

VI-2-9-4-5 放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備
並びに格納容器再循環設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1 非常用ガス処理系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1-1 非常用ガス処理系乾燥装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、非常用ガス処理系乾燥装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

非常用ガス処理系乾燥装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備としては常設重大事故等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

非常用ガス処理系乾燥装置の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>非常用ガス処理系乾燥装置は架台に取付ボルトで固定され、架台は基礎ボルト及び固定ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>角形ダクト式（湿分除去装置，加熱コイルを内蔵した乾燥装置）</p>	<p>(単位:mm)</p>

2.2 評価方針

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

非常用ガス処理系乾燥装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

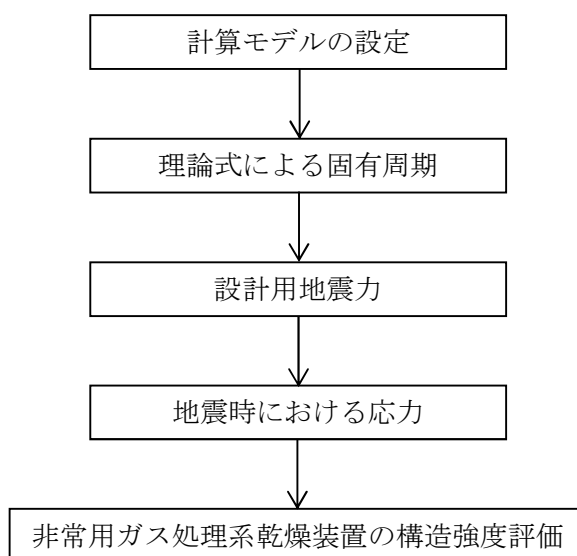


図 2-1 非常用ガス処理系乾燥装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A_e	有効せん断断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_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-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_{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	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面, 固定面又は架台上面から重心までの距離* ²	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
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	運転時質量* 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	—
n_{qi}	せん断力を受けるボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi} (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値* ¹	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , n_{qi} , 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

$i = 2$: 固定ボルト

$i = 3$: 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

$i = 2$: 固定面

$i = 3$: 架台上面

*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
断面二次モーメント	mm ⁴	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

非常用ガス処理系乾燥装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、固定ボルト及び取付ボルトについて実施する。非常用ガス処理系乾燥装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

非常用ガス処理系乾燥装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 非常用ガス処理系乾燥装置の質量は重心に集中するものとする。
- b. 変形は非常用ガス処理系乾燥装置をはりと考えたときの曲げ及びせん断変形を考慮する。
- c. 非常用ガス処理系乾燥装置は架台上にあり、架台は基礎ボルト及び固定ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

非常用ガス処理系乾燥装置は、図4-1に示す下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

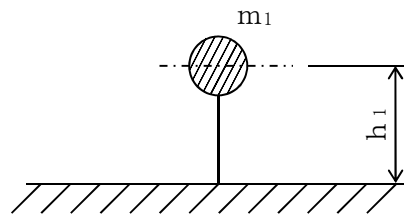


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数Kは次式で表される。

$$\text{水平方向 } K_H = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$\text{鉛直方向 } K_V = \frac{1000}{E \cdot A_e} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積A_eを用いる。

したがって、固有周期は次式で求められる。

$$\text{水平方向 } T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\text{鉛直方向 } T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系乾燥装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

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

表4-1 固有周期 (単位:s)

水平	
鉛直	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～d. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は非常用ガス処理系乾燥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) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (3) 基礎ボルト及び固定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する。
また、取付ボルトに対するせん断力は、長辺方向にスライドできるものとし、固定部（2本）のボルト本数のみで受けるものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

5.2.2 許容応力

非常用ガス処理系乾燥装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 乾燥装置	S	クラス4管*	$D + P_D + M_D + S_{d^*}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス4管の支持構造物を含む。

表5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 乾燥装置	常設／緩和	重大事故等 クラス2管* 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／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2管の支持構造物を含む。

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

表5-3 許容応力（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 (RT) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	66	225	385	—
固定ボルト		周囲環境温度	66			—
取付ボルト		最高使用温度	120			—

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 (RT) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	80	220	379	—
固定ボルト		周囲環境温度	80			—
取付ボルト		最高使用温度	120			—

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）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5*			C _H =0.78	C _V =0.56	C _H =1.22	C _V =1.13

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）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5*			—	—	C _H =1.22	C _V =1.13

