Ⅵ-2-10　その他発電用原子炉の附属施設の耐震性に関する説明書

Ⅵ-2-10-1　非常用電源設備の耐震性に関する説明書

Ⅵ-2-10-1-2　非常用発電装置の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-10-1-2-1　非常用ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

VI-2-10-1-2-1-2　非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置は，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防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

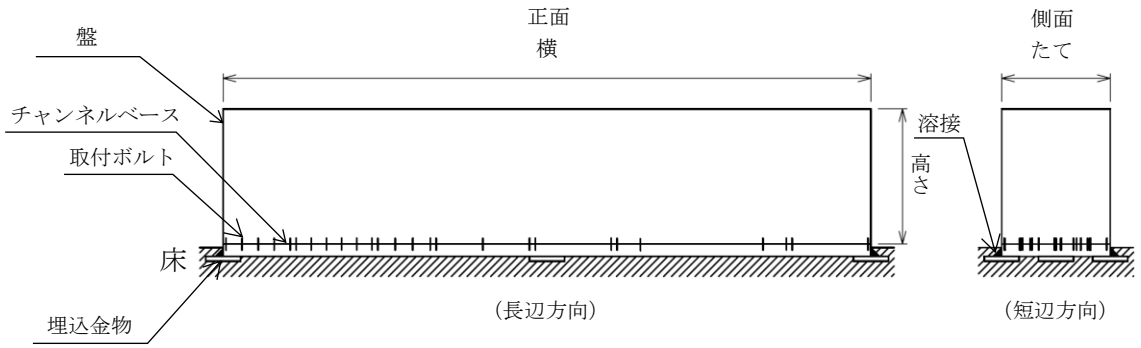
なお，非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。
チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</td><td>直立形
（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）</td><td>【非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置】
 

<table>
<tr><th>機器名称</th><th>2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置
(2-2220A1～A7)</th><th>2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置
(2-2220B1～B7)</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>1900</td><td>1900</td></tr>
<tr><td>横</td><td>11100</td><td>11100</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>2300</td><td>2300</td></tr>
</table>
（単位：mm）</td></tr>
</table>

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表3－1に示す。

表3－1　固有周期　（単位：s）

2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220A1～A7）	水平	□
	鉛直	□
2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220B1～B7）	水平	□
	鉛直	□

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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 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

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 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

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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 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【2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220A1～A7）の耐震性についての計算結果】，【2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220B1～B7）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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	非常用ディーゼル発電設備 励磁装置及び保護継電装置	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	非常用ディーゼル発電設備 励磁装置及び保護継電装置	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 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	せん断
ⅢAS	1.5・f t	1.5・f s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

注記＊：SS400 相当

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

注記＊：SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の電気的機能維持評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置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又はサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220A1～A7)	水平	□
	鉛直	□
2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220B1～B7)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220A1～A7）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220A1～A7)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	C_H=0.78*2	C_V=0.54*2	C_H=1.56*3	C_V=1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	□	1230	16 (M16)	201.1	100	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*		F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
							弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	735	1020	Ｓｄ：9	Ｓｓ：15	215	258	短辺方向	短辺方向
	3990	7010	Ｓｄ：6	Ｓｓ：5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=42$	$f_{ts2}=161^{*}$	$\sigma_{b2}=84$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220A1～A7）	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220A1～A7)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2　機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1230	16 (M16)	201.1	100	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	735	1020	15	—	258	—	短辺方向
	3990	7010	5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=84$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=148$

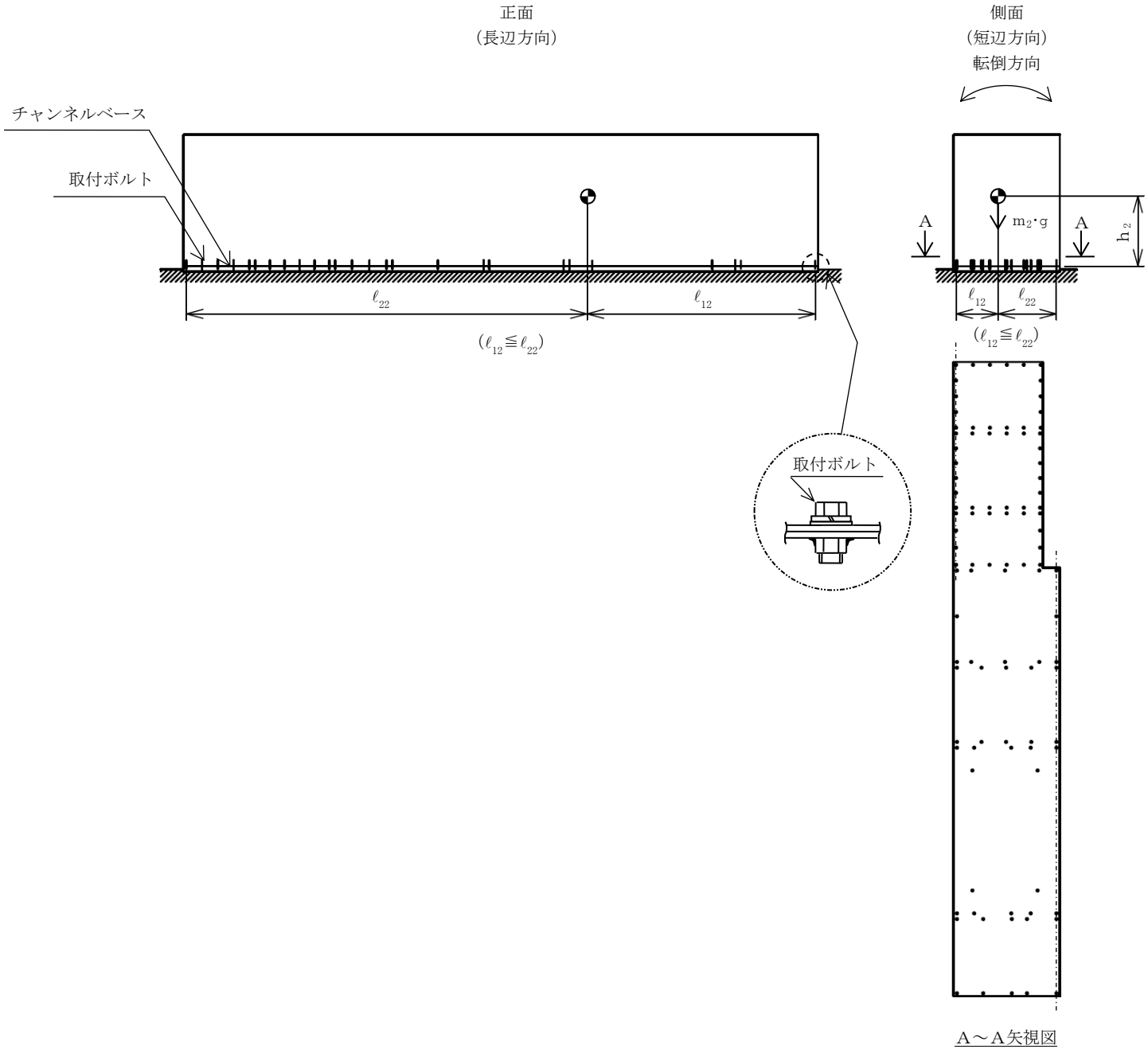
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2A-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220A1～A7）	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト
A～A矢視図

【2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220B1～B7）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220B1～B7)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	[redacted]	[redacted]	C_H=0.78*2	C_V=0.54*2	C_H=1.56*3	C_V=1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	[redacted]	1230	16 (M16)	201.1	100	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*		F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
							弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	735	1020	Ｓｄ：9	Ｓｓ：15	215	258	短辺方向	短辺方向
	3990	7010	Ｓｄ：6	Ｓｓ：5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=42$	$f_{ts2}=161^{*}$	$\sigma_{b2}=84$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220B1～B7）	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220B1～B7)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2　機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	□	1230	16 (M16)	201.1	100	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	735	1020	15	—	258	—	短辺方向
	3990	7010	5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=84$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

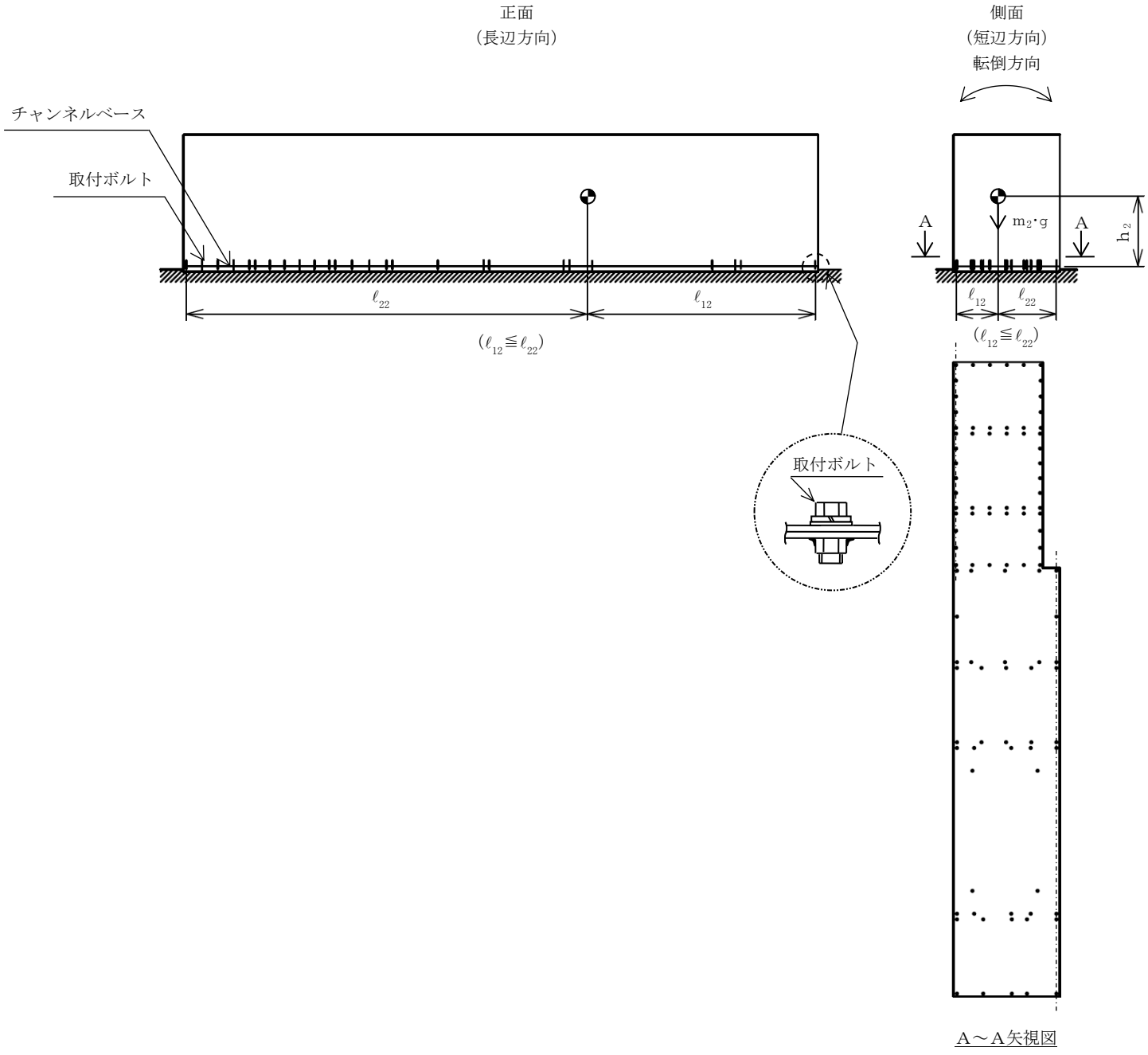
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2B-非常用ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220B1～B7）	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト
A～A矢視図

VI-2-10-1-2-1-4　非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
2.2　評価方針 …… 3
2.3　適用規格・基準等 …… 4
2.4　記号の説明 …… 5
2.5　計算精度と数値の丸め方 …… 10
3.　評価部位 …… 11
4.　固有周期 …… 11
4.1　固有周期の計算方法 …… 11
4.2　固有周期の計算条件 …… 13
4.3　固有周期の計算結果 …… 14
5.　構造強度評価 …… 15
5.1　構造強度評価方法 …… 15
5.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 15
5.3　設計用地震力 …… 20
5.4　計算方法 …… 21
5.5　計算条件 …… 32
5.6　応力の評価 …… 32
6.　評価結果 …… 34
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 34
6.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 34
7.　引用文献 …… 34

1. 概要

本計算書は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

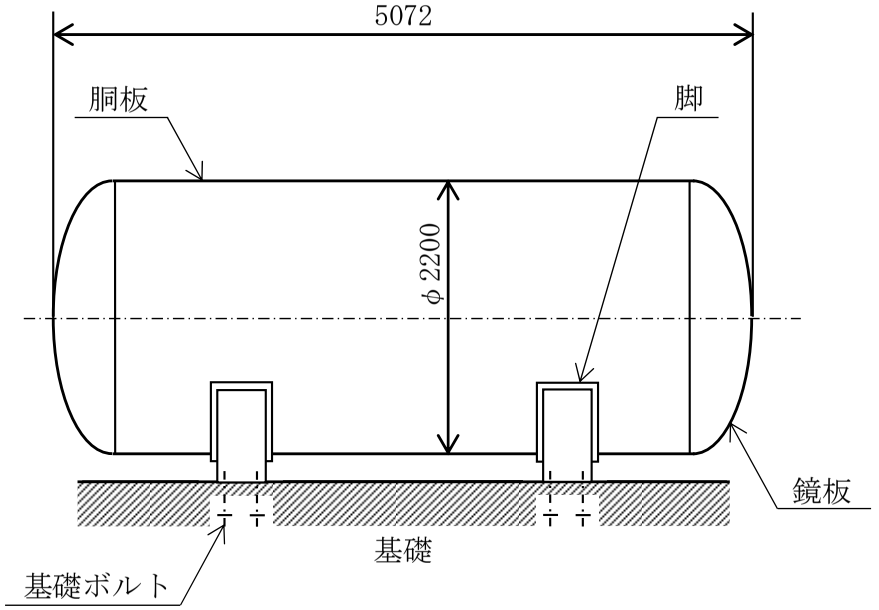
非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴を 2 個の脚で支持し，脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	横置円筒形（両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器）	 （単位：mm）

2.2　評価方針

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの応力評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　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。

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震評価フローを図2－1に示す。

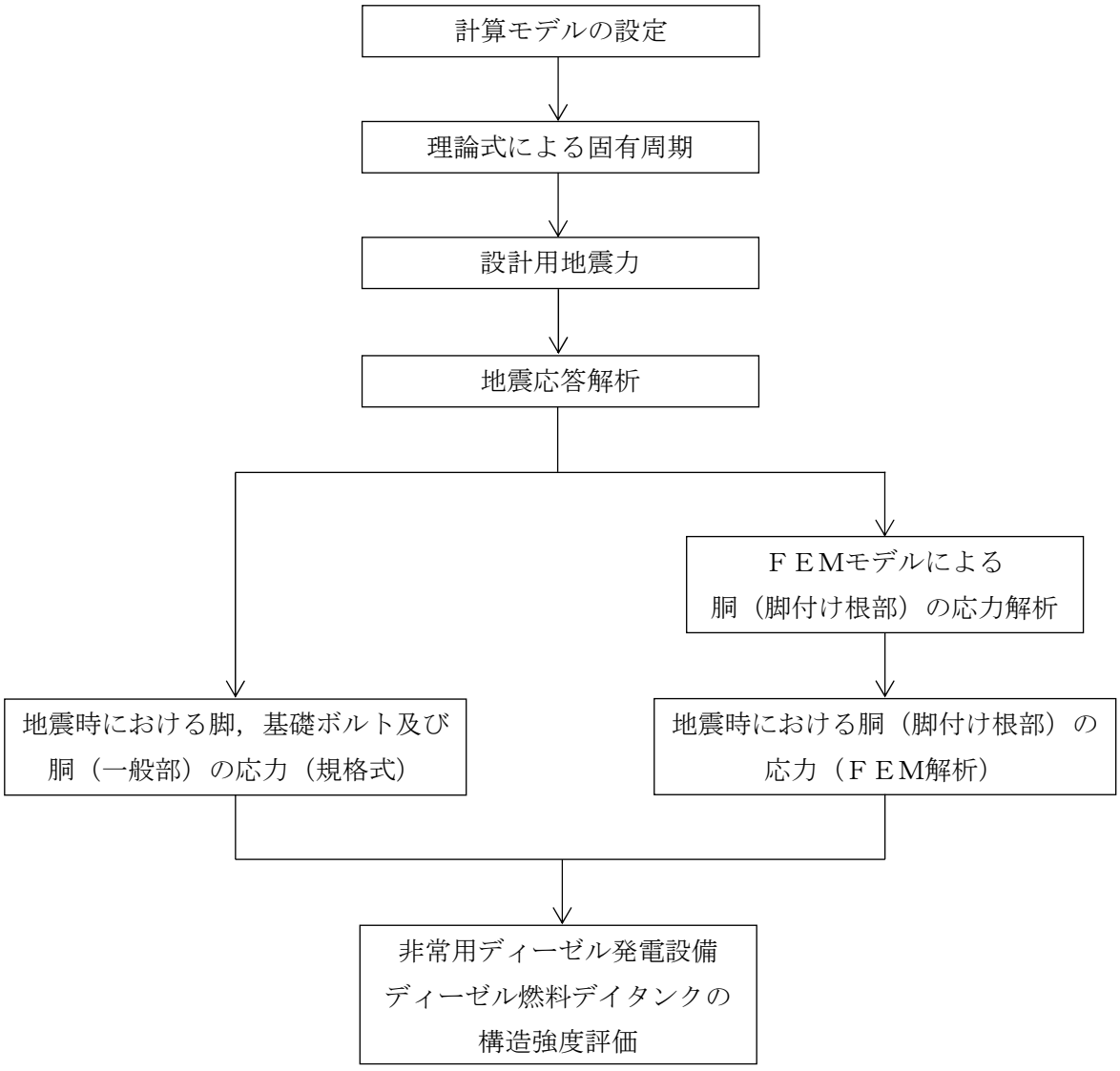


図2－1　非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震評価フロー

2.3　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	第1脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—

記号	記号の説明	単位
j_2	第1脚より第2脚と反対の方向に作用する荷重の数（第1脚上の荷重は含まない。）	—
j_3	第2脚より第1脚と反対の方向に作用する荷重の数（第2脚上の荷重は含まない。）	—
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_ℓ	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_v	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	mm
M	第1脚底板に作用するモーメント	N･mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N･mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N･mm
M_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N･mm
M_{c1}	横方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N･mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用するモーメント	N･mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により第1脚底面に作用するモーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に作用する鉛直荷重	N
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により第1脚底部に作用する鉛直荷重	N
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直荷重	N
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
r_m	脚付け根部における胴の平均半径	mm
r_o	第1脚付け根部における胴の外半径	mm
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa

記号	記号の説明	単位
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm^3
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm^3
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa

記号	記号の説明	単位
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{2}	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{b}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{s}	第1脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の第1脚の組合せ応力	MPa
σ_{s1}	運転時質量により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により第1脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x41}，σ_{x42}	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
σ_{x411}，σ_{x421}	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{x412}, σ_{x422}	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x51}, σ_{x52}	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x71}, σ_{x72}	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}$, $\sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}$, $\sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}$, $\sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}$, $\sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}$, $\sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の第1脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_ℓ	長手方向地震により胴の第1脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により第1脚に生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
比重		—	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
角度		rad	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
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

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる胴，脚及び基礎ボルトについて実施する。非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震評価部位については，表 2－1 の概略構造図に示す。

4.　固有周期

4.1　固有周期の計算方法

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　計算モデル

モデル化に当たっては次の条件で行う。

a.　容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。

b.　容器の胴は 2 個の脚で支持され，脚はそれぞれ基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。

c.　胴は剛体とし，脚をはりと考え，変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。

d.　脚が長手方向に変形する場合，脚を基礎に取り付ける基礎ボルトが，脚の変形方向に直角な方向より見て脚 1 個につき 1 列の場合は下端を単純支持とする。

その他の場合は，固定とする。

e.　第 2 脚は長手方向にスライドできるものとし，その方向の力はすべて第 1 脚で受けるものとする。

f.　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

本容器の荷重状態及び胴に生じるモーメントを図 4－1～図 4－4 に示す。

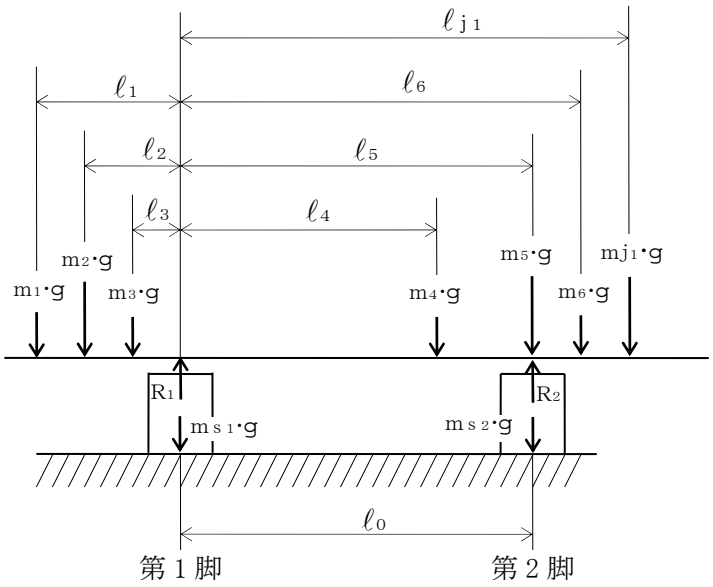


図 4－1　荷重状態

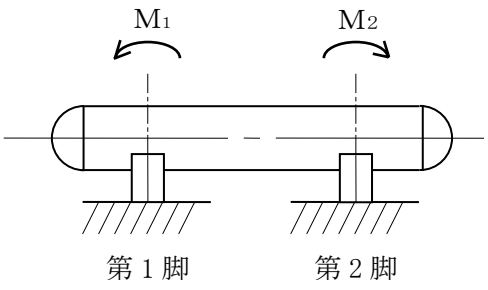


図 4－2　脚の位置での曲げモーメント

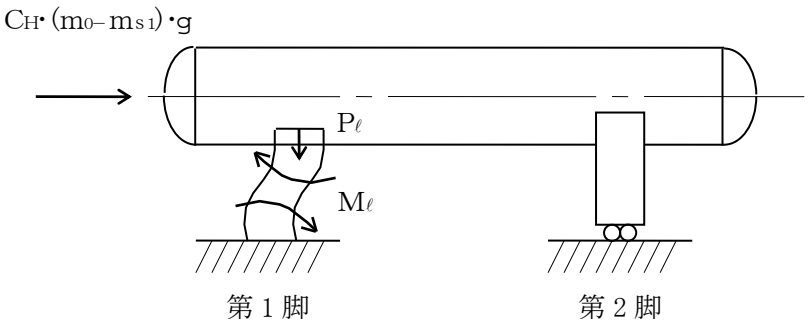


図4－3　長手方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント及び鉛直荷重

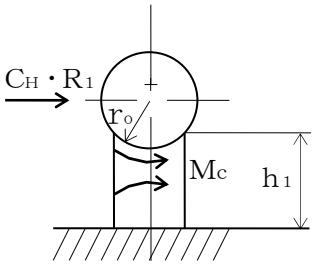


図4－4　横方向荷重による胴の第1脚付け根部のモーメント

本容器は，前記の条件より図 4－5，図 4－6 及び図 4－7 のような 1 質点系振動モデルとして考える。

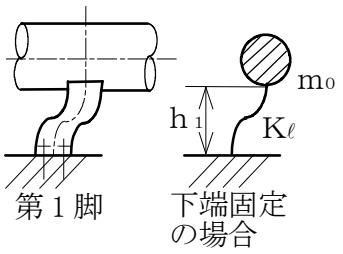


図 4－5　長手方向の固有周期計算モデル

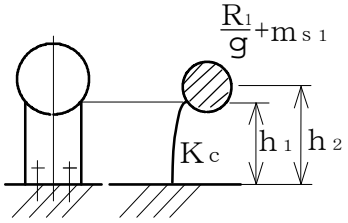


図 4－6　横方向の固有周期計算モデル

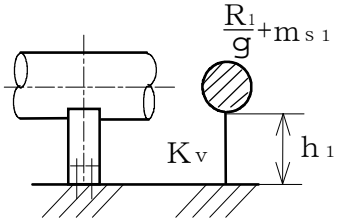


図 4－7　鉛直方向の固有周期計算モデル

(2)　脚の受ける荷重

脚の受ける荷重はモーメントの釣合いより求める。図 4－1 において第 1 脚回りのモーメントの釣合いは次式で求める。

$$\sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot \ell_i - R_2 \cdot \ell_0 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.1)$$

したがって，脚の受ける荷重は次式で求める。

$$R_2 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g \cdot \ell_i / \ell_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.2)$$

$$R_1 = \sum_{i=1}^{j1} m_i \cdot g - R_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.3)$$

(3)　長手方向の固有周期

図 4－5 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_{\ell}=\frac{1000}{\frac{{h_1}^3}{12\cdot E_s\cdot I_{sy}}+\frac{h_1}{G_s\cdot A_{s1}}} \quad \cdots\cdots (4.1.4)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m_0}{K_{\ell}}} \quad \cdots\cdots (4.1.5)$$

(4)　横方向の固有周期

図 4－6 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c=\frac{1000}{\frac{{h_1}^2\cdot(3\cdot h_2-h_1)}{6\cdot E_s\cdot I_{sx}}+\frac{(h_2-h_1)\cdot h_1\cdot(h_2-h_1/2)}{E_s\cdot I_{sx}}+\frac{h_1}{G_s\cdot A_{s2}}} \quad \cdots\cdots (4.1.6)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{\frac{R_1}{g}+m_{s1}}{K_c}} \quad \cdots\cdots (4.1.7)$$

ただし，脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

(5)　鉛直方向の固有周期

図 4－7 におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v=\frac{1000}{\frac{h_1}{A_s\cdot E_s}} \quad \cdots\cdots (4.1.8)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{\frac{R_1}{g}+m_{s1}}{K_v}} \quad \cdots\cdots (4.1.9)$$

ただし，脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

4.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3　固有周期の計算結果

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

表 4－1　固有周期　　（単位：s）

水平	
鉛直	

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～f.のほか，次の条件で計算する。概要図を図 5－1 に示す。

(1)　地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。ここで，水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，ＳＲＳＳ法を用いる。

(2)　第 1 脚と第 2 脚は同形状であり，受ける荷重の大きい方の脚についての評価を計算書に記載する。

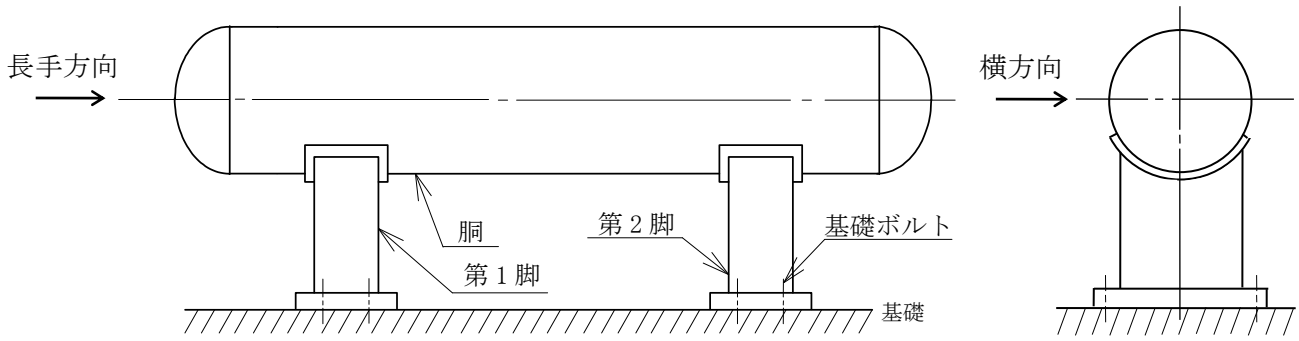


図 5－1　概要図

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 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

