NS 方向に対する風荷重載荷時の値を示す。

*2 : Ss-2 (ケース 3) の最大応答変位を示す。



注：強制変位の入カイメージを赤矢印で示す。

図 9-2 解析モデル

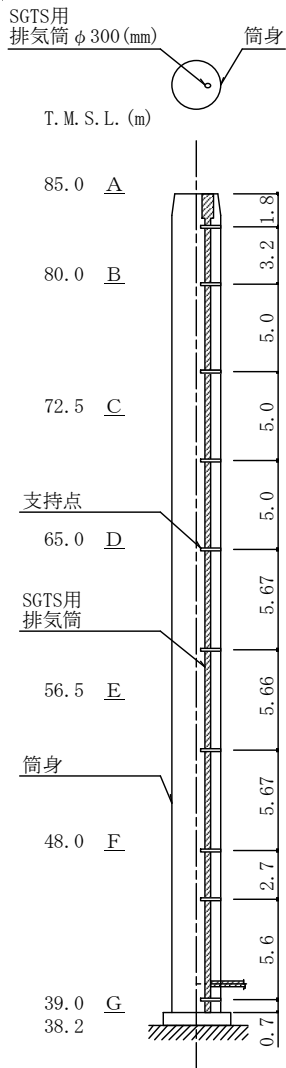


図 9-3 SGTS 用排気筒概要

表 9-2 評価用応力

部材間	軸力 N (kN)		曲げモーメント M (kN・m)			評価用応力	
	地震荷重		風荷重	地震荷重		N (kN)	M (kN・m)
	静的	動的		静的	動的 ^{*1, *2}		
A-B	<u>7.35</u>	7.23	0.225	0.249	<u>1.38</u>	7.35	1.38
B-C	<u>15.0</u>	14.8	1.91	2.33	<u>6.78</u>	15.0	6.78
C-D	<u>22.7</u>	22.3	3.11	2.21	<u>6.57</u>	22.7	6.57
D-E	<u>31.3</u>	30.8	6.74	3.07	<u>8.71</u>	31.3	8.71
E-F	<u>39.9</u>	39.3	9.01	3.43	<u>9.97</u>	39.9	9.97
F-G	<u>51.5</u>	50.7	9.01	4.72	<u>9.97</u>	51.5	9.97

注記*1 : 鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 建屋応答の不確かさを考慮した値であり、Ss-2 (ケース3) による。

注 : 下線部は断面算定に用いた値を示す。

表 9-3 SGTS 用排気筒の断面の算定結果 (STS410[STS42])

部材間	部材長 (m)	評価用応力		使用部材				L _k (mm)	λ	f _c (N/mm ²)	f _b (N/mm ²)	σ _c (N/mm ²)	σ _b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
		N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A (×10 ² mm ²)	Z (×10 ³ mm ³)	i (mm)							
A-B	3.20	7.35	1.38	φ 300×10.3	80.9	611	110.0	3200	29	232	245	1.0	2.3	0.02
B-C	5.00	15.0	6.78					5000	45	216	245	1.9	11.1	0.06
C-D	5.00	22.7	6.57					5000	45	216	245	2.9	10.8	0.06
D-E	5.67	31.3	8.71					5670	52	207	245	3.9	14.3	0.08
E-F	5.67	39.9	9.97					5670	52	207	245	5.0	16.4	0.10
F-G	5.60	51.5	9.97					5600	51	208	245	6.4	16.4	0.10

44

記号の説明

- N : 軸力
- M : 曲げモーメント
- A : 断面積
- Z : 断面係数
- i : 断面二次半径
- L_k : 座屈長さ
- λ : 細長比 (L_k / i)
- f_c : 圧縮応力度に対する許容値
- f_b : 曲げ応力度に対する許容値
- σ_c : 圧縮応力度 (N / A, 圧縮を正とする)
- σ_b : 曲げ応力度 (M / Z)

9.2 支持部の評価

SGTS 用排気筒の支持部は図 9-4 に示すとおり、筒身に SGTS 用排気筒を水平方向に支持する構造である。

支持部は筒身内面からの片持ち部材を主とする構造である。評価においては SGTS 用排気筒支持レベルにおける筒身の基準地震動 S_s に対する加速度応答を考慮する。断面算定は支持部を構成する部材について行っているが、ここでは支持部構成部材のうち、片持ち部材の材軸に対し直交方向に地震荷重が作用する場合について断面算定を行う。詳細には、表 9-4 に示す荷重を考慮した静的応力解析を行い、解析結果に基づく断面算定を行う。荷重の載荷方法を図 9-5 に、SGTS 用排気筒支持部断面の算定結果を表 9-5 に示す。