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

基礎ボルト、固定ボルト及び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。

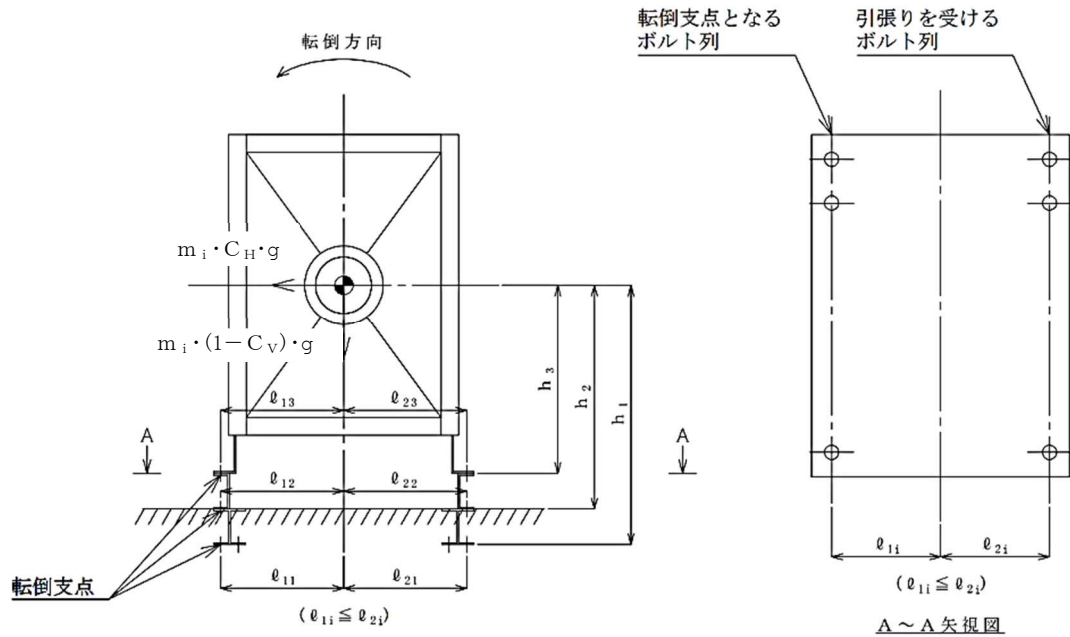


図 5-1(1) 計算モデル

(短辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

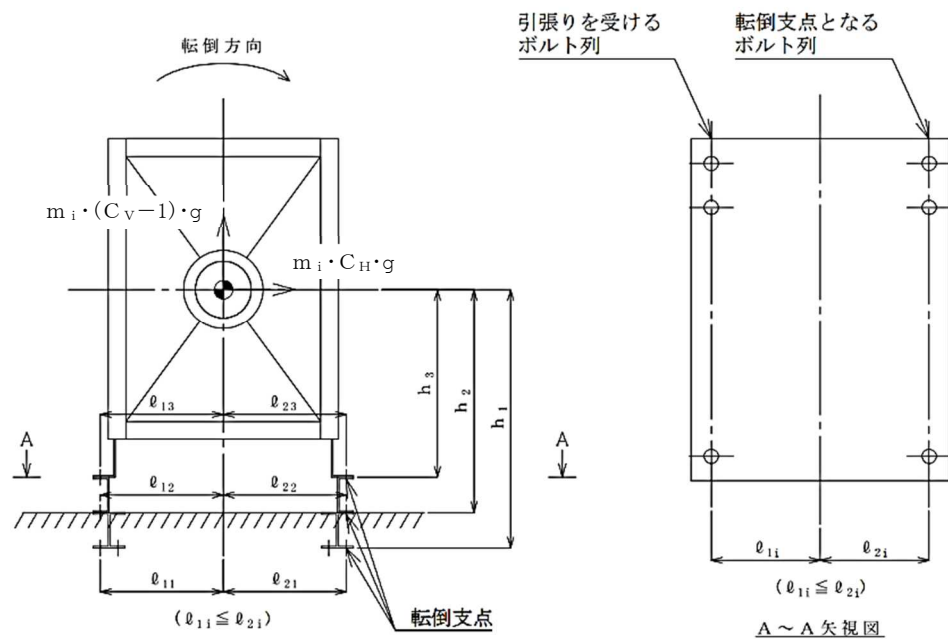


図 5-1(2) 計算モデル

(短辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

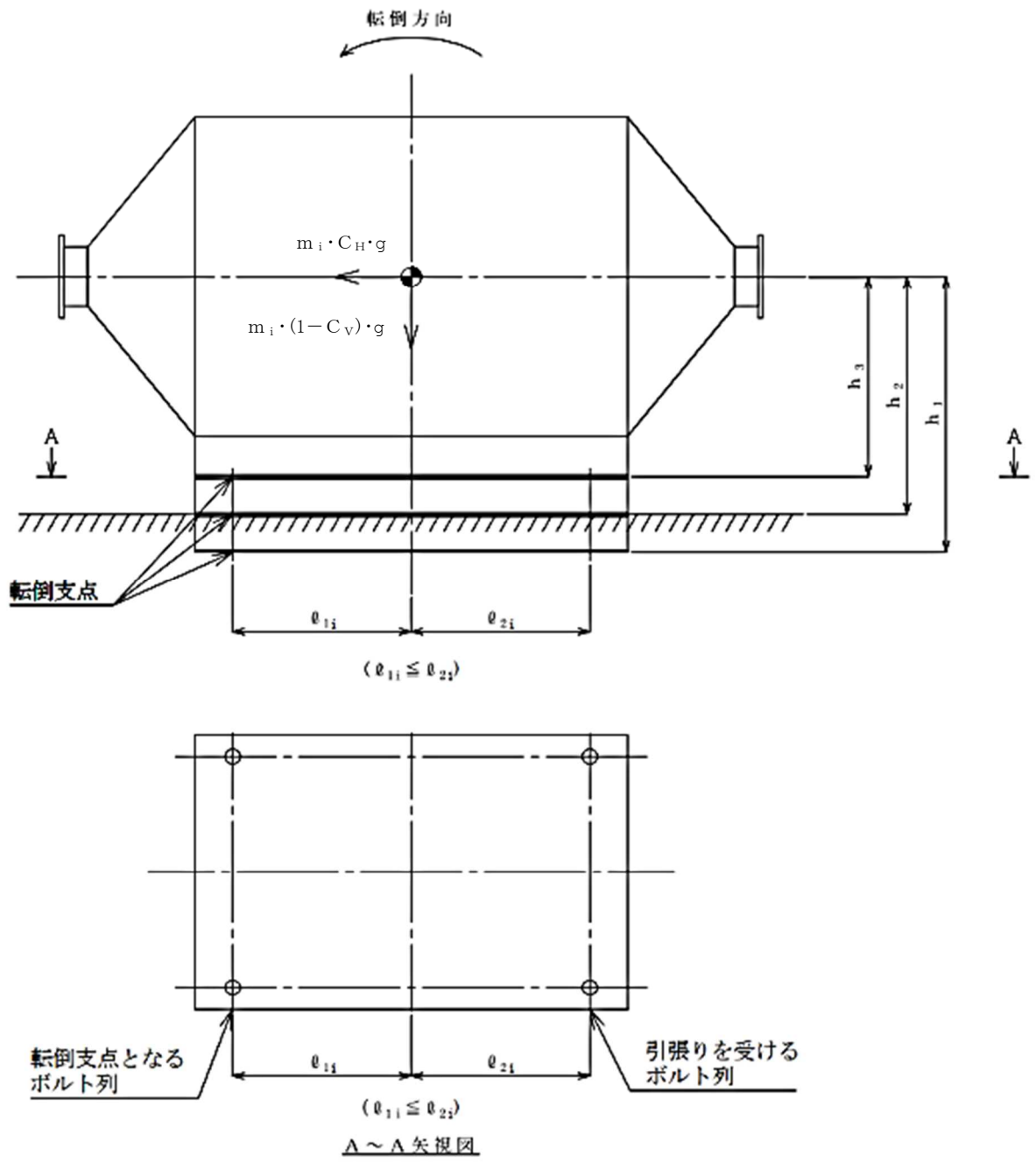


図 5-2(1) 計算モデル
 (長辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

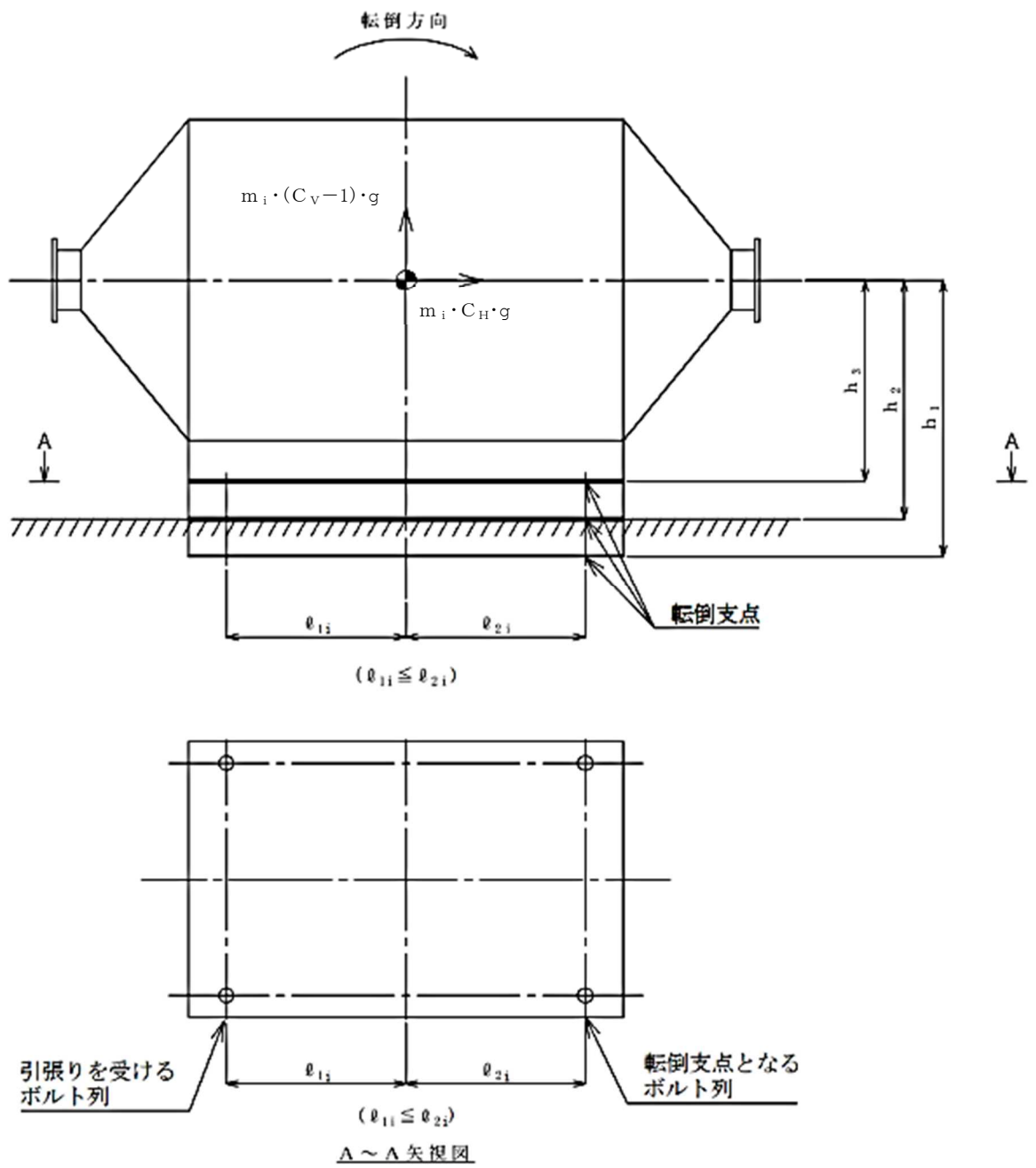


図 5-2(2) 計算モデル
 (長辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-1及び図5-2に示す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5-1(1)及び5-2(1)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{b\ i} = \frac{m_i \cdot g \cdot C_H \cdot h_i - m_i \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_{1i}}{n_{f\ i} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

計算モデル図5-1(2)及び5-2(2)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{b\ i} = \frac{m_i \cdot g \cdot C_H \cdot h_i - m_i \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_{2i}}{n_{f\ i} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b\ i} = \frac{F_{b\ i}}{A_{b\ i}} \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b\ i}$ は次式により求める。

$$A_{b\ i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト及び固定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。

また、取付ボルトに対するせん断力は固定部（2本）のボルト本数のみで受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b\ i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_{b\ i} = \frac{Q_{b\ i}}{n_{q\ i} \cdot A_{b\ i}} \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

5.5 計算条件

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

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4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. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ガス処理系乾燥装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ガス処理系乾燥装置	S	原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5*			C _H =0.78	C _V =0.56	C _H =1.22	C _V =1.13	120	66

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)	ℓ _{1i} * ¹ (mm)	ℓ _{2i} * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} * ¹	n _{q i}
基礎ボルト (i=1)							12	3	12
固定ボルト (i=2)							6	3	
取付ボルト (i=3)							6	3	
								4	
								2	6
								2	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	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)	225* ² (16mm<径≤40mm)	385* ²	225	270	短辺	短辺
固定ボルト (i=2)					短辺	長辺
取付ボルト (i=3)					短辺	長辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
		2.041×10 ¹⁰	2.340×10 ⁴

注記*1：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：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
固定ボルト (i=2)				
取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=25$	$f_{ts1}=169^*$	$\sigma_{b1}=55$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	$\tau_{b1}=9$	$f_{sb1}=130$	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=155$
固定ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=14$	$f_{ts2}=455^*$	$\sigma_{b2}=35$	$f_{ts2}=455^*$
		せん断	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=350$	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=350$
取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=10$	$f_{ts3}=444^*$	$\sigma_{b3}=27$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	$\tau_{b3}=30$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=47$	$f_{sb3}=342$

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. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
非常用ガス処理系 乾燥装置	常設/緩和	原子炉建屋 T.M.S.L. 23.5*			—	—	C _H =1.22	C _V =1.13	120	80

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)	ℓ _{1i} * ¹ (mm)	ℓ _{2i} * ¹ (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} * ¹	n _{q i}
基礎ボルト (i=1)							12	3	12
固定ボルト (i=2)								4	
取付ボルト (i=3)							6	3	6
							6	2	2
								3	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	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)	220* ² (16mm<径≤40mm)	379* ²	—	264	—	短辺
固定ボルト (i=2)			—		—	長辺
取付ボルト (i=3)			—		—	長辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
		2.041×10 ¹⁰	2.340×10 ⁴

注記*1：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：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
固定ボルト (i=2)	—		—	
取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

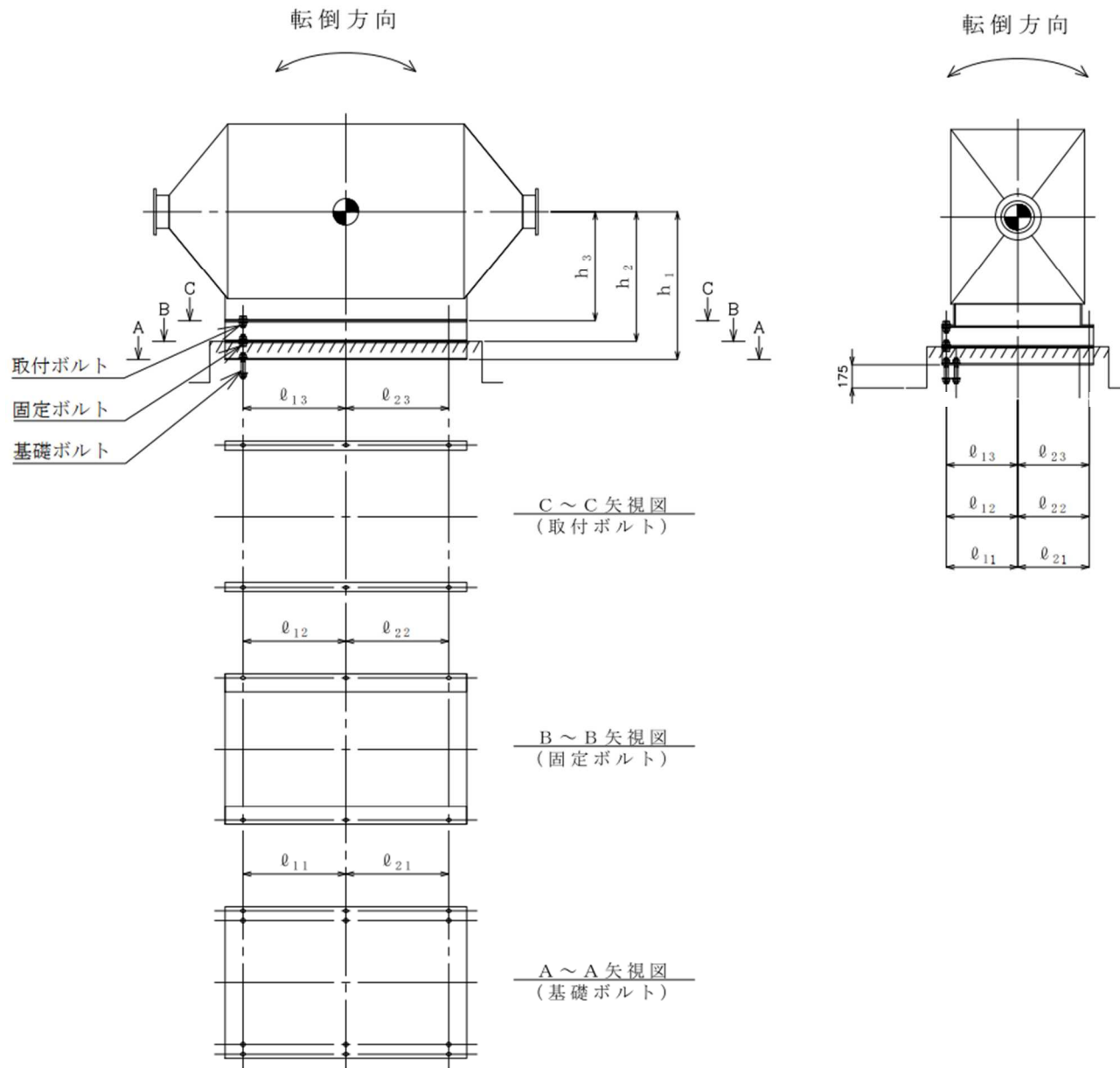
2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=55$	$f_{ts1}=198^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=13$	$f_{sb1}=152$
固定ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=35$	$f_{ts2}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=342$
取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=27$	$f_{ts3}=444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=47$	$f_{sb3}=342$

すべて許容応力以下である。

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



VI-2-9-4-5-1-2 管の耐震性についての計算書

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	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「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、非常用ガス処理系の管、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3モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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。