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5－3 及び表 5－4 に示す。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5－5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5－6 に示す。

表５－１　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料デイタンク	S	―*	$D+P_D+M_D+S_d^*$	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記＊：クラス２，３容器及びクラス２，３支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表５－２　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料デイタンク	常設／防止 （ＤＢ拡張）	―*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。
＊2：重大事故等クラス２容器及び重大事故等クラス２支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。
＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表5－3　許容応力（クラス２，３容器及び重大事故等クラス２容器）

許容応力状態	許容限界*1，*2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
ⅢAS	Syと0.6・Suの小さい方 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動Sd又は基準地震動Ssのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・Sy以下であれば疲労解析は不要	
ⅣAS	0.6・Su	左欄の1.5倍の値		
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）			基準地震動Ssのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・Sy以下であれば疲労解析は不要	

注記＊1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

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

表5－4　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等以外）	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
ⅢＡＳ	1.5・f_t	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣＡＳ	1.5・f_t^*	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 5－5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SS41＊ (厚さ≦16mm)	最高使用温度	45	―	243	397	―
脚	SS41＊ (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	50	―	231	394	―
基礎ボルト	SS41＊ (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	50	―	211	394	―

注記＊：SS400 相当

表 5－6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SS41＊ (厚さ≦16mm)	最高使用温度	45	―	243	397	―
脚	SS41＊ (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	50	―	231	394	―
基礎ボルト	SS41＊ (40mm＜径≦100mm)	周囲環境温度	50	―	211	394	―

注記＊：SS400 相当

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5－7 及び表 5－8 に示す。

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

表 5－7　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
原子炉建物 EL 8.8*1	[redacted]		C_H＝0.78*2	C_V＝0.54*2	C_H＝1.56*3	C_V＝1.16*3

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度

＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

表 5－8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
原子炉建物 EL 8.8*1	[redacted]		—	—	C_H＝1.56*2	C_V＝1.16*2

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　胴の計算方法

(1)　曲げモーメント

図4－1に示すように胴を集中荷重を受けるはりとして考える。

図4－2において脚付け根部における曲げモーメントM_1及びM_2は次式で求める。

$$M_1=\sum_{i=1}^{j_2} m_i \cdot g \cdot |\ell_i| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.1)$$

$$M_2=\sum_{i=j_1-j_3+1}^{j_1} m_i \cdot g \cdot |\ell_i-\ell_0| \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.2)$$

(2)　静水頭による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.3)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_v}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.5)$$

(3)　運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

(1)で求めた曲げモーメントにより胴の第1脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば，この曲げモーメントは胴の断面に対して一様に作用するものではなく，脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ，胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上$\frac{\theta_0}{6}$の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図5－2に$2 \cdot \theta$で示される円殻である。

したがって，運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x2}=\frac{M_1}{Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.6)$$

また，鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x6}=\frac{M_1}{Z} \cdot C_v \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.7)$$

ここで,

$$r_m=\frac{D_i+t_e}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.8)$$

$$Z=r_m^2\cdot t_e\cdot\left\{\frac{\theta+\sin\theta\cdot\cos\theta-2\cdot\sin^2\theta/\theta}{(\sin\theta/\theta)-\cos\theta}\right\} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.9)$$

であり，脚付け根部における胴の有効板厚t_eは胴板の厚さとする。

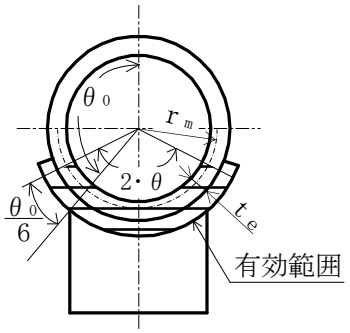


図5－2　脚付け根部の有効範囲

(4)　運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

胴の脚付け根部には脚反力による周方向応力及び軸方向応力が生じる。胴の第1脚付け根部に作用する反力は次式で求める。

運転時質量による反力は,

$$P=R_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.10)$$

鉛直方向地震による反力は,

$$P_e=C_v\cdot R_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.11)$$

一次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 3}$及び軸方向応力σ_{x3}は「5.4.2　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに反力Pを入力し，ＦＥＭ解析により求める。

一次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 71}$及び軸方向応力σ_{x71}並びに二次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 72}$及び軸方向応力σ_{x72}は「5.4.2　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに反力Peを入力し，ＦＥＭ解析により求める。

(5)　長手方向地震による脚付け根部の応力

第2脚は長手方向に自由にスライドできるので第1脚は図4－3のように変形し，脚付け根部に生じる曲げモーメント及び鉛直荷重は次式で求める。

$$M_\ell=\frac{1}{2}\cdot C_H\cdot(m_0-m_{s1})\cdot g\cdot h_1 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.12)$$

$$P_\ell=C_H\cdot(m_0-m_{s1})\cdot g\cdot\frac{h_2-\frac{1}{2}\cdot h_1}{\ell_0} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.13)$$

一次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 411}$及び軸方向応力σ_{x411}並びに二次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 421}$及び軸方向応力σ_{x421}は「5.4.2　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに曲げモーメントM_{ℓ}を入力し，ＦＥＭ解析により求める。

一次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 412}$及び軸方向応力σ_{x412}並びに二次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 422}$及び軸方向応力σ_{x422}は「5.4.2　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに鉛直荷重P_{ℓ}を入力し，ＦＥＭ解析により求める。

また，水平方向荷重により胴には，次式で求める引張応力が生じる。

$$\sigma_{x413}=\frac{C_H\cdot(m_0-m_{s1})\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.14)$$

したがって，曲げモーメントM_{ℓ}，鉛直荷重P_{ℓ}及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41}=\sigma_{\phi 411}+\sigma_{\phi 412} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.15)$$

$$\sigma_{x41}=\sigma_{x411}+\sigma_{x412}+\sigma_{x413} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.16)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42}=\sigma_{\phi 421}+\sigma_{\phi 422} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.17)$$

$$\sigma_{x42}=\sigma_{x421}+\sigma_{x422} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.18)$$

また，長手方向地震が作用した場合，第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell}=\frac{C_H\cdot(m_0-m_{s1})\cdot g}{4\cdot C_2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.19)$$

(6)　横方向地震による脚付け根部の応力

脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

横方向地震が作用した場合，第1脚の付け根部に生じる曲げモーメントM_cは次式で求める。

$$M_c=C_H\cdot R_1\cdot r_o \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.20)$$

$$r_o=\frac{D_i}{2}+t_e \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.21)$$

一次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 51}$及び軸方向応力σ_{x51}並びに二次応力のうち，周方向応力$\sigma_{\phi 52}$及び軸方向応力σ_{x52}は「5.4.2　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルに曲げモーメントM_cを入力し，ＦＥＭ解析により求める。

また，横方向地震が作用した場合，第1脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c=\frac{C_H\cdot R_1}{4\cdot C_1\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.22)$$

(7) 組合せ応力

(2)～(6)によって求めた第1脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせる。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$\sigma_{0\ell}$＝Max｛周方向応力($\sigma_{0\ell\phi}$)，軸方向応力($\sigma_{0\ell x}$)｝

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.1.23)

ここで，

$\sigma_{0\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.1.24)

$\sigma_{0\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x6}{}^2+\sigma_{x413}{}^2}$ ・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.1.25)

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

σ_{0c}＝Max｛周方向応力($\sigma_{0c\phi}$)，軸方向応力(σ_{0cx})｝

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.1.26)

ここで，

$\sigma_{0c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.1.27)

$\sigma_{0cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x6}$ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.1.28)

したがって，胴に生じる一次一般膜応力の最大値は，

σ_0＝Max｛長手方向地震時応力($\sigma_{0\ell}$)，横方向地震時応力(σ_{0c})｝

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.1.29)

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1\ell\phi}+\sigma_{1\ell x})+\sqrt{(\sigma_{1\ell\phi}-\sigma_{1\ell x})^2+4\cdot\tau_{\ell}^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.30)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 41}^2+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.31)$$

$$\sigma_{1\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{\sigma_{x41}^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.32)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1c\phi}+\sigma_{1cx})+\sqrt{(\sigma_{1c\phi}-\sigma_{1cx})^2+4\cdot\tau_{c}^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.33)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 51}^2+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{1cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{\sigma_{x51}^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.35)$$

したがって，胴に生じる一次応力の最大値は，

σ_1＝Max｛長手方向地震時応力($\sigma_{1\ell}$)，横方向地震時応力(σ_{1c})｝ $\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$ (5.4.1.1.36)

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell}=(\sigma_{2\ell\phi}+\sigma_{2\ell x})+\sqrt{(\sigma_{2\ell\phi}-\sigma_{2\ell x})^2+4\cdot\tau_{\ell}^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.37)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^2+(\sigma_{\phi 41}+\sigma_{\phi 42})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{2\ell x}=\sqrt{(\sigma_{x41}+\sigma_{x42})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.39)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c}=(\sigma_{2c\phi}+\sigma_{2cx})+\sqrt{(\sigma_{2c\phi}-\sigma_{2cx})^2+4\cdot\tau_{c}^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.40)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^2+(\sigma_{\phi 51}+\sigma_{\phi 52})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.41)$$

$$\sigma_{2cx}=\sqrt{(\sigma_{x51}+\sigma_{x52})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.42)$$

したがって，胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_2=\mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c})\} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.43)$$

とする。

5.4.1.2　脚の計算方法

脚の受ける荷重が$R_2 > R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

(1)　運転時荷重による応力

$$\sigma_{s1}=\frac{R_1+m_{s1}\cdot g}{A_s} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.1)$$

(2)　鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4}=\frac{R_1+m_{s1}\cdot g}{A_s}\cdot C_V \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.2)$$

(3)　長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は次式で求める。

$$\sigma_{s2}=\frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}}+\frac{P_\ell}{A_s} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.3)$$

ここで，

$$M_{\ell 1}=\frac{1}{2}\cdot C_H\cdot m_0\cdot g\cdot h_1 \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2}=\frac{C_H\cdot m_0\cdot g}{A_{s3}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.5)$$

(4)　横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3}=\frac{C_H\cdot (R_1+m_{s1}\cdot g)\cdot h_2}{Z_{sx}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.6)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3}=\frac{C_H\cdot (R_1+m_{s1}\cdot g)}{A_{s4}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.7)$$

(5)　組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s4}^2})^2+3\cdot\tau_{s2}^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.8)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s3}^2+\sigma_{s4}^2})^2+3\cdot\tau_{s3}^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.9)$$

したがって，脚に生じる最大応力は，

σ_s＝Max｛長手方向地震時応力($\sigma_{s\ell}$)，横方向地震時応力(σ_{sc})｝

$$\cdots\cdots (5.4.1.2.10)$$

とする。

5.4.1.3　基礎ボルトの計算方法

(1)　鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a.　引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは次式で求める。

$$M = M_{\ell 1} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.1)$$

鉛直荷重は

$$P_s = R_1 + m_{s1} \cdot g - \sqrt{\{C_v \cdot (R_1 + m_{s1} \cdot g)\}^2 + P_{\ell}^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.2)$$

である。ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.3)$$

とする。

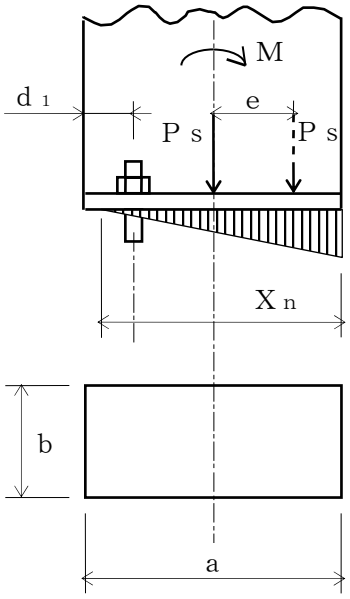


図 5－3　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 1）

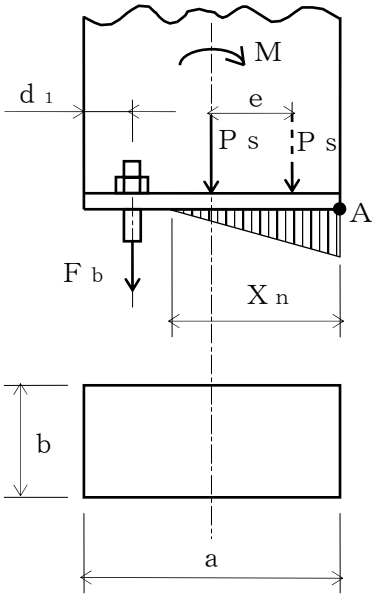


図 5－4　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 2）

図5－3のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため，引張力の評価は行わない。

一方，図5－4のように，ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.4)$$

の場合及びｅが負の場合に，基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図5－4において，鉛直荷重の釣合い，A点回りのモーメントの釣合い，基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置X_nは

$$X_n^3+3\cdot\left(e-\frac{a}{2}\right)\cdot X_n^2-\frac{6\cdot s\cdot A_b\cdot n_1}{b}\cdot\left(e+\frac{a}{2}-d_1\right)\cdot(a-d_1-X_n)=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.5)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b=\frac{P_s\cdot\left(e-\frac{a}{2}+\frac{X_n}{3}\right)}{a-d_1-\frac{X_n}{3}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.6)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1}=\frac{F_b}{n_1\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.7)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.8)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1}=\frac{C_H\cdot m_0\cdot g}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.9)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

脚の受ける荷重が$R_2>R_1$となる場合は，R_1をR_2に置き換える。

a. 引張応力

鉛直方向と横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントは

$$M_{c1}=C_H\cdot(R_1+m_{s1}\cdot g)\cdot h_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.10)$$

鉛直荷重は

$$P_{s1}=(1-C_v)\cdot(R_1+m_{s1}\cdot g) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.11)$$

で求める。

(1)と同様にして引張応力は求められるが，MをM_{c1}，P_sをP_{s1}，d_1をd_2，aをb，bをa及びn_1をn_2に置き換え，得られた基礎ボルトの応力をσ_{b2}とする。

b. せん断応力

$$\tau_{b2}=\frac{C_H\cdot(R_1+m_{s1}\cdot g)}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.3.12)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものをσ_b及びτ_bとする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

σ_b＝Max｛長手方向地震時応力(σ_{b1})，横方向地震時応力(σ_{b2})｝

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.3.13)

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

τ_b＝Max｛長手方向地震時応力(τ_{b1})，横方向地震時応力(τ_{b2})｝

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (5.4.1.3.14)

5.4.2　解析モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの解析モデルを図 5－5 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震性についての計算書】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

(1)　ディーゼル燃料デイタンクの脚及び胴（胴板及び当板）について，脚付け根部の応力を評価するために十分な範囲をシェル要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。なお，胴の応力が大きくなるように脚底面は剛体とする。

(3)　計算機コードは「ＡＢＡＱＵＳ」を使用し，胴の応力のうち脚付け根部の応力をＦＥＭ解析により求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

図 5－5　解析モデルの概要

図 5－6　荷重作用点並びに荷重及びモーメントの入力方法（下から見た図）

5.5　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　胴の応力評価

5.4.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。ただし，Ｓａは下表による。

応力の種類	許容応力Ｓａ	
	弾性設計用地震動Ｓｄ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	Ｓｙと 0.6・Ｓｕのいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては 1.2・Ｓの方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	0.6・Ｓｕ
一次応力 （一次膜応力＋ 一次曲げ応力）	上記の 1.5 倍の値	
一次＋二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が 2・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要とする。	
一次＋二次 ＋ピーク応力		

5.6.2　脚の応力評価

5.4.1.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力ｆｔｍ以下であること。

ただし，ｆｔｍは下表による。

	弾性設計用地震動Ｓｄ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 ｆｔｍ	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^{*}}{1.5}\cdot 1.5$

5.6.3　基礎ボルトの応力評価

5.4.1.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

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

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 引用文献

(1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

【非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンク	S	原子炉建物 EL 8.8*1			C_H=0.78*2	C_V=0.54*2	C_H=1.56*3	C_V=1.16*3	静水頭	45	50	1.00

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

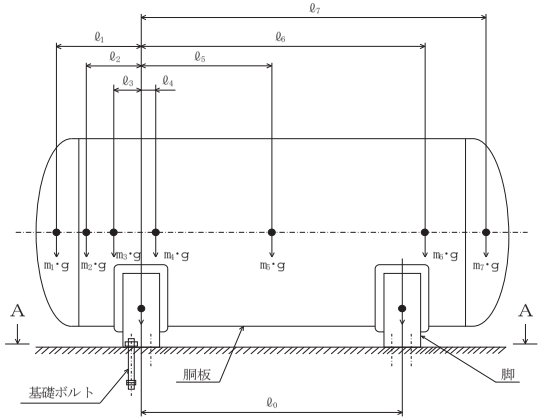
1.2 機器要目

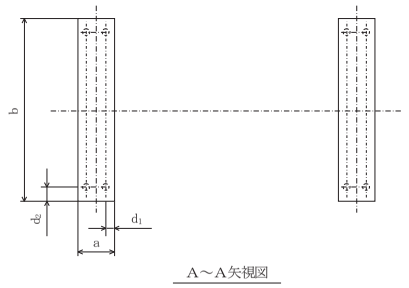
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
-845	-700	-350	160	1400	3150	3645	2.021×10^7	2.005×10^7	9.563×10^4	9.148×10^4	1810

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
			2200	9.0	9.0	2800	857	1325

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1037.5	200	3.125×10^{10}	4.065×10^8	3.012×10^7	2.032×10^6	1.959	1.509





A～A矢視図

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
6.838×10^4	201000*2	77300*2	2.786×10^4	3.753×10^4	2.037×10^4	2.936×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	400	2120	48 (M48)	1810 (M48)	95	162.5

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*(脚) (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*(基礎ボルト) (MPa)
243*1 (厚さ≦16mm)	397*1 (厚さ≦16mm)	—	231*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	394*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	231	276	211*2 (40mm＜径≦100mm)	394*2 (40mm＜径≦100mm)	211	253

注記＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

1.3　計算数値

1.3.1　胴に生じる応力

(1)　一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=3$	—	$\sigma_{x 6}=3$	—	$\sigma_{x 6}=6$	—	$\sigma_{x 6}=6$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=3$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=5$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell}=9$		$\sigma_{0c}=8$		$\sigma_{0\ell}=13$		$\sigma_{0c}=11$	

(2)　一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}=3$	—	$\sigma_{x 6}=3$	—	$\sigma_{x 6}=6$	—	$\sigma_{x 6}=6$
運転時質量による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=1$	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=1$	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=1$	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=1$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x 71}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	$\sigma_{x 71}=1$	$\sigma_{\phi 71}=2$	$\sigma_{x 71}=2$	$\sigma_{\phi 71}=2$	$\sigma_{x 71}=2$
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 411}=13$ $\sigma_{\phi 412}=33$	$\sigma_{x 411}=13$ $\sigma_{x 412}=49$	$\sigma_{\phi 51}=1$	$\sigma_{x 51}=1$	$\sigma_{\phi 411}=26$ $\sigma_{\phi 412}=65$	$\sigma_{x 411}=26$ $\sigma_{x 412}=98$	$\sigma_{\phi 51}=2$	$\sigma_{x 51}=2$
		$\sigma_{\phi 41}=14$	$\sigma_{x 41}=16$			$\sigma_{\phi 41}=27$	$\sigma_{x 41}=32$		
	せん断	$\tau_{\ell}=21$		$\tau_{c}=2$		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=4$	
組合せ応力		$\sigma_{1\ell}=41$		$\sigma_{1c}=11$		$\sigma_{1\ell}=77$		$\sigma_{1c}=15$	

(3)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}=3$	—	$\sigma_{x 6}=3$	—	$\sigma_{x 6}=6$	—	$\sigma_{x 6}=6$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x 71}=1$ $\sigma_{x 72}=2$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x 71}=1$ $\sigma_{x 72}=2$	$\sigma_{\phi 71}=2$ $\sigma_{\phi 72}=4$	$\sigma_{x 71}=2$ $\sigma_{x 72}=5$	$\sigma_{\phi 71}=2$ $\sigma_{\phi 72}=4$	$\sigma_{x 71}=2$ $\sigma_{x 72}=5$
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 41}=14$	$\sigma_{x 41}=16$	$\sigma_{\phi 51}=1$	$\sigma_{x 51}=1$	$\sigma_{\phi 41}=27$	$\sigma_{x 41}=32$	$\sigma_{\phi 51}=2$	$\sigma_{x 51}=2$
		$\sigma_{\phi 421}=1$ $\sigma_{\phi 422}=2$	$\sigma_{x 421}=1$ $\sigma_{x 422}=2$	$\sigma_{\phi 52}=2$	$\sigma_{x 52}=3$	$\sigma_{\phi 421}=2$ $\sigma_{\phi 422}=3$	$\sigma_{x 421}=1$ $\sigma_{x 422}=4$	$\sigma_{\phi 52}=4$	$\sigma_{x 52}=6$
		$\sigma_{\phi 42}=34$	$\sigma_{x 42}=51$			$\sigma_{\phi 42}=68$	$\sigma_{x 42}=102$		
	せん断	$\tau_{\ell}=21$		$\tau_{c}=2$		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=4$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell}=160$		$\sigma_{2c}=15$		$\sigma_{2\ell}=320$		$\sigma_{2c}=31$	

1.3.2　脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_{s1}=2$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=1$	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=33$	$\sigma_{s3}=4$	$\sigma_{s2}=66$	$\sigma_{s3}=7$
	せん断	$\tau_{s2}=8$	$\tau_{s3}=3$	$\tau_{s2}=15$	$\tau_{s3}=6$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell}=37$	$\sigma_{sc}=7$	$\sigma_{s\ell}=73$	$\sigma_{sc}=13$

1.3.3　基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{b1}=63$	$\sigma_{b2}=11$	$\sigma_{b1}=142$	$\sigma_{b2}=35$
水平方向地震による応力	せん断	$\tau_{b1}=22$	$\tau_{b2}=11$	$\tau_{b1}=43$	$\tau_{b2}=22$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41	一次一般膜	σ_0＝9	S_a＝238	σ_0＝13	S_a＝238
		一次	σ_1＝41	S_a＝357	σ_1＝77	S_a＝357
		一次＋二次	σ_2＝160	S_a＝486	σ_2＝320	S_a＝486
脚	SS41	組合せ	σ_s＝37	f_{tm}＝231	σ_s＝73	f_{tm}＝276
基礎ボルト	SS41	引張	σ_b＝63	f_{ts}＝158*	σ_b＝142	f_{ts}＝190*
		せん断	τ_b＝22	f_{sb}＝122	τ_b＝43	f_{sb}＝146

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
胴の縦弾性係数	E	MPa	201000*
ポアソン比	ν	―	0.3
要素数	―	個	4350
節点数	―	個	4463

注記＊：最高使用温度

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイタンク	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建物 EL 8.8*1	[redacted]		—	—	C_H＝1.56*2	C_V＝1.16*2	静水頭	45	50	1.00

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

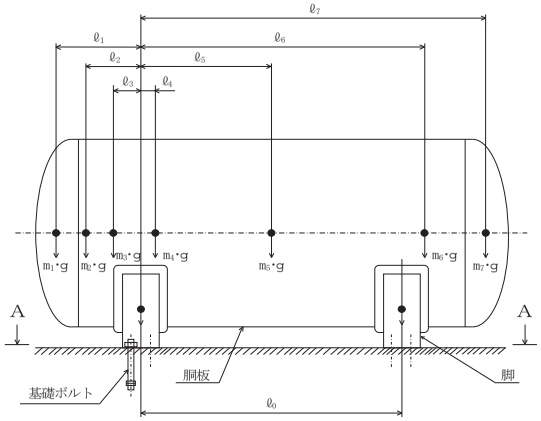
2.2 機器要目

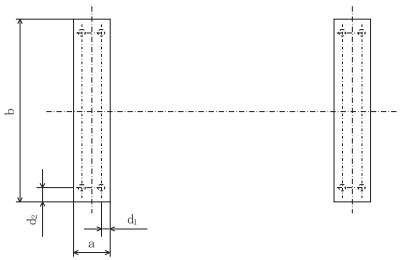
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)
[redacted]						

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)	H (mm)
−845	−700	−350	160	1400	3150	3645	2.021×10^7	2.005×10^7	9.563×10^4	9.148×10^4	1810

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
[redacted]			2200	9.0	9.0	2800	857	1325

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1037.5	200	3.125×10^{10}	4.065×10^8	3.012×10^7	2.032×10^6	1.959	1.509





A～A矢視図

A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
6.838×10^4	201000*2	77300*2	2.786×10^4	3.753×10^4	2.037×10^4	2.936×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	400	2120	48 (M48)	1810 (M48)	95	162.5

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*(脚) (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*(基礎ボルト) (MPa)
243*1 (厚さ≦16mm)	397*1 (厚さ≦16mm)	—	231*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	394*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	—	276	211*2 (40mm＜径≦100mm)	394*2 (40mm＜径≦100mm)	—	253

注記＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=6$	—	$\sigma_{x 6}=6$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=5$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\ell}=13$		$\sigma_{0c}=11$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$	$\sigma_{\phi 1}=3$	$\sigma_{x 1}=1$
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=5$	—	$\sigma_{x 2}=5$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=6$	—	$\sigma_{x 6}=6$
運転時質量による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=1$	$\sigma_{\phi 3}=2$	$\sigma_{x 3}=1$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=2$	$\sigma_{x 71}=2$	$\sigma_{\phi 71}=2$	$\sigma_{x 71}=2$
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=26$ $\sigma_{\phi 412}=65$ $\sigma_{\phi 41}=27$	$\sigma_{x 411}=26$ $\sigma_{x 412}=98$ $\sigma_{x 41}=32$	$\sigma_{\phi 51}=2$	$\sigma_{x 51}=2$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=4$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{1\ell}=77$		$\sigma_{1c}=15$	

(3)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—	$\sigma_{\phi 2}=3$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=6$	—	$\sigma_{x 6}=6$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=2$ $\sigma_{\phi 72}=4$	$\sigma_{x 71}=2$ $\sigma_{x 72}=5$	$\sigma_{\phi 71}=2$ $\sigma_{\phi 72}=4$	$\sigma_{x 71}=2$ $\sigma_{x 72}=5$
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=27$	$\sigma_{x 41}=32$	$\sigma_{\phi 51}=2$	$\sigma_{x 51}=2$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=2$ $\sigma_{\phi 422}=3$	$\sigma_{x 421}=1$ $\sigma_{x 422}=4$	$\sigma_{\phi 52}=4$	$\sigma_{x 52}=6$
		—	—			$\sigma_{\phi 42}=68$	$\sigma_{x 42}=102$		
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=4$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell}=320$		$\sigma_{2c}=31$	

2.3.2　脚に生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=2$	$\sigma_{s1}=2$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=66$	$\sigma_{s3}=7$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=15$	$\tau_{s3}=6$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell}=73$	$\sigma_{sc}=13$

2.3.3　基礎ボルトに生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1}=142$	$\sigma_{b2}=35$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=43$	$\tau_{b2}=22$