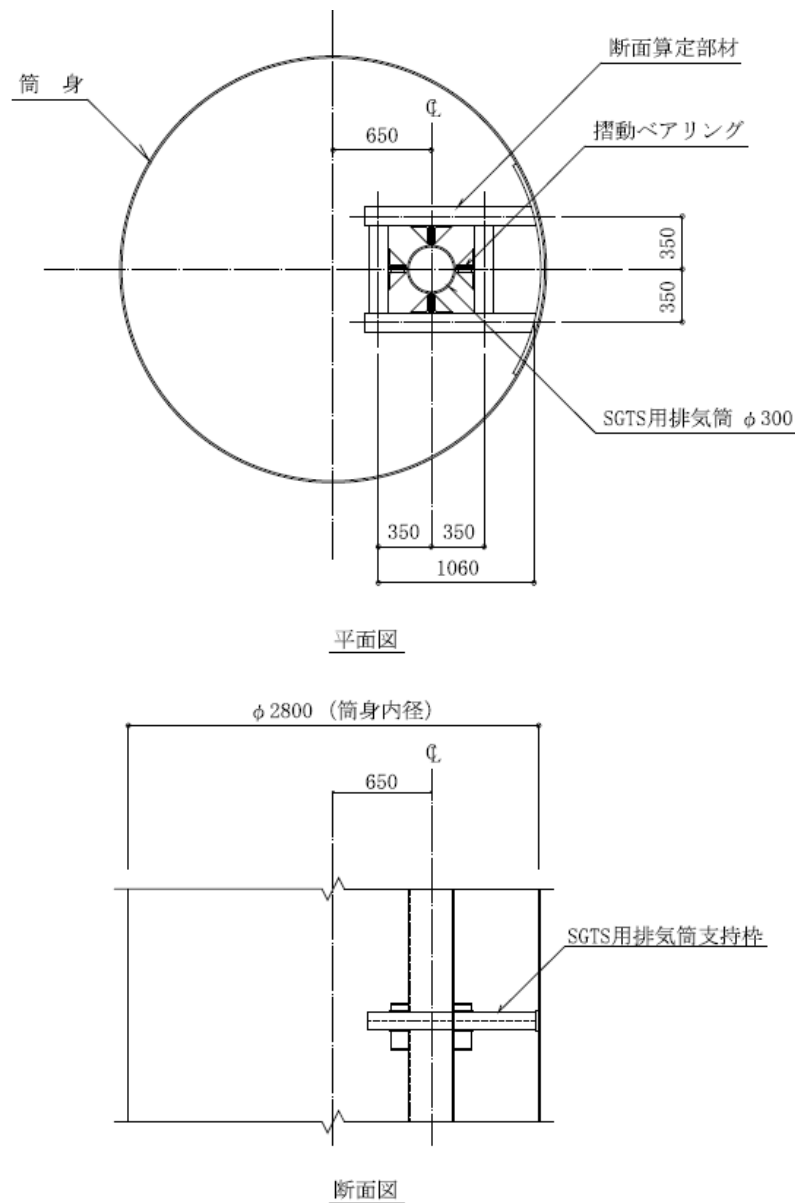


図 9-4 支持部の概要 (単位 : mm)

表 9-4 荷重

(a) 水平震度算定に用いた応答加速度

T. M. S. L. (m)	加速度 (m/s ²)	地震動 (組合せ) (ケース)	備考
85.0	72.4	Ss-1 (NS+鉛直) (ケース 6)	当該レベルの 最大加速度応答
83.2	66.9	(線形補間結果)	荷重算定の際に 水平震度として考慮
80.0	57.2	Ss-2 (NS+EW+鉛直) (ケース 6)	当該レベルの 最大加速度応答

(b) 荷重算定表

T. M. S. L. (m)	固定荷重 (t)	水平震度	固定荷重 × 水平震度 (t)	評価用荷重 F (kN)
83.2	0.45	6.83	3.08	30.21

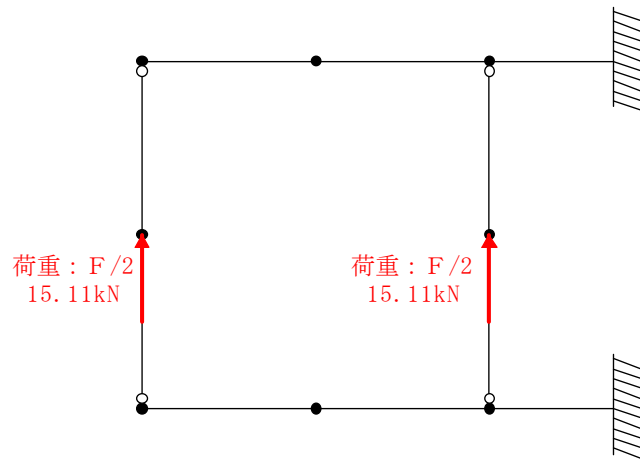


図 9-5 荷重の載荷方法

表 9-5 SGTS 用排気筒の支持部断面の算定結果 (SS400[SS41])

部材長 (m)	評価用応力		使用部材				L_k (mm)	λ	f_c (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	σ_c (N/mm ²)	σ_b (N/mm ²)	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$
	N (kN)	M (kN・m)	寸法 (mm)	A ($\times 10^2$ mm ²)	Z ($\times 10^3$ mm ³)	i (mm)							
1.06	0.0	10.8	H-125×125×6.5×9	22.1	102.2	22.2	2120	95	142	258	0.0	105.7	0.41

記号の説明

N : 軸力

 λ : 細長比 (L_k / i)

M : 曲げモーメント

 f_c : 圧縮応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による)

A : 断面積

 f_b : 曲げ応力度に対する許容値 (建築基準法に基づく鋼材の材料強度 (F 値の 1.1 倍) による)

Z : 断面係数

 σ_c : 圧縮応力度 (N / A , 圧縮を正とする)

i : 断面二次半径

 σ_b : 曲げ応力度 (M / Z) L_k : 座屈長さ

10. 評価結果

以上の評価結果より主排気筒は荷重に対し、発生応力が評価基準値以内となっており十分な安全余裕を有している。

別紙1 共振風速及び渦励振について

目 次

1. 概要	別紙 1-1
2. 検討方針	別紙 1-2
3. 渦励振の発生の有無	別紙 1-4
3.1 鉄塔部	別紙 1-4
3.1.1 判定方法	別紙 1-4
3.1.2 判定結果	別紙 1-6
3.1.3 実状に応じた見直しを考慮した判定結果	別紙 1-7
3.2 筒身部	別紙 1-10
4. 渦励振を考慮した場合の解析	別紙 1-11
4.1 渦励振による風直交方向荷重	別紙 1-11
4.2 解析結果	別紙 1-13

1. 概要

本資料は、VI-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」（以下「今回設工認」という。）における断面算定表について、記載されている共振風速の設計上の取扱いを説明し、渦励振の発生の有無の確認及び渦励振による風直交方向荷重による検討について示す資料である。