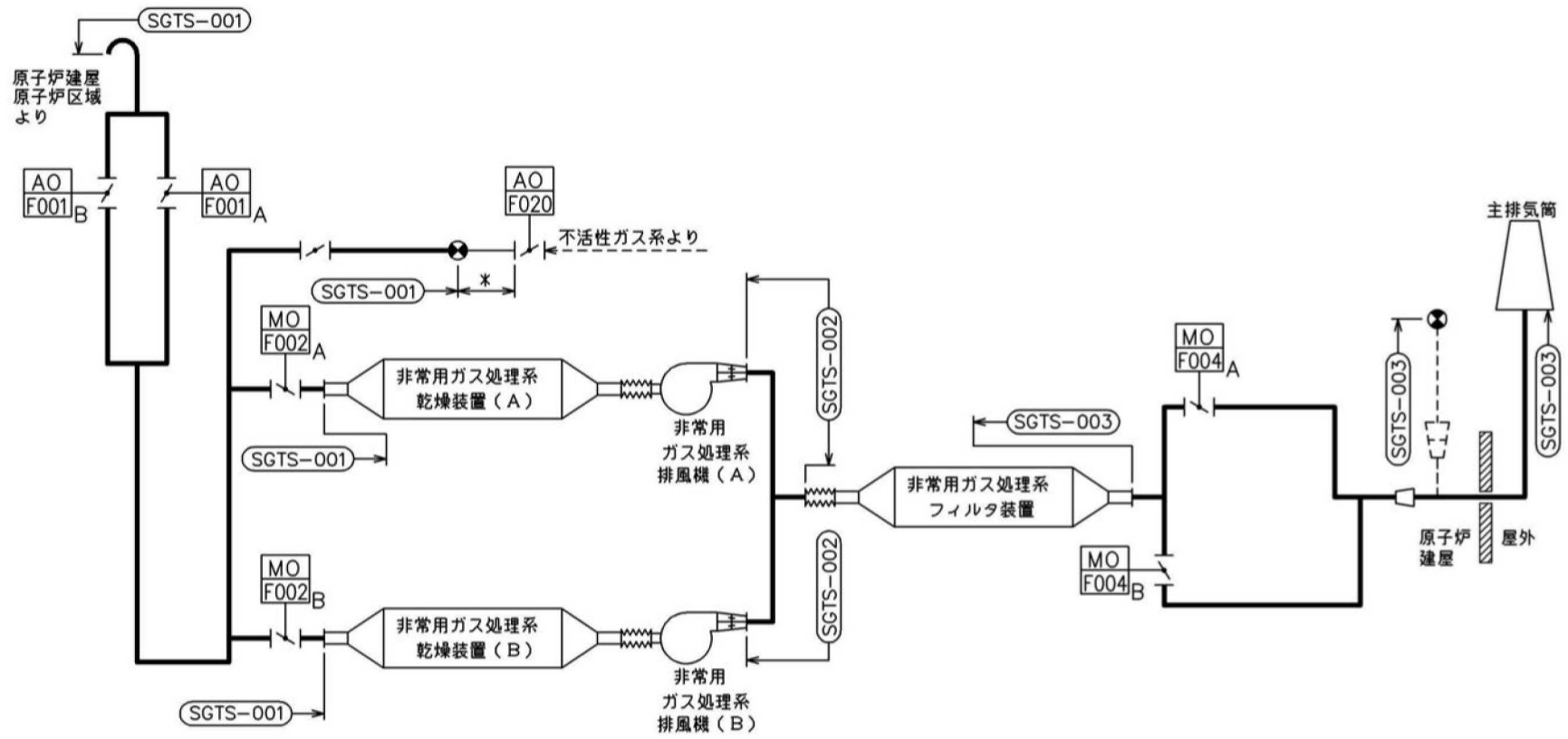
2. 概略系統図及び鳥瞰図

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


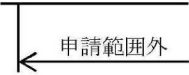
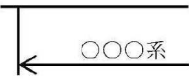


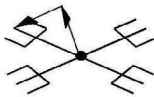
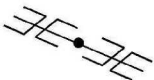

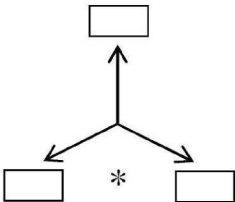
注記 * : 解析モデル上
不活性ガス系に含める。



非常用ガス処理系概略系統図

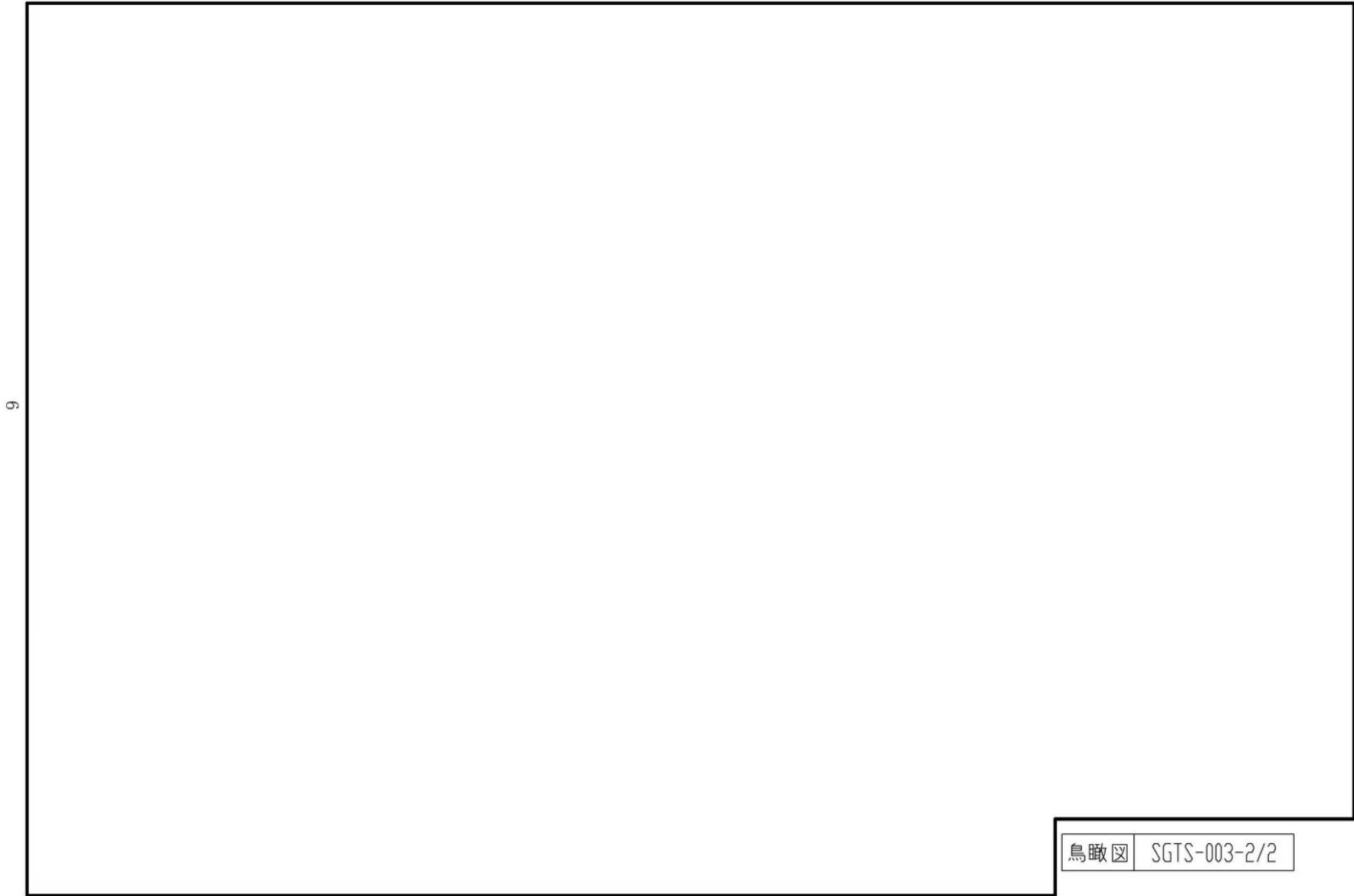
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

K6 ① VI-2-9-4-5-1-1-2 (設) R0

5



6

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「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
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	非常用ガス処理系	DB	—	クラス4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 S G T S - 0 0 3

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	0.025	150	267.4	9.3	STS410	S	195000
2	0.025	150	318.5	10.3	STS410	S	195000

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 S G T S - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	44	46	47	48	100	
	105	106	107	108	109	110	200	808	809	810	811	812				
2	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	
	41	42	43	101	104	801	802	803	806	807	821	822	823	824		

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 S G T S - 0 0 3

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)
1		18		32		100		807	
2		19		33		101		808	
3		20		34		104		809	
7		21		35		105		810	
8		22		36		106		811	
9		23		37		107		812	
10		24		38		108		821	
11		25		39		109		822	
12		26		40		110		823	
13		27		41		200		824	
14		28		42		801			
15		29		43		802			
16		30		47		803			
17		31		48		806			

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (設) R0

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

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)
4		44	
5		45	
6		46	
54		57	
55		58	
56		59	

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

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	5			
弁2	45			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

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
1						
2						
13						
18						
21						
25						
29						
35						
39						
43						

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (設) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS410	150	—	214	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

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 (%)
SGTS-003	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SGTS-003

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							
10次							
11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 S G T S - 0 0 3

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

注記* : 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)

20

鳥瞰図 SOTS-003

代表的振動モード図(2次)

鳥瞰図 SOTS-003

代表的振動モード図(3次)

鳥瞰図 SOTS-003

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 $S_{pr m}(S d)$ $S_{pr m}(S s)$	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 $U S s$
SGTS- 003	III _A S	47	$S_{pr m}(S d)$	63	214	—	—	—
	IV _A S	48	$S_{pr m}(S s)$	131	363	—	—	—
	IV _A S	16	$S_n(S s)$	—	—	263	428	—

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)
SGTS-001-050B	ロッドレストレイント	RST-2	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		40	56

24

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			
SGTS-001-014A	アンカ	ラグ	SGV410	100	26	26	11	6	15	25	組合せ	55	241
SGTS-003-013R	レストレイント	Uプレート	SS400	150	0	35	20	—	—	—	組合せ	153	248

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
T22-F004A	止め弁	β (Ss)	3.9	3.3	6.0	6.0	—	—

注記* : 機能維持評価用加速度は、打ち切り振動数を 30Hz として計算した結果を示す。

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	SGTS-001	73	60	220	3.66	—	73	125	364	2.91	—	73	262	440	1.67	—	—	—	—
2	SGTS-002	11	13	214	16.46	—	11	22	363	16.50	—	1	67	428	6.38	—	—	—	—
3	SGTS-003	47	63	214	3.39	○	48	131	363	2.77	○	16	263	428	1.62	○	—	—	—

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。

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (重) R0

重大事故等対処設備

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	10
3.1 計算方法	10
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
3.3 設計条件	12
3.4 材料及び許容応力	24
3.5 設計用地震力	25
4. 解析結果及び評価	26
4.1 固有周期及び設計震度	26
4.2 評価結果	38
4.2.1 管の応力評価結果	38
4.2.2 支持構造物評価結果	40
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	41
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	42

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、非常用ガス処理系の管、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4モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

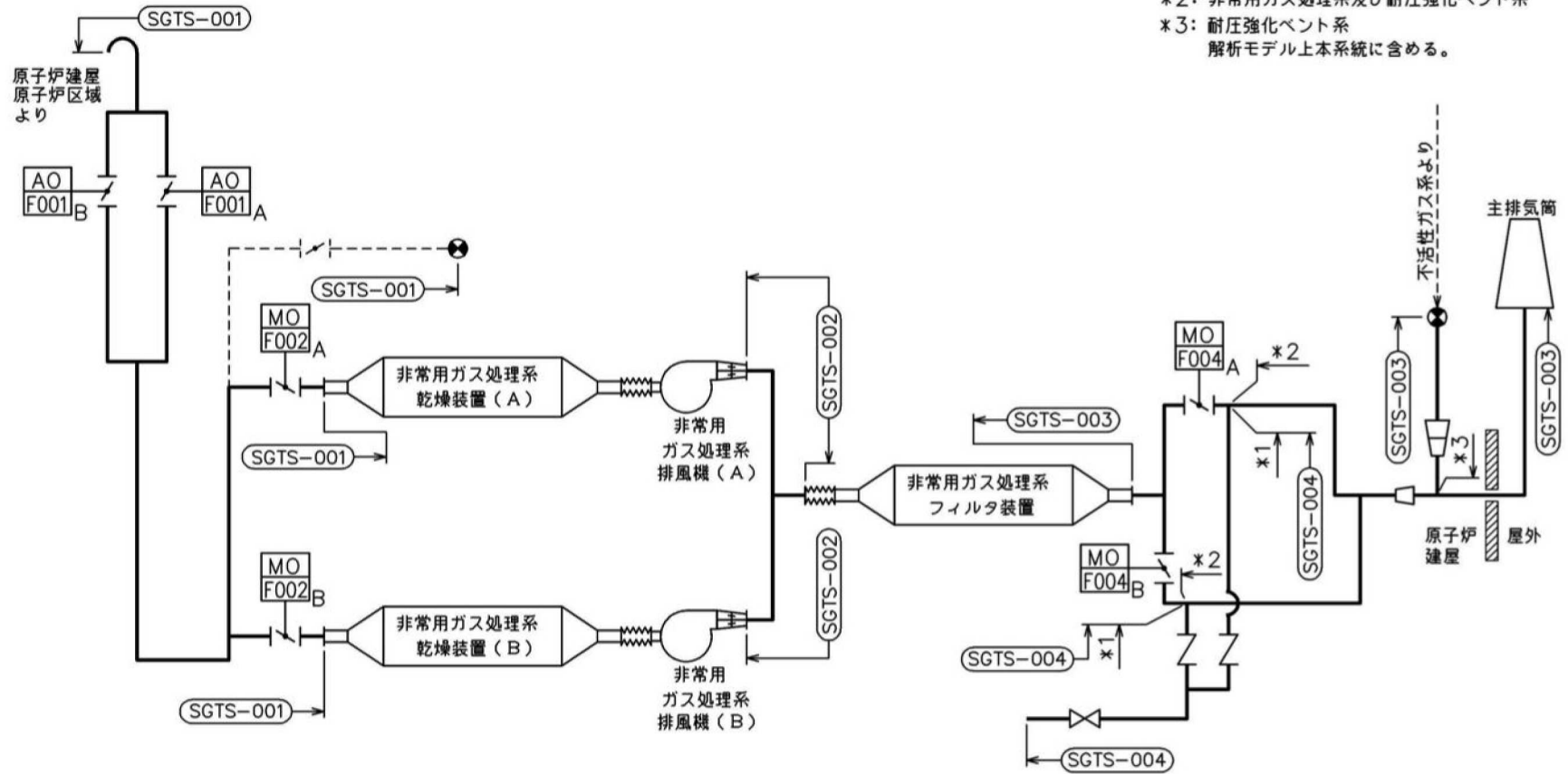
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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