2.4　結論

2.4.1　固有周期　　（単位：s）

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

2.4.2　応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41	一次一般膜	—	—	σ_0＝13	S_a＝238
		一次	—	—	σ_1＝77	S_a＝357
		一次＋二次	—	—	σ_2＝320	S_a＝486
脚	SS41	組合せ	—	—	σ_s＝73	f_{tm}＝276
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	σ_b＝142	f_{ts}＝190*
		せん断	—	—	τ_b＝43	f_{sb}＝146

すべて許容応力以下である。

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

2.5　その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
胴の縦弾性係数	E	MPa	201000*
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	4350
節点数	—	個	4463

注記＊：最高使用温度

Ⅵ-2-10-1-2-1-5　非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
3.　構造強度評価 …… 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
3.3　計算条件 …… 3
4.　機能維持評価 …… 8
4.1　基本方針 …… 8
4.2　ポンプの動的機能維持評価 …… 9
4.3　原動機の動的機能維持評価 …… 17
5.　評価結果 …… 17
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 17
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 17

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

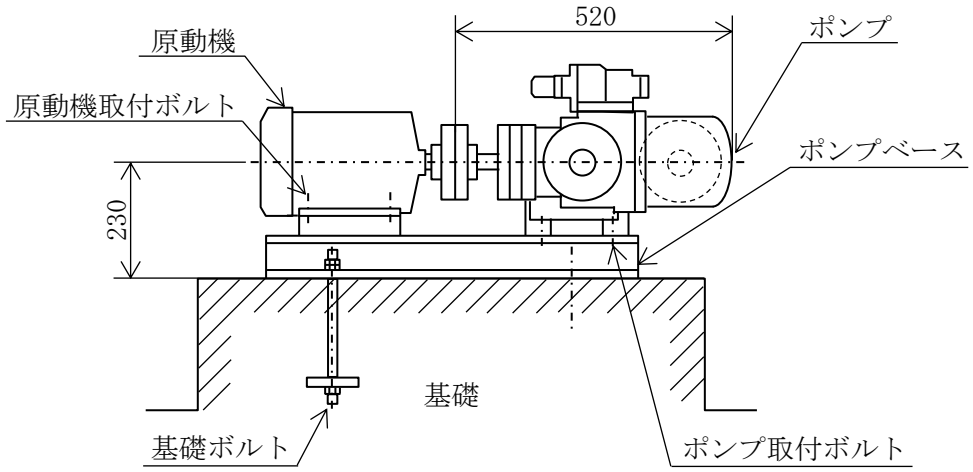
なお，非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプは，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価はⅥ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-1　横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を行う。また，非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプは，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，新たに評価項目を検討し，評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送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	
ポンプ等はポンプベースに取付ボルトで固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	スクリュー式 （スクリュー式横形ポンプ）	 （単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-1　横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，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

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3－1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3－2 に示す。

3.2.2 許容応力

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3－3 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3－4 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【非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ	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：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 3－3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢAS	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣAS	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

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

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

表 3－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS41* (径≦16mm)	周囲環境温度	50	241	394	―
ポンプ取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	最高使用温度	40	235	400	―
原動機取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	50	231	394	―

注記＊：SS400 相当

表 3－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS41* (径≦16mm)	周囲環境温度	50	241	394	―
ポンプ取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	最高使用温度	40	235	400	―
原動機取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	50	231	394	―

注記＊：SS400 相当

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプは，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，新たに評価項目を検討し，評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる応答加速度は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

(1) 原動機は横形ころがり軸受電動機であるため，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されている原動機の機能確認済加速度を適用する。

4.2　ポンプの動的機能維持評価

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプは，地震後機能維持が要求される設備であるが，ポンプの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1　評価対象部位

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプは，原子力発電耐震設計特別調査委員会報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書（昭和 62 年 2 月）」及び電力共通研究「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）」における類似構造の既往知見を踏まえ，地震時異常要因分析に基づいて，評価項目を以下のとおり抽出して評価を実施する。

a.　基礎ボルト
b.　取付ボルト
c.　軸
d.　軸受
e.　摺動部（主ねじ部）
f.　メカニカルシール
g.　軸継手

このうち「a.　基礎ボルト」「b.　取付ボルト」については，「3.　構造強度評価」に従い評価を行った「5.　評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。また，「g.　軸継手」は，軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため，評価対象外とする。

以上より，本計算書においては，軸，軸受，摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.2.2　評価基準値

軸の許容応力は，軸の変形等による回転機能への影響を考慮し，軸の変形を弾性範囲内に留めるよう，その他の支持構造物の許容応力状態ⅢＡＳに準拠し設定する。摺動部（主ねじ部）については，主ねじとスリーブの接触による，回転機能，移送機能への影響を考慮して主ねじとスリーブ間隙間を評価基準値とする。軸受は，回転機能確保の観点より荷重（面圧）を，メカニカルシールは，流体保持機能確保の観点よりシール回転環の変位可能量を評価基準値とする。評価基準値を表 4－1 に示す。

表 4－1　評価基準値

評価対象部位	材料	単位	評価基準値
軸	[redacted]	MPa	[redacted]
軸受Ａ	－	N	
軸受Ｂ		MPa	
摺動部（主ねじ部）	－	mm	
メカニカルシール	－	mm	

4.2.3　記号の説明

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表 4－2 に示す。

表 4－2　記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Ａまでの距離（＝ℓ_2）	mm
A	軸の断面積	mm^2
A_{RB}	ラジアル荷重を受ける軸受Ｂの投影面積	mm^2
b	軸端から支点Ｂまでの距離	mm
C_H	水平方向震度	－
C_P	ポンプ振動による震度	－
C_V	鉛直方向震度	－
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_1	摺動部（主ねじ部）の評価における軸の断面二次モーメント	mm^4
I_2	メカニカルシールの評価における軸の断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	軸端から支点Ａまでの距離（＝ａ）	mm
M	最大曲げモーメント	N･mm
m_0	軸系総質量	kg
m_1	軸質量	kg
m_2	軸継手質量	kg
M_{A1}	支点Ａの軸等分布荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{A2}	支点Ａの軸継手端部荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{B1}	支点Ｂの軸等分布荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{B2}	支点Ｂの軸継手端部荷重による曲げモーメント	N･mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N･mm
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
P	原動機出力	kW
P_{RB}	ラジアル荷重による軸受Ｂの面圧	MPa
W_0	軸受にかかる通常運転時荷重	N
W_1	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
W_2	地震力を考慮した軸端部荷重	N
W_3	地震力を考慮した軸質量による支点Ａ，Ｂ間中央位置にかかる荷重	N
W_{0R}	軸受Ａの静等価ラジアル荷重	N

記号	記号の説明	単位
W_{RA}	軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重	N
W_{RB}	軸受Bにかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x_1	軸端から支点A，B間中央位置までの距離	mm
x_2	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
X_0	静ラジアル荷重係数	－
Y_0	静アキシアル荷重係数	－
Z	軸の断面係数	mm^3
Z_P	軸の極断面係数	mm^3
δ_1	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面における軸のたわみ量	mm
π	円周率	－
σ	軸に生じる引張及び曲げ応力の和	MPa
σ_S	軸に生じる組合せ応力	MPa
τ	軸に生じるねじり応力	MPa

4.2.4　評価方法

(1)　軸

軸の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の引張及び曲げ応力の和とねじり応力の組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が，その許容応力値を下回ることを確認する。

軸の評価モデルを図 4－1 に示す。

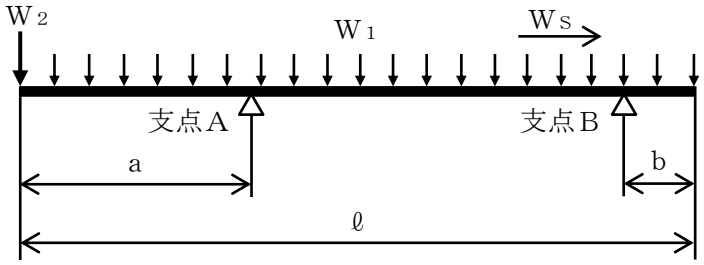


図 4－1　軸の評価モデル

軸に生じる組合せ応力σSは次式で求める。

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.1)$$

軸に生じる引張及び曲げ応力の和σは次式で求める。

$$\sigma = \frac{M}{Z} + \frac{W_S}{A} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.2)$$

ここで、最大曲げモーメントMは

$$M = max\left(M_{A1} + M_{A2},\ M_{B1} + M_{B2} \right) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.3)$$

ここで，支点Aの軸等分布荷重による曲げモーメントM_{A1}は

$$M_{A1} = \frac{W_1 \cdot a^2}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.4)$$

ここで，支点Aの軸継手端部荷重による曲げモーメントM_{A2}は

$$M_{A2} = W_2 \cdot a \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.5)$$

ここで，支点Bの軸等分布荷重による曲げモーメントM_{B1}は

$$M_{B1} = \frac{W_1 \cdot b^2}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.6)$$

ここで，支点Ｂの軸継手端部荷重による曲げモーメントM_{B2}は

$$M_{B2} = W_2 \cdot b \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.7)$$

ここで，地震力を考慮した軸等分布荷重W_1は

$$W_1 = \frac{m_1 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2 + (1+C_V)^2} + C_P)}{\ell} \qquad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.8)$$

ここで，地震力を考慮した軸継手端部荷重W_2は

$$W_2 = m_2 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2 + (1+C_V)^2} + C_P) \qquad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.9)$$

ここで，軸の断面係数Ｚは

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.10)$$

ここで，軸受にかかる地震時のスラスト荷重W_Sは

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot (C_H + C_P) + W_0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.11)$$

ここで，軸の断面積Ａは

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.12)$$

軸に生じるねじり応力τは次式で求める。

$$\tau = \frac{M_P}{Z_P} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.13)$$

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントM_Pは

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.14)$$

$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$

ここで，軸の極断面係数Z_Pは

$$Z_P = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.15)$$

(2) 軸受

軸受の評価は，地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし，地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. 軸受Aの静等価ラジアル荷重

軸受Aの静等価ラジアル荷重W_{0R}は次式で求める。

$$W_{0R}= max（X_0・W_{RA}+Y_0・W_S，W_{RA}）　・・・・・・(4.2.4.16)$$

ここで，軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重W_{RA}は

$$W_{RA}= m_0・g・(\sqrt{C_H{}^2+(1+C_V)^2}+C_P)　・・・・・・(4.2.4.17)$$

ここで，軸受にかかる地震時のスラスト荷重W_Sは

$$W_S= m_0・g・(C_H+C_P)+W_0　・・・・・・・・・・・・(4.2.4.18)$$

b. 軸受Bのラジアル荷重（面圧）

ラジアル荷重による軸受Bの面圧P_{RB}は次式で求める。

$$P_{RB}=\frac{W_{RB}}{A_{RB}}　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(4.2.4.19)$$

ここで，軸受Bにかかる地震時のラジアル荷重W_{RB}は

$$W_{RB}= m_0・g・(\sqrt{C_H{}^2+(1+C_V)^2}+C_P)　・・・・・・・(4.2.4.20)$$

(3)　摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し，発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

摺動部（主ねじ部）の評価モデルを図 4－2 に示す。

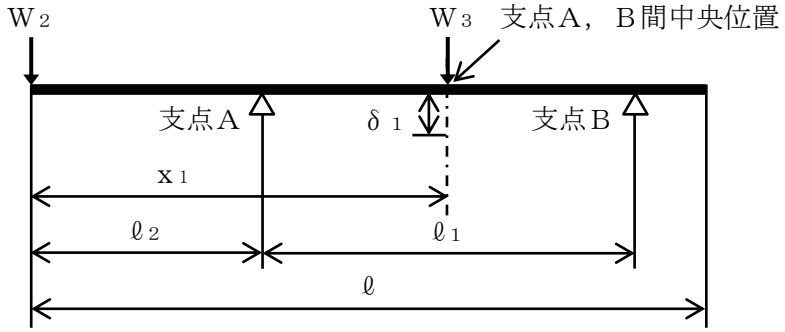


図 4－2　摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量δ1は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{W_3 \cdot \ell_1^{\,3}}{48 \cdot E \cdot I_1} + \left(- \frac{x_1 - \ell_2}{6 \cdot E \cdot I_1 \cdot \ell_1} \cdot \{ W_2 \cdot \ell_2 \cdot (x_1 - \ell_2)^2 - 3 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1 \cdot (x_1 - \ell_2) + 2 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1^{\,2} \} \right)$$

・・・・・・・・・(4.2.4.21)

(4)　メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し，発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

メカニカルシールの評価モデルを図 4－3 に示す。

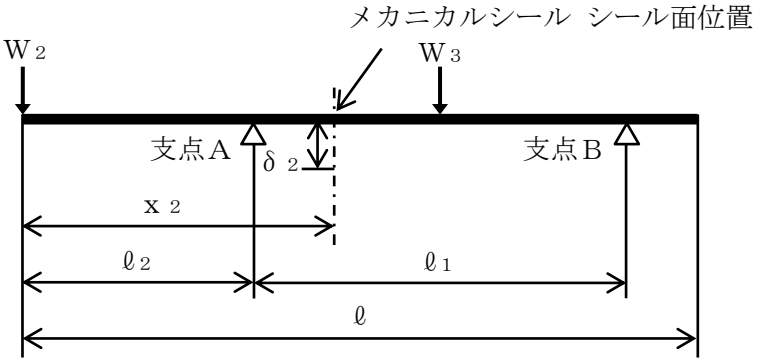


図 4－3　メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量δ2は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_3 \cdot \ell_1^{\,3}}{48 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left(\frac{3 \cdot x_2}{\ell_1} - \frac{4 \cdot x_2^{\,3}}{\ell_1^{\,3}} \right) + \left(- \frac{x_2 - \ell_2}{6 \cdot E \cdot I_2 \cdot \ell_1} \right.$$

$$\cdot \{ W_2 \cdot \ell_2 \cdot (x_2 - \ell_2)^{\,2} - 3 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1 \cdot (x_2 - \ell_2)$$

$$\left. + 2 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1^{\,2} \} \right)$$

・・・・・・・・・(4.2.4.22)

4.3　原動機の動的機能維持評価

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ用原動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 4－3 に示す。

表 4－3　機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
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

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ディーゼル発電設備A-ディーゼル燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ	S	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H＝1.49*3	C_V＝0.67*3	C_H＝2.96*4	C_V＝1.33*4	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

＊3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）及び静的震度を上回る設計震度

＊4：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*1
基礎ボルト (i＝1)	[redacted]	230	130	130	12 (M12)	113.1	4	2
			225	225				2
ポンプ取付ボルト (i＝2)		125	100	100	16 (M16)	201.1	4	2
			70	70				2
原動機取付ボルト (i＝3)		100	80	80	10 (M10)	78.54	4	2
			70	70				2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_p (N･mm)
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	
基礎ボルト (i＝1)	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	241	276	軸直角		—
ポンプ取付ボルト (i＝2)	235*3 (16mm＜径≦40mm)	400*3 (16mm＜径≦40mm)	235	280	軸		—
原動機取付ボルト (i＝3)	231*2 (16mm＜径≦40mm)	394*2 (16mm＜径≦40mm)	231	276	軸直角	軸	1.167×10^4

H_P (μm)	N（ポンプ） (rpm)	N（原動機） (rpm)
[redacted]		

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

1.1.3　計算数値

1.1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）				
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）				
原動機取付ボルト（ｉ＝3）				

1.1.4　結論

1.1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS41	引張	σ_{b1}＝ 8	f_{ts1}＝180*	σ_{b1}＝17	f_{ts1}＝207*
		せん断	τ_{b1}＝ 5	f_{sb1}＝139	τ_{b1}＝ 9	f_{sb1}＝159
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	σ_{b2}＝ 3	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝ 5	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝ 2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝ 3	f_{sb2}＝161
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	SS41	引張	σ_{b3}＝ 3	f_{ts3}＝173*	σ_{b3}＝ 6	f_{ts3}＝207*
		せん断	τ_{b3}＝ 2	f_{sb3}＝133	τ_{b3}＝ 4	f_{sb3}＝159

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m^3/h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ	スクリュー式	4.0	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H＝1.22*3	C_V＝0.78*3	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ用原動機	横形ころがり軸受電動機	2.2	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H＝1.22*3	C_V＝0.78*3	[redacted]	—	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

1.2.2 機器要目

m_0 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x_1 (mm)	x_2 (mm)
[redacted]										

A_{RB} (mm^2)	E (MPa)	I_1 (mm^4)	I_2 (mm^4)	N (rpm)	P (kW)	W_0 (N)	X_0	Y_0
[redacted]					2.2	[redacted]		

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.22	—
	鉛直方向	0.78	—
原動機	水平方向	1.22	4.7
	鉛直方向	0.78	1.0

注記＊：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度。
ポンプは，本文 4.2.1 項に基づき，以下の項目について評価する。
原動機は，機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。

1.2.3.2　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1　代表評価項目の評価

基礎ボルト，ポンプ取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

1.2.3.2.2　上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1　軸の評価　（単位：MPa）

評価部位	発生応力	許容応力
軸	[redacted]	[redacted]

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2　軸受の評価　（単位：N）

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸受A	[redacted]	[redacted]

すべて許容荷重以下である。

（単位：MPa）

評価部位	発生面圧	許容面圧
軸受B	[redacted]	[redacted]

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3　摺動部（主ねじ部）の評価　（単位：mm）

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ部）	[redacted]	[redacted]

すべてスリーブ間隙間以下である。

1.2.3.2.2.4　メカニカルシールの評価　（単位：mm）

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	[redacted]	[redacted]

すべて変位可能量以下である。

2. 重大事故等対処設備
2.1 構造強度評価
2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	—	—	C_H=2.96*3	C_V=1.33*3	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

2.1.2 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} (mm²)	n_i	n_{fi}*1
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	230	130	130	12 (M12)	113.1	4	2
			225	225				2
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）		125	100	100	16 (M16)	201.1	4	2
			70	70				2
原動機取付ボルト（ｉ＝3）		100	80	80	10 (M10)	78.54	4	2
			70	70				2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_p (N･mm)
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	
基礎ボルト（ｉ＝1）	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	—	276	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	235*3 (16mm＜径≦40mm)	400*3 (16mm＜径≦40mm)	—	280	—	軸	—
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	231*2 (16mm＜径≦40mm)	394*2 (16mm＜径≦40mm)	—	276	—	軸	—

H_P (μm)	N（ポンプ） (rpm)	N（原動機） (rpm)
[redacted]		

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

2.1.3　計算数値

2.1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—		—	
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	—		—	
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	—		—	

2.1.4　結論

2.1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS41	引張	—	—	σ_{b1}＝17	f_{ts1}＝207*
		せん断	—	—	τ_{b1}＝ 9	f_{sb1}＝159
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	—	—	σ_{b2}＝ 5	f_{ts2}＝210*
		せん断	—	—	τ_{b2}＝ 3	f_{sb2}＝161
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	SS41	引張	—	—	σ_{b3}＝ 6	f_{ts3}＝207*
		せん断	—	—	τ_{b3}＝ 4	f_{sb3}＝159

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m^3/h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ	スクリュー式	4.0	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H=1.22*3	C_V=0.78*3	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料移送ポンプ用原動機	横形ころがり軸受電動機	2.2	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H=1.22*3	C_V=0.78*3	[redacted]	—	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

2.2.2 機器要目

m_0 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x_1 (mm)	x_2 (mm)
[redacted]										

A_{RB} (mm^2)	E (MPa)	I_1 (mm^4)	I_2 (mm^4)	N (rpm)	P (kW)	W_0 (N)	X_0	Y_0
[redacted]					2.2	[redacted]		

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.22	—
	鉛直方向	0.78	—
原動機	水平方向	1.22	4.7
	鉛直方向	0.78	1.0

注記＊：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度。
ポンプは，本文4.2.1項に基づき，以下の項目について評価する。
原動機は，機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。

2.2.3.2　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1　代表評価項目の評価

基礎ボルト，ポンプ取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

2.2.3.2.2　上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1　軸の評価　（単位：MPa）

評価部位	発生応力	許容応力
軸	[redacted]	[redacted]

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2　軸受の評価　（単位：N）

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸受Ａ	[redacted]	[redacted]

すべて許容荷重以下である。

（単位：MPa）

評価部位	発生面圧	許容面圧
軸受Ｂ	[redacted]	[redacted]

すべて許容面圧以下である。

2.2.3.2.2.3　摺動部（主ねじ部）の評価　（単位：mm）

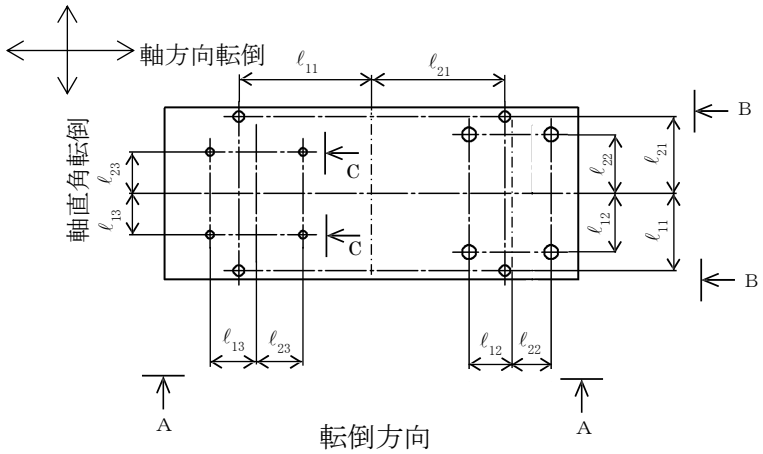
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ部）	[redacted]	[redacted]

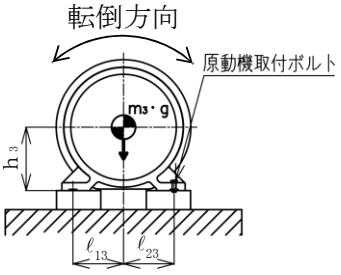
すべてスリーブ間隙間以下である。

2.2.3.2.2.4　メカニカルシールの評価　（単位：mm）

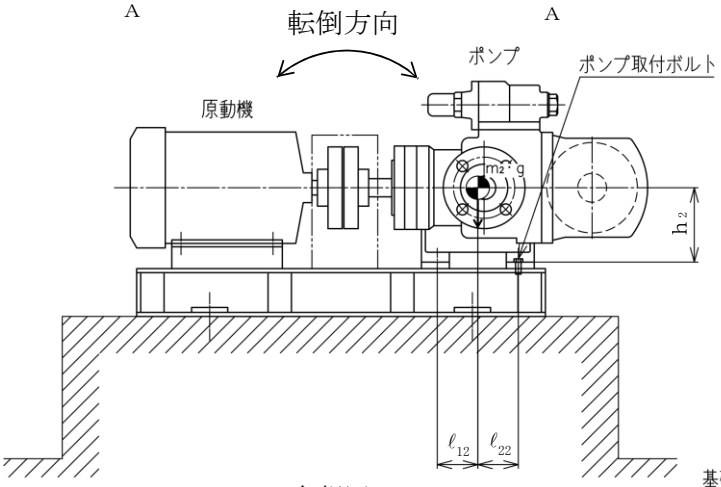
評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	[redacted]	[redacted]

すべて変位可能量以下である。

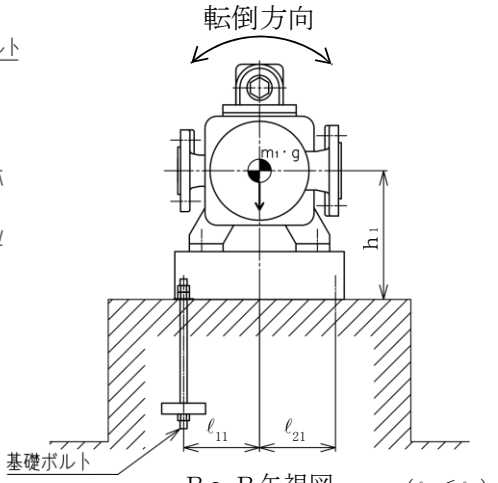




C～C矢視図
（原動機取付ボルト）



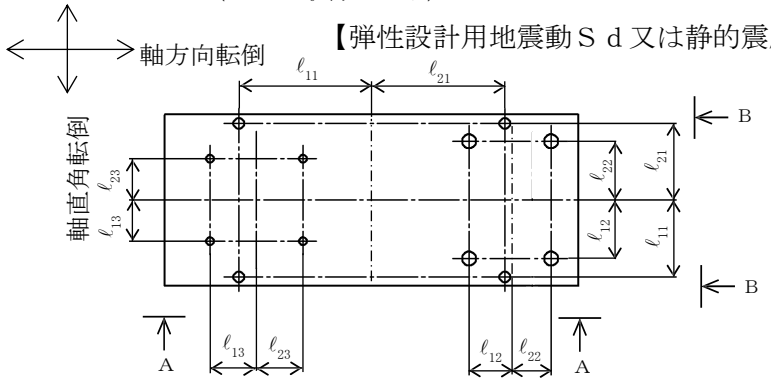
A～A矢視図
（ポンプ取付ボルト）

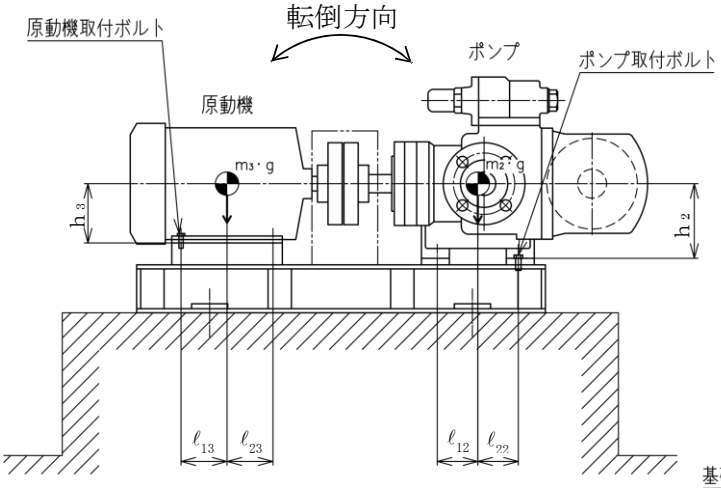


B～B矢視図
（基礎ボルト）

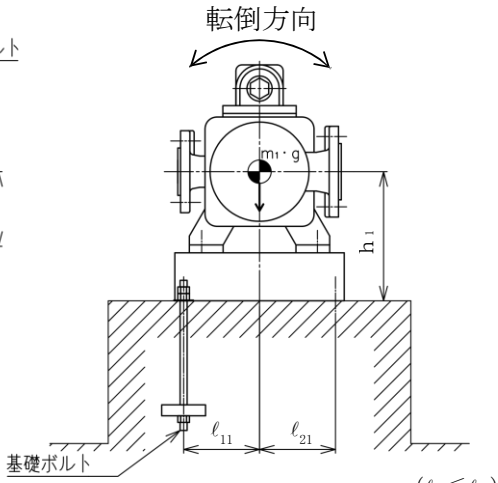
$(\ell_{1i} \leqq \ell_{2i})$

【弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度の場合】





A～A矢視図
（ポンプ，原動機取付ボルト）



B～B矢視図
（基礎ボルト）

$(\ell_{1i} \leqq \ell_{2i})$

【基準地震動Ｓｓの場合】

Ⅵ-2-10-1-2-1-7　非常用ディーゼル発電設備　A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
2.2　評価方針 ····· 3
2.3　適用規格・基準等 ····· 5
2.4　記号の説明 ····· 6
2.5　計算精度と数値の丸め方 ····· 11
3.　評価部位 ····· 12
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 12
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 12
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 12
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 17
4.4　固有周期 ····· 20
4.5　設計用地震力 ····· 21
4.6　計算方法 ····· 22
4.7　計算条件 ····· 32
4.8　応力の評価 ····· 32
5.　評価結果 ····· 34
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 34
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 34
6.　引用文献 ····· 34