なお、本計算書における使用計算機コードは「f a p p a s e」である。また、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2. 検討方針

主排気筒のような煙突構造物では、カルマン渦の発生周波数と構造物の固有振動数が一致する風速で、風直交方向に大きな振動（渦励振）が発生するおそれがある。この風速を共振風速として、今回設工認における断面算定表に記載している。記載した共振風速を表 2-1 に示す。

鉄塔部（支柱材、斜材及び水平材）における共振風速 V_r は、次式により算定する。

$$V_r = D \cdot f_L / S_t \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、

V_r : 個材の共振風速 (m/s)

D : 円形断面個材の外径 (m)

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

S_t : ストローハル数（円形断面につき 0.18）

なお、表 2-1 に示した鉄塔部の共振風速は、柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機「柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機の工事計画の変更認可について」（6 資庁第 3247 号 平成 6 年 4 月 27 日）（以下「建設時工認（認可）」という。）にて算出した値を用いている。

筒身部における共振風速 U_r は、次式により算定する。

$$U_r = 5 \cdot f_L \cdot D_m \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで、

U_r : 筒身部の共振風速 (m/s)

f_L : 風直交方向振動の 1 次固有振動数（=2.86Hz）

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径（=2.816m）

H : 煙突の基準高さ（=73.0m）

なお、表 2-1 に示した筒身部の共振風速は、柏崎刈羽原子力発電所第 6 号機「工事計画届出書」（総官発 20 第 179 号 平成 20 年 8 月 25 日）（以下「中越沖地震に伴う補強時（届出）」という。）にて算出した値を用いている。

「煙突構造設計指針」（（社）日本建築学会，2007 制定）（以下「煙突構造設計指針」という。）に基づき、鉄塔部の個材及び筒身部に対する渦励振について検討を行う。検討フローを図 2-1 に示す。

表 2-1 今回設工認における共振風速

(a) 主柱材

主柱材 (mm)	部材間	共振風速 V_r (m/s)
$\phi 318.5 \times 6$	B - C	175
$\phi 406.4 \times 6.4$	C - D	414
$\phi 508.0 \times 7.9$	D - E	504
$\phi 609.6 \times 16$	E - F	719
$\phi 711.2 \times 19$	F - G	284

(b) 斜材

斜材 (mm)	部材間	共振風速 V_r (m/s)
$\phi 216.3 \times 4.5$	B - C	35
$\phi 267.4 \times 6$	C - D	52
$\phi 355.6 \times 7.9$	D - E	118
$\phi 406.4 \times 12.7$	E - F	149
$\phi 558.8 \times 16$	F - G	103

(c) 水平材

水平材 (mm)	部材位置	共振風速 V_r (m/s)
$\phi 216.3 \times 4.5$	B	29
$\phi 216.3 \times 4.5$	C	26
$\phi 318.5 \times 6$	D	53
$\phi 318.5 \times 6$	E	48
$\phi 406.4 \times 6.4$	F	112

(d) 筒身部

筒身部 (mm)	部材間	共振風速 U_r (m/s)
$\phi 2812 \times 6$	A - B	40
$\phi 2812 \times 6$	B - C	
$\phi 2812 \times 6$	C - D	
$\phi 2816 \times 8$	D - E	
$\phi 2816 \times 8$	E - F	
$\phi 2824 \times 12$	F - G	

K6 ① VI-2-7-2-1 別紙 1 R0

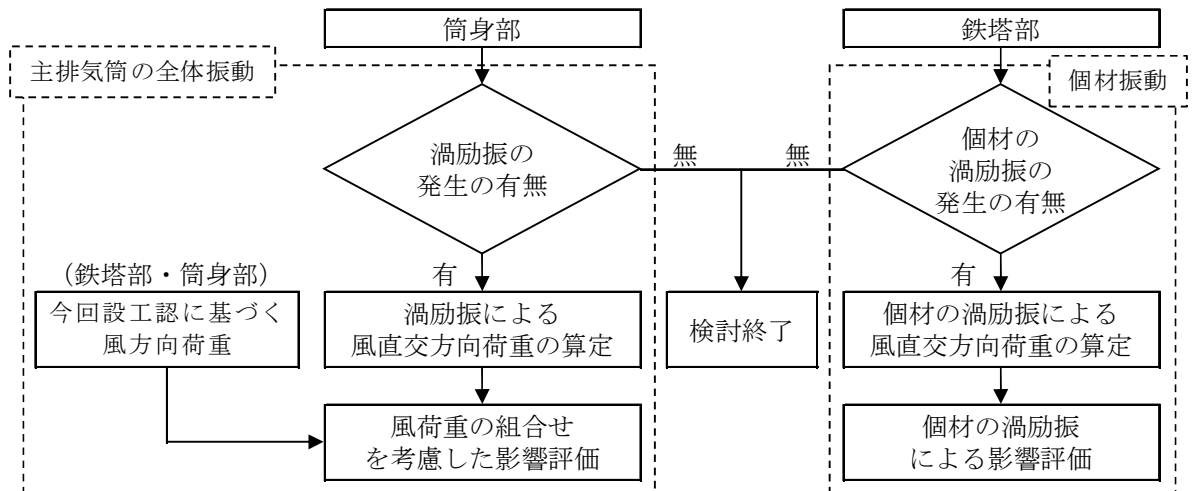


図 2-1 検討フロー

3. 渦励振の発生の有無

3.1 鉄塔部

3.1.1 判定方法

鉄塔部について、個材の渦励振に関する判定フローを図 3-1 に示す。

「煙突構造設計指針」では、次式の条件を満たす個材に対して、渦励振を考慮するものとしている。

$$U_z / (f_L \cdot D) \geq 0.83 / S_t \quad \text{かつ} \quad L / D \geq 15 \dots\dots\dots (3.1)$$