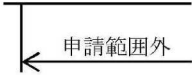
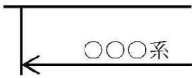


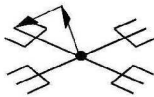
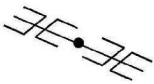

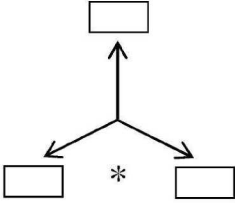


- 注記 *1: 耐圧強化ベント系
解析上本系統に含める。
- *2: 非常用ガス処理系及び耐圧強化ベント系
解析上本系統に含める。
- *3: 耐圧強化ベント系
解析モデル上本系統に含める。

非常用ガス処理系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (重) R0

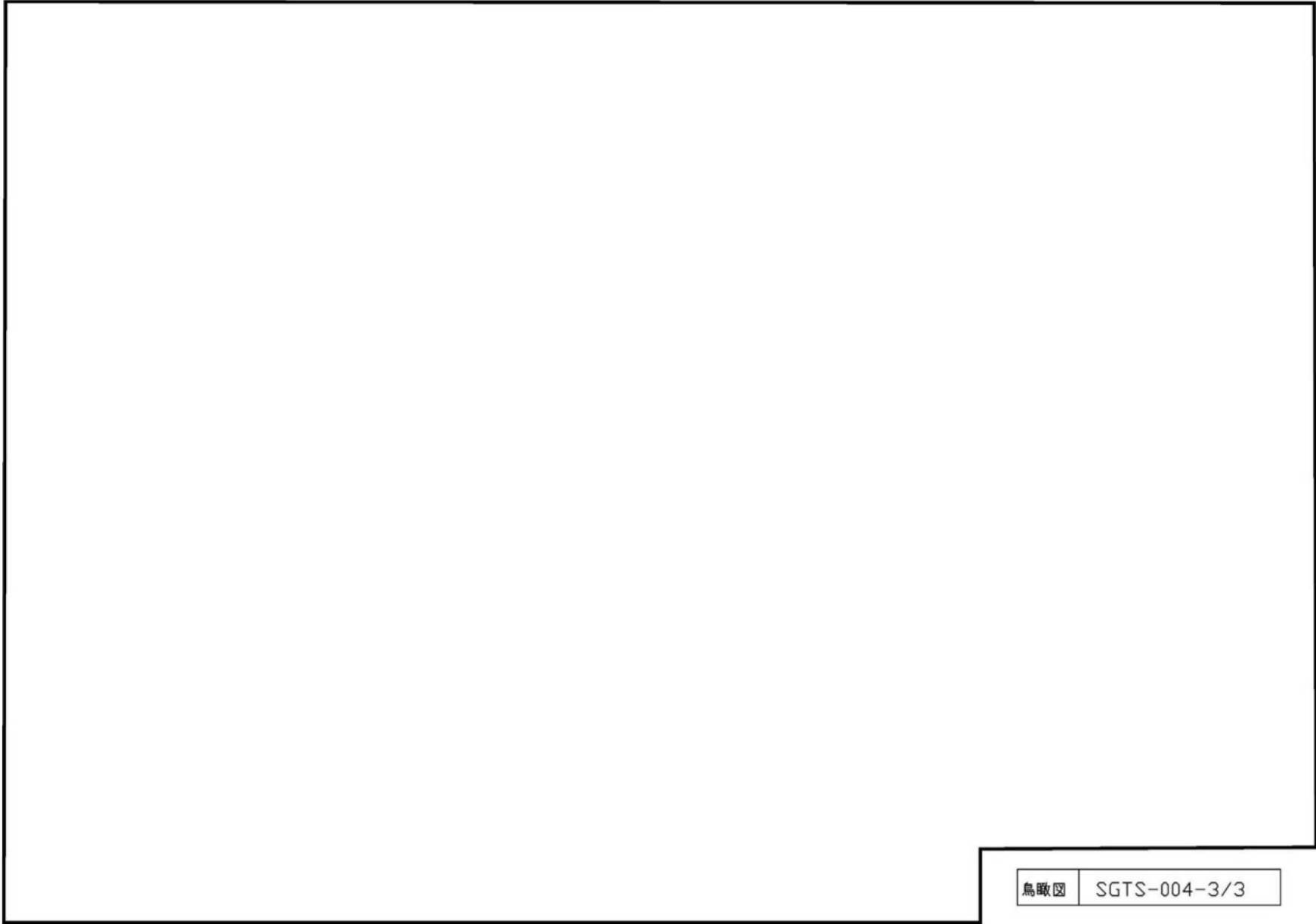
5

6

7

8

6



3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」及び「S O L V E R」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 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3}	許容応力状態 ^{*4}
II 原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	非常用ガス処理系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	耐圧強化ベント系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L +S _s	V _A S
	原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	耐圧強化ベント系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	V _L +S _s	V _A S

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

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

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

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 S G T S - 0 0 3

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	0.025	150	267.4	9.3	STS410	—	195000
2	0.62	171	267.4	9.3	STS410		193320
3	0.62	171	318.5	10.3	STS410	—	193320
4	0.62	171	558.8	9.5	SM400C	—	193320
5	0.62	171	406.4	9.5	SM400C	—	193320
6	0.62	171	406.4	9.5	STS410	—	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 S G T S - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	6	44	46	105	106	107	200	811	812		
2	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	22	23	24	25	26	47	48	100	108	109	110	808	809	810	811
	812														
3	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	41	42	43	51	52	53	101	104	801	802	803	806	807	821	822
	823	824													
4	49	50	102												
5	50	103													
6	51	103													

K6 ① VI-2-9-4-4-5-1-2 (重) R0

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 S G T S - 0 0 3

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)
1		19		34		52		802	
2		20		35		53		803	
3		21		36		100		806	
7		22		37		101		807	
8		23		38		102		808	
9		24		39		103		809	
10		25		40		104		810	
11		26		41		105		811	
12		27		42		106		812	
13		28		43		107		821	
14		29		47		108		822	
15		30		48		109		823	
16		31		49		110		824	
17		32		50		200			
18		33		51		801			

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (重) R0

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

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)
4		44	
5		45	
6		46	
54		57	
55		58	
56		59	

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

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	5			
弁2	45			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

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
1						
2						
13						
18						
21						
25						
29						
35						
39						
43						
49						

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (重) R0

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 S G T S - 0 0 4

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	0.50	66	34.0	3.4	SUS304TP	—	191720
2	0.62	171	34.0	3.4	SUS304TP	—	184320
3	0.62	171	34.0	3.4	SUS304TP	—	184320
4	0.62	171	34.0	3.4	SUS304TP	—	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 S G T S - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4												
2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	
	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
	51	52	53	54	55	56	57	60	61	62	63	64	65	66	67	
	68	69	70	71	76	77	78	79	80	81						
3	73	74	75	83	84	85	86									
4	57	58	59	60												

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (重) R0

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 S G T S - 0 0 4

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)
1		20		36		52		68	
2		21		37		53		69	
3		22		38		54		70	
7		23		39		55		74	
8		24		40		56		75	
9		25		41		57		76	
10		26		42		58		77	
11		27		43		59		78	
12		28		44		60		79	
13		29		45		61		80	
14		30		46		62		84	
15		31		47		63		85	
16		32		48		64		86	
17		33		49		65			
18		34		50		66			
19		35		51		67			

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (重) R0

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4		71		81	
5		72		82	
6		73		83	

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

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	5			
弁 2	72			
弁 3	82			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 4

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
3						
10						
13						
17						
21						
25						
28						
34						
36						
40						
43						
47						
52						
56						
59						
63						
75						
86						

K6 ① VI-2-9-4-5-1-2 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SM400C	171	—	201	373	—
STS410	150	—	214	404	—
	171	—	211	404	—
SUS304TP	66	—	188	479	—
	171	—	150	413	—

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 (%)
SGTS-003	原子炉建屋		
SGTS-004	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
10 次				
11 次				
動的震度*2				

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 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。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 S G T S - 0 0 3

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

注記* : 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)

鳥瞰図 SOTS-003

代表的振動モード図(2次)

30

鳥瞰図 SOTS-003

代表的振動モード図(3次)

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SGT S-004

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				
14次				
動的震度*2				

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 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。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SGT S-004

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
13次				

注記*：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)

35

鳥瞰図

SGTS-004

代表的振動モード図 (2次)

36

鳥瞰図

SGTS-004

代表的振動モード図 (3次)

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス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 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
SGTS- 003	V_{AS}	48	$S_{pr m}(S_s)$	134	363	—	—	—
	V_{AS}	16	$S_n(S_s)$	—	—	263	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。

重大事故等クラス2管であってクラス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 $S_{p,rm} (S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n (S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
SGTS-004	V _A S	11	$S_{p,rm} (S_s)$	116	371	—	—	—
	V _A S	86	$S_n (S_s)$	—	—	287	300	—

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)
SGTS-001-050B	ロッドレストレイント	RST-2	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		40	56

40

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			
SGTS-003-049A	アンカ	ラグ	SGV410	171	58	64	36	28	25	76	組合せ	61	230
SGTS-003-013R	レストレイント	Uプレート	SS400	171	0	35	20	—	—	—	組合せ	153	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(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		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	疲労 累積 係数	代 表
1	SGTS-001	73	125	364	2.91	—	73	262	440	1.67	—	—	—	—
2	SGTS-002	11	22	363	16.50	—	1	67	428	6.38	—	—	—	—
3	SGTS-003	48	134	363	2.70	○	16	263	422	1.60	—	—	—	—
4	SGTS-004	11	116	371	3.19	—	86	287	300	1.04	○	—	—	—

VI-2-9-4-5-1-3 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、非常用ガス処理系排風機が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