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，非常用ディーゼル発電設備　A-ディーゼル燃料貯蔵タンク（以下「A-ディーゼル燃料貯蔵タンク」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

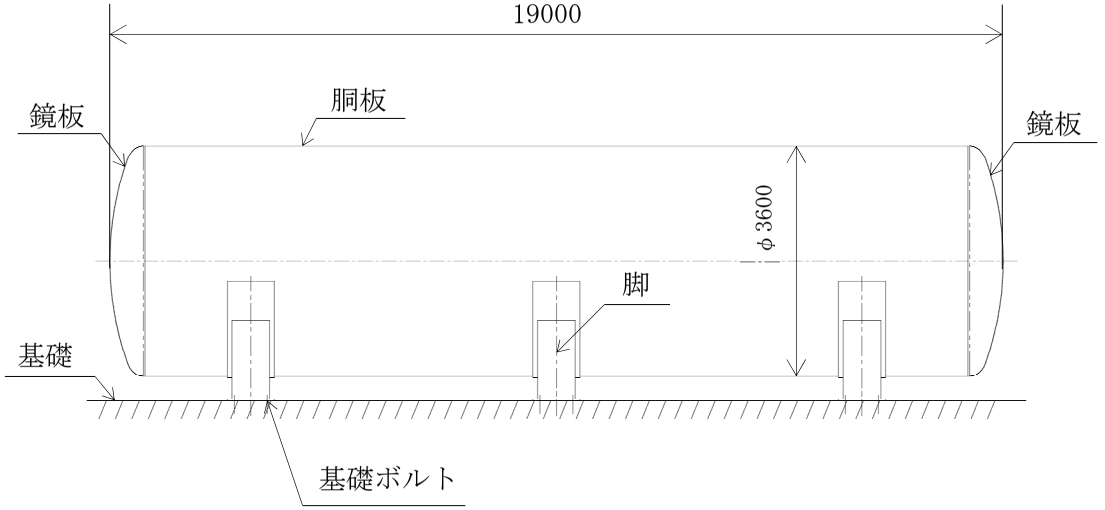
A-ディーゼル燃料貯蔵タンクは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの構造計画を表 2－1 に示す。

表２－１　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴を３個の脚で支持し，脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	横置円筒形 （両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器）	 （単位：mm）

2.2　評価方針

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの応力評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示すA-ディーゼル燃料貯蔵タンクの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価フローを図2－1に示す。

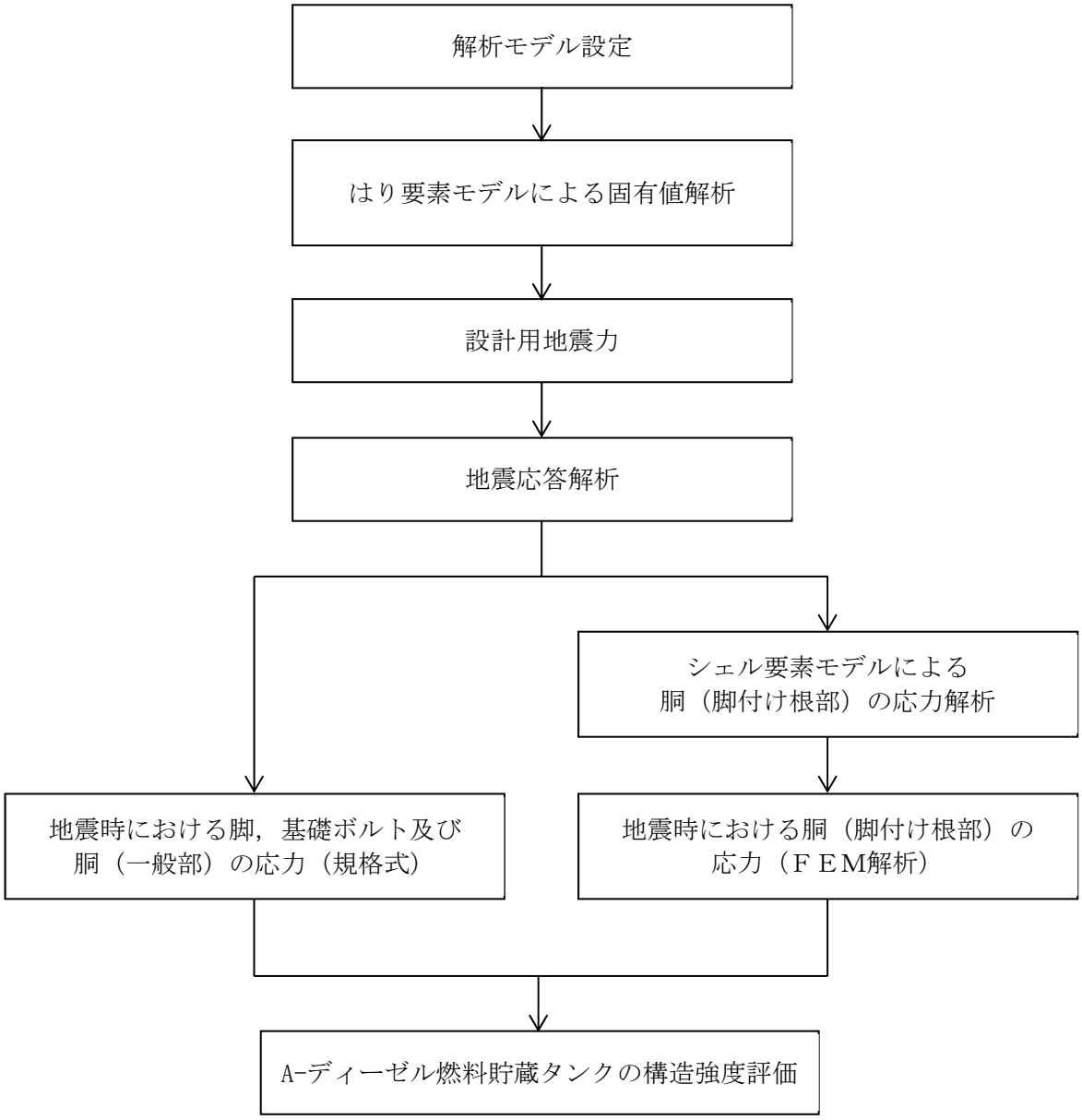


図 2－1　A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価フロー

2.3　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の長手方向幅	mm
b	脚底板の横方向幅	mm
C_1	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
d_3	脚底板端面から基礎ボルト（内側）中心までの横方向の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_c	横方向地震により胴に生じるせん断力	N
F_{c1}	横方向地震により脚底面に生じるせん断力	N
F_{cs}	横方向地震により脚底面に生じる水平方向荷重	N
F_ℓ	長手方向地震により胴に生じる鉛直荷重	N
$F_{\ell 1}$	長手方向地震により胴に生じる引張荷重	N
$F_{\ell 2}$	長手方向地震により脚付け根部に生じるせん断力	N
$F_{\ell 3}$	長手方向地震により脚底面に生じるせん断力	N
$F_{\ell s}$	長手方向地震により脚底面に生じる水平方向荷重	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	mm
M	脚底板に生じるモーメント	N･mm
M_1	脚付け根部における胴の運転時質量による曲げモーメント	N･mm
M_{11}	長手方向地震により胴に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{12}	横方向地震により胴に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{13}	横方向地震により胴に生じるねじりモーメント	N･mm
M_{14}	運転時質量により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{14V}	鉛直方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_3	横方向地震により脚付け根部に生じるねじりモーメント	N･mm
M_{3s}	横方向地震により脚底面に生じるねじりモーメント	N･mm
M_c	横方向地震により胴の脚付け根部に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{c1}	横方向地震及び鉛直方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{cs}	横方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる曲げモーメント	N･mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
m_{s3}	第3脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重	N
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直方向荷重	N

記号	記号の説明	単位
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
R_1	運転時質量により脚の受ける荷重	N
R_{1V}	鉛直方向地震により脚の受ける荷重	N
r_m	脚付け根部における胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y(RT)	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	胴の厚さ	mm
t_e	脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm^3
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm^3
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm^3
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の脚端部より鉛直軸までの角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{2}	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{b}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{s}	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x21}	長手方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x22}	横方向地震による横方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{x41}，σ_{x42}	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
σ_{x411}，σ_{x421}	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x412}，σ_{x422}	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x51}，σ_{x52}	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x71}，σ_{x72}	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}$，$\sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}$，$\sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}$，$\sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}$，$\sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}$，$\sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震によるせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	横方向地震による胴のねじりモーメントにより胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{c2}	横方向地震による脚のねじりモーメントにより胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_ℓ	長手方向地震による長手方向のせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{\ell 1}$	長手方向地震による鉛直方向のせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

＊2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の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

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる胴，脚及び基礎ボルトについて実施する。A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価部位については，表2－1の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析モデルにより固有周期を求める。

(2)　「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析モデルにより求めた地震時の評価荷重（各部の反力及びモーメント）をもとに，脚，基礎ボルト及び胴の応力評価を行う。

(3)　胴の局部応力については，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルにより求める。

(4)　地震力は，A-ディーゼル燃料貯蔵タンクに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，応力の算出において組み合わせるものとする。ここで，水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，ＳＲＳＳ法を用いる。

(5)　脚は同形状であるため，作用する荷重の大きい脚についての評価を計算書に記載する。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4－1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4－2に示す。

4.2.2　許容応力

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4－3及び表4－4に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4－5に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4－6に示す。

表４－１　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：クラス２，３容器及びクラス２，３支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表４－２　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋S s *3	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：重大事故等クラス２容器及び重大事故等クラス２支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表４－３　許容応力（クラス２，３容器及び重大事故等クラス２容器）

許容応力状態	許容限界 *1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
ⅢＡＳ	Ｓｙと0.6・Ｓｕの小さい方 ただし，オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と 1.2・Ｓのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が２・Ｓｙ以下であれば疲労解析は不要	
ⅣＡＳ	0.6・Ｓｕ	左欄の1.5倍の値		
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）			基準地震動Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が２・Ｓｙ以下であれば疲労解析は不要	

注記＊1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスＭＣ容器の座屈に対する評価式による。

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

表４－４　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等以外）	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
ⅢＡＳ	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
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 4－5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
胴板	SS41*1 (厚さ≦16mm) SS41*1, *2 (16mm＜厚さ≦40mm)	最高使用温度	40	—	245 235*2	400 400*2	—
脚	SS41*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS41*1 (径＞40mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記＊1：SS400 相当

＊2：当板の材料を示す。

表 4－6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
胴板	SS41*1 (厚さ≦16mm) SS41*1, *2 (16mm＜厚さ≦40mm)	最高使用温度	40	—	245 235*2	400 400*2	—
脚	SS41*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS41*1 (径＞40mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記＊1：SS400 相当

＊2：当板の材料を示す。

4.3　解析モデル及び諸元

4.3.1　はり要素モデル

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクのはり要素での解析モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

(1)　A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの胴及び脚をはり要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。

(4)　解析コードは，「ＡＢＡＱＵＳ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ－5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

図 4－1　A-ディーゼル燃料貯蔵タンクはり要素モデル

4.3.2　シェル要素モデル

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクのシェル要素での解析モデルを図 4－2 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

(1)　A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの脚及び胴（胴板及び当板）について，脚付け根部の応力を評価するために十分な範囲をシェル要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。なお，胴の応力が大きくなるように脚底面は剛体とする。

(3)　解析コードは，「ＡＢＡＱＵＳ」を使用し，胴の応力のうち脚付け根部の応力をＦＥＭ解析により求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ－5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

図 4－2　解析モデルの概要

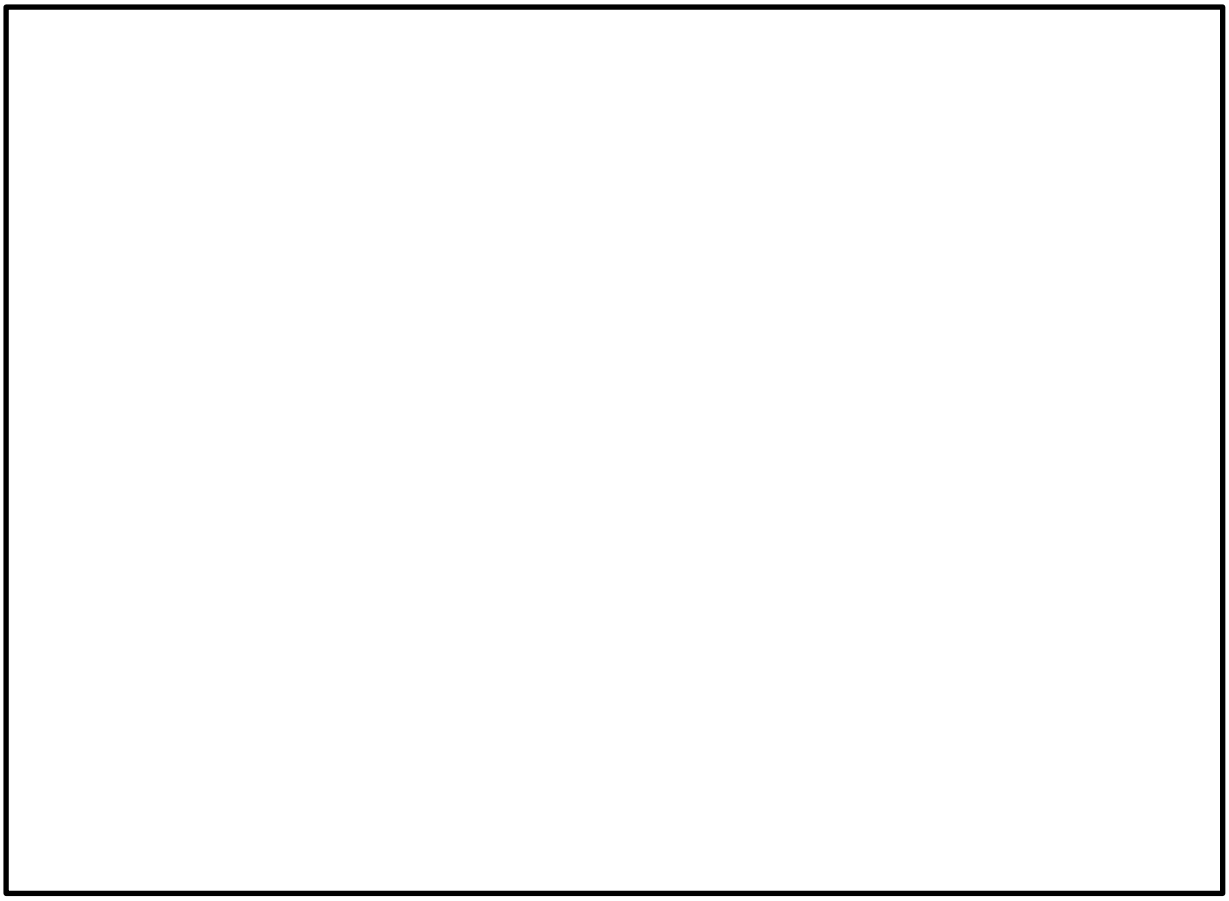


図 4－3　荷重作用点並びに荷重及びモーメントの入力方向（下から見た図）

4.4　固有周期

はり要素モデルでの固有値解析の結果を表 4－7，振動モード図を図 4－4 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4－7　固有値解析結果

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



図 4－4　振動モード図（1 次モード）

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－8 及び表 4－9 に示す。

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

表 4－8　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
排気筒基礎 EL 3.5*1	[redacted]		C_H＝0.75*2	C_V＝0.53*2	C_H＝1.37*3	C_V＝0.93*3

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（弾性設計用地震動Ｓｄ）及び静的震度を上回る設計震度
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

表 4－9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
排気筒基礎 EL 3.5*1	[redacted]		—	—	C_H＝1.37*2	C_V＝0.93*2

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　胴の計算方法

(1)　静水頭による応力（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.3)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

脚付け根部における曲げモーメントM_1は「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

解析による計算で求めた曲げモーメントM_1により胴の脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば，この曲げモーメントM_1は胴の断面に対して一様に作用するものではなく，脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ，胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上$\frac{\theta_0}{6}$の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図 4−5 に 2・θ で示される円殻である。

したがって，運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x2}=\frac{M_1}{Z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

また，鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x6}=\frac{M_1}{Z} \cdot C_V \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.5)$$

ここで，

$$r_m=\frac{D_i+t_e}{2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.6)$$

$$Z=r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{\frac{\theta+\sin\theta \cdot \cos\theta-2 \cdot \sin^2\theta/\theta}{(\sin\theta/\theta)-\cos\theta}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.7)$$

であり，脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さとする。

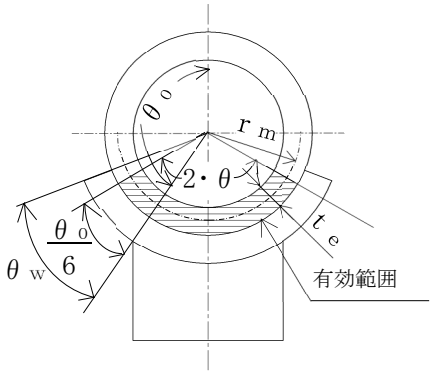


図 4－5　脚付け根部の有効範囲

(3)　長手方向地震により生じる長手方向曲げモーメント及び鉛直方向荷重による応力

長手方向地震が作用した場合に胴に生じる曲げモーメントM_{11}及び鉛直荷重F_{ℓ}は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき，胴に生じる応力は次式で求める。

$$\sigma_{x21}=\frac{M_{11}}{Z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.8)$$

$$\tau_{\ell 1}=\frac{2\cdot F_{\ell}}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.9)$$

(4)　横方向地震により生じる横方向曲げモーメント及びねじりモーメントによる応力

横方向地震が作用した場合に胴に生じる曲げモーメントM_{12}及びねじりモーメントM_{13}は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき，胴に生じる応力は次式で求める。

$$\sigma_{x22}=\frac{4\cdot M_{12}}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.10)$$

$$\tau_{c1}=\frac{2\cdot M_{13}}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.11)$$

(5)　運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

運転時質量によって胴の脚付け根部に生じる反力Ｐ及び鉛直方向地震によって胴の脚付け根部に生じるＰｅは「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。反力Ｐにより生じる一次応力$\sigma_{\phi 3}$，σ_{x3}，反力Ｐｅにより生じる一次応力$\sigma_{\phi 71}$，σ_{x71}及び二次応力$\sigma_{\phi 72}$，σ_{x72}は，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルに入力し，解析による計算で求める。

(6)　長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震が作用した場合，曲げモーメントM_{ℓ}及び鉛直荷重P_{ℓ}は「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。曲げモーメントM_{ℓ}により生じる一

次応力$\sigma_{\phi 411}$，σ_{x411}及び二次応力$\sigma_{\phi 421}$，σ_{x421}，鉛直荷重P_{ℓ}により生じる一次応力$\sigma_{\phi 412}$，σ_{x412}及び二次応力$\sigma_{\phi 422}$，σ_{x422}は，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルに入力し，解析による計算で求める。胴に生じる引張荷重$F_{\ell 1}$は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

胴に生じる引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{x413}=\frac{F_{\ell 1}}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.12)$$

したがって，曲げモーメント，鉛直荷重及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41}=\sigma_{\phi 411}+\sigma_{\phi 412} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.13)$$

$$\sigma_{x41}=\sigma_{x411}+\sigma_{x412}+\sigma_{x413} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.14)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42}=\sigma_{\phi 421}+\sigma_{\phi 422} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.15)$$

$$\sigma_{x42}=\sigma_{x421}+\sigma_{x422} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.16)$$

また，長手方向地震が作用した場合，脚付け根部に生じるせん断力$F_{\ell 2}$は「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell}=\frac{F_{\ell 2}}{4\cdot C_2\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.17)$$

(7)　横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震が作用した場合，曲げモーメントM_cは「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。一次応力$\sigma_{\phi 51}$，σ_{x51}及び二次応力$\sigma_{\phi 52}$，σ_{x52}は，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルに曲げモーメントM_cを入力し，解析による計算で求める。胴の脚付け根部に生じるせん断荷重F_c及び胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントM_3は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

せん断荷重により脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c=\frac{F_c}{4\cdot C_1\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.18)$$

ねじりモーメントにより脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{c2}=\frac{M_3}{2\cdot\pi\cdot C_2^{\,2}\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.19)$$

(8)　組合せ応力

(1)～(7)によって求めた脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせ

る。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{0\ell\phi}+\sigma_{0\ell x})+\sqrt{(\sigma_{0\ell\phi}-\sigma_{0\ell x})^2+4\cdot\tau_{\ell 1}{}^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.20)$$

ここで,

$$\sigma_{0\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{0\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x6}{}^2+(\sigma_{x413}+\sigma_{x21})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.22)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{0c\phi}+\sigma_{0cx})+\sqrt{(\sigma_{0c\phi}-\sigma_{0cx})^2+4\cdot\tau_{c1}{}^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.23)$$

ここで,

$$\sigma_{0c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.24)$$

$$\sigma_{0cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x6}{}^2+\sigma_{x22}{}^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.25)$$

したがって，胴に生じる一次一般膜応力の最大値は,

$$\sigma_0=\mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c})\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.26)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1\ell\phi}+\sigma_{1\ell x})+\sqrt{(\sigma_{1\ell\phi}-\sigma_{1\ell x})^2+4\cdot(\tau_{\ell}+\tau_{\ell 1})^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.27)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 41}{}^2+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{1\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{(\sigma_{x41}+\sigma_{x21})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.29)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1c\phi}+\sigma_{1cx})+\sqrt{(\sigma_{1c\phi}-\sigma_{1cx})^2+4\cdot(\tau_{c}+\tau_{c1}+\tau_{c2})^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.30)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 51}{}^2+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.31)$$

$$\sigma_{1cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{(\sigma_{x51}+\sigma_{x22})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.32)$$

したがって，胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_{1}=\mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c})\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.33)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell}=(\sigma_{2\ell\phi}+\sigma_{2\ell x})+\sqrt{(\sigma_{2\ell\phi}-\sigma_{2\ell x})^2+4\cdot(\tau_{\ell}+\tau_{\ell 1})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.34)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^2+(\sigma_{\phi 41}+\sigma_{\phi 42})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{2\ell x}=\sqrt{(\sigma_{x41}+\sigma_{x42}+\sigma_{x21})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.36)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c}=(\sigma_{2c\phi}+\sigma_{2cx})+\sqrt{(\sigma_{2c\phi}-\sigma_{2cx})^2+4\cdot(\tau_{c}+\tau_{c1}+\tau_{c2})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.37)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^2+(\sigma_{\phi 51}+\sigma_{\phi 52})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.38)$$

$$\sigma_{2cx}=\sqrt{(\sigma_{x51}+\sigma_{x52}+\sigma_{x22})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.39)$$

したがって，胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_{2}=\mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c})\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.40)$$

とする。

4.6.1.2　脚の計算方法

「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で得られる各要素端での荷重R_1，R_{1V}，P_ℓ，$F_{\ell s}$，F_{cs}，曲げモーメントM_{14}，M_{14V}，$M_{\ell 1}$，M_{cs}及びねじりモーメントM_{3s}より各応力を次のように求める。

(1)　運転時質量による応力

$$\sigma_{s1}=\frac{M_{14}}{Z_{sy}}+\frac{R_1}{A_s} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.1)$$

(2)　鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4}=\frac{M_{14V}}{Z_{sy}}+\frac{R_{1V}}{A_s} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2)$$

(3)　長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は，次式で求める。

$$\sigma_{s2}=\frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}}+\frac{P_\ell}{A_s} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2}=\frac{F_{\ell s}}{A_{s3}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.4)$$

(4)　横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3}=\frac{M_{cs}}{Z_{sx}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.5)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3}=\frac{M_{3s}}{Z_{sp}}+\frac{F_{cs}}{A_{s4}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.6)$$

(5)　組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s4}^2})^2+3\cdot\tau_{s2}^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.7)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s3}^2+\sigma_{s4}^2})^2+3\cdot\tau_{s3}^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.8)$$

したがって，脚に生じる最大応力は，

$\sigma_s=$Max｛長手方向地震時応力($\sigma_{s\ell}$)，横方向地震時応力(σ_{sc})｝

$\cdots\cdots (4.6.1.2.9)$

とする。

4.6.1.3　基礎ボルトの計算方法

(1)　鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a.　引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントM及び鉛直荷重P_sは，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.1)$$

とする。

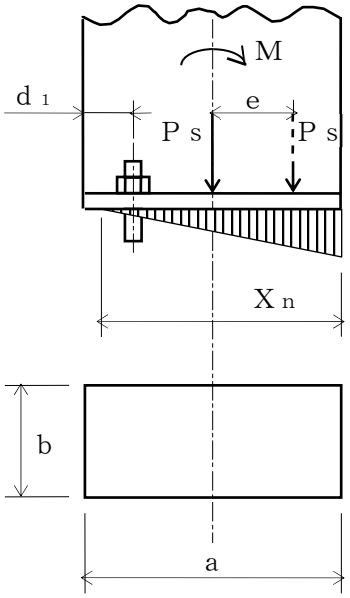


図 4－6　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 1）

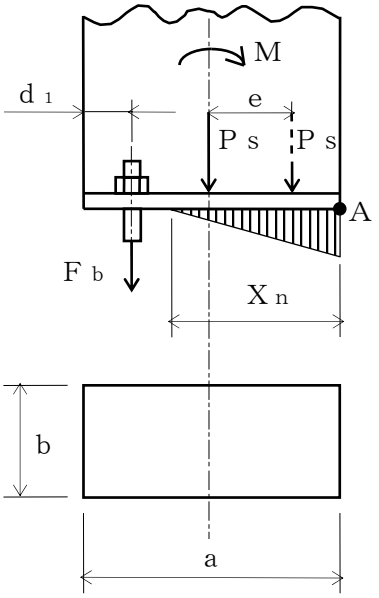


図 4－7　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 2）

図4－6のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため，引張力の評価は行わない。

一方，図4－7のように，ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.2)$$

の場合及びｅが負の場合に，基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図4－7において，鉛直荷重の釣合い，A点回りのモーメントの釣合い，基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置X_nは

$$X_n^3+3\cdot\left(e-\frac{a}{2}\right)\cdot X_n^2-\frac{6\cdot s\cdot A_b\cdot n_1}{b}\cdot\left(e+\frac{a}{2}-d_1\right)\cdot(a-d_1-X_n)=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.3)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b=\frac{P_s\cdot\left(e-\frac{a}{2}+\frac{X_n}{3}\right)}{a-d_1-\frac{X_n}{3}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.4)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1}=\frac{F_b}{n_1\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.5)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.6)$$

b. せん断応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力$F_{\ell 3}$は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b1}=\frac{F_{\ell 3}}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.7)$$

(2) 鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントM_{c1}及び鉛直荷重P_{s1}は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e=M_{c1}／P_{s1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.8)$$

とする。

図4－8のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため，引張力の評価は行わない。

一方，図4－9のように，ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e>\frac{b}{6}+\frac{d_2}{3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.9)$$