ここで、

U_z : 個材の平均高さ Z における設計風速 (m/s), 今回設工認に示す基準風速 (=40.1m/s) とする。

f_L : 個材の曲げ振動の 1 次固有振動数 (Hz)

S_t : ストローハル数 (円形断面につき 0.18)

L : 個材の長さ (m)

D : 円形断面個材の外径 (m)

(3.1) 式から、(3.2) 式又は (3.3) 式のいずれかを満たす場合は、渦励振を考慮しなくても良いと判断できる。

$$40.1 / (f_L \cdot D) < 0.83 / S_t \dots\dots\dots (3.2)$$

$$L / D < 15 \dots\dots\dots (3.3)$$

ここで (3.2) 式に (2.1) 式を代入し、式変形させたものを (3.4) 式に示す。

$$48.4 < V_f \dots\dots\dots (3.4)$$

以上より、(3.3) 式及び (3.4) 式に基づき、個材の渦励振の発生の有無について判定する。

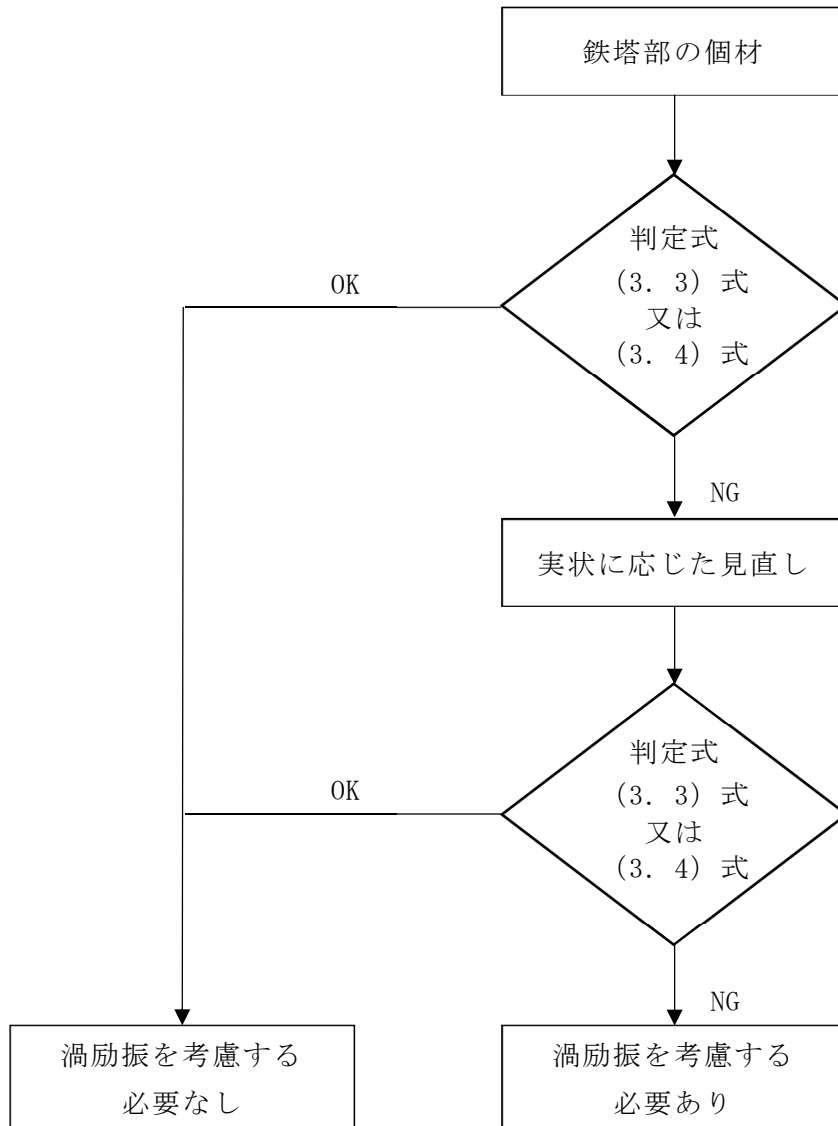


図 3-1 個材の渦励振に関する判定フロー

3.1.2 判定結果

判定結果を表 3-1 に示す。

判定の結果、一部の斜材及び水平材については、(3.3)式及び(3.4)式のいずれも満たさない。しかしながら、判定に用いた個材の長さLや共振風速 V_r は、建設時工認（認可）にて算出した保守的な値を用いている。よって、斜材及び水平材について実状に応じた見直しを行う。

表 3-1 個材の渦励振に関する判定結果

(a) 主柱材

主柱材 (mm)	部材間	L (m)	D (m)	L/D	共振風速 V_r (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
$\phi 318.5 \times 6$	B-C	3.75	0.3185	11.78	175	OK	OK	不要
$\phi 406.4 \times 6.4$	C-D	3.75	0.4064	9.23	414	OK	OK	不要
$\phi 508.0 \times 7.9$	D-E	4.25	0.5080	8.37	504	OK	OK	不要
$\phi 609.6 \times 16$	E-F	4.25	0.6096	6.98	719	OK	OK	不要
$\phi 711.2 \times 19$	F-G	7.88	0.7112	11.08	284	OK	OK	不要

(b) 斜材

斜材 (mm)	部材間	L (m)	D (m)	L/D	共振風速 V_r (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
$\phi 216.3 \times 4.5$	B-C	4.54	0.2163	20.99	35	NG	NG	要
$\phi 267.4 \times 6$	C-D	4.61	0.2674	17.25	52	NG	OK	不要
$\phi 355.6 \times 7.9$	D-E	5.09	0.3556	14.32	118	OK	OK	不要
$\phi 406.4 \times 12.7$	E-F	5.16	0.4064	12.70	149	OK	OK	不要
$\phi 558.8 \times 16$	F-G	8.59	0.5588	15.38	103	NG	OK	不要