非常用ガス処理系排風機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

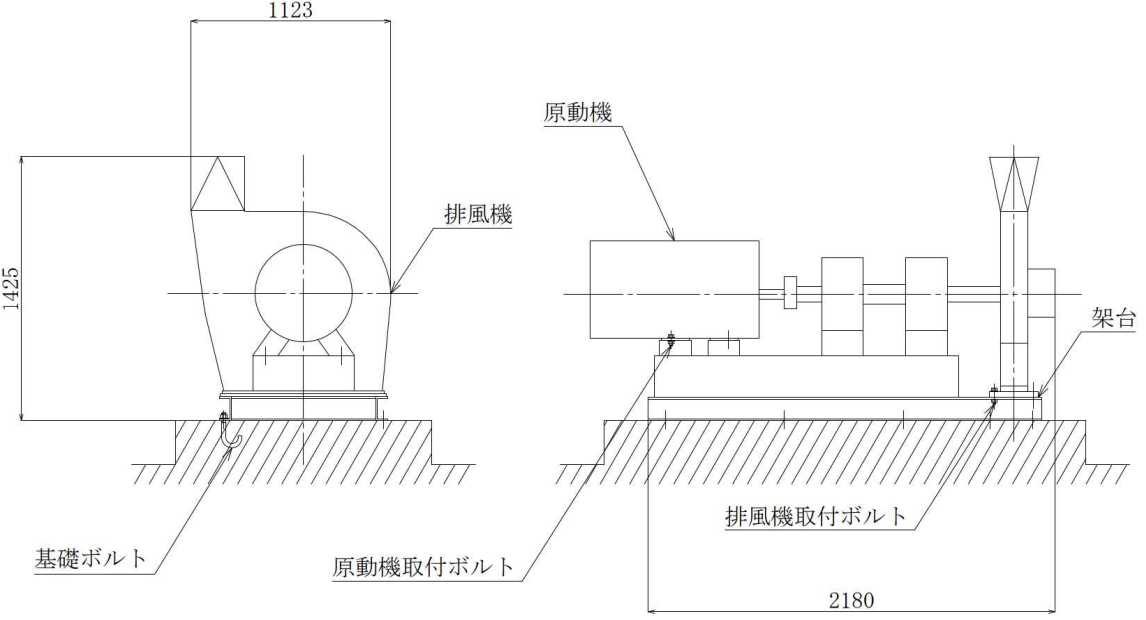
なお、非常用ガス処理系排風機は、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプと類似の構造であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ガス処理系排風機の構造計画を表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>排風機は架台に固定され、架台は基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>遠心式（遠心直結型ファン）</p>	 <p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

非常用ガス処理系排風機の構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。
なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

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

3.2.2 許容応力

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

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

3.3 計算条件

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

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 排風機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _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状態を適用する。

表3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 排風機	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	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／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

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

表3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*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3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	66	234	385	—
排風機取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	最高使用温度	150	198	373	—
原動機取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	66	225	385	—

表3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	80	229	379	—
排風機取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	最高使用温度	150	198	373	—
原動機取付ボルト	SS400 (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	80	220	379	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

非常用ガス処理系排風機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-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

非常用ガス処理系排風機は地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-1に示す。

表4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ファン	遠心直結型ファン	水平	2.3
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系排風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ガス処理系排風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度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。

【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 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		排風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機	S	原子炉建屋 T.M.S.L. 24.415 (T.M.S.L. 23.5*1)	—*2	—*2	C _H =0.80	C _V =0.57	C _H =1.24	C _V =1.14	C _P =0.21	150	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} *1 (mm)	l _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1
基礎ボルト (i=1)							10	5
								2
排風機取付ボルト (i=2)							20	2
	10							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	234*2 (径≤16mm)	385*2	234	270	軸直角	軸	—
排風機取付ボルト (i=2)	198*3 (16mm<径≤40mm)	373*3	198	237	軸直角	軸直角	7.003×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=3)	225*2 (16mm<径≤40mm)	385*2	225	270	軸	軸	—

H _P (μm)	N (rpm)

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

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
排風機取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=15$	$f_{ts1}=175^*$	$\sigma_{b1}=38$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=135$	$\tau_{b1}=18$	$f_{sb1}=155$
排風機取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	$\sigma_{b2}=11$	$f_{ts2}=148^*$	$\sigma_{b2}=19$	$f_{ts2}=178^*$
		せん断	$\tau_{b2}= 1$	$f_{sb2}=114$	$\tau_{b2}= 2$	$f_{sb2}=137$
原動機取付ボルト (i=3)	SS400	引張り	$\sigma_{b3}= 7$	$f_{ts3}=169^*$	$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=202^*$
		せん断	$\tau_{b3}= 5$	$f_{sb3}=130$	$\tau_{b3}= 7$	$f_{sb3}=155$

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

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.03	2.3
	鉛直方向	0.95	1.0
原動機	水平方向	1.03	4.7
	鉛直方向	0.95	1.0

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		排風機振動による震度	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ガス処理系排風機	常設/緩和	原子炉建屋 T.M.S.L. 24.415 (T.M.S.L. 23.5*1)	—*2	—*2	—	—	C _H =1.24	C _V =1.14	C _P =0.21	150	80

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	l _{1i} *1 (mm)	l _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							10	5
排風機取付ボルト (i=2)							20	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用 地震動 S _d 又は 静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	229*2 (径≤16mm)	379*2	—	265	—	軸	—
排風機取付ボルト (i=2)	198*3 (16mm<径≤40mm)	373*3	—	237	—	軸直角	7.003×10 ⁴
原動機取付ボルト (i=3)	220*2 (16mm<径≤40mm)	379*2	—	264	—	軸	—

HP (μm)	N (rpm)

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

*2: 周囲環境温度で算出

*3: 最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
排風機取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=38$	$f_{ts1}=199^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=18$	$f_{sb1}=153$
排風機取付ボルト (i=2)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=19$	$f_{ts2}=178^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}= 2$	$f_{sb2}=137$
原動機取付ボルト (i=3)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b3}=13$	$f_{ts3}=198^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}= 7$	$f_{sb3}=152$

すべて許容応力以下である。

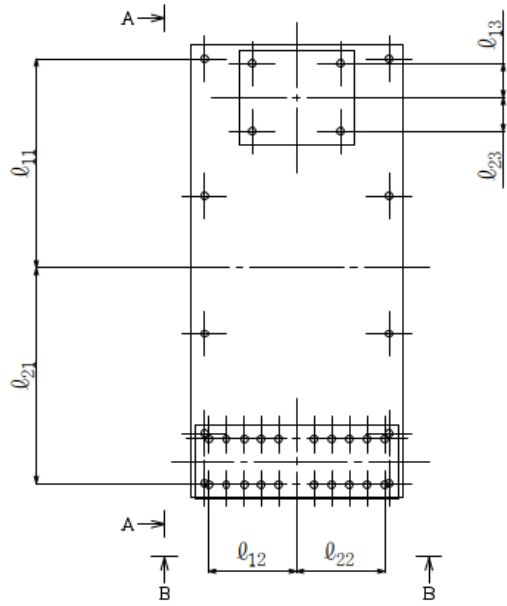
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.2 動的機能の評価結果

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

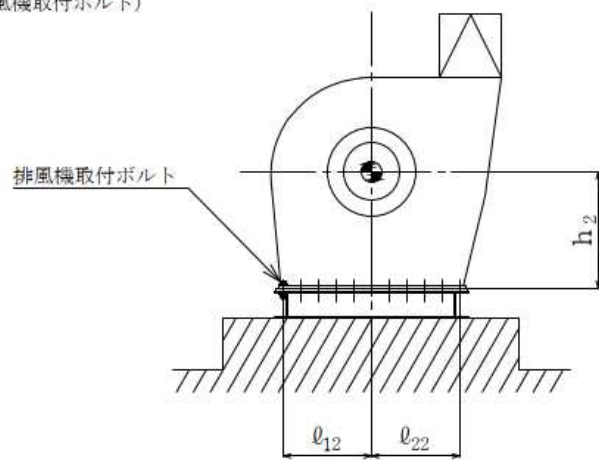
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	1.03	2.3
	鉛直方向	0.95	1.0
原動機	水平方向	1.03	4.7
	鉛直方向	0.95	1.0

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。



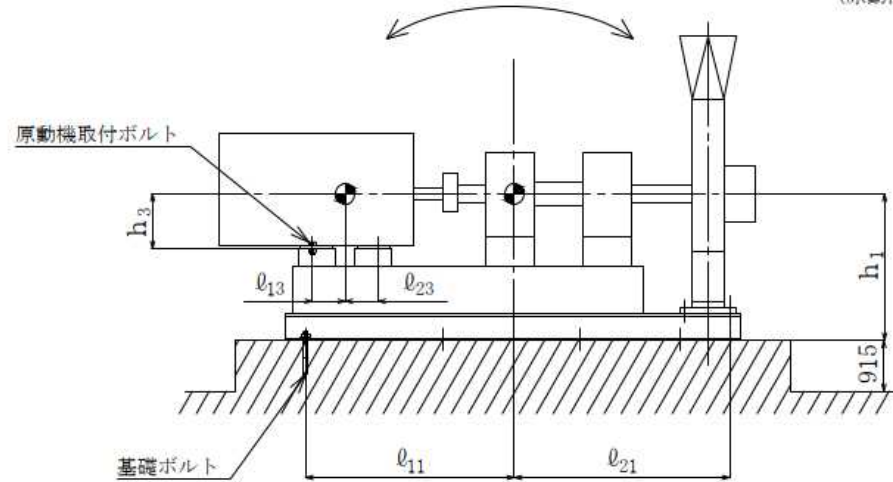
転倒方向

B~B矢视图
(排風機取付ボルト)



転倒方向

A~A矢视图
(基礎ボルト)
(原動機取付ボルト)



VI-2-9-4-5-1-4 非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての
計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.4.1 応力の計算方法	16
5.5 計算条件	20
5.6 応力の評価	20
5.6.1 ボルトの応力評価	20
6. 評価結果	21
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、非常用ガス処理系フィルタ装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

非常用ガス処理系フィルタ装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設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

非常用ガス処理系フィルタ装置の構造計画を表2-1に示す。

表2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>非常用ガス処理系フィルタ装置は架台に取付ボルトで固定され、架台は基礎ボルト及び固定ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>高性能粒子フィルタ及び活性炭用チャコールフィルタ (角形ダクト式)</p>	<p>9940</p> <p>フィルタ装置</p> <p>1600</p> <p>1650</p> <p>取付ボルト</p> <p>基礎ボルト</p> <p>架台</p> <p>固定ボルト</p>
		<p>(単位:mm)</p>

2.2 評価方針

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

非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

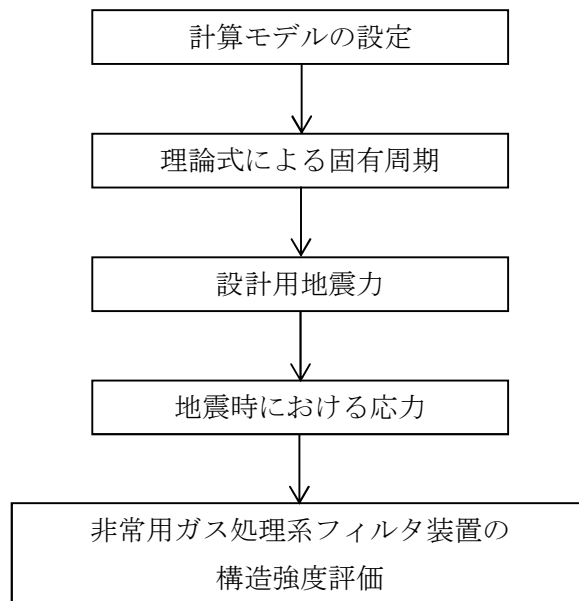


図2-1 非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A_e	有効せん断断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_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-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_{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	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面, 固定面又は架台上面から重心までの距離* ²	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
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	運転時質量* 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	—
n_{qi}	せん断力を受けるボルトの本数* 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
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , n_{qi} , 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

$i = 2$: 固定ボルト

$i = 3$: 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

$i = 2$: 固定面

$i = 3$: 架台上面

*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	℃	—	—	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
断面二次モーメント	mm ⁴	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

非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、固定ボルト及び取付ボルトについて実施する。非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

非常用ガス処理系フィルタ装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 非常用ガス処理系フィルタ装置の質量は重心に集中するものとする。
- b. 変形は非常用ガス処理系フィルタ装置をはりと考えたときの曲げ及びせん断変形を考慮する。
- c. 非常用ガス処理系フィルタ装置は架台上にあり、架台は基礎ボルト及び固定ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- d. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

非常用ガス処理系フィルタ装置は、図4-1に示す下端固定の1質点系振動モデルとして考える。

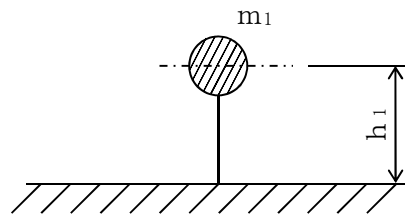


図4-1 固有周期の計算モデル

(2) 固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数Kは次式で表される。

$$\text{水平方向 } K_H = \frac{1000}{\frac{h_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_1}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$\text{鉛直方向 } K_V = \frac{1000}{\frac{h_1}{E \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