の場合及びeが負の場合に，基礎ボルトに引張力が生じる。

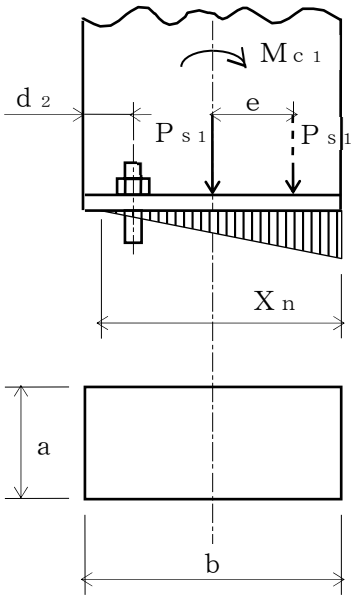


図 4－8　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 3）

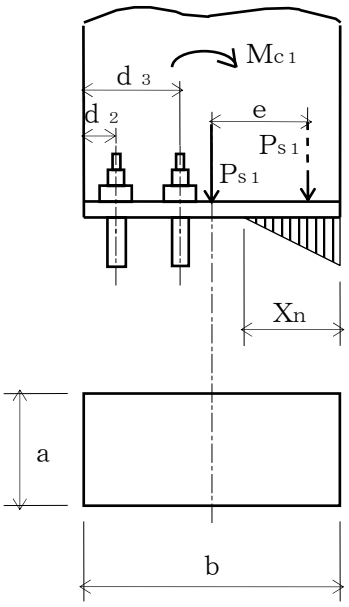


図 4－9　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 4）

図4－9において，(1)と同様にして中立軸の位置X_nを

$$X_n^3+3\cdot\left(e-\frac{b}{2}\right)\cdot X_n^2-\frac{6\cdot s\cdot A_b\cdot n_2}{a}\cdot\left\{\left(e+\frac{b}{2}-d_2\right)\cdot\left(b-X_n-d_2\right)+\left(e+\frac{b}{2}-d_3\right)\cdot\left(b-X_n-d_3\right)\right\}=0 \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.10)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b=\frac{P_{s1}\cdot\left(e-\frac{b}{2}+\frac{X_n}{3}\right)\cdot\left(b-X_n-d_2\right)}{\left(b-d_2-\frac{X_n}{3}\right)\cdot\left(b-X_n-d_2\right)+\left(b-d_3-\frac{X_n}{3}\right)\cdot\left(b-X_n-d_3\right)} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.11)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2}=\frac{F_b}{n_2\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.12)$$

b.　せん断応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力F_{c1}及びねじりモーメントM_3は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b2}=\frac{F_{c1}}{n\cdot A_b}+\frac{M_3}{n\cdot A_b\cdot\sqrt{\left(\frac{a-2\cdot d_1}{2}\right)^2+\left(\frac{b-2\cdot d_3}{2}\right)^2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.13)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものをσ_b及びτ_bとする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

σ_b＝Max｛長手方向地震時応力(σ_{b1})，横方向地震時応力(σ_{b2})｝ $\cdots\cdots (4.6.1.3.14)$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

τ_b＝Max｛長手方向地震時応力(τ_{b1})，横方向地震時応力(τ_{b2})｝ $\cdots\cdots (4.6.1.3.15)$

4.7　計算条件

応力解析に用いる計算条件は，本計算書の【A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　胴の応力評価

4.6.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。ただし，Ｓａは下表による。

応力の種類	許容応力Ｓａ	
	弾性設計用地震動Ｓｄ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	Ｓｙと0.6・Ｓｕのいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては1.2・Ｓの方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	0.6・Ｓｕ
一次応力 （一次一般膜＋ 一次曲げ応力）	上記の1.5倍の値	
一次＋二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が2・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要とする。	
一次＋二次 ＋ピーク応力		

4.8.2　脚の応力評価

4.6.1.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_{tm}以下であること。ただし，f_{tm}は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓｄ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^{*}}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.3　基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.8.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

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

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

(1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

【A-ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	S	排気筒基礎 EL 3.5*1			C_H=0.75*2	C_V=0.53*2	C_H=1.37*3	C_V=0.93*3	静水頭	40	50	0.86

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（弾性設計用地震動Ｓｄ）及び静的震度を上回る設計震度
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

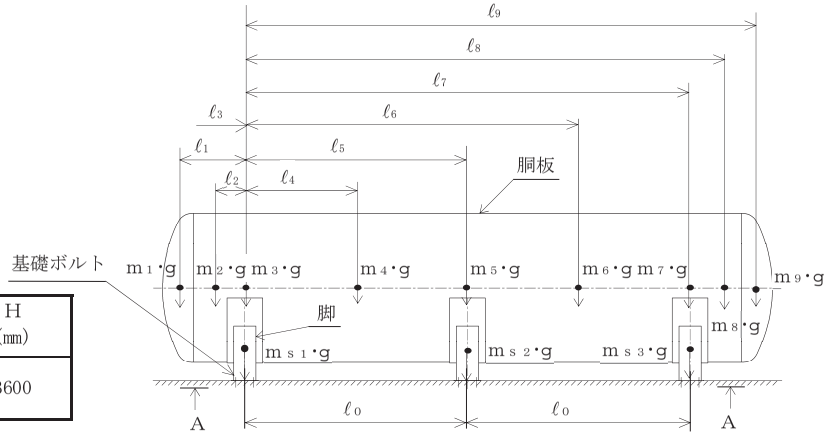
1.2 機器要目

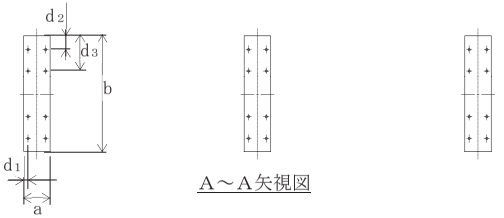
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)	m_8 (kg)	m_9 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	ℓ_8 (mm)	ℓ_9 (mm)	H (mm)
-2568	-1394	0	3250	6500	9750	13000	14394	15568	3600

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	m_{s3} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
				3600	14.0	14.0	6500	1276	2200

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	J_s (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	Z_{sp} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1590	400	1.338×10^{11}	7.184×10^{9}	1.826×10^{10}	8.415×10^{7}	2.395×10^{7}	3.363×10^{7}	2.073	1.414





A～A矢視図

A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
1.346×10^5	202000*1	201000*2	7.761×10^4	5.333×10^4	6.782×10^4	4.180×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	8	4	2	1000	3260	52 (M52)	2.124×10^3	100	315	844

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*（脚） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)
245*1 (厚さ≦16mm) (235*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	400*1 (厚さ≦16mm) (400*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	231*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	394*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	231	276	211*2 (径＞40mm)	394*2 (径＞40mm)	211	253

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出
＊3：当板の材料を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31	—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}$=16	—	$\sigma_{x 6}$=17	—	$\sigma_{x 6}$=27	—	$\sigma_{x 6}$=29
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力		—	$\sigma_{x 4 1 3}$=2	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}$=3	—	—
水平方向地震による応力	曲げ	—	$\sigma_{x 2 1}$=48	—	$\sigma_{x 2 2}$=3	—	$\sigma_{x 2 1}$=87	—	$\sigma_{x 2 2}$=5
	せん断	$\tau_{\ell 1}$= 3		$\tau_{c 1}$= 0		$\tau_{\ell 1}$= 5		$\tau_{c 1}$= 0	
組合せ応力		$\sigma_{0\ell}$=82		σ_{0c}=50		$\sigma_{0\ell}$=124		σ_{0c}=62	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31	—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}$=16	—	$\sigma_{x 6}$=17	—	$\sigma_{x 6}$=27	—	$\sigma_{x 6}$=29
運転時質量による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=7	$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=8	$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=7	$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=8
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 7 1}$=3	$\sigma_{x 7 1}$=4	$\sigma_{\phi 7 1}$=3	$\sigma_{x 7 1}$=4	$\sigma_{\phi 7 1}$=4	$\sigma_{x 7 1}$=7	$\sigma_{\phi 7 1}$=5	$\sigma_{x 7 1}$=7
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 4 1 1}$=6 $\sigma_{\phi 4 1 2}$=2 $\sigma_{\phi 4 1}$=7	$\sigma_{x 4 1 1}$=5 $\sigma_{x 4 1 2}$=2 $\sigma_{x 4 1}$=8	$\sigma_{\phi 5 1}$=0	$\sigma_{x 5 1}$=1	$\sigma_{\phi 4 1 1}$=11 $\sigma_{\phi 4 1 2}$=2 $\sigma_{\phi 4 1}$=13	$\sigma_{x 4 1 1}$=9 $\sigma_{x 4 1 2}$=4 $\sigma_{x 4 1}$=15	$\sigma_{\phi 5 1}$=0	$\sigma_{x 5 1}$=1
	曲げ	—	$\sigma_{x 2 1}$=48	—	$\sigma_{x 2 2}$=3	—	$\sigma_{x 2 1}$=87	—	$\sigma_{x 2 2}$=5
	せん断	τ_{ℓ}=23		τ_{c}=7		τ_{ℓ}=42		τ_{c}=12	
		$\tau_{\ell 1}$=3		$\tau_{c 1}$=0, $\tau_{c 2}$=0		$\tau_{\ell 1}$=5		$\tau_{c 1}$=0, $\tau_{c 2}$=0	
組合せ応力		$\sigma_{1\ell}$=104		σ_{1c}=62		$\sigma_{1\ell}$=160		σ_{1c}=79	

(3)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x6}=16$	—	$\sigma_{x6}=17$	—	$\sigma_{x6}=27$	—	$\sigma_{x6}=29$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=3$ $\sigma_{\phi 72}=1$	$\sigma_{x71}=4$ $\sigma_{x72}=4$	$\sigma_{\phi 71}=5$ $\sigma_{\phi 72}=9$	$\sigma_{x71}=1$ $\sigma_{x72}=5$	$\sigma_{\phi 71}=4$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x71}=7$ $\sigma_{x72}=6$	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=15$	$\sigma_{x71}=1$ $\sigma_{x72}=8$
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 41}=7$	$\sigma_{x41}=8$	$\sigma_{\phi 51}=8$	$\sigma_{x51}=2$	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi 51}=13$	$\sigma_{x51}=4$
		$\sigma_{\phi 421}=3$ $\sigma_{\phi 422}=1$	$\sigma_{x421}=9$ $\sigma_{x422}=2$	$\sigma_{\phi 52}=16$	$\sigma_{x52}=8$	$\sigma_{\phi 421}=6$ $\sigma_{\phi 422}=1$	$\sigma_{x421}=16$ $\sigma_{x422}=3$	$\sigma_{\phi 52}=29$	$\sigma_{x52}=15$
		$\sigma_{\phi 42}=4$	$\sigma_{x42}=11$			$\sigma_{\phi 42}=7$	$\sigma_{x42}=19$		
	曲げ	—	$\sigma_{x21}=48$	—	$\sigma_{x22}=3$	—	$\sigma_{x21}=87$	—	$\sigma_{x22}=5$
	せん断	$\tau_{\ell}=23$		$\tau_{c}=7$		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=12$	
		$\tau_{\ell 1}=3$		$\tau_{c1}=0$, $\tau_{c2}=0$		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c1}=0$, $\tau_{c2}=0$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell}=158$		$\sigma_{2c}=65$		$\sigma_{2\ell}=287$		$\sigma_{2c}=117$	

1.3.2　脚に生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=6$	$\sigma_{s4}=6$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=17$	$\sigma_{s3}=15$	$\sigma_{s2}=31$	$\sigma_{s3}=27$
	せん断	$\tau_{s2}=9$	$\tau_{s3}=14$	$\tau_{s2}=16$	$\tau_{s3}=25$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell}=28$	$\sigma_{sc}=31$	$\sigma_{s\ell}=46$	$\sigma_{sc}=54$

1.3.3　基礎ボルトに生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{b1}=39$	$\sigma_{b2}=43$	$\sigma_{b1}=103$	$\sigma_{b2}=116$
水平方向地震による応力	せん断	$\tau_{b1}=35$	$\tau_{b2}=33$	$\tau_{b1}=64$	$\tau_{b2}=61$

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　（単位：s）

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2　応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41 (SS41*1)	一次一般膜	σ_0＝82	S_a＝240 (235*1)	σ_0＝124	S_a＝240 (240*1)
		一次	σ_1＝104	S_a＝360 (352*1)	σ_1＝160	S_a＝360 (360*1)
		一次＋二次	σ_2＝158	S_a＝490 (470*1)	σ_2＝287	S_a＝490 (470*1)
脚	SS41	組合せ	σ_s＝31	f_{tm}＝231	σ_s＝54	f_{tm}＝276
基礎ボルト	SS41	引張	σ_b＝43	f_{ts}＝158*2	σ_b＝116	f_{ts}＝164*2
		せん断	τ_b＝35	f_{sb}＝121	τ_b＝64	f_{sb}＝146

すべて許容応力以下である。

注記＊1：当板の材料を示す。

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

1.5　その他の機器要目

1.5.1　はり要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	75
節点数	—	個	49

1.5.2　シェル要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	59100
節点数	—	個	58954

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
A-ディーゼル燃料貯蔵タンク	常設耐震／防止常設／緩和	排気筒基礎 EL 3.5*1			—	—	C_H=1.37*2	C_V=0.93*2	静水頭	40	50	0.86

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

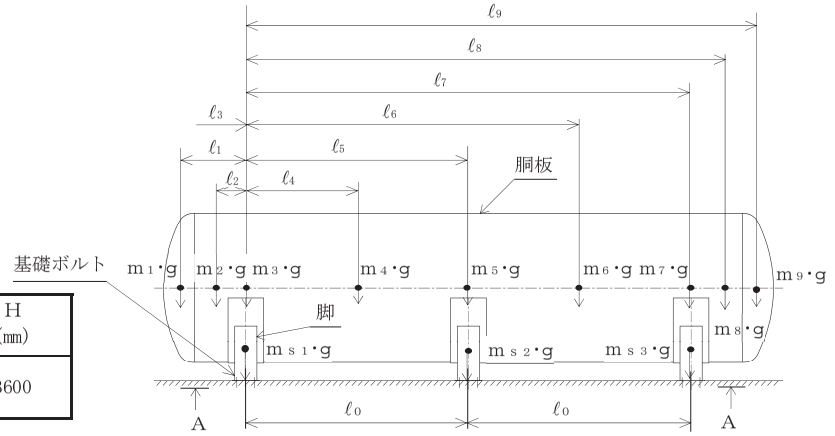
2.2　機器要目

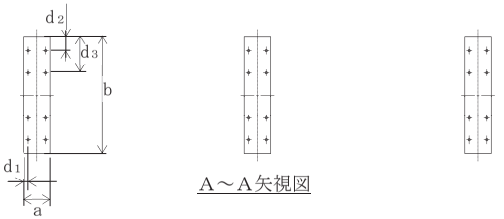
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)	m_8 (kg)	m_9 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	ℓ_8 (mm)	ℓ_9 (mm)	H (mm)
-2568	-1394	0	3250	6500	9750	13000	14394	15568	3600

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	m_{s3} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
				3600	14.0	14.0	6500	1276	2200

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	J_s (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	Z_{sp} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1590	400	1.338×10^{11}	7.184×10^{9}	1.826×10^{10}	8.415×10^{7}	2.395×10^{7}	3.363×10^{7}	2.073	1.414





A～A矢視図

A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
1.346×10^5	202000*1	201000*2	7.761×10^4	5.333×10^4	6.782×10^4	4.180×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	8	4	2	1000	3260	52 (M52)	2.124×10^3	100	315	844

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*（脚） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)
245*1 (厚さ≦16mm) (235*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	400*1 (厚さ≦16mm) (400*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	231*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	394*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	—	276	211*2 (径＞40mm)	394*2 (径＞40mm)	—	253

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出
＊3：当板の材料を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=29$	—	$\sigma_{x 2}=31$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=27$	—	$\sigma_{x 6}=29$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=3$	—	—
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 21}=87$	—	$\sigma_{x 22}=5$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c 1}=0$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{0\ell}=124$		$\sigma_{0c}=62$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=29$	—	$\sigma_{x 2}=31$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=27$	—	$\sigma_{x 6}=29$
運転時質量による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=5$	$\sigma_{x 3}=7$	$\sigma_{\phi 3}=5$	$\sigma_{x 3}=8$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=4$	$\sigma_{x 71}=7$	$\sigma_{\phi 71}=5$	$\sigma_{x 71}=7$
水平方向地震による応力	引張	— —	— —	—	—	$\sigma_{\phi 411}=11$ $\sigma_{\phi 412}=2$	$\sigma_{x 411}=9$ $\sigma_{x 412}=4$	$\sigma_{\phi 51}=0$	$\sigma_{x 51}=1$
		—	—			$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x 41}=15$		
	曲げ	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 21}=87$	—	$\sigma_{x 22}=5$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=12$	
		—		—		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c 1}=0$, $\tau_{c 2}=0$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{1\ell}=160$		$\sigma_{1c}=79$	

(3)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=27$	—	$\sigma_{x6}=29$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		— —	— —	— —	— —	$\sigma_{\phi 71}=4$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x71}=7$ $\sigma_{x72}=6$	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=15$	$\sigma_{x71}=1$ $\sigma_{x72}=8$
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi 51}=13$	$\sigma_{x51}=4$
		— —	— —	—	—	$\sigma_{\phi 421}=6$ $\sigma_{\phi 422}=1$	$\sigma_{x421}=16$ $\sigma_{x422}=3$	$\sigma_{\phi 52}=29$	$\sigma_{x52}=15$
		—	—			$\sigma_{\phi 42}=7$	$\sigma_{x42}=19$		
	曲げ	—	—	—	—	—	$\sigma_{x21}=87$	—	$\sigma_{x22}=5$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=12$	
		—		—		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c1}=0$, $\tau_{c2}=0$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell}=287$		$\sigma_{2c}=117$	

2.3.2　脚に生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=6$	$\sigma_{s4}=6$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=31$	$\sigma_{s3}=27$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=16$	$\tau_{s3}=25$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell}=46$	$\sigma_{sc}=54$

2.3.3　基礎ボルトに生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1}=103$	$\sigma_{b2}=116$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=64$	$\tau_{b2}=61$

2.4　結論

2.4.1　固有周期　　（単位：s）

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

2.4.2　応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41 (SS41*1)	一次一般膜	—	—	σ_0＝124	S_a＝240 (240*1)
		一次	—	—	σ_1＝160	S_a＝360 (360*1)
		一次＋二次	—	—	σ_2＝287	S_a＝490 (470*1)
脚	SS41	組合せ	—	—	σ_s＝54	f_{tm}＝276
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	σ_b＝116	f_{ts}＝164*2
		せん断	—	—	τ_b＝64	f_{sb}＝146

すべて許容応力以下である。

注記＊1：当板の材料を示す。

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

2.5　その他の機器要目

2.5.1　はり要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	75
節点数	—	個	49

2.5.2　シェル要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	59100
節点数	—	個	58954

Ⅵ-2-10-1-2-2　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-10-1-2-2-2　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置は，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防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

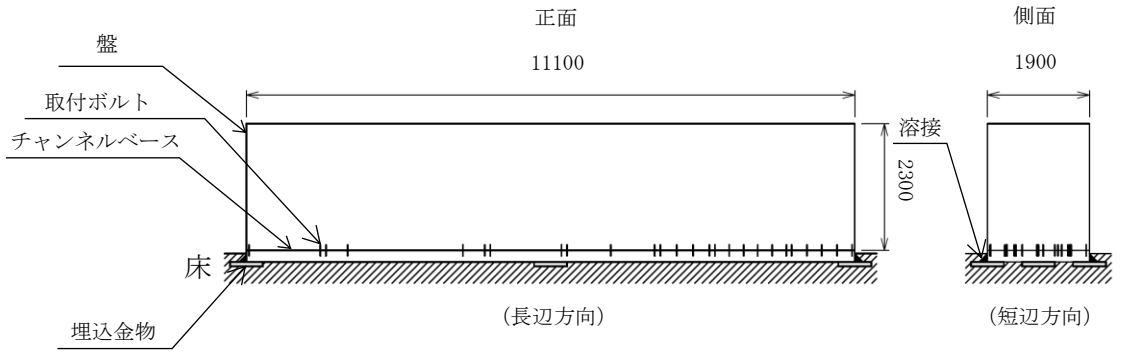
なお，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置】  （単位：mm）

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表3－1に示す。

表3－1 固有周期 （単位：s）

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220H1～H7)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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 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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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 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【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220H1～H7）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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置	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 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	せん断
ⅢAS	1.5・f t	1.5・f s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

注記＊：SS400 相当

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

注記＊：SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置の電気的機能維持評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置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又はサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5－1に示す。

表5－1　機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系ディーゼル 発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220H1～H7)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電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，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220H1～H7）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220H1～H7)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	[redacted]	[redacted]	C_H＝0.78*2	C_V＝0.54*2	C_H＝1.56*3	C_V＝1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (i＝2)	[redacted]	1230	16 (M16)	201.1	100	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*		F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
							弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (i＝2)	735	1020	Ｓｄ：9	Ｓｓ：15	215	258	短辺方向	短辺方向
	3990	7010	Ｓｄ：6	Ｓｓ：5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=42$	$f_{ts2}=161^{*}$	$\sigma_{b2}=84$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　（×9.8m/s^2）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220H1～H7）	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.　重大事故等対処設備

2.1　設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置 (2-2220H1～H7)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2　機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	[redacted]	1230	16 (M16)	201.1	100	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	735	1020	15	—	258	—	短辺方向
	3990	7010	5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=84$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=17$	$f_{sb2}=148$

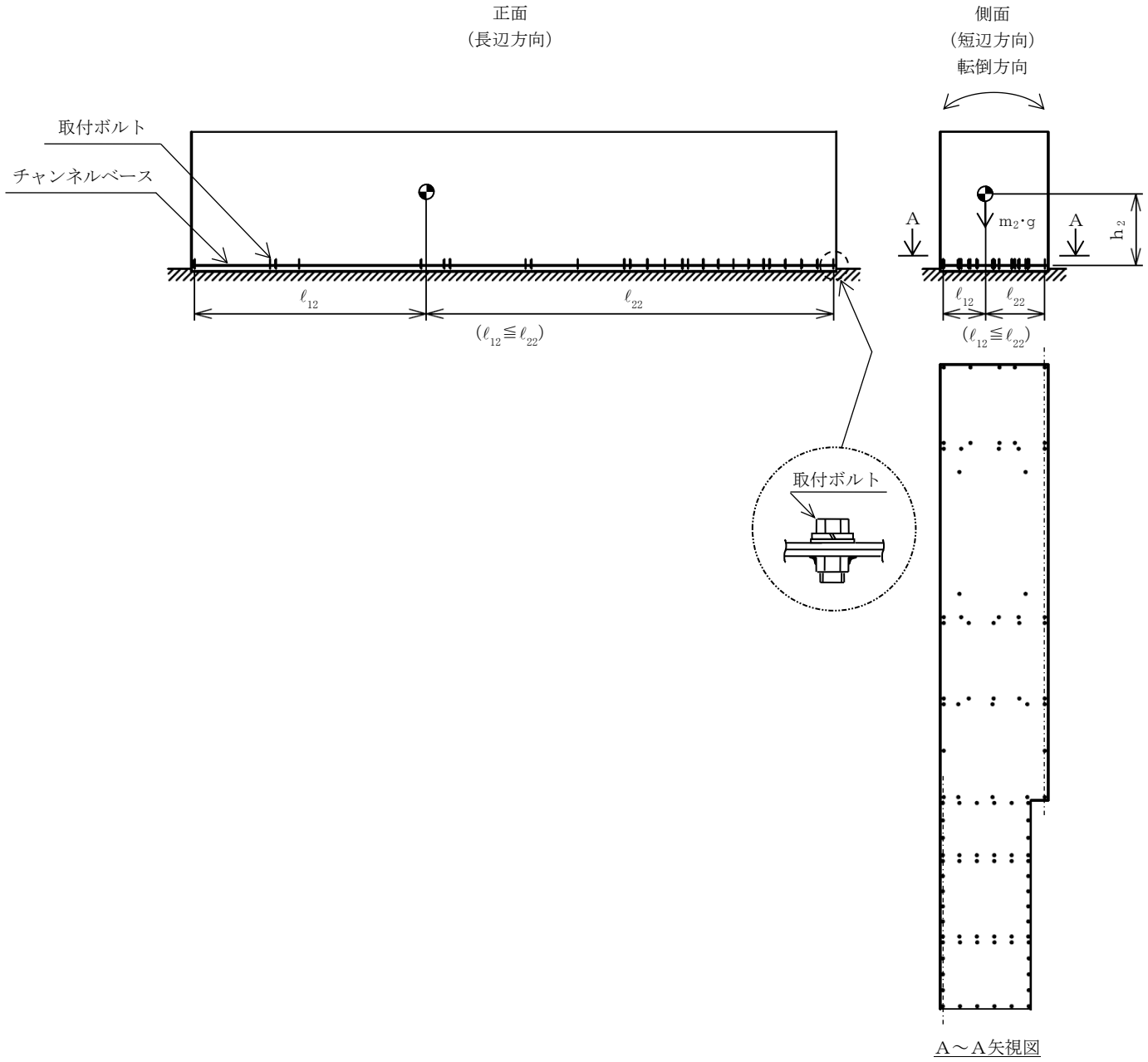
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備励磁装置及び保護継電装置（2-2220H1～H7）	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
取付ボルト
チャンネルベース
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

Ⅵ-2-10-1-2-2-5　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
3.　構造強度評価 …… 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
3.3　計算条件 …… 3
4.　機能維持評価 …… 8
4.1　基本方針 …… 8
4.2　ポンプの動的機能維持評価 …… 9
4.3　原動機の動的機能維持評価 …… 17
5.　評価結果 …… 17
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 17
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 17

1. 概要

本計算書は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

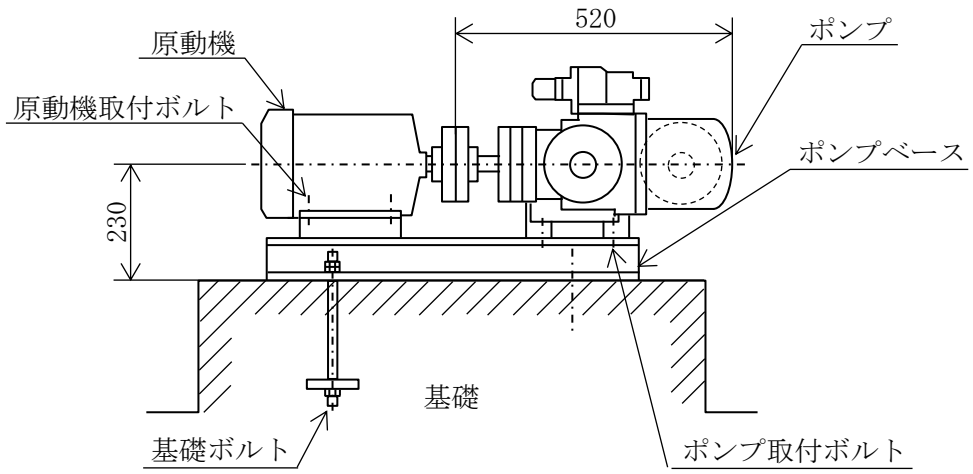
なお，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価はVI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-1　横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を行う。また，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，新たに評価項目を検討し，評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送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	
ポンプ等はポンプベースに取付ボルトで固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	スクリュー式 （スクリュー式横形ポンプ）	 （単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-1　横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3－1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3－2に示す。

3.2.2 許容応力

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3－3のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3－4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【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料移送ポンプ	S	—*	$D+P_D+M_D+S_d^*$	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記＊：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料移送ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	—*2	$D+P_D+M_D+S_s$ *3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記＊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：その他のポンプ及びその他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表 3－3　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢAS	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣAS	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

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

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

表 3－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS41* (径≦16mm)	周囲環境温度	50	241	394	―
ポンプ取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	最高使用温度	40	235	400	―
原動機取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	50	231	394	―