(c) 水平材

水平材 (mm)	部材位置	L (m)	D (m)	L/D	共振風速 V_r (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
$\phi 216.3 \times 4.5$	B	5.00	0.2163	23.12	29	NG	NG	要
$\phi 216.3 \times 4.5$	C	5.23	0.2163	24.18	26	NG	NG	要
$\phi 318.5 \times 6$	D	5.46	0.3185	17.15	53	NG	OK	不要
$\phi 318.5 \times 6$	E	5.73	0.3185	18.00	48	NG	NG	要
$\phi 406.4 \times 6.4$	F	6.00	0.4064	14.77	112	OK	OK	不要

3.1.3 実状に応じた見直しを考慮した判定結果

個材の長さ L の設定例を図 3-2 に示す。

建設時工認（認可）において、共振風速 V_r の算定に用いた個材の長さ L には接合部を無視した保守的な値を設定している。実際には、接合部間において個材の曲げ振動が発生し、1次固有振動数 f_L に影響を及ぼすと考えられる。そのため、実状に応じた見直しとして、個材の長さ L を以下のような設定とする。

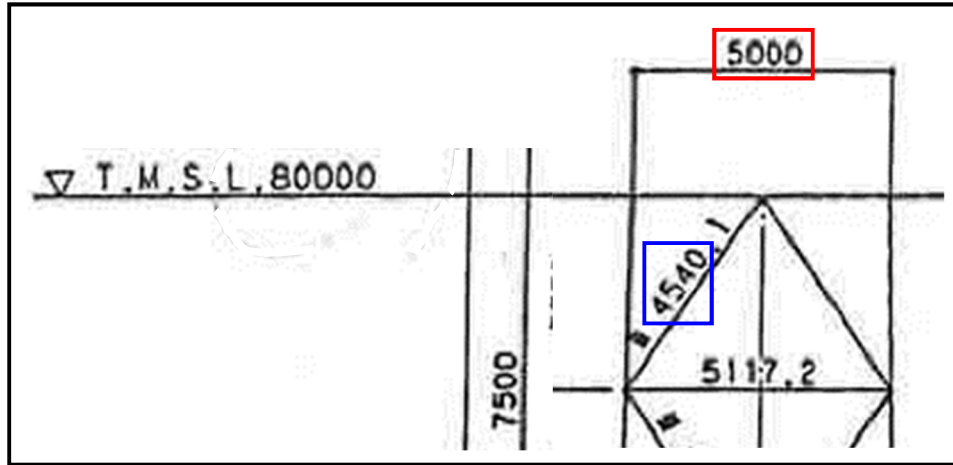
- ・ 水平材：ガセットの端部－継手のボルト中心間
- ・ 斜 材：継手のボルト中心－継手のボルト中心間