注記*：断面積には、固有周期が大きく算出される有効せん断断面積 A_e を用いる。

したがって、固有周期は次式で求められる。

$$\text{水平方向 } T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\text{鉛直方向 } T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_1}{K_V}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

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

表4-1 固有周期 (単位:s)

水平		
鉛直		

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～d. のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は非常用ガス処理系フィルタ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) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (3) 基礎ボルト及び固定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する。
また、取付ボルトに対するせん断力は、長辺方向にスライドできるものとし、固定部（2本）のボルト本数のみで受けるものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ガス処理系フィルタ装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2示す。

5.2.2 許容応力

非常用ガス処理系フィルタ装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 フィルタ装置	S	クラス4管*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス4管の支持構造物を含む。

表5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 フィルタ装置	常設／緩和	重大事故等 クラス2管* 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／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2管の支持構造物を含む。

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

表5-3 許容応力（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 (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	66	225	385	—
固定ボルト	□	周囲環境温度	66	□		—
取付ボルト		最高使用温度	150			

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 (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	80	220	379	—
固定ボルト	□	周囲環境温度	80	□		—
取付ボルト		最高使用温度	150			

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）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5*			C _H =0.78	C _V =0.56	C _H =1.22	C _V =1.13

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）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5*			—	—	C _H =1.22	C _V =1.13

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

基礎ボルト、固定ボルト及び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。

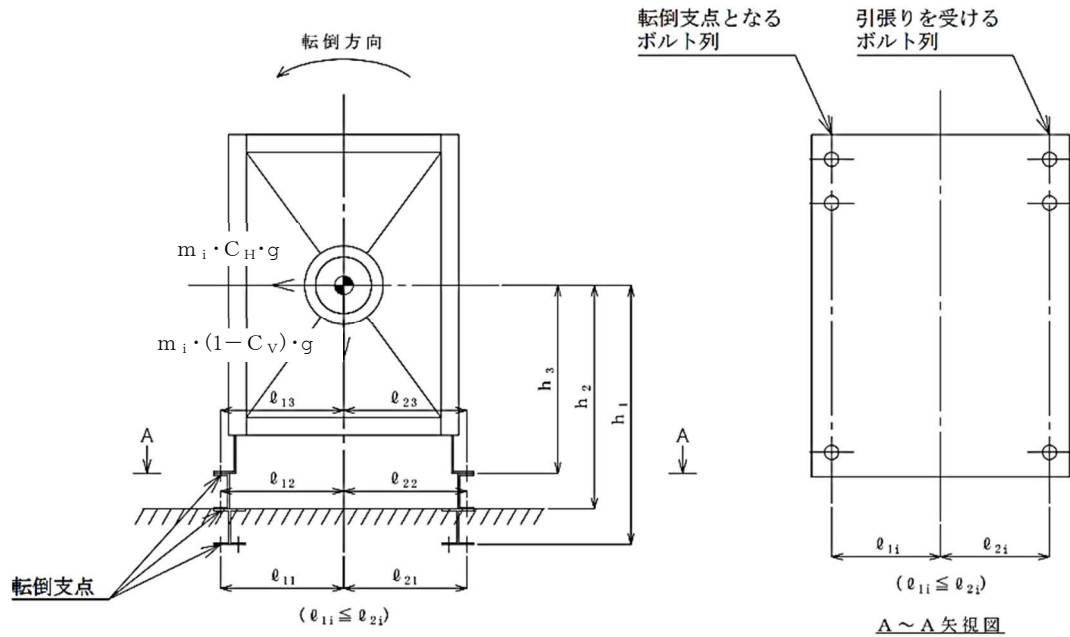


図 5-1(1) 計算モデル

(短辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \ge 0$ の場合)

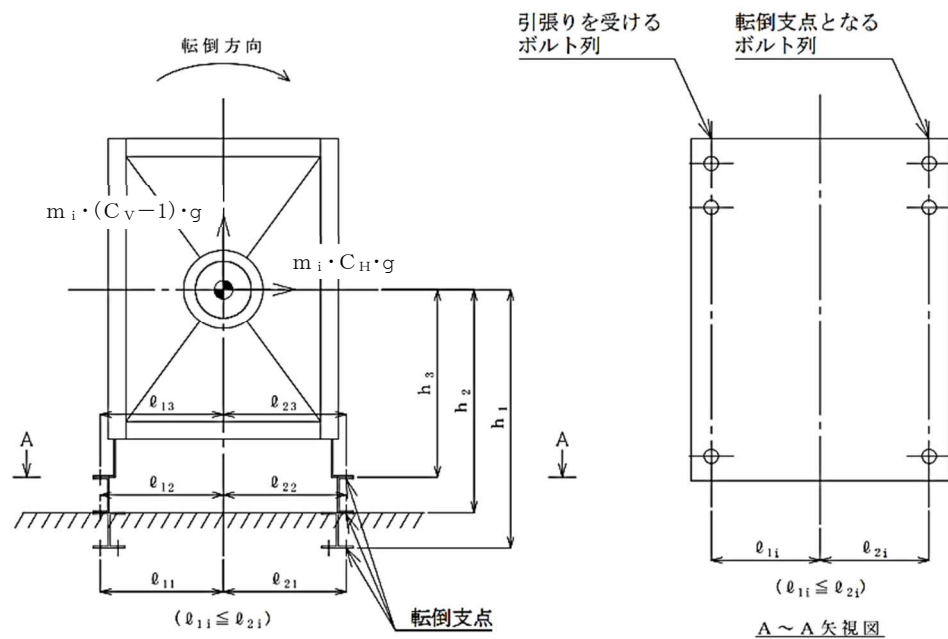


図 5-1(2) 計算モデル

(短辺方向転倒-2 $(1 - C_V) < 0$ の場合)

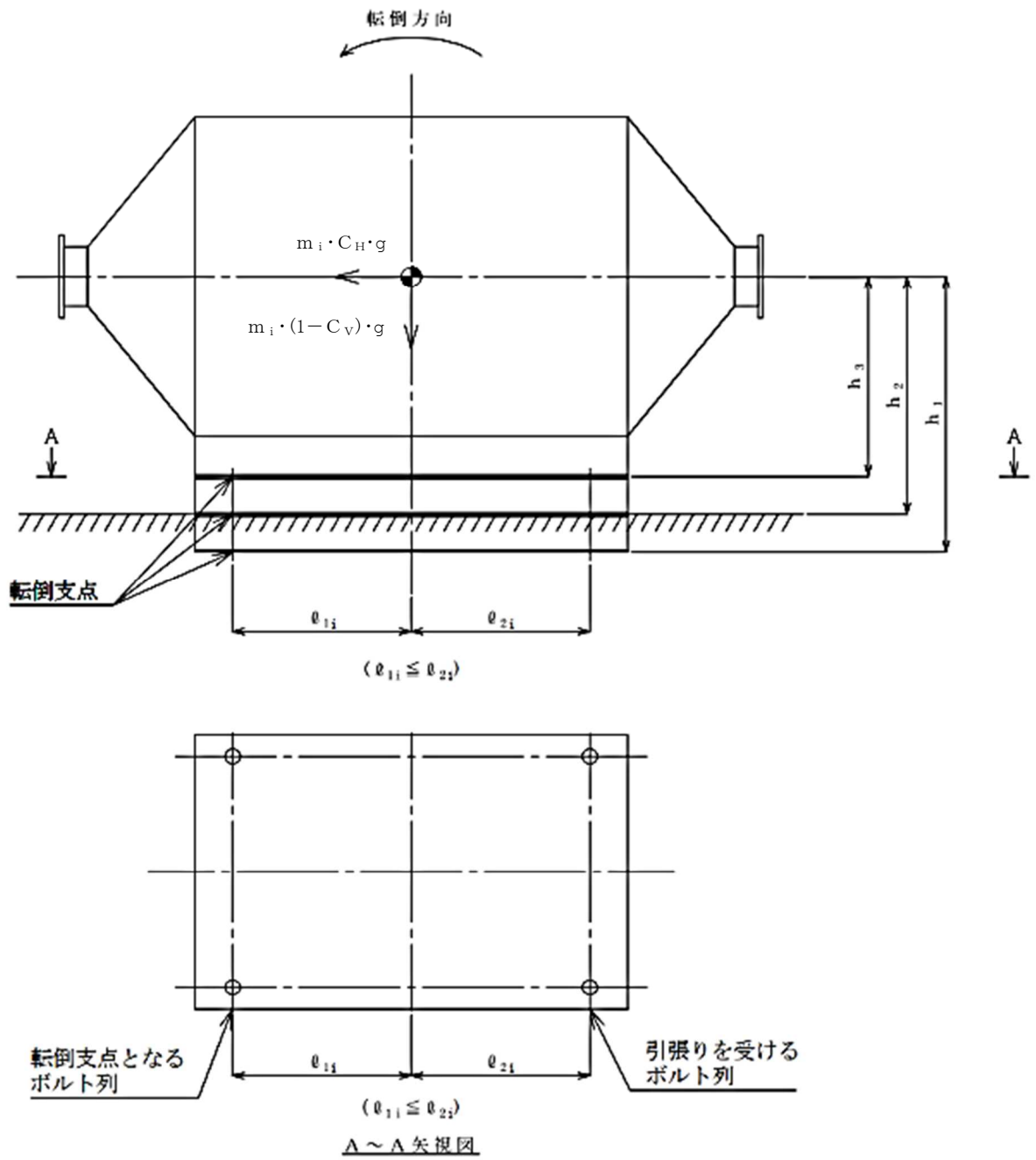


図 5-2(1) 計算モデル
 (長辺方向転倒-1 $(1 - C_V) \geq 0$ の場合)

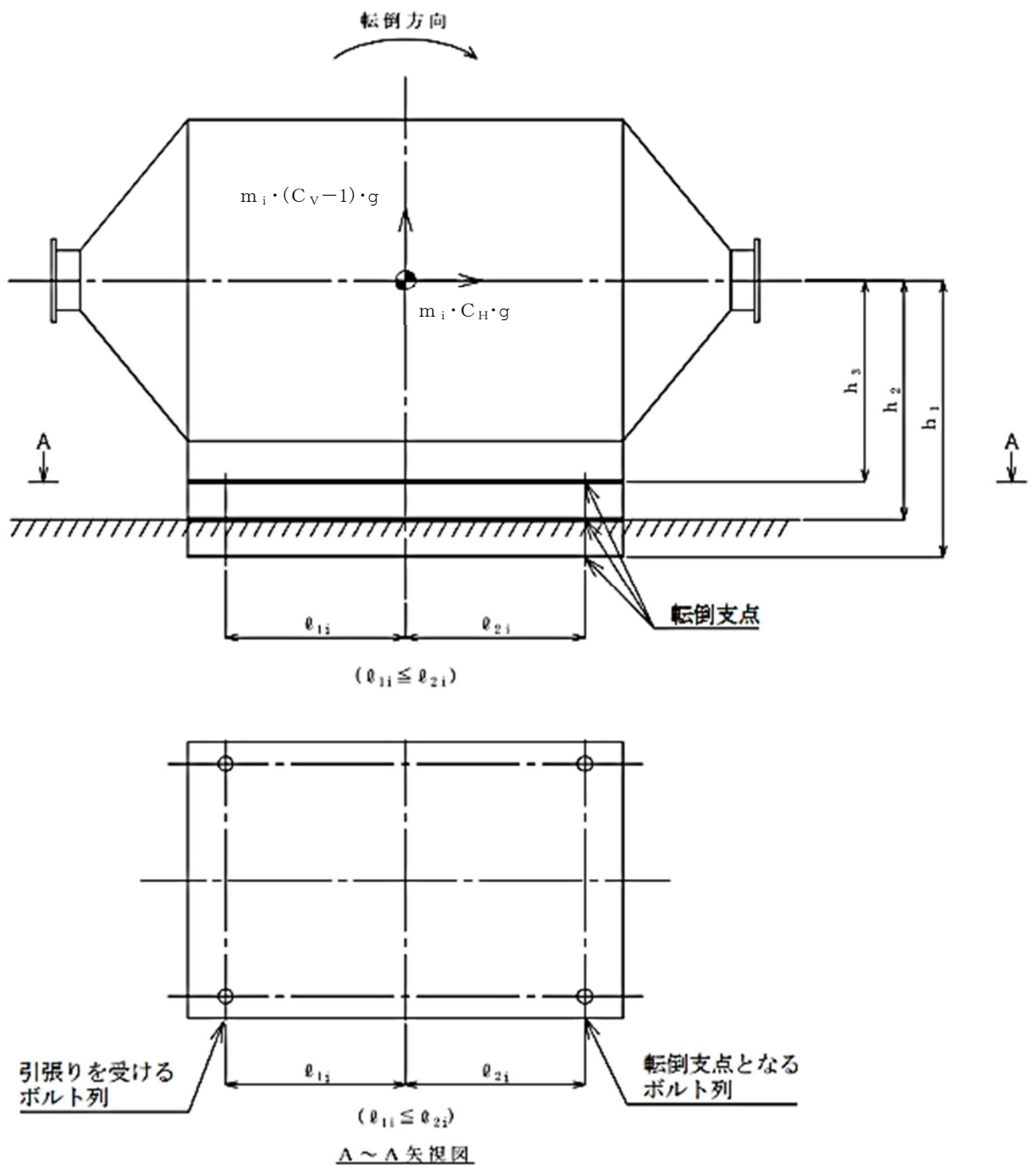


図 5-2(2) 計算モデル
 (長辺方向転倒-2 (1-C_V) < 0 の場合)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-1及び図5-2に示す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5-1(1)及び5-2(1)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{b\ i} = \frac{m_i \cdot g \cdot C_H \cdot h_i - m_i \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_{1i}}{n_{f\ i} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