注記＊：SS400 相当

表 3－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS41* (径≦16mm)	周囲環境温度	50	241	394	―
ポンプ取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	最高使用温度	40	235	400	―
原動機取付ボルト	SS41* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	50	231	394	―

注記＊：SS400 相当

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，新たに評価項目を検討し，評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる応答加速度は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

(1) 原動機は横形ころがり軸受電動機であるため，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されている原動機の機能確認済加速度を適用する。

4.2　ポンプの動的機能維持評価

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは，地震後機能維持が要求される設備であるが，ポンプの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1　評価対象部位

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプは，原子力発電耐震設計特別調査委員会報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書（昭和62年2月）」及び電力共通研究「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成25年3月）」における類似構造の既往知見を踏まえ，地震時異常要因分析に基づいて，評価項目を以下のとおり抽出して評価を実施する。

a.　基礎ボルト
b.　取付ボルト
c.　軸
d.　軸受
e.　摺動部（主ねじ部）
f.　メカニカルシール
g.　軸継手

このうち「a.　基礎ボルト」「b.　取付ボルト」については，「3.　構造強度評価」に従い評価を行った「5.　評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。また，「g.　軸継手」は，軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため，評価対象外とする。

以上より，本計算書においては，軸，軸受，摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.2.2　評価基準値

軸の許容応力は，軸の変形等による回転機能への影響を考慮し，軸の変形を弾性範囲内に留めるよう，その他の支持構造物の許容応力状態ⅢＡＳに準拠し設定する。摺動部（主ねじ部）については，主ねじとスリーブの接触による，回転機能，移送機器への影響を考慮して主ねじとスリーブ間隙間を評価基準値とする。軸受は，回転機能確保の観点より荷重（面圧）を，メカニカルシールは，流体保持機能確保の観点よりシール回転環の変位可能量を評価基準値とする。評価基準値を表4－1に示す。

表4－1　評価基準値

評価対象部位	材料	単位	評価基準値
軸	[redacted]	MPa	[redacted]
軸受Ａ	－	N	
軸受Ｂ		MPa	
摺動部（主ねじ部）	－	mm	
メカニカルシール	－	mm	

4.2.3　記号の説明

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表4－2に示す。

表4－2　記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Aまでの距離（＝ℓ_2）	mm
A	軸の断面積	mm^2
A_{RB}	ラジアル荷重を受ける軸受Bの投影面積	mm^2
b	軸端から支点Bまでの距離	mm
C_H	水平方向震度	－
C_P	ポンプ振動による震度	－
C_V	鉛直方向震度	－
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_1	摺動部（主ねじ部）の評価における軸の断面二次モーメント	mm^4
I_2	メカニカルシールの評価における軸の断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	軸端から支点Aまでの距離（＝a）	mm
M	最大曲げモーメント	N･mm
m_0	軸系総質量	kg
m_1	軸質量	kg
m_2	軸継手質量	kg
M_{A1}	支点Aの軸等分布荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{A2}	支点Aの軸継手端部荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{B1}	支点Bの軸等分布荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{B2}	支点Bの軸継手端部荷重による曲げモーメント	N･mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N･mm
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
P	原動機出力	kW
P_{RB}	ラジアル荷重による軸受Bの面圧	MPa
W_0	軸受にかかる通常運転時荷重	N
W_1	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
W_2	地震力を考慮した軸端部荷重	N
W_3	地震力を考慮した軸質量による支点A，B間中央位置にかかる荷重	N
W_{0R}	軸受Aの静等価ラジアル荷重	N

記号	記号の説明	単位
W_{RA}	軸受Ａにかかる地震時のラジアル荷重	N
W_{RB}	軸受Ｂにかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x_1	軸端から支点Ａ，Ｂ間中央位置までの距離	mm
x_2	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
X_0	静ラジアル荷重係数	－
Y_0	静アキシアル荷重係数	－
Z	軸の断面係数	mm^3
Z_P	軸の極断面係数	mm^3
δ_1	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面における軸のたわみ量	mm
π	円周率	－
σ	軸に生じる引張及び曲げ応力の和	MPa
σ_S	軸に生じる組合せ応力	MPa
τ	軸に生じるねじり応力	MPa

4.2.4　評価方法

(1)　軸

軸の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の引張及び曲げ応力の和とねじり応力の組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が，その許容応力値を下回ることを確認する。

軸の評価モデルを図 4－1 に示す。

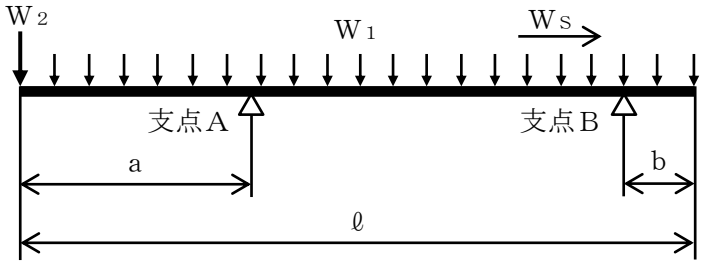


図 4－1　軸の評価モデル

軸に生じる組合せ応力σSは次式で求める。

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.1)$$

軸に生じる引張及び曲げ応力の和σは次式で求める。

$$\sigma = \frac{M}{Z} + \frac{W_S}{A} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.2)$$

ここで、最大曲げモーメントMは

$$M = max\left(M_{A1} + M_{A2},\ M_{B1} + M_{B2} \right) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.3)$$

ここで，支点Aの軸等分布荷重による曲げモーメントM_{A1}は

$$M_{A1} = \frac{W_1 \cdot a^2}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.4)$$

ここで，支点Aの軸継手端部荷重による曲げモーメントM_{A2}は

$$M_{A2} = W_2 \cdot a \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.5)$$

ここで，支点Bの軸等分布荷重による曲げモーメントM_{B1}は

$$M_{B1} = \frac{W_1 \cdot b^2}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.6)$$

ここで，支点Ｂの軸継手端部荷重による曲げモーメントM_{B2}は

$$M_{B2} = W_2 \cdot b \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.7)$$

ここで，地震力を考慮した軸等分布荷重W_1は

$$W_1 = \frac{m_1 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2 + (1+C_V)^2} + C_P)}{\ell} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.8)$$

ここで，地震力を考慮した軸継手端部荷重W_2は

$$W_2 = m_2 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2 + (1+C_V)^2} + C_P) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.9)$$

ここで，軸の断面係数Ｚは

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.10)$$

ここで，軸受にかかる地震時のスラスト荷重W_Sは

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot (C_H + C_P) + W_0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.11)$$

ここで，軸の断面積Ａは

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.12)$$

軸に生じるねじり応力τは次式で求める。

$$\tau = \frac{M_P}{Z_P} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.13)$$

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントM_Pは

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.14)$$

$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$

ここで，軸の極断面係数Z_Pは

$$Z_P = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.15)$$

(2) 軸受

軸受の評価は，地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし，地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. 軸受Aの静等価ラジアル荷重

軸受Aの静等価ラジアル荷重W_{0R}は次式で求める。

$$W_{0R}= max（X_0・W_{RA}+Y_0・W_S，W_{RA}）　・・・・・・(4.2.4.16)$$

ここで，軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重W_{RA}は

$$W_{RA}= m_0・g・(\sqrt{C_H{}^2+(1+C_V)^2}+C_P)　・・・・・・(4.2.4.17)$$

ここで，軸受にかかる地震時のスラスト荷重W_Sは

$$W_S= m_0・g・(C_H+C_P)+W_0　・・・・・・・・・・・・(4.2.4.18)$$

b. 軸受Bのラジアル荷重（面圧）

ラジアル荷重による軸受Bの面圧P_{RB}は次式で求める。

$$P_{RB}=\frac{W_{RB}}{A_{RB}}　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・(4.2.4.19)$$

ここで，軸受Bにかかる地震時のラジアル荷重W_{RB}は

$$W_{RB}= m_0・g・(\sqrt{C_H{}^2+(1+C_V)^2}+C_P)　・・・・・・・(4.2.4.20)$$

(3)　摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し，発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

摺動部（主ねじ部）の評価モデルを図 4－2 に示す。

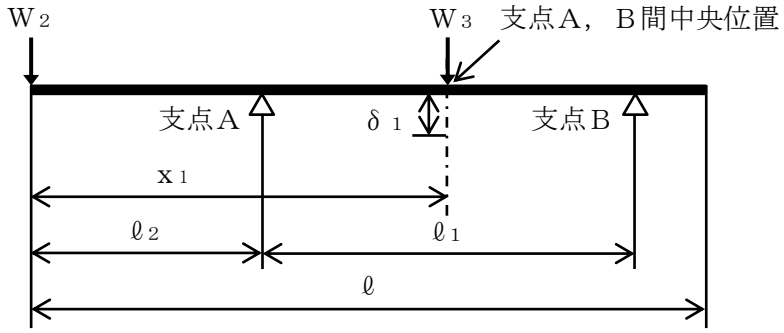


図 4－2　摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量δ1は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{W_3 \cdot \ell_1^{\,3}}{48 \cdot E \cdot I_1} + \left(- \frac{x_1 - \ell_2}{6 \cdot E \cdot I_1 \cdot \ell_1} \cdot \{ W_2 \cdot \ell_2 \cdot (x_1 - \ell_2)^2 - 3 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1 \cdot (x_1 - \ell_2) + 2 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1^{\,2} \} \right)$$

・・・・・・・・・(4.2.4.21)

(4)　メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し，発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

メカニカルシールの評価モデルを図 4－3 に示す。

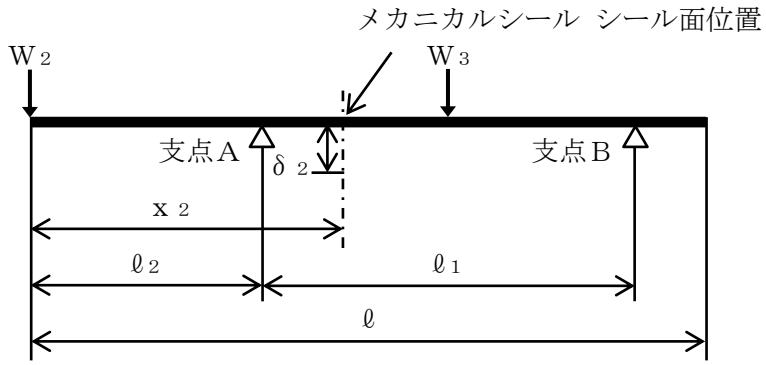


図 4－3　メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量δ2は次式で求める。

$$\delta_2=\frac{W_3\cdot\ell_1^{\,3}}{48\cdot E\cdot I_2}\cdot\left(\frac{3\cdot x_2}{\ell_1}-\frac{4\cdot x_2^{\,3}}{\ell_1^{\,3}}\right)+\left(-\frac{x_2-\ell_2}{6\cdot E\cdot I_2\cdot\ell_1}\right.$$

$$\left.\cdot\{W_2\cdot\ell_2\cdot(x_2-\ell_2)^{\,2}-3\cdot W_2\cdot\ell_2\cdot\ell_1\cdot(x_2-\ell_2)+2\cdot W_2\cdot\ell_2\cdot\ell_1^{\,2}\}\right)$$

・・・・・・・・・(4.2.4.22)

4.3　原動機の動的機能維持評価

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ用原動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 4－3 に示す。

表 4－3　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	S	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H=1.49*3	C_V=0.67*3	C_H=2.96*4	C_V=1.33*4	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）及び静的震度を上回る設計震度
＊4：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*1
基礎ボルト (i＝1)	[redacted]	230	130	130	12 (M12)	113.1	4	2
			225	225				2
ポンプ取付ボルト (i＝2)		125	100	100	16 (M16)	201.1	4	2
			70	70				2
原動機取付ボルト (i＝3)		100	80	80	10 (M10)	78.54	4	2
			70	70				2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_p (N･mm)
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	
基礎ボルト (i＝1)	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	241	276	軸直角		—
ポンプ取付ボルト (i＝2)	235*3 (16mm＜径≦40mm)	400*3 (16mm＜径≦40mm)	235	280	軸		—
原動機取付ボルト (i＝3)	231*2 (16mm＜径≦40mm)	394*2 (16mm＜径≦40mm)	231	276	軸直角	軸	1.167×10^4

H_P (μm)	N（ポンプ） (rpm)	N（原動機） (rpm)
[redacted]		

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

1.1.3　計算数値

1.1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）				
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）				
原動機取付ボルト（ｉ＝3）				

1.1.4　結論

1.1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS41	引張	σ_{b1}＝ 8	f_{ts1}＝180*	σ_{b1}＝17	f_{ts1}＝207*
		せん断	τ_{b1}＝ 5	f_{sb1}＝139	τ_{b1}＝ 9	f_{sb1}＝159
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	σ_{b2}＝ 3	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝ 5	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝ 2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝ 3	f_{sb2}＝161
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	SS41	引張	σ_{b3}＝ 3	f_{ts3}＝173*	σ_{b3}＝ 6	f_{ts3}＝207*
		せん断	τ_{b3}＝ 2	f_{sb3}＝133	τ_{b3}＝ 4	f_{sb3}＝159

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}, f_{toi}]

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m^3/h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料移送ポンプ	スクリュー式	4.0	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H＝1.22*3	C_V＝0.78*3	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系 ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料移送ポンプ用原動機	横形ころがり軸受電動機	2.2	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H＝1.22*3	C_V＝0.78*3	[redacted]	—	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

1.2.2 機器要目

m_0 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x_1 (mm)	x_2 (mm)
[redacted]										

A_{RB} (mm^2)	E (MPa)	I_1 (mm^4)	I_2 (mm^4)	N (rpm)	P (kW)	W_0 (N)	X_0	Y_0
[redacted]					2.2	[redacted]		

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.22	—
	鉛直方向	0.78	—
原動機	水平方向	1.22	4.7
	鉛直方向	0.78	1.0

注記＊：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度。
ポンプは，本文 4.2.1 項に基づき，以下の項目について評価する。
原動機は，機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。

1.2.3.2　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1　代表評価項目の評価

基礎ボルト，ポンプ取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

1.2.3.2.2　上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1　軸の評価　（単位：MPa）

評価部位	発生応力	許容応力
軸	[redacted]	[redacted]

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2　軸受の評価　（単位：N）

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸受A	[redacted]	[redacted]

すべて許容荷重以下である。

（単位：MPa）

評価部位	発生面圧	許容面圧
軸受B	[redacted]	[redacted]

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3　摺動部（主ねじ部）の評価　（単位：mm）

評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ部）	[redacted]	[redacted]

すべてスリーブ間隙間以下である。

1.2.3.2.2.4　メカニカルシールの評価　（単位：mm）

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	[redacted]	[redacted]

すべて変位可能量以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	—	—	C_H=2.96*3	C_V=1.33*3	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

2.1.2 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} (mm²)	n_i	n_{fi}*1
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	230	130	130	12 (M12)	113.1	4	2
			225	225				2
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）		125	100	100	16 (M16)	201.1	4	2
			70	70				2
原動機取付ボルト（ｉ＝3）		100	80	80	10 (M10)	78.54	4	2
			70	70				2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_p (N･mm)
					弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	
基礎ボルト（ｉ＝1）	241*2 (径≦16mm)	394*2 (径≦16mm)	—	276	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	235*3 (16mm＜径≦40mm)	400*3 (16mm＜径≦40mm)	—	280	—	軸	—
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	231*2 (16mm＜径≦40mm)	394*2 (16mm＜径≦40mm)	—	276	—	軸	—

H_P (μm)	N（ポンプ） (rpm)	N（原動機） (rpm)
[redacted]		

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

2.1.3　計算数値

2.1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—		—	
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	—		—	
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	—		—	

2.1.4　結論

2.1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS41	引張	—	—	σ_{b1}＝17	f_{ts1}＝207*
		せん断	—	—	τ_{b1}＝ 9	f_{sb1}＝159
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	—	—	σ_{b2}＝ 5	f_{ts2}＝210*
		せん断	—	—	τ_{b2}＝ 3	f_{sb2}＝161
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	SS41	引張	—	—	σ_{b3}＝ 6	f_{ts3}＝207*
		せん断	—	—	τ_{b3}＝ 4	f_{sb3}＝159

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m^3/h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ	スクリュー式	4.0	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H＝1.22*3	C_V＝0.78*3	[redacted]	40	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備ディーゼル燃料移送ポンプ用原動機	横形ころがり軸受電動機	2.2	取水エリア EL 7.55 (EL 8.5*1)	—*2	—*2	C_H＝1.22*3	C_V＝0.78*3	[redacted]	—	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

2.2.2 機器要目

m_0 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x_1 (mm)	x_2 (mm)
[redacted]										

A_{RB} (mm^2)	E (MPa)	I_1 (mm^4)	I_2 (mm^4)	N (rpm)	P (kW)	W_0 (N)	X_0	Y_0
[redacted]					2.2	[redacted]		

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.22	—
	鉛直方向	0.78	—
原動機	水平方向	1.22	4.7
	鉛直方向	0.78	1.0

注記＊：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度。
ポンプは，本文4.2.1項に基づき，以下の項目について評価する。
原動機は，機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。

2.2.3.2　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

2.2.3.2.1　代表評価項目の評価

基礎ボルト，ポンプ取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

2.2.3.2.2　上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1　軸の評価　（単位：MPa）

評価部位	発生応力	許容応力
軸	[redacted]	[redacted]

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2　軸受の評価　（単位：N）

評価部位	発生荷重	許容荷重
軸受Ａ	[redacted]	[redacted]

すべて許容荷重以下である。

（単位：MPa）

評価部位	発生面圧	許容面圧
軸受Ｂ	[redacted]	[redacted]

すべて許容面圧以下である。

2.2.3.2.2.3　摺動部（主ねじ部）の評価　（単位：mm）

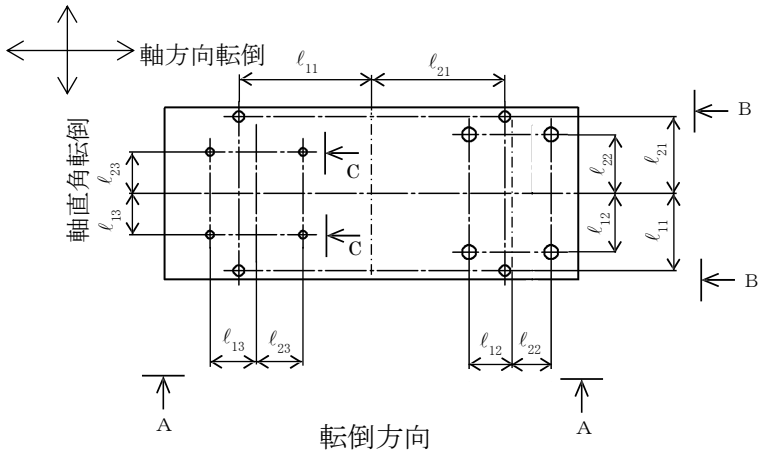
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ部）	[redacted]	[redacted]

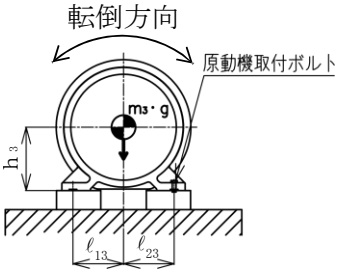
すべてスリーブ間隙間以下である。

2.2.3.2.2.4　メカニカルシールの評価　（単位：mm）

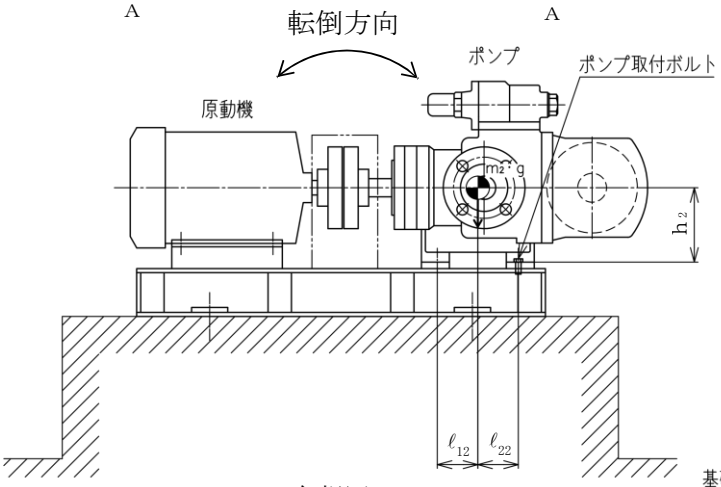
評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	[redacted]	[redacted]

すべて変位可能量以下である。

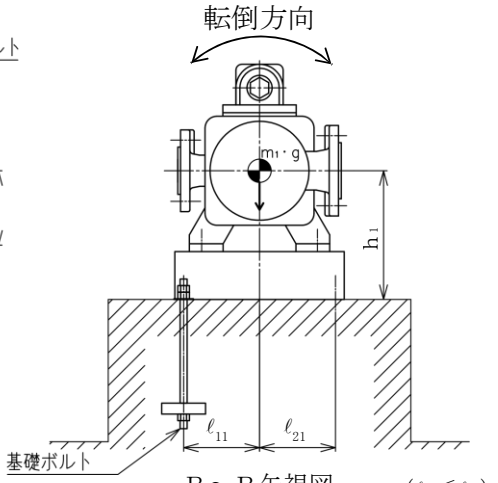




C～C矢視図
（原動機取付ボルト）

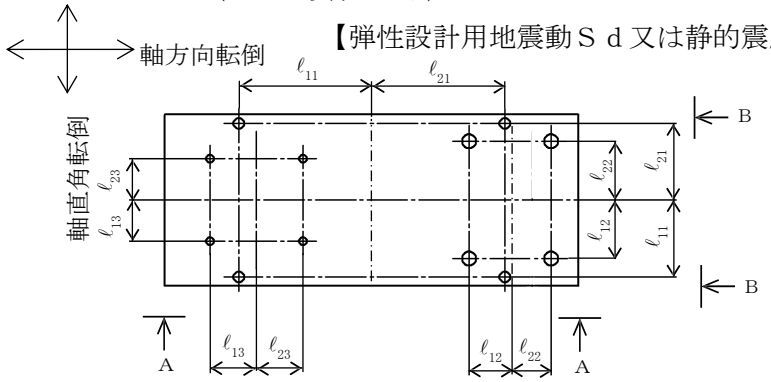


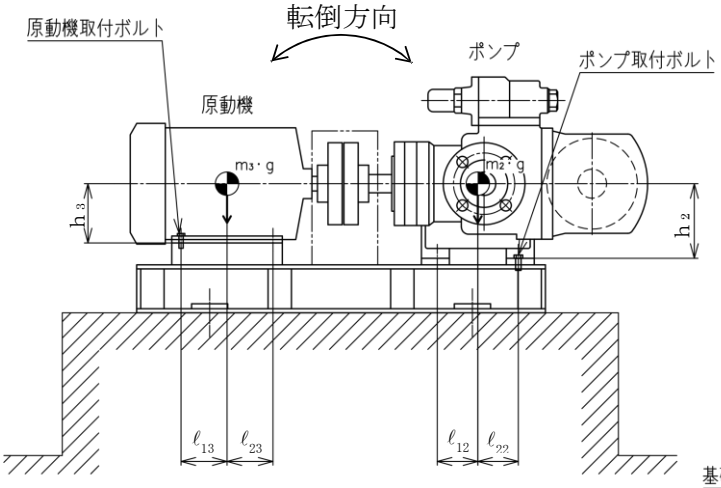
A～A矢視図
（ポンプ取付ボルト）



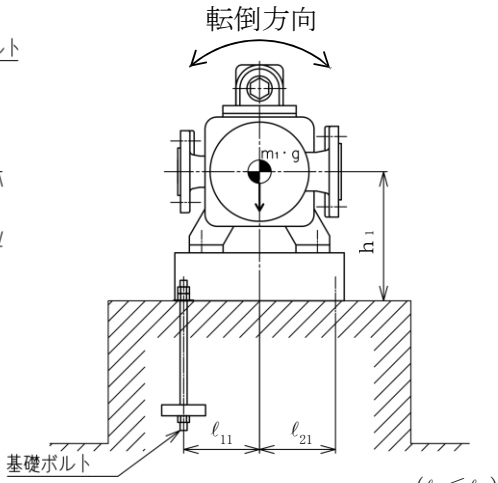
B～B矢視図
（基礎ボルト）
$(\ell_{1i} \leqq \ell_{2i})$

【弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度の場合】





A～A矢視図
（ポンプ，原動機取付ボルト）



B～B矢視図
（基礎ボルト）
$(\ell_{1i} \leqq \ell_{2i})$

【基準地震動Ｓｓの場合】

Ⅵ-2-10-1-2-2-6　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備
ディーゼル燃料貯蔵タンクの
耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
2.2　評価方針 …… 3
2.3　適用規格・基準等 …… 5
2.4　記号の説明 …… 6
2.5　計算精度と数値の丸め方 …… 11
3.　評価部位 …… 12
4.　地震応答解析及び構造強度評価 …… 12
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 …… 12
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 12
4.3　解析モデル及び諸元 …… 17
4.4　固有周期 …… 20
4.5　設計用地震力 …… 21
4.6　計算方法 …… 22
4.7　計算条件 …… 32
4.8　応力の評価 …… 32
5.　評価結果 …… 34
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 34
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 34
6.　引用文献 …… 34

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備　ディーゼル燃料貯蔵タンク（以下「ディーゼル燃料貯蔵タンク」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

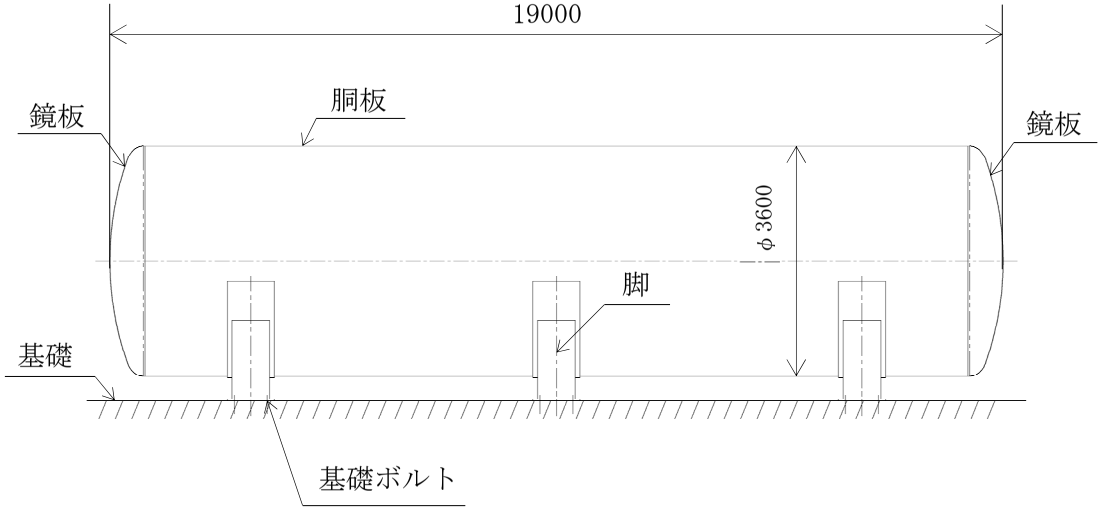
ディーゼル燃料貯蔵タンクは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ディーゼル燃料貯蔵タンクの構造計画を表 2－1 に示す。

表２－１　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴を３個の脚で支持し，脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。	横置円筒形 （両端に鏡板を有する横置一胴円筒形容器）	 （単位：mm）

2.2　評価方針

ディーゼル燃料貯蔵タンクの応力評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示すディーゼル燃料貯蔵タンクの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価フローを図2－1に示す。