なお、個材の曲げ振動の1次固有振動数 f_L を算定する際の境界条件は、保守的にピン接合－ピン接合とする。

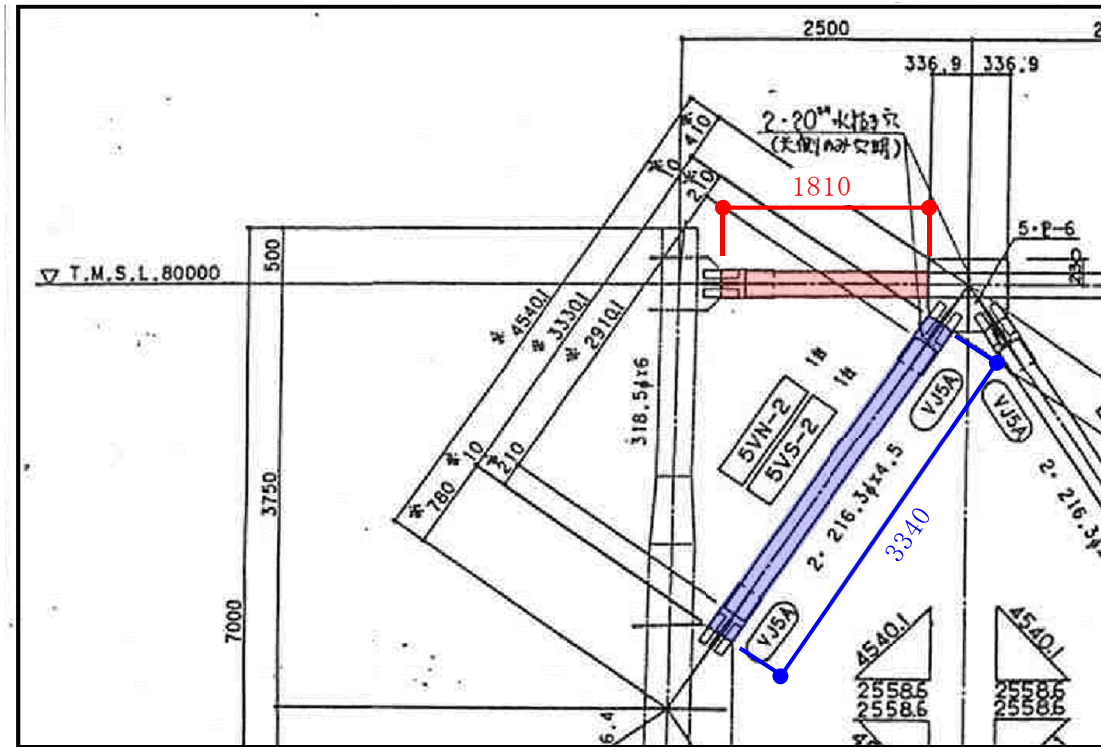
実状に応じた見直しを考慮した判定結果を表 3-2 に示す。

判定の結果、いずれの部材についても（3. 3）式又は（3. 4）式のいずれかを満たす。

以上より、鉄塔部における個材振動に関し、渦励振を考慮する必要は無いと判断した。



(a) 建設時工認における設定例（施工図*に対し加筆）



(b) 施工図*を参考とした実状に応じた見直し例

注記*： 柏崎刈羽原子力発電所第6号機工事の内 発電所本館建物新設工事
 (その2) 排気筒工事を示す。

注1： 青枠内及び青字は、斜材（B-C間）の個材長さLを示す。

注2： 赤枠内及び赤字は、水平材（B）の個材長さLを示す。

図3-2 個材の長さLの設定例（単位：mm）

表 3-2 実状に応じた見直しを考慮した判定結果

(a) 斜材

斜材 (mm)	部材間	L ^{*1} (m)	D (m)	L/D ^{*2}	共振風速 V _r ^{*2} (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
φ 216.3× 4.5	B-C	3.34	0.2163	15.45	64	NG	OK	不要
φ 267.4× 6	C-D	3.14	0.2674	11.75	111	OK	OK	不要
φ 355.6× 7.9	D-E	3.32	0.3556	9.34	176	OK	OK	不要
φ 406.4× 12.7	E-F	3.05	0.4064	7.51	271	OK	OK	不要
φ 558.8× 16	F-G	5.16	0.5588	9.24	180	OK	OK	不要

注記*1 : 実状に応じた個材の長さLの見直し結果を示す。

*2 : 実状に応じた見直しを考慮し再算定した結果を示す。

(b) 水平材

水平材 (mm)	部材位置	L ^{*1} (m)	D (m)	L/D ^{*2}	共振風速 V _r ^{*2} (m/s)	判定		
						(3.3)式	(3.4)式	渦励振 の考慮
φ 216.3× 4.5	B	1.81	0.2163	8.37	220	OK	OK	不要
φ 216.3× 4.5	C	1.76	0.2163	8.14	233	OK	OK	不要
φ 318.5× 6	D	1.73	0.3185	5.44	524	OK	OK	不要
φ 318.5× 6	E	1.70	0.3185	5.34	543	OK	OK	不要
φ 406.4× 6.4	F	1.43	0.4064	3.52	1255	OK	OK	不要

注記*1 : 実状に応じた個材の長さLの見直し結果を示す。

*2 : 実状に応じた見直しを考慮し再算定した結果を示す。

3.2 筒身部

煙突構造設計指針では、次式の条件を満たす煙突に対しては、渦励振を考慮するものとしている。

$$U_H / (f_L \cdot D_m) \geq 4.2 \dots\dots\dots (3.5)$$

ここで、

U_H : 基準風速 (=40.1m/s)

f_L : 風直交方向振動の1次固有振動数 (=2.86Hz)

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ 2H/3 における外径 (=2.816m)

H : 煙突の基準高さ (=73.0m)

以上を (3.5) 式に代入すると (3.6) 式となる。

$$40.1 / (2.86 \times 2.816) = 4.979 \geq 4.2 \dots\dots\dots (3.6)$$

以上より、主排気筒は (3.5) 式の条件を満たすため、渦励振による風直交方向荷重を考慮する必要がある。

4. 渦励振を考慮した場合の解析

4.1 渦励振による風直交方向荷重

「煙突構造設計指針」より、風直交方向荷重の算定式を(4.1)式に示す。

$$W_r = 0.8 \cdot \rho \cdot U_r^2 \cdot C_r \cdot \frac{Z}{H} \cdot A_F \dots \dots \dots (4.1)$$

ここで、

W_r : 地表面からの高さ Z における渦励振による風直交方向荷重(N)

ρ : 空気密度 (=1.22kg/m³)

U_r : 共振風速(m/s) = $5 \cdot f_L \cdot D_m$ (=40.3m/s*)

f_L : 風直交方向振動の1次固有振動数 (=2.86Hz)

D_m : 円形断面を有する煙突の高さ $2H/3$ における外径
(=2.816m)

C_r : 共振時風力係数 = $0.57/\sqrt{\zeta_L}$ (=1.21)

ζ_L : 風直交方向振動の1次減衰定数 (=0.225)

Z : 地表面からの高さ(m)

H : 煙突の基準高さ (=73.0m)

A_F : 地表面からの高さ Z における風向き 0° に直角な面に投影した
煙突の投影面積(m²)

注記* : 今回設工認における筒身部の共振風速は $U_r = 40\text{m/s}$ と示している。渦励振の有無の判定については、共振風速は小さい方が保守的であるため当該数値を記載しているが、荷重として考慮する場合は大きい方が保守的であるため、本評価では、 $U_r = 40.3\text{m/s}$ とする。