計算モデル図5-1(2)及び5-2(2)の場合の引張力

【絶対値和】

$$F_{b\ i} = \frac{m_i \cdot g \cdot C_H \cdot h_i - m_i \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot l_{2i}}{n_{f\ i} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b\ i} = \frac{F_{b\ i}}{A_{b\ i}} \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b\ i}$ は次式により求める。

$$A_{b\ i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト及び固定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。

また、取付ボルトに対するせん断力は固定部（2本）のボルト本数のみで受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b\ i} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

せん断応力

$$\tau_{b\ i} = \frac{Q_{b\ i}}{n_{q\ i} \cdot A_{b\ i}} \dots\dots\dots (5.4.1.6)$$

5.5 計算条件

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

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4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. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系フィルタ装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

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

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ガス処理系フィルタ装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ガス処理系フィルタ装置	S	原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5*			C _H =0.78	C _V =0.56	C _H =1.22	C _V =1.13	150	66

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)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1	n _{qi}
基礎ボルト (i=1)							40	10	40
								4	
固定ボルト (i=2)							20	10	20
	2								
取付ボルト (i=3)	20	10	2						
		2							

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	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)	225*2 (16mm<径≤40mm)	385*2	225	270	短辺	短辺
固定ボルト (i=2)					短辺	長辺
取付ボルト (i=3)					短辺	長辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
		1.028×10 ¹¹	2.880×10 ⁴

注記*1：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：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
固定ボルト (i=2)				
取付ボルト (i=3)				

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	$\sigma_{b1}=13$	$f_{ts1}=169^*$	$\sigma_{b1}=31$	$f_{ts1}=202^*$
		せん断	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=130$	$\tau_{b1}=9$	$f_{sb1}=155$
固定ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=455^*$	$\sigma_{b2}=34$	$f_{ts2}=455^*$
		せん断	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=350$	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=350$
取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=7$	$f_{ts3}=444^*$	$\sigma_{b3}=28$	$f_{ts3}=380^*$
		せん断	$\tau_{b3}=97$	$f_{sb3}=342$	$\tau_{b3}=152$	$f_{sb3}=342$

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. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ガス処理系フィルタ装置	常設/緩和	原子炉建屋 T. M. S. L. 23.5*			—	—	C _H =1.22	C _V =1.13	150	80

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)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1	n _{qi}
基礎ボルト (i=1)							40	10	40
								4	
固定ボルト (i=2)							20	10	20
	2								
取付ボルト (i=3)	20	10	2						
		2							

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	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)	220*2 (16mm<径≤40mm)	379*2	—	264	—	短辺
固定ボルト (i=2)			—		—	長辺
取付ボルト (i=3)			—		—	長辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)
		1.028×10 ¹¹	2.880×10 ⁴

注記*1：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：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
固定ボルト (i=2)	—		—	
取付ボルト (i=3)	—		—	

2.4 結論

2.4.1 ボルトの応力

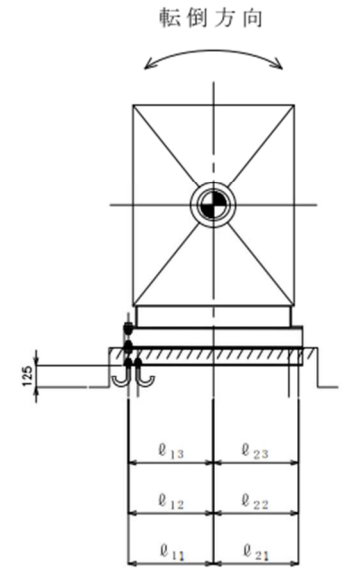
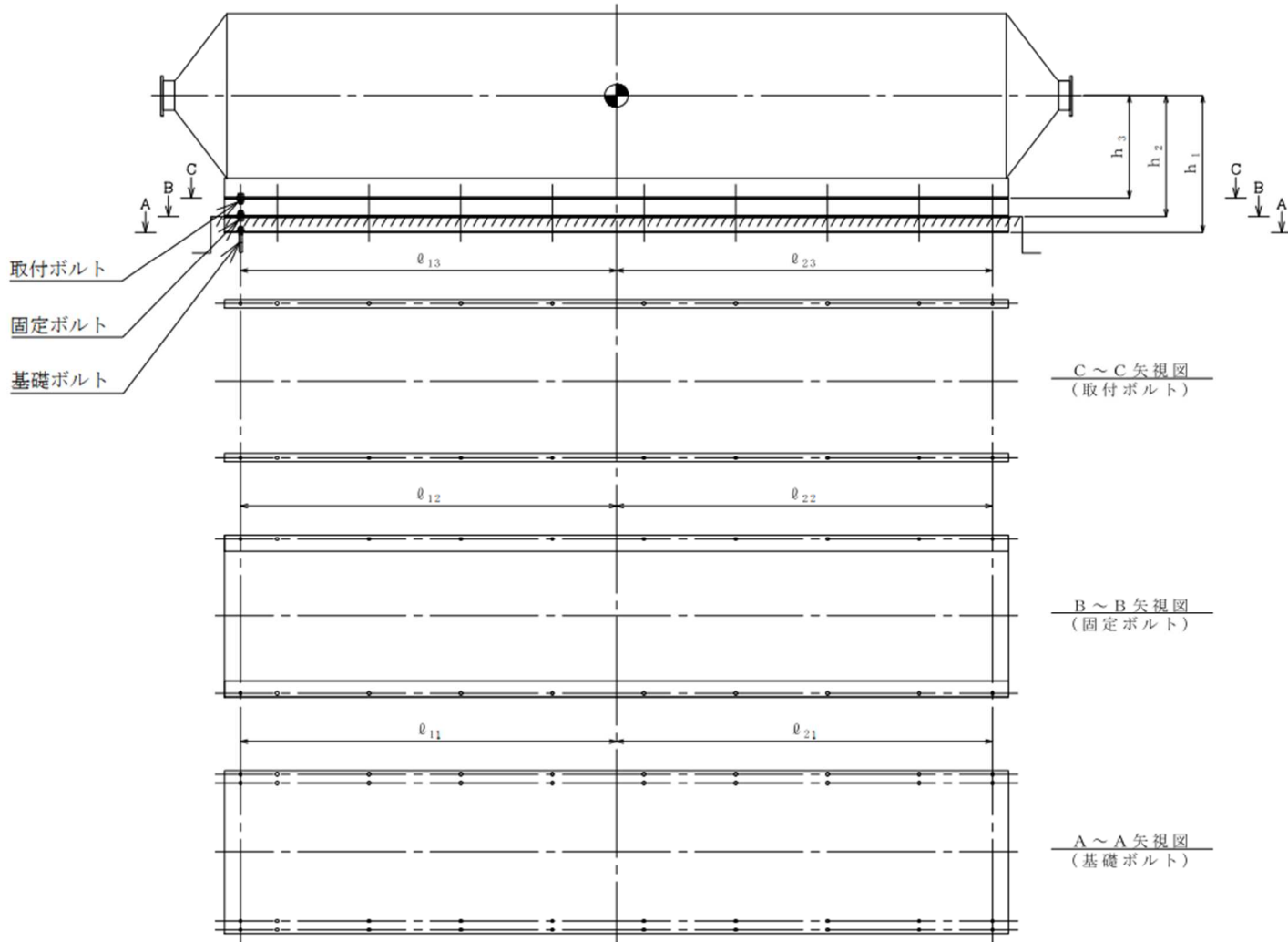
(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1} = 31$	$f_{ts1} = 198^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 9$	$f_{sb1} = 152$
固定ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} = 34$	$f_{ts2} = 444^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 17$	$f_{sb2} = 342$
取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} = 28$	$f_{ts3} = 380^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} = 152$	$f_{sb3} = 342$

すべて許容応力以下である。

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

転倒方向



VI-2-9-4-5-2 可燃性ガス濃度制御系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-2-1 管の耐震性についての計算書

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	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力	16
3.5 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	18
4.1 固有周期及び設計震度	18
4.2 評価結果	24
4.2.1 管の応力評価結果	24
4.2.2 支持構造物評価結果	25
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	26
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	27

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、可燃性ガス濃度制御系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度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 5 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

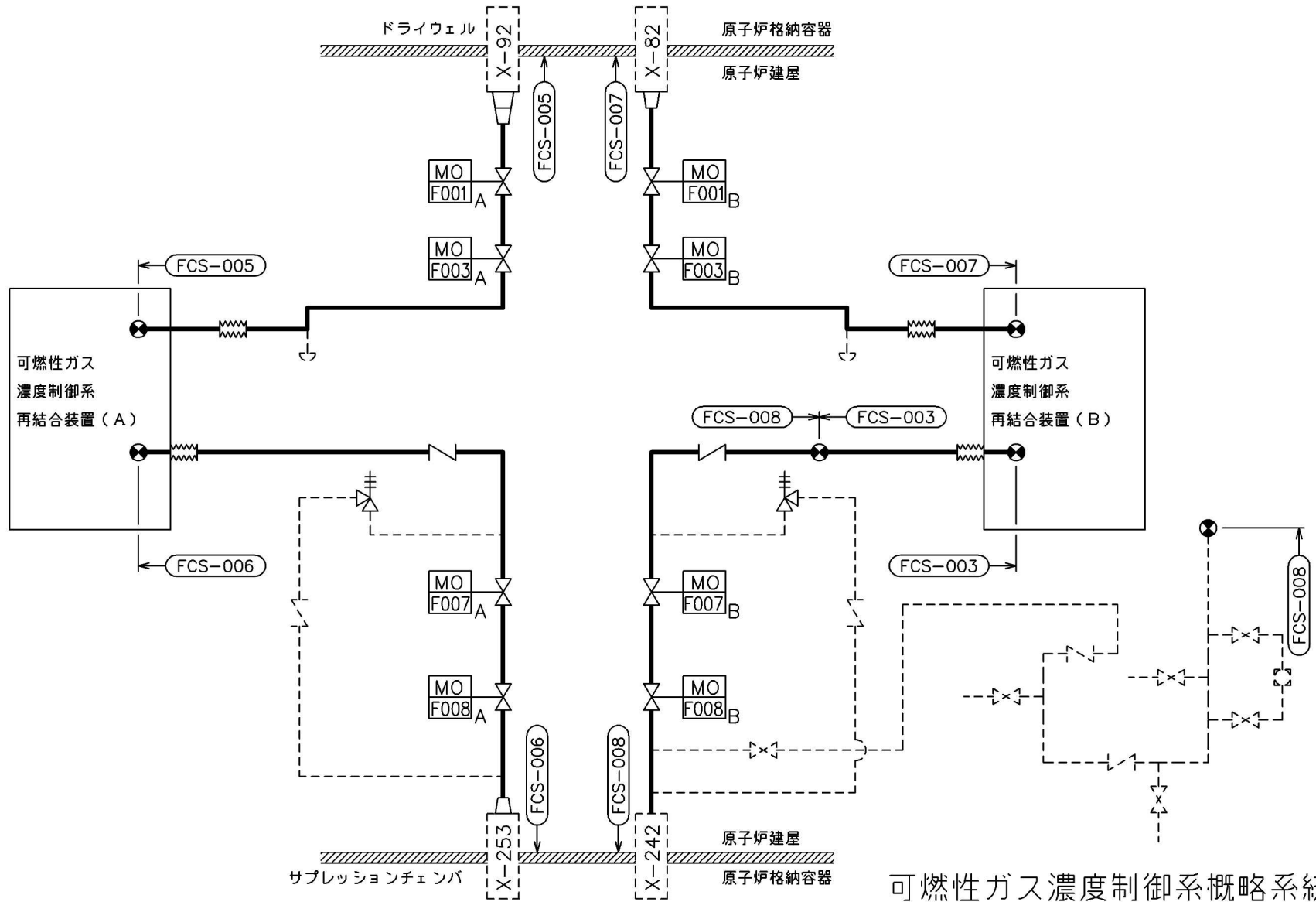
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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