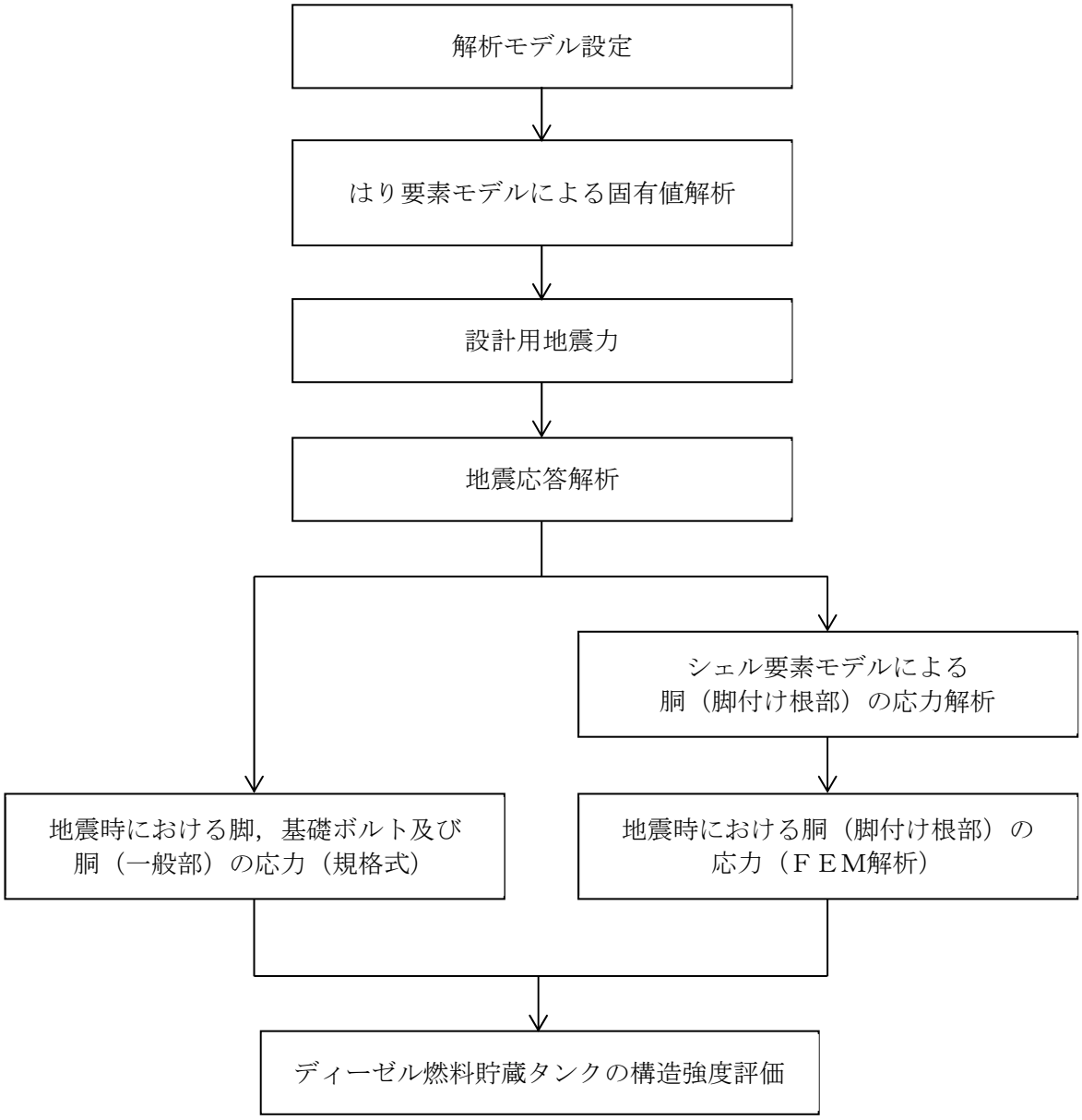


図 2－1　ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価フロー

2.3　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	脚底板の長手方向幅	mm
b	脚底板の横方向幅	mm
C_1	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_i	胴の内径	mm
d	基礎ボルトの呼び径	mm
d_1	脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
d_3	脚底板端面から基礎ボルト（内側）中心までの横方向の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
e	脚中心から偏心荷重作用点までの距離	mm
F	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
F_c	横方向地震により胴に生じるせん断力	N
F_{c1}	横方向地震により脚底面に生じるせん断力	N
F_{cs}	横方向地震により脚底面に生じる水平方向荷重	N
F_ℓ	長手方向地震により胴に生じる鉛直荷重	N
$F_{\ell 1}$	長手方向地震により胴に生じる引張荷重	N
$F_{\ell 2}$	長手方向地震により脚付け根部に生じるせん断力	N
$F_{\ell 3}$	長手方向地震により脚底面に生じるせん断力	N
$F_{\ell s}$	長手方向地震により脚底面に生じる水平方向荷重	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	脚の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa

記号	記号の説明	単位
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
H	水頭	mm
h_1	基礎から脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm^4
j_1	荷重分布で分割する荷重の数	—
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	mm
M	脚底板に生じるモーメント	N･mm
M_1	脚付け根部における胴の運転時質量による曲げモーメント	N･mm
M_{11}	長手方向地震により胴に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{12}	横方向地震により胴に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{13}	横方向地震により胴に生じるねじりモーメント	N･mm
M_{14}	運転時質量により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{14V}	鉛直方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_3	横方向地震により脚付け根部に生じるねじりモーメント	N･mm
M_{3s}	横方向地震により脚底面に生じるねじりモーメント	N･mm
M_c	横方向地震により胴の脚付け根部に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{c1}	横方向地震及び鉛直方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_{cs}	横方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
M_ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる曲げモーメント	N･mm
$M_{\ell 1}$	長手方向地震により脚底面に生じる曲げモーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
m_{s3}	第3脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	—
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張を受ける基礎ボルトの本数	—
P	運転時質量により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_e	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に作用する反力	N
P_ℓ	長手方向地震により胴の脚付け根部に作用する鉛直方向荷重	N
P_s	長手方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直方向荷重	N

記号	記号の説明	単位
P_{s1}	横方向及び鉛直方向地震により脚底部に作用する鉛直方向荷重	N
R_1	運転時質量により脚の受ける荷重	N
R_{1V}	鉛直方向地震により脚の受ける荷重	N
r_m	脚付け根部における胴の平均半径	mm
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y(RT)	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	—
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	胴の厚さ	mm
t_e	脚付け根部における胴の有効板厚	mm
X_n	基礎が圧縮力を受ける幅	mm
Z	引用文献(1)による胴の断面係数	mm^3
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm^3
Z_{sx}	脚の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{sy}	脚の横方向軸に対する断面係数	mm^3
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の脚端部より鉛直軸までの角度	rad
π	円周率	—
ρ'	液体の密度（＝比重×10^{-6}）	kg/mm^3
σ_0	胴の組合せ一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_{0c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
σ_{0cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{0\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次一般膜応力の和	MPa
$\sigma_{0\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次一般膜応力の和	MPa
σ_1	胴の組合せ一次応力の最大値	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{1c}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
σ_{1cx}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の組合せ一次応力	MPa
$\sigma_{1\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{1\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の胴の周方向一次応力の和	MPa
σ_{2}	地震動のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_{2c}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{2cx}	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2c\phi}$	横方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の組合せ一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell x}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の軸方向一次応力と二次応力の和	MPa
$\sigma_{2\ell\phi}$	長手方向及び鉛直方向地震のみによる胴の周方向一次応力と二次応力の和	MPa
σ_{b}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{b1}	長手方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{b2}	横方向及び鉛直方向地震により基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{s}	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}	運転時質量により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{s2}	長手方向地震により脚に生じる曲げ及び圧縮応力の和	MPa
σ_{s3}	横方向地震により脚に生じる曲げ応力	MPa
σ_{s4}	鉛直方向地震により脚に生じる圧縮応力	MPa
σ_{sc}	横方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{s\ell}$	長手方向及び鉛直方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{x1}	内圧又は静水頭により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x21}	長手方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x22}	横方向地震による横方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x3}	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{x41}, σ_{x42}	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
σ_{x411}, σ_{x421}	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x412}, σ_{x422}	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x413}	長手方向地震による水平方向荷重により胴に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x51}, σ_{x52}	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
σ_{x6}	鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力	MPa
σ_{x71}, σ_{x72}	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 1}$	内圧又は静水頭により胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に鉛直地震力が加わり胴に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 3}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力	MPa
$\sigma_{\phi 41}$, $\sigma_{\phi 42}$	長手方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力の和及び二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi 411}$, $\sigma_{\phi 421}$	長手方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 412}$, $\sigma_{\phi 422}$	長手方向地震による鉛直荷重により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 51}$, $\sigma_{\phi 52}$	横方向地震による曲げモーメントにより胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}$, $\sigma_{\phi 72}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向一次応力及び二次応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{b1}	長手方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_{b2}	横方向地震により基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_c	横方向地震によるせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{c1}	横方向地震による胴のねじりモーメントにより胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{c2}	横方向地震による脚のねじりモーメントにより胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_ℓ	長手方向地震による長手方向のせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
$\tau_{\ell 1}$	長手方向地震による鉛直方向のせん断力により胴の脚付け根部に生じるせん断応力	MPa
τ_{s2}	長手方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa
τ_{s3}	横方向地震により脚に生じるせん断応力	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

＊2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の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

ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる胴，脚及び基礎ボルトについて実施する。ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震評価部位については，表2－1の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析モデルにより固有周期を求める。

(2)　「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析モデルにより求めた地震時の評価荷重（各部の反力及びモーメント）をもとに，脚，基礎ボルト及び胴の応力評価を行う。

(3)　胴の局部応力については，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルにより求める。

(4)　地震力は，ディーゼル燃料貯蔵タンクに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，応力の算出において組み合わせるものとする。ここで，水平方向地震力は胴の長手方向に作用する場合と胴の横方向に作用する場合を考慮する。また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，ＳＲＳＳ法を用いる。

(5)　脚は同形状であるため，作用する荷重の大きい脚についての評価を計算書に記載する。

(6)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

ディーゼル燃料貯蔵タンクの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－2 に示す。

4.2.2　許容応力

ディーゼル燃料貯蔵タンクの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4－3及び表4－4に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ディーゼル燃料貯蔵タンクの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4－5に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4－6に示す。

表４－１　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	ディーゼル燃料貯蔵タンク	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：クラス２，３容器及びクラス２，３支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表４－２　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	ディーゼル燃料貯蔵タンク	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋S s *3	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：重大事故等クラス２容器及び重大事故等クラス２支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

表４－３　許容応力（クラス２，３容器及び重大事故等クラス２容器）

許容応力状態	許容限界 *1, *2			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
ⅢＡＳ	Ｓｙと0.6・Ｓｕの小さい方 ただし，オーステナイト系 ステンレス鋼及び高ニッケル合 金については上記値と 1.2・Ｓのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が２・Ｓｙ以下であれば疲労解析は不要	
ⅣＡＳ	0.6・Ｓｕ	左欄の1.5倍の値		
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）			基準地震動Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が２・Ｓｙ以下であれば疲労解析は不要	

注記＊1：座屈に対する評価が必要な場合には，クラスＭＣ容器の座屈に対する評価式による。

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

表４－４　許容応力（クラス２，３支持構造物及び重大事故等クラス２支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等以外）	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
ⅢＡＳ	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
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 4－5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
胴板	SS41*1 (厚さ≦16mm) SS41*1, *2 (16mm＜厚さ≦40mm)	最高使用温度	40	—	245 235*2	400 400*2	—
脚	SS41*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS41*1 (径＞40mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記＊1：SS400 相当

＊2：当板の材料を示す。

表 4－6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
胴板	SS41*1 (厚さ≦16mm) SS41*1, *2 (16mm＜厚さ≦40mm)	最高使用温度	40	—	245 235*2	400 400*2	—
脚	SS41*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS41*1 (径＞40mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—

注記＊1：SS400 相当

＊2：当板の材料を示す。

4.3　解析モデル及び諸元

4.3.1　はり要素モデル

ディーゼル燃料貯蔵タンクのはり要素での解析モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

(1)　ディーゼル燃料貯蔵タンクの胴及び脚をはり要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。



(4)　解析コードは，「ＡＢＡＱＵＳ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ－5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



図 4－1　ディーゼル燃料貯蔵タンクはり要素モデル

4.3.2　シェル要素モデル

ディーゼル燃料貯蔵タンクのシェル要素での解析モデルを図 4－2 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。

(1)　ディーゼル燃料貯蔵タンクの脚及び胴（胴板及び当板）について，脚付け根部の応力を評価するために十分な範囲をシェル要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。なお，胴の応力が大きくなるように脚底面は剛体とする。

(3)　解析コードは，「ＡＢＡＱＵＳ」を使用し，胴の応力のうち脚付け根部の応力をＦＥＭ解析により求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ－5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

図 4－2　解析モデルの概要

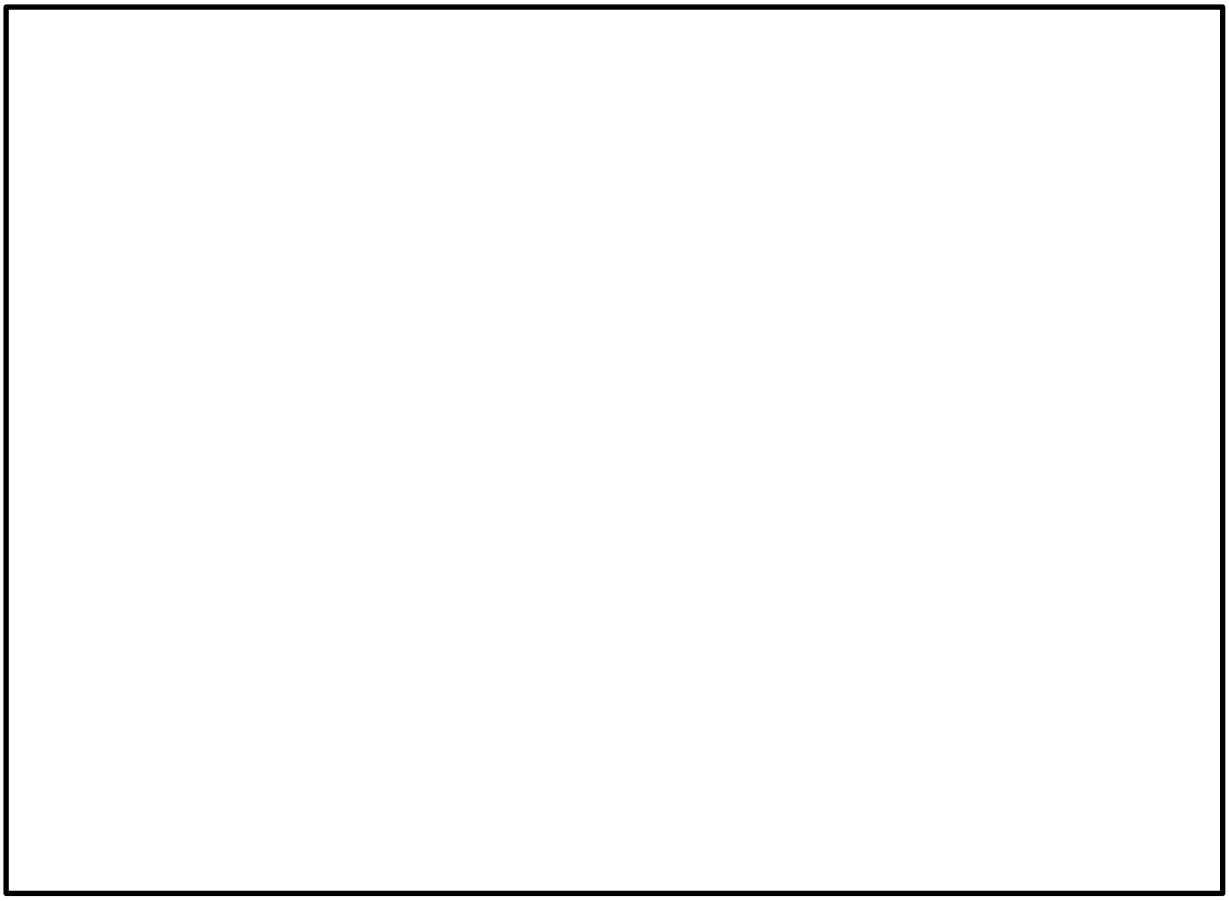


図 4－3　荷重作用点並びに荷重及びモーメントの入力方向（下から見た図）

4.4　固有周期

はり要素モデルでの固有値解析の結果を表 4－7，振動モード図を図 4－4 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4－7　固有値解析結果

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



図 4－4　振動モード図（1 次モード）

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－8 及び表 4－9 に示す。

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

表 4－8　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
排気筒基礎 EL 3.5*1	[redacted]		C_H＝0.75*2	C_V＝0.53*2	C_H＝1.37*3	C_V＝0.93*3

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（弾性設計用地震動Ｓｄ）及び静的震度を上回る設計震度
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

表 4－9　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
排気筒基礎 EL 3.5*1	[redacted]		—	—	C_H＝1.37*2	C_V＝0.93*2

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　胴の計算方法

(1)　静水頭による応力（鉛直方向地震時を含む。）

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i \cdot C_V}{2 \cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{\rho' \cdot g \cdot H \cdot D_i}{4 \cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.3)$$

(2)　運転時質量及び鉛直方向地震により生じる長手方向曲げモーメントによる応力

脚付け根部における曲げモーメントM_1は「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

解析による計算で求めた曲げモーメントM_1により胴の脚付け根部に生じる応力は次のように求める。

引用文献(1)によれば，この曲げモーメントM_1は胴の断面に対して一様に作用するものではなく，脚取付部において円周方向の曲げモーメントに置き換えられ，胴の局部変形を生じさせようとする。

長手方向の曲げモーメントによる胴の応力の影響範囲を脚上$\frac{\theta_0}{6}$の点とすると長手方向曲げモーメントに対する胴の有効断面積は図 4−5 に 2・θ で示される円殻である。

したがって，運転時質量による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x2}=\frac{M_1}{Z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

また，鉛直方向地震による応力は次式で求める。

$$\sigma_{x6}=\frac{M_1}{Z} \cdot C_V \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.5)$$

ここで，

$$r_m=\frac{D_i+t_e}{2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.6)$$

$$Z=r_m^2 \cdot t_e \cdot \left\{\frac{\theta+\sin\theta \cdot \cos\theta-2 \cdot \sin^2\theta/\theta}{(\sin\theta/\theta)-\cos\theta}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.7)$$

であり，脚付け根部における胴の有効板厚 t_e は胴板の厚さとする。

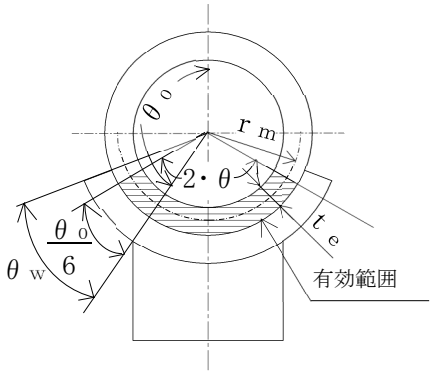


図 4－5　脚付け根部の有効範囲

(3)　長手方向地震により生じる長手方向曲げモーメント及び鉛直方向荷重による応力

長手方向地震が作用した場合に胴に生じる曲げモーメントM_{11}及び鉛直荷重F_{ℓ}は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき，胴に生じる応力は次式で求める。

$$\sigma_{x21}=\frac{M_{11}}{Z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.8)$$

$$\tau_{\ell 1}=\frac{2\cdot F_{\ell}}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.9)$$

(4)　横方向地震により生じる横方向曲げモーメント及びねじりモーメントによる応力

横方向地震が作用した場合に胴に生じる曲げモーメントM_{12}及びねじりモーメントM_{13}は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき，胴に生じる応力は次式で求める。

$$\sigma_{x22}=\frac{4\cdot M_{12}}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.10)$$

$$\tau_{c1}=\frac{2\cdot M_{13}}{\pi\cdot(D_i+t)^2\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.11)$$

(5)　運転時質量及び鉛直方向地震による脚付け根部の応力

運転時質量によって胴の脚付け根部に生じる反力Ｐ及び鉛直方向地震によって胴の脚付け根部に生じるＰｅは「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。反力Ｐにより生じる一次応力$\sigma_{\phi 3}$，σ_{x3}，反力Ｐｅにより生じる一次応力$\sigma_{\phi 71}$，σ_{x71}及び二次応力$\sigma_{\phi 72}$，σ_{x72}は，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルに入力し，解析による計算で求める。

(6)　長手方向地震による脚付け根部の応力

長手方向地震が作用した場合，曲げモーメントM_{ℓ}及び鉛直荷重P_{ℓ}は「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。曲げモーメントM_{ℓ}により生じる一

次応力$\sigma_{\phi 411}$，σ_{x411}及び二次応力$\sigma_{\phi 421}$，σ_{x421}，鉛直荷重P_{ℓ}により生じる一次応力$\sigma_{\phi 412}$，σ_{x412}及び二次応力$\sigma_{\phi 422}$，σ_{x422}は，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルに入力し，解析による計算で求める。胴に生じる引張荷重$F_{\ell 1}$は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

胴に生じる引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{x413}=\frac{F_{\ell 1}}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.12)$$

したがって，曲げモーメント，鉛直荷重及び水平方向荷重により生じる胴の応力は次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{\phi 41}=\sigma_{\phi 411}+\sigma_{\phi 412} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.13)$$

$$\sigma_{x41}=\sigma_{x411}+\sigma_{x412}+\sigma_{x413} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.14)$$

二次応力

$$\sigma_{\phi 42}=\sigma_{\phi 421}+\sigma_{\phi 422} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.15)$$

$$\sigma_{x42}=\sigma_{x421}+\sigma_{x422} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.16)$$

また，長手方向地震が作用した場合，脚付け根部に生じるせん断力$F_{\ell 2}$は「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{\ell}=\frac{F_{\ell 2}}{4\cdot C_2\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.17)$$

(7)　横方向地震による脚付け根部の応力

横方向地震が作用した場合，曲げモーメントM_cは「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。一次応力$\sigma_{\phi 51}$，σ_{x51}及び二次応力$\sigma_{\phi 52}$，σ_{x52}は，「4.3.2　シェル要素モデル」に示す解析モデルに曲げモーメントM_cを入力し，解析による計算で求める。胴の脚付け根部に生じるせん断荷重F_c及び胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントM_3は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

せん断荷重により脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_c=\frac{F_c}{4\cdot C_1\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.18)$$

ねじりモーメントにより脚付け根部に生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{c2}=\frac{M_3}{2\cdot\pi\cdot C_2^{\,2}\cdot t} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.19)$$

(8)　組合せ応力

(1)～(7)によって求めた脚付け根部に生じる胴の応力は以下のように組み合わせ

る。

a. 一次一般膜応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0\ell}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{0\ell\phi}+\sigma_{0\ell x})+\sqrt{(\sigma_{0\ell\phi}-\sigma_{0\ell x})^2+4\cdot\tau_{\ell 1}{}^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.20)$$

ここで,

$$\sigma_{0\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{0\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x6}{}^2+(\sigma_{x413}+\sigma_{x21})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.22)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{0c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{0c\phi}+\sigma_{0cx})+\sqrt{(\sigma_{0c\phi}-\sigma_{0cx})^2+4\cdot\tau_{c1}{}^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.23)$$

ここで,

$$\sigma_{0c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.24)$$

$$\sigma_{0cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sqrt{\sigma_{x6}{}^2+\sigma_{x22}{}^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.25)$$

したがって，胴に生じる一次一般膜応力の最大値は,

$$\sigma_0=\mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{0\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{0c})\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.26)$$

とする。

b. 一次応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1\ell}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1\ell\phi}+\sigma_{1\ell x})+\sqrt{(\sigma_{1\ell\phi}-\sigma_{1\ell x})^2+4\cdot(\tau_{\ell}+\tau_{\ell 1})^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.27)$$

ここで,

$$\sigma_{1\ell\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 41}{}^2+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{1\ell x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{(\sigma_{x41}+\sigma_{x21})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.29)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{1c}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{1c\phi}+\sigma_{1cx})+\sqrt{(\sigma_{1c\phi}-\sigma_{1cx})^2+4\cdot(\tau_{c}+\tau_{c1}+\tau_{c2})^2}\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.30)$$

ここで,

$$\sigma_{1c\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 3}+\sqrt{\sigma_{\phi 51}{}^2+(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.31)$$

$$\sigma_{1cx}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sqrt{(\sigma_{x51}+\sigma_{x22})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.32)$$

したがって，胴に生じる一次応力の最大値は,

$$\sigma_{1}=\mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{1\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{1c})\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.33)$$

とする。

c. 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2\ell}=(\sigma_{2\ell\phi}+\sigma_{2\ell x})+\sqrt{(\sigma_{2\ell\phi}-\sigma_{2\ell x})^2+4\cdot(\tau_{\ell}+\tau_{\ell 1})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.34)$$

ここで,

$$\sigma_{2\ell\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^2+(\sigma_{\phi 41}+\sigma_{\phi 42})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{2\ell x}=\sqrt{(\sigma_{x41}+\sigma_{x42}+\sigma_{x21})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.36)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合の変動値

$$\sigma_{2c}=(\sigma_{2c\phi}+\sigma_{2cx})+\sqrt{(\sigma_{2c\phi}-\sigma_{2cx})^2+4\cdot(\tau_{c}+\tau_{c1}+\tau_{c2})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.37)$$

ここで,

$$\sigma_{2c\phi}=\sqrt{(\sigma_{\phi 2}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72})^2+(\sigma_{\phi 51}+\sigma_{\phi 52})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.38)$$

$$\sigma_{2cx}=\sqrt{(\sigma_{x51}+\sigma_{x52}+\sigma_{x22})^2+(\sigma_{x6}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72})^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.39)$$

したがって，胴に生じる地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値の最大値は,

$$\sigma_{2}=\mathrm{Max}\{\text{長手方向地震時応力}(\sigma_{2\ell}),\ \text{横方向地震時応力}(\sigma_{2c})\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.40)$$

とする。

4.6.1.2　脚の計算方法

「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で得られる各要素端での荷重R_1，R_{1V}，P_ℓ，$F_{\ell s}$，F_{cs}，曲げモーメントM_{14}，M_{14V}，$M_{\ell 1}$，M_{cs}及びねじりモーメントM_{3s}より各応力を次のように求める。

(1)　運転時質量による応力

$$\sigma_{s1}=\frac{M_{14}}{Z_{sy}}+\frac{R_1}{A_s} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.1)$$

(2)　鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s4}=\frac{M_{14V}}{Z_{sy}}+\frac{R_{1V}}{A_s} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2)$$

(3)　長手方向地震による応力

曲げ及び圧縮応力は，次式で求める。

$$\sigma_{s2}=\frac{M_{\ell 1}}{Z_{sy}}+\frac{P_\ell}{A_s} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s2}=\frac{F_{\ell s}}{A_{s3}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.4)$$

(4)　横方向地震による応力

曲げ応力は次式で求める。

$$\sigma_{s3}=\frac{M_{cs}}{Z_{sx}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.5)$$

せん断応力は次式で求める。

$$\tau_{s3}=\frac{M_{3s}}{Z_{sp}}+\frac{F_{cs}}{A_{s4}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.6)$$

(5)　組合せ応力

鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

$$\sigma_{s\ell}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s2}^2+\sigma_{s4}^2})^2+3\cdot\tau_{s2}^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.7)$$

鉛直方向と横方向地震が作用した場合

$$\sigma_{sc}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sqrt{\sigma_{s3}^2+\sigma_{s4}^2})^2+3\cdot\tau_{s3}^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.8)$$