以上より算定した筒身部の風直交方向荷重を表 4-1 に示す。

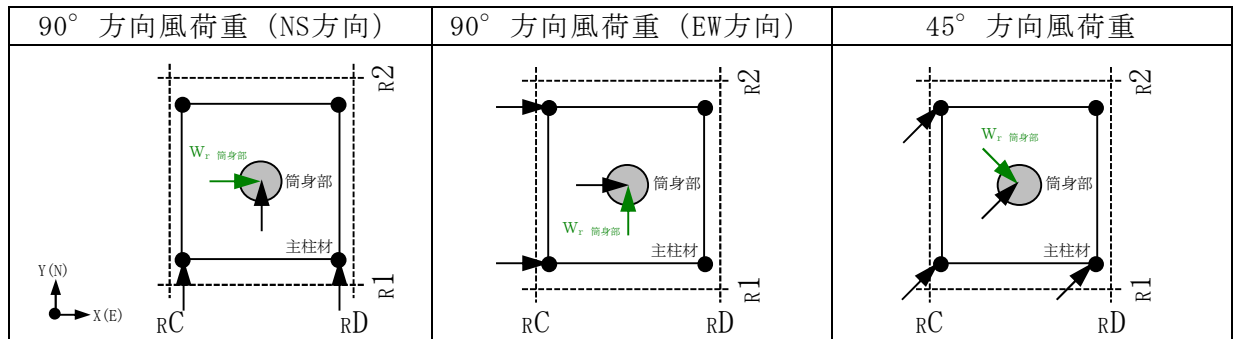
表 4-1 風直交方向荷重（共振風速 40.3m/s）

(a) 荷重表

標高 T. M. S. L. (m)	$\frac{0.8 \cdot \rho \cdot U_r^2 \cdot C_r \cdot Z}{H \cdot 1000}$ (kN/m ²)	見付面積 A _F (m ²)	風荷重 W _r (kN)
85.00	1.92	6.8	14
80.00	1.79	12.3	22
76.25	1.69	10.6	18
72.50	1.59	15.8	26
65.00	1.39	22.5	32
56.50	1.17	24.0	29
48.00	0.946	24.7	24
39.00	0.709	12.7	10

注：90° 方向及び45° 方向の風直行方向荷重の値は同一。

(b) 載荷方向



注：黒矢印は風荷重（風方向荷重），緑矢印は風直交方向荷重を示す。

4.2 解析結果

解析ケースを表 4-2 に、各ケースにおける荷重の載荷方向及び荷重図を表 4-3 に示す。また、各解析より求まる各部材の発生応力の最大値を表 4-4～表 4-7 に示す。なお、表 4-4～表 4-7 には比較のため、今回設工認に基づく地震荷重による部材応力を示す。

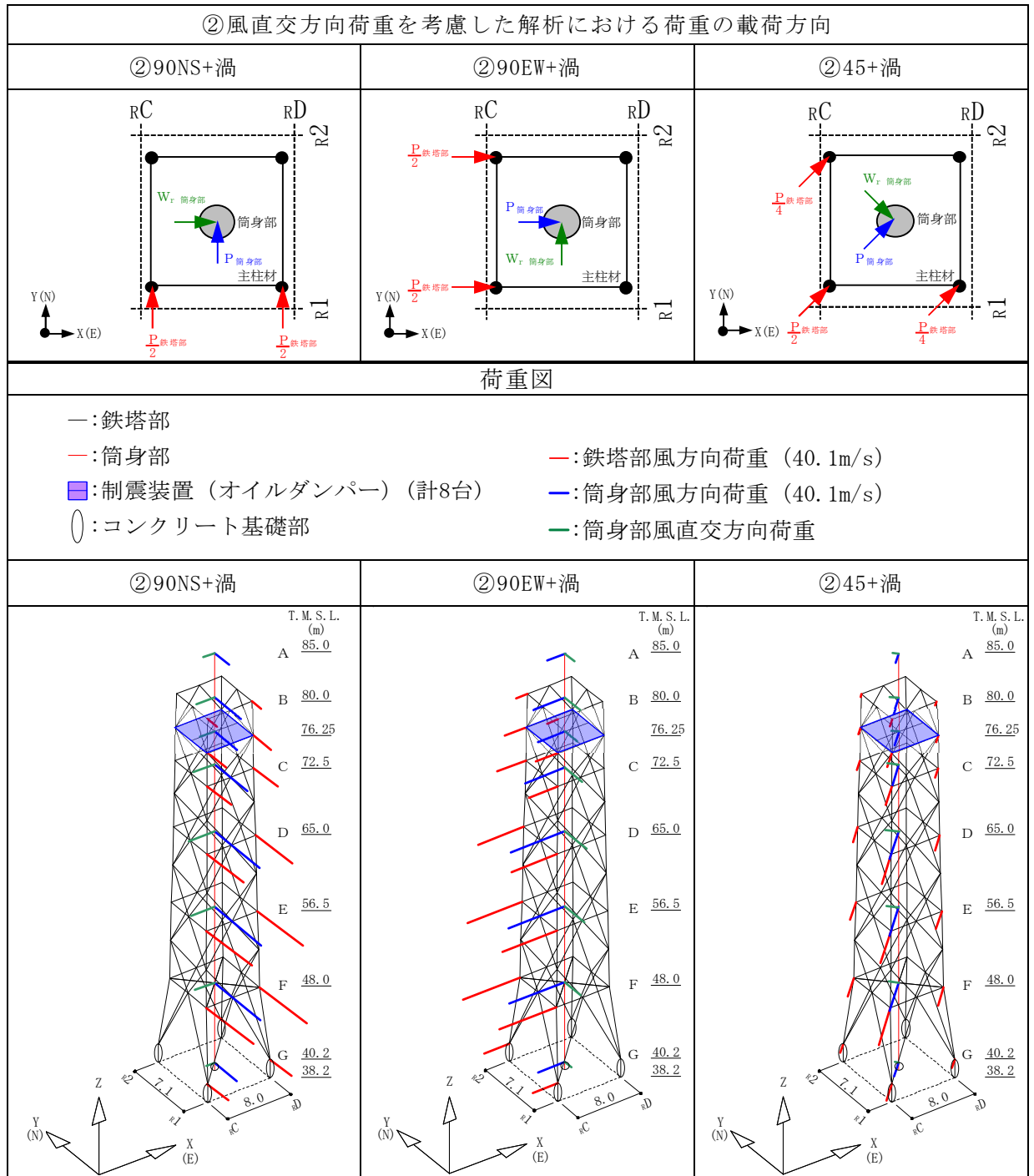
表 4-4～表 4-7 より、全ての部材において、渦励振を考慮することで多少応力は増加するものの、いずれも地震荷重による応力を下回る。