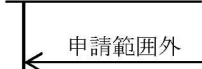
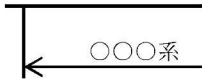


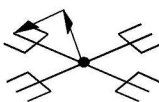
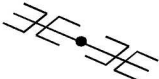

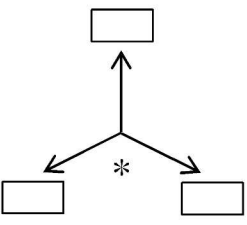
記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



可燃性ガス濃度制御系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	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, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

5

9

7

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
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	可燃性ガス濃度制御系	DB	—	クラス2管 クラス3管	S	I _{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。

6

*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 F C S - 0 0 5

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	0.31	171	406.4	12.7	STS410	S	193320
2	0.31	171	216.3	8.2	STS410	S	193320
3	0.31	171	114.3	6.0	STS410	S	193320
4	0.31	171	114.3	6.0	STS410	S	193320
5	0.31	171	114.3	6.0	SUS304TP	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 F C S - 0 0 5

管名称	対 応 す る 評 価 点																
1	201	202															
2	202	203	204														
3	204	205	206	207	209	210	211	212	213	214	215	216	218	219	903		
	904																
4	53	54	55	56	57	58	59	60	220	221	222	223	224	225	226		
	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241		
	242	243	244	245	246	247	248	249	250	801	802	803	804	805	904		
	905	906	907	908	909	910	911										
5	60	61															

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 FCS-005

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)
53		206		226		240		804	
54		210		227		241		805	
55		211		228		242		903	
56		212		229		243		904	
57		213		230		244		905	
58		214		231		245		906	
59		215		232		246		907	
60		219		233		247		908	
61		220		234		248		909	
201		221		235		249		910	
202		222		236		250		911	
203		223		237		801			
204		224		238		802			
205		225		239		803			

鳥 瞰 図 F C S - 0 0 5

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)
207		216	
208		217	
209		218	
251		253	
252		254	

鳥 瞰 図 F C S - 0 0 5

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	208			
弁2	217			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 F C S - 0 0 5

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
53						
55						
61						
903						
904						
** 904 **						
905						
** 905 **						
906						
907						
908						
909						
910						
** 910 **						
911						

--

K6 ① VI-2-9-4-5-2-1 (設) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS410	171	—	211	404	—
SUS304TP	171	—	150	413	113

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 (%)
FCS-005	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FCS-005

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														
14 次														
15 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 F C S - 0 0 5

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

注記*：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)

代表的振動モード図(2次)

代表的振動モード図(3次)

23

鳥瞰図 FCS-005

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 $S_{pr m}(S_d)$ $S_{pr m}(S_s)$	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 $U S_s$
F C S - 0 0 5	III _A S	204	$S_{pr m}(S_d)$	106	211	—	—	—
	IV _A S	204	$S_{pr m}(S_s)$	191	363	—	—	—
	IV _A S	204	$S_n(S_s)$	—	—	313	422	—

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)
FCS-008-046S	メカニカルスナッパ	NMB-006- 125	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	10

25

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			
FCS-003-024A	アンカ	ラグ	SGV410	171	11	9	4	7	3	10	曲げ	37	443
FCS-007-065R	レストレイント	Uプレート	SS400	171	13	22	14	—	—	—	せん断	89	116

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
T49-F003B	止め弁	β (Ss)	3.4	1.9	6.0	6.0	—	—
T49-F008A	止め弁	β (Ss)	3.9	1.1	6.0	6.0	—	—

注記* : 機能維持評価用加速度は、打ち切り振動数を 30Hz として計算した結果を示す。

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	FCS-003	9	17	211	12.41	—	9	26	363	13.96	—	24	67	422	6.29	—	—	—	—
2	FCS-005	204	106	211	1.99	○	204	191	363	1.90	○	204	313	422	1.34	○	—	—	—
3	FCS-006	257	62	169	2.72	—	252	119	363	3.05	—	252	241	438	1.81	—	—	—	—
4	FCS-007	4	71	211	2.97	—	4	134	363	2.70	—	4	250	422	1.68	—	—	—	—
5	FCS-008	208	41	219	5.34	—	205	75	363	4.84	—	205	139	422	3.03	—	—	—	—

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。

重大事故等対処設備

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	17
3.5 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、可燃性ガス濃度制御系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度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、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

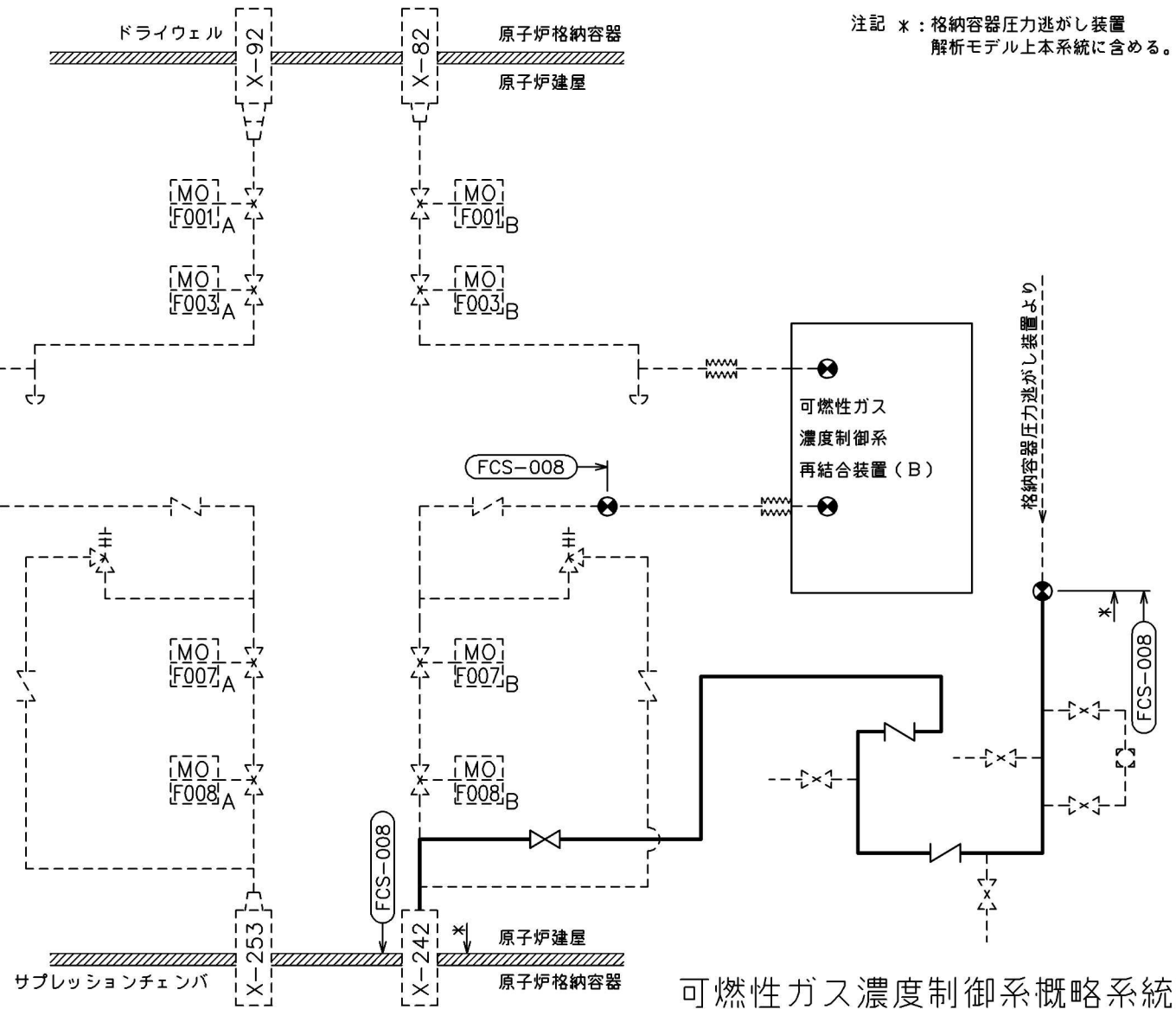
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図


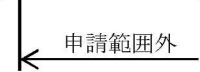



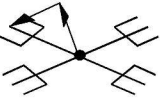
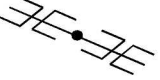

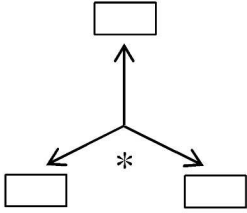
概略系統図記号凡例

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



2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	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
	設計及び工事の計画書記載範囲外の管
	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
	質点
	アンカ
	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。)
	スナップ
	ハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。)

5

鳥瞰図	FCS-008-1/4
-----	-------------

9

7

8

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「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。

10

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3	許容応力状態*4
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	格納容器圧力逃がし装置	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L + S _s	V _A S
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	格納容器圧力逃がし装置	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	V _L + S _s	V _A S
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器圧力逃がし装置	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	V _L + S _s	V _A S

注記*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

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

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

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 F C S - 0 0 8

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	0.62	200	165.2	7.1	STS410	—	191000
2	0.62	200	60.5	3.9	S25C	—	191000
3	1.00	200	60.5	3.9	SUS316LTP	—	183000
4	0.62	200	60.5	3.9	STPT410	—	191000

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 F C S - 0 0 8

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	31	64	206	207	208	802									
2	206	365	366												
3	300	301	302	303	304	305	306	307	308	310	311	312	313	314	315
	316	317	319	320	321	322									
4	324	364	365												

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 F C S - 0 0 8

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)
31		300		305		313		321	
64		301		306		314		364	
206		302		307		315		365	
207		303		311		316		366	
208		304		312		320		802	

鳥 瞰 図 F C S - 0 0 8

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
308		317		322	
309		318		323	
310		319		324	

鳥 瞰 図 F C S - 0 0 8

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	309			
弁2	318			
弁3	323			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-008

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
300						
** 304 **						
** 312 **						
316						
** 316 **						

--

K6 ① VI-2-9-4-5-2-1 (重) R0

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
S25C	200	—	218	406	—
STPT410	200	—	207	404	—
STS410	200	—	207	404	—
SUS316LTP	200	—	120	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

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 (%)
FCS-008	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FCS-008

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
10 次				
11 次				
動的震度*2				

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 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。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 F C S - 0 0 8

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

22

鳥瞰図 FCS-008

代表的振動モード図(2次)

23

鳥瞰図 FCS-008

代表的振動モード図(3次)

24

鳥瞰図 FCS-008

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス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 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
FCS-008	$V_A S$	305	$S_{pr m}(S_s)$	97	366	—	—	—
	$V_A S$	305	$S_n(S_s)$	—	—	234	240	—

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)
—	—	—	—	—	—	—

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			
FCS-008-300A	アンカ	ラグ	SUS304	200	4	3	3	1	1	1	曲げ	128	388
FCS-008-316R	レストレイント	Uボルト	SUS304	200	1	2	1	—	—	—	せん断	17	112

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(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 V _A S												
		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	疲 勞 累 積 係 数	代 表
1	FCS-008	305	97	366	3.77	○	305	234	240	1.02	○	—	—	—