以上より、渦励振を考慮した場合でも主排気筒の発生応力は、評価基準以内となっており、十分な安全余裕を有していることを確認した。

表 4-2 解析ケース

検討 ケース	解析 ケース名	風荷重の組合せ			
		今回設工認	風方向荷重	渦励振（風直交方向荷重）	
		風速 (m/s)	風方向	風速 (m/s)	風方向
① 風方向荷重 単独解析 (今回設工認)	①90NS	40.1	90° 方向 (NS)	—	—
	①90EW	40.1	90° 方向 (EW)	—	—
	①45	40.1	45° 方向	—	—
② 風直交方向 荷重を考慮 した解析	②90NS+渦	40.1	90° 方向 (NS)	40.3 (共振風速)	90° 方向 (EW)
	②90EW+渦	40.1	90° 方向 (EW)	40.3 (共振風速)	90° 方向 (NS)
	②45+渦	40.1	45° 方向	40.3 (共振風速)	135° 方向

表 4-3 各ケースにおける荷重の載荷方向及び荷重図



注：各荷重線の長さは、荷重の大きさを示す。

表 4-4 主柱材 最大応答 (軸力及び曲げモーメント)

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	風荷重*												地震荷重		
		①90NS		②90NS+渦		①90EW		②90EW+渦		①45		②45+渦		動的*		
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)
80.0	B-C	10.4	0.819	10.4	0.824	10.4	0.815	10.4	0.818	10.4	0.862	10.4	0.861	<u>21.5</u>	<u>27.2</u>	Ss-2 (ケース6)
72.5	C-D	87.0	9.05	87.5	9.12	86.5	8.84	86.9	8.90	86.1	10.5	86.0	10.5	<u>1160</u>	<u>102</u>	Ss-2 (ケース6)
65.0	D-E	195	9.23	196	9.40	196	9.39	196	9.51	-262	7.08	-263	7.11	<u>2910</u>	<u>164</u>	Ss-2 (ケース6)
56.5	E-F	437	64.7	435	72.5	436	57.6	435	63.9	-684	39.2	-684	39.5	<u>5510</u>	<u>609</u>	Ss-2 (ケース6)
48.0	F-G	605	64.7	696	60.1	724	33.6	732	52.1	-1200	44.1	-1200	45.3	<u>7620</u>	<u>703</u>	Ss-2 (ケース6)
40.2																

注記* : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

M : 曲げモーメント

表 4-5 斜材 最大応答 (軸力)

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	風荷重 ^{*1}						地震荷重	
		①90NS	②90NS+渦	①90EW	②90EW+渦	①45	②45+渦	動的 ^{*1}	
		N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)
80.0	B-C	33.9	34.5	33.5	33.9	46.8	47.1	<u>686</u>	Ss-1 ^{*2} (ケース6)
72.5	C-D	59.9	60.5	59.4	59.9	82.5	82.8	<u>800</u>	Ss-1 ^{*2} (ケース6)
65.0	D-E	107	108	108	109	-148	-148	<u>1000</u>	Ss-1 ^{*2} (ケース6)
56.5	E-F	162	164	177	180	208	212	<u>1200</u>	Ss-2 (ケース3)
48.0	F-G	710	712	590	594	-578	675	<u>1510</u>	Ss-2 (ケース6)
40.2									

注記*1 : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 4-6 水平材 最大応答 (軸力)

標高 T. M. S. L. (m)	部材位置	風荷重 ^{*1}						地震荷重	
		①90NS	②90NS+渦	①90EW	②90EW+渦	①45	②45+渦	動的 ^{*1}	
		N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	N (kN)	地震動 (ケース)
80.0	B	12.2	12.2	12.2	12.2	10.3	10.3	<u>65.1</u>	Ss-1 ^{*2} (ケース6)
72.5	C	29.0	29.1	29.0	29.0	28.9	28.9	<u>98.9</u>	Ss-2 (ケース6)
65.0	D	47.5	47.8	47.7	47.8	48.3	48.4	<u>178</u>	Ss-2 (ケース6)
56.5	E	51.3	51.6	50.2	50.2	71.0	73.0	<u>342</u>	Ss-2 (ケース6)
48.0	F	233	238	209	215	191	263	<u>274</u>	Ss-2 (ケース3)

注記*1 : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 入力地震動の組合せはNS+鉛直の結果を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

表 4-7 筒身部 最大応答 (軸力及び曲げモーメント)

標高 T. M. S. L. (m)	部材間	風荷重 ^{*1}												地震荷重		
		①90NS		②90NS+渦		①90EW		②90EW+渦		①45		②45+渦		動的 ^{*1, *2}		
		N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	N (kN)	M (kN・m)	地震動 (ケース)
85.0	A-B	23.0	110	23.0	130	23.0	110	23.0	130	23.0	110	23.0	130	<u>16.6</u>	<u>827</u>	Ss-2 (ケース6)
80.0	B-C	171	691	171	802	171	691	171	802	171	691	171	803	<u>149</u>	<u>2650</u>	Ss-2 (ケース6)
72.5	C-D	204	1220	204	1410	204	1220	204	1410	204	1220	204	1410	<u>192</u>	<u>3360</u>	Ss-2 (ケース6)
65.0	D-E	276	3520	276	4030	276	3520	276	4030	276	3520	276	4040	<u>236</u>	<u>5910</u>	Ss-2 (ケース6)
56.5	E-F	337	4690	337	5350	337	4690	337	5350	337	4690	337	5350	<u>228</u>	<u>7120</u>	Ss-2 (ケース3)
48.0	F-G	455	5860	455	6660	455	5860	455	6660	455	5860	455	6670	<u>487</u>	<u>8490</u>	Ss-2 (ケース6)
39.0																

注記*1 : 今回設工認に基づく鉛直荷重を考慮した値を示す。

*2 : 時刻歴評価に基づく応力を示す。

注 : 下線部は断面算定結果が最大となる値を示す。

記号の説明

N : 軸力 (圧縮を正とする。)

M : 曲げモーメント