したがって，脚に生じる最大応力は，

$\sigma_s=$Max｛長手方向地震時応力($\sigma_{s\ell}$)，横方向地震時応力(σ_{sc})｝

$$\cdots\cdots (4.6.1.2.9)$$

とする。

4.6.1.3　基礎ボルトの計算方法

(1)　鉛直方向と長手方向地震が作用した場合

a.　引張応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントM及び鉛直荷重P_sは，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e = M / P_s \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.1)$$

とする。

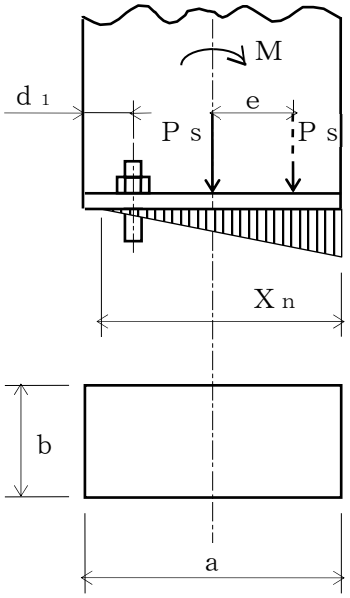


図 4－6　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 1）

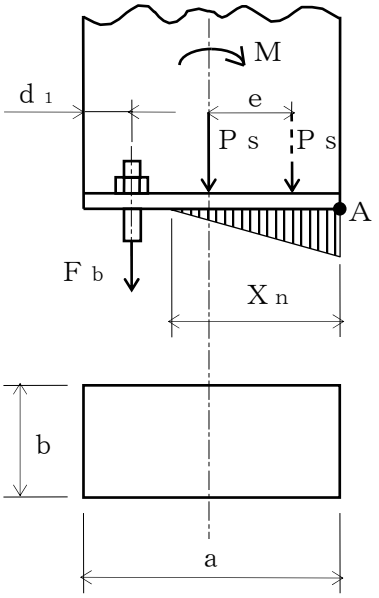


図 4－7　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 2）

図4－6のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため，引張力の評価は行わない。

一方，図4－7のように，ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e > \frac{a}{6} + \frac{d_1}{3} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.2)$$

の場合及びｅが負の場合に，基礎ボルトに引張力が生じる。

このとき図4－7において，鉛直荷重の釣合い，A点回りのモーメントの釣合い，基礎ボルトの伸びと基礎の縮みの関係から中立軸の位置X_nは

$$X_n^3+3\cdot\left(e-\frac{a}{2}\right)\cdot X_n^2-\frac{6\cdot s\cdot A_b\cdot n_1}{b}\cdot\left(e+\frac{a}{2}-d_1\right)\cdot(a-d_1-X_n)=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.3)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b=\frac{P_s\cdot\left(e-\frac{a}{2}+\frac{X_n}{3}\right)}{a-d_1-\frac{X_n}{3}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.4)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b1}=\frac{F_b}{n_1\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.5)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.6)$$

b. せん断応力

長手方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力$F_{\ell 3}$は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b1}=\frac{F_{\ell 3}}{n\cdot A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.7)$$

(2)　鉛直方向と横方向地震が作用した場合

a. 引張応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に作用するモーメントM_{c1}及び鉛直荷重P_{s1}は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。

ここで，モーメントと鉛直荷重の比を

$$e=M_{c1}／P_{s1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.8)$$

とする。

図4－8のように脚底面においてボルト位置に圧縮荷重がかかる状況では基礎ボルトに引張力は作用しないため，引張力の評価は行わない。

一方，図4－9のように，ボルト位置に圧縮荷重がかからない状況に相当する

$$e>\frac{b}{6}+\frac{d_2}{3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.3.9)$$

の場合及びeが負の場合に，基礎ボルトに引張力が生じる。

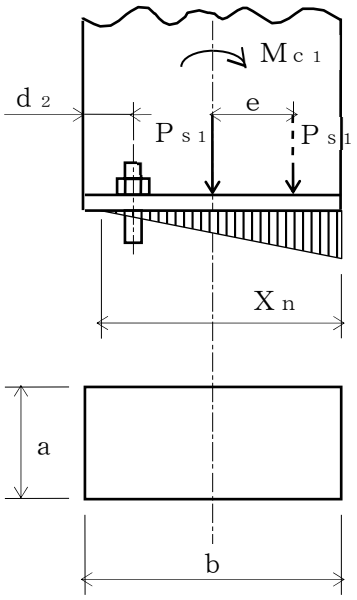


図 4－8　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 3)

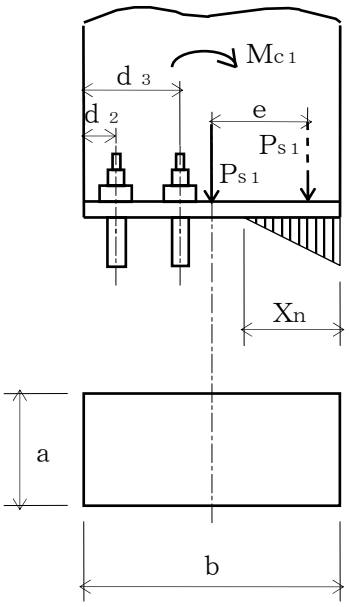


図 4－9　基礎部に作用する外荷重より生じる荷重の関係（その 4)

図4－9において，(1)と同様にして中立軸の位置X_nを

$$X_n^3+3\cdot\left(e-\frac{b}{2}\right)\cdot X_n^2-\frac{6\cdot s\cdot A_b\cdot n_2}{a}\cdot\left\{\left(e+\frac{b}{2}-d_2\right)\cdot\left(b-X_n-d_2\right)+\left(e+\frac{b}{2}-d_3\right)\cdot\left(b-X_n-d_3\right)\right\}=0 \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.10)$$

より求めることができ，基礎ボルトに生じる引張力は

$$F_b=\frac{P_{s1}\cdot\left(e-\frac{b}{2}+\frac{X_n}{3}\right)\cdot\left(b-X_n-d_2\right)}{\left(b-d_2-\frac{X_n}{3}\right)\cdot\left(b-X_n-d_2\right)+\left(b-d_3-\frac{X_n}{3}\right)\cdot\left(b-X_n-d_3\right)} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.11)$$

となる。

したがって，基礎ボルトに生じる引張応力は次のようになる。

$$\sigma_{b2}=\frac{F_b}{n_2\cdot A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.12)$$

b.　せん断応力

横方向地震が作用した場合に脚底面に生じるせん断力F_{c1}及びねじりモーメントM_3は，「4.3.1　はり要素モデル」に示す解析による計算で求める。このとき基礎ボルトに生じるせん断応力は次のようになる。

$$\tau_{b2}=\frac{F_{c1}}{n\cdot A_b}+\frac{M_3}{n\cdot A_b\cdot\sqrt{\left(\frac{a-2\cdot d_1}{2}\right)^2+\left(\frac{b-2\cdot d_3}{2}\right)^2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.3.13)$$

(3) 基礎ボルトに生じる最大応力

(1)及び(2)より求められた基礎ボルトの応力のうち最大のものをσ_b及びτ_bとする。

a. 基礎ボルトの最大引張応力

σ_b＝Max｛長手方向地震時応力(σ_{b1})，横方向地震時応力(σ_{b2})｝ $\cdots\cdots (4.6.1.3.14)$

b. 基礎ボルトの最大せん断応力

τ_b＝Max｛長手方向地震時応力(τ_{b1})，横方向地震時応力(τ_{b2})｝ $\cdots\cdots (4.6.1.3.15)$

4.7　計算条件

応力解析に用いる計算条件は，本計算書の【ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　胴の応力評価

4.6.1.1 項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力Ｓａ以下であること。ただし，Ｓａは下表による。

応力の種類	許容応力Ｓａ	
	弾性設計用地震動Ｓｄ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	Ｓｙと0.6・Ｓｕのいずれか小さい方の値。ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては1.2・Ｓの方が大きい場合は，この大きい方の値とする。	0.6・Ｓｕ
一次応力 （一次一般膜＋ 一次曲げ応力）	上記の1.5倍の値	
一次＋二次応力	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が2・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要とする。	
一次＋二次 ＋ピーク応力		

4.8.2　脚の応力評価

4.6.1.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_{tm}以下であること。ただし，f_{tm}は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓｄ 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^{*}}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.3　基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.8.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみ受ける基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし，f_{sb} は下表による。

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

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ディーゼル燃料貯蔵タンクの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ディーゼル燃料貯蔵タンクの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6. 引用文献

(1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep. 1951.

【ディーゼル燃料貯蔵タンクの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
ディーゼル燃料貯蔵タンク	S	排気筒基礎 EL 3.5*1			C_H=0.75*2	C_V=0.53*2	C_H=1.37*3	C_V=0.93*3	静水頭	40	50	0.86

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（弾性設計用地震動Ｓｄ）及び静的震度を上回る設計震度
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

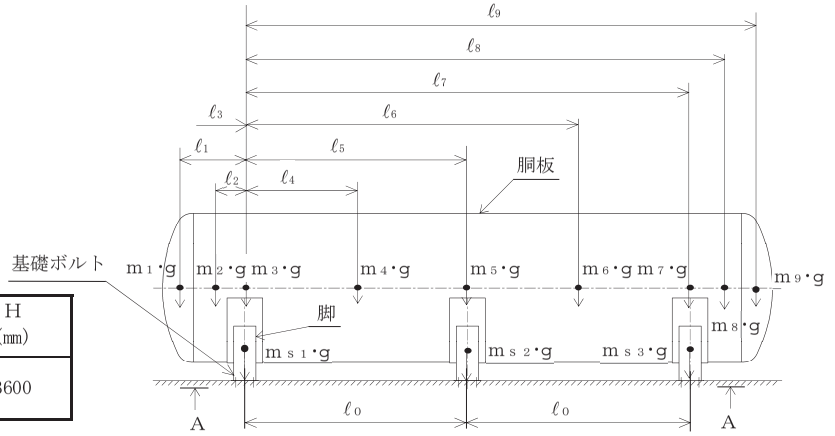
1.2 機器要目

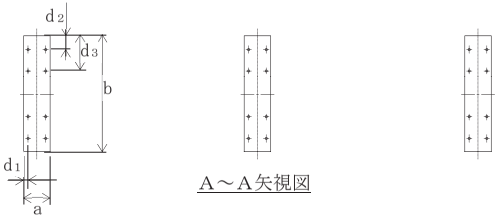
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)	m_8 (kg)	m_9 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	ℓ_8 (mm)	ℓ_9 (mm)	H (mm)
-2568	-1394	0	3250	6500	9750	13000	14394	15568	3600

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	m_{s3} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
				3600	14.0	14.0	6500	1276	2200

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	J_s (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	Z_{sp} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1590	400	1.338×10^{11}	7.184×10^{9}	1.826×10^{10}	8.415×10^{7}	2.395×10^{7}	3.363×10^{7}	2.073	1.414





A～A矢視図

A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
1.346×10^5	202000*1	201000*2	7.761×10^4	5.333×10^4	6.782×10^4	4.180×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	8	4	2	1000	3260	52 (M52)	2.124×10^3	100	315	844

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*（脚） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)
245*1 (厚さ≦16mm) (235*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	400*1 (厚さ≦16mm) (400*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	231*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	394*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	231	276	211*2 (径＞40mm)	394*2 (径＞40mm)	211	253

注記＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

＊3：当板の材料を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31	—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}$=16	—	$\sigma_{x 6}$=17	—	$\sigma_{x 6}$=27	—	$\sigma_{x 6}$=29
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力		—	$\sigma_{x 4 1 3}$=2	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}$=3	—	—
水平方向地震による応力	曲げ	—	$\sigma_{x 2 1}$=48	—	$\sigma_{x 2 2}$=3	—	$\sigma_{x 2 1}$=87	—	$\sigma_{x 2 2}$=5
	せん断	$\tau_{\ell 1}$= 3		$\tau_{c 1}$= 0		$\tau_{\ell 1}$= 5		$\tau_{c 1}$= 0	
組合せ応力		$\sigma_{0\ell}$=82		σ_{0c}=50		$\sigma_{0\ell}$=124		σ_{0c}=62	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2	$\sigma_{\phi 1}$=4	$\sigma_{x 1}$=2
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=2	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—	$\sigma_{\phi 2}$=4	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31	—	$\sigma_{x 2}$=29	—	$\sigma_{x 2}$=31
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}$=16	—	$\sigma_{x 6}$=17	—	$\sigma_{x 6}$=27	—	$\sigma_{x 6}$=29
運転時質量による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=7	$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=8	$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=7	$\sigma_{\phi 3}$=5	$\sigma_{x 3}$=8
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 7 1}$=3	$\sigma_{x 7 1}$=4	$\sigma_{\phi 7 1}$=3	$\sigma_{x 7 1}$=4	$\sigma_{\phi 7 1}$=4	$\sigma_{x 7 1}$=7	$\sigma_{\phi 7 1}$=5	$\sigma_{x 7 1}$=7
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 4 1 1}$=6 $\sigma_{\phi 4 1 2}$=2 $\sigma_{\phi 4 1}$=7	$\sigma_{x 4 1 1}$=5 $\sigma_{x 4 1 2}$=2 $\sigma_{x 4 1}$=8	$\sigma_{\phi 5 1}$=0	$\sigma_{x 5 1}$=1	$\sigma_{\phi 4 1 1}$=11 $\sigma_{\phi 4 1 2}$=2 $\sigma_{\phi 4 1}$=13	$\sigma_{x 4 1 1}$=9 $\sigma_{x 4 1 2}$=4 $\sigma_{x 4 1}$=15	$\sigma_{\phi 5 1}$=0	$\sigma_{x 5 1}$=1
	曲げ	—	$\sigma_{x 2 1}$=48	—	$\sigma_{x 2 2}$=3	—	$\sigma_{x 2 1}$=87	—	$\sigma_{x 2 2}$=5
	せん断	τ_{ℓ}=23		τ_{c}=7		τ_{ℓ}=42		τ_{c}=12	
		$\tau_{\ell 1}$=3		$\tau_{c 1}$=0, $\tau_{c 2}$=0		$\tau_{\ell 1}$=5		$\tau_{c 1}$=0, $\tau_{c 2}$=0	
組合せ応力		$\sigma_{1\ell}$=104		σ_{1c}=62		$\sigma_{1\ell}$=160		σ_{1c}=79	

(3)　地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=2$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x6}=16$	—	$\sigma_{x6}=17$	—	$\sigma_{x6}=27$	—	$\sigma_{x6}=29$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=3$ $\sigma_{\phi 72}=1$	$\sigma_{x71}=4$ $\sigma_{x72}=4$	$\sigma_{\phi 71}=5$ $\sigma_{\phi 72}=9$	$\sigma_{x71}=1$ $\sigma_{x72}=5$	$\sigma_{\phi 71}=4$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x71}=7$ $\sigma_{x72}=6$	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=15$	$\sigma_{x71}=1$ $\sigma_{x72}=8$
水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{\phi 41}=7$	$\sigma_{x41}=8$	$\sigma_{\phi 51}=8$	$\sigma_{x51}=2$	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi 51}=13$	$\sigma_{x51}=4$
		$\sigma_{\phi 421}=3$ $\sigma_{\phi 422}=1$	$\sigma_{x421}=9$ $\sigma_{x422}=2$	$\sigma_{\phi 52}=16$	$\sigma_{x52}=8$	$\sigma_{\phi 421}=6$ $\sigma_{\phi 422}=1$	$\sigma_{x421}=16$ $\sigma_{x422}=3$	$\sigma_{\phi 52}=29$	$\sigma_{x52}=15$
		$\sigma_{\phi 42}=4$	$\sigma_{x42}=11$			$\sigma_{\phi 42}=7$	$\sigma_{x42}=19$		
	曲げ	—	$\sigma_{x21}=48$	—	$\sigma_{x22}=3$	—	$\sigma_{x21}=87$	—	$\sigma_{x22}=5$
	せん断	$\tau_{\ell}=23$		$\tau_{c}=7$		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=12$	
		$\tau_{\ell 1}=3$		$\tau_{c1}=0$, $\tau_{c2}=0$		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c1}=0$, $\tau_{c2}=0$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell}=158$		$\sigma_{2c}=65$		$\sigma_{2\ell}=287$		$\sigma_{2c}=117$	

1.3.2　脚に生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=6$	$\sigma_{s4}=6$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=17$	$\sigma_{s3}=15$	$\sigma_{s2}=31$	$\sigma_{s3}=27$
	せん断	$\tau_{s2}=9$	$\tau_{s3}=14$	$\tau_{s2}=16$	$\tau_{s3}=25$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell}=28$	$\sigma_{sc}=31$	$\sigma_{s\ell}=46$	$\sigma_{sc}=54$

1.3.3　基礎ボルトに生じる応力　　(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{b1}=39$	$\sigma_{b2}=43$	$\sigma_{b1}=103$	$\sigma_{b2}=116$
水平方向地震による応力	せん断	$\tau_{b1}=35$	$\tau_{b2}=33$	$\tau_{b1}=64$	$\tau_{b2}=61$

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　（単位：s）

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2　応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41 (SS41*1)	一次一般膜	σ_0＝82	S_a＝240 (235*1)	σ_0＝124	S_a＝240 (240*1)
		一次	σ_1＝104	S_a＝360 (352*1)	σ_1＝160	S_a＝360 (360*1)
		一次＋二次	σ_2＝158	S_a＝490 (470*1)	σ_2＝287	S_a＝490 (470*1)
脚	SS41	組合せ	σ_s＝31	f_{tm}＝231	σ_s＝54	f_{tm}＝276
基礎ボルト	SS41	引張	σ_b＝43	f_{ts}＝158*2	σ_b＝116	f_{ts}＝164*2
		せん断	τ_b＝35	f_{sb}＝121	τ_b＝64	f_{sb}＝146

すべて許容応力以下である。

注記＊1：当板の材料を示す。

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

1.5　その他の機器要目

1.5.1　はり要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	75
節点数	—	個	49

1.5.2　シェル要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	59100
節点数	—	個	58954

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)	比重
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度				
ディーゼル燃料貯蔵タンク	常設耐震／防止常設／緩和	排気筒基礎 EL 3.5*1			—	—	C_H＝1.37*2	C_V＝0.93*2	静水頭	40	50	0.86

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

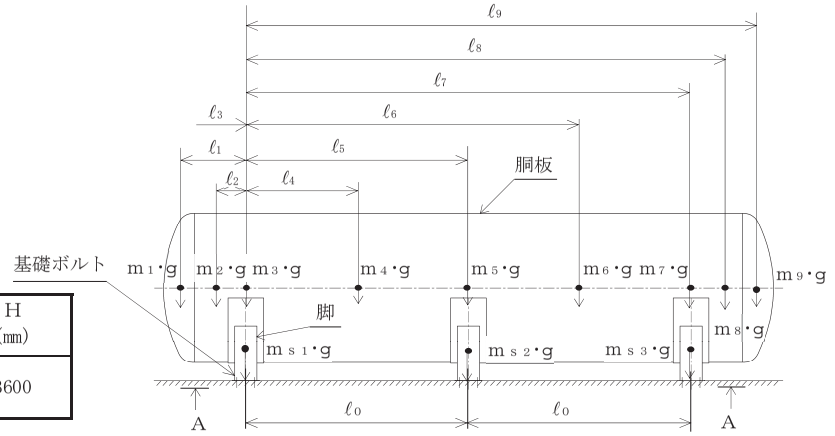
2.2　機器要目

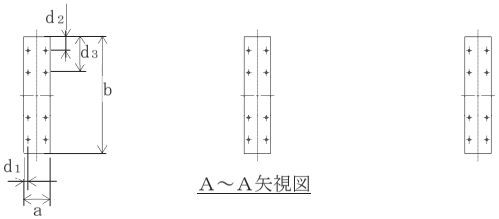
m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)	m_8 (kg)	m_9 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	ℓ_8 (mm)	ℓ_9 (mm)	H (mm)
-2568	-1394	0	3250	6500	9750	13000	14394	15568	3600

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	m_{s3} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
				3600	14.0	14.0	6500	1276	2200

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	J_s (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	Z_{sp} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
1590	400	1.338×10^{11}	7.184×10^{9}	1.826×10^{10}	8.415×10^{7}	2.395×10^{7}	3.363×10^{7}	2.073	1.414





A～A矢視図

A_s (mm^2)	E (MPa)	E_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
1.346×10^5	202000*1	201000*2	7.761×10^4	5.333×10^4	6.782×10^4	4.180×10^4

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)	d_3 (mm)
15	8	4	2	1000	3260	52 (M52)	2.124×10^3	100	315	844

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*（脚） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)
245*1 (厚さ≦16mm) (235*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	400*1 (厚さ≦16mm) (400*1, *3) (16mm＜厚さ≦40mm)	231*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	394*2 (16mm＜厚さ≦40mm)	—	276	211*2 (径＞40mm)	394*2 (径＞40mm)	—	253

注記＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

＊3：当板の材料を示す。

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=29$	—	$\sigma_{x 2}=31$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=27$	—	$\sigma_{x 6}=29$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=3$	—	—
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 21}=87$	—	$\sigma_{x 22}=5$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c 1}=0$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{0\ell}=124$		$\sigma_{0c}=62$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$	$\sigma_{\phi 1}=4$	$\sigma_{x 1}=2$
静水頭による応力（鉛直方向地震時）		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=29$	—	$\sigma_{x 2}=31$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=27$	—	$\sigma_{x 6}=29$
運転時質量による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=5$	$\sigma_{x 3}=7$	$\sigma_{\phi 3}=5$	$\sigma_{x 3}=8$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=4$	$\sigma_{x 71}=7$	$\sigma_{\phi 71}=5$	$\sigma_{x 71}=7$
水平方向地震による応力	引張	— —	— —	—	—	$\sigma_{\phi 411}=11$ $\sigma_{\phi 412}=2$	$\sigma_{x 411}=9$ $\sigma_{x 412}=4$	$\sigma_{\phi 51}=0$	$\sigma_{x 51}=1$
		—	—			$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x 41}=15$		
	曲げ	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 21}=87$	—	$\sigma_{x 22}=5$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=12$	
		—		—		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c 1}=0$, $\tau_{c 2}=0$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{1\ell}=160$		$\sigma_{1c}=79$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
静水頭による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—	$\sigma_{\phi 2}=4$	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=27$	—	$\sigma_{x6}=29$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		— —	— —	— —	— —	$\sigma_{\phi 71}=4$ $\sigma_{\phi 72}=2$	$\sigma_{x71}=7$ $\sigma_{x72}=6$	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=15$	$\sigma_{x71}=1$ $\sigma_{x72}=8$
水平方向地震による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=13$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi 51}=13$	$\sigma_{x51}=4$
		— —	— —	—	—	$\sigma_{\phi 421}=6$ $\sigma_{\phi 422}=1$	$\sigma_{x421}=16$ $\sigma_{x422}=3$	$\sigma_{\phi 52}=29$	$\sigma_{x52}=15$
		—	—			$\sigma_{\phi 42}=7$	$\sigma_{x42}=19$		
	曲げ	—	—	—	—	—	$\sigma_{x21}=87$	—	$\sigma_{x22}=5$
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=42$		$\tau_{c}=12$	
		—		—		$\tau_{\ell 1}=5$		$\tau_{c1}=0$, $\tau_{c2}=0$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell}=287$		$\sigma_{2c}=117$	

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=6$	$\sigma_{s1}=6$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=6$	$\sigma_{s4}=6$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=31$	$\sigma_{s3}=27$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=16$	$\tau_{s3}=25$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell}=46$	$\sigma_{sc}=54$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b1}=103$	$\sigma_{b2}=116$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=64$	$\tau_{b2}=61$

2.4　結論

2.4.1　固有周期　　(単位：s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

2.4.2　応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SS41 (SS41*1)	一次一般膜	—	—	σ_0＝124	S_a＝240 (240*1)
		一次	—	—	σ_1＝160	S_a＝360 (360*1)
		一次＋二次	—	—	σ_2＝287	S_a＝490 (470*1)
脚	SS41	組合せ	—	—	σ_s＝54	f_{tm}＝276
基礎ボルト	SS41	引張	—	—	σ_b＝116	f_{ts}＝164*2
		せん断	—	—	τ_b＝64	f_{sb}＝146

すべて許容応力以下である。

注記＊1：当板の材料を示す。

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

2.5　その他の機器要目

2.5.1　はり要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	75
節点数	—	個	49

2.5.2　シェル要素モデル

項目	記号	単位	入力値
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	59100
節点数	—	個	58954

Ⅵ-2-10-1-2-3　ガスタービン発電機の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-10-1-2-3-3　ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
3.　構造強度評価 …… 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
3.3　計算条件 …… 3
4.　機能維持評価 …… 7
4.1　基本方針 …… 7
4.2　ポンプの動的機能維持評価 …… 8
4.3　原動機の動的機能維持評価 …… 16
5.　評価結果 …… 16
5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 16

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，ガスタービン発電機用燃料移送ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプは，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備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動的機能維持評価を示す。

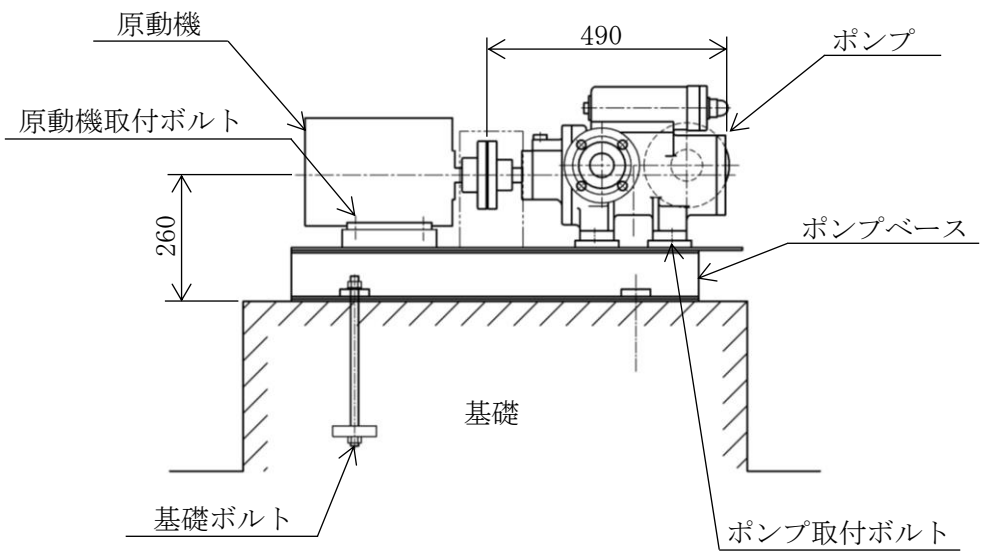
なお，ガスタービン発電機用燃料移送ポンプは，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため，構造強度評価はVI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-1　横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を行う。また，ガスタービン発電機用燃料移送ポンプは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，新たに評価項目を検討し，評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ガスタービン発電機用燃料移送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	
ポンプ等はポンプベースに取付ボルトで固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	スクリュー式 （スクリュー式横形ポンプ）	 （単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-1　横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，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

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3－1に示す。

3.2.2 許容応力

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3－2のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3－3に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
非常用電源設備	非常用発電装置	ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$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：その他のポンプ及び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}＋Ｓｓ」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 3－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

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

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

表 3－3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		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	50	231	394	―
ポンプ取付ボルト	SNB7 (径≦63mm)	最高使用温度	66	699	803	―
原動機取付ボルト	SNB7 (径≦63mm)	周囲環境温度	50	715	838	―

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプは，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない横置きのスクリュー式ポンプであるため，新たに評価項目を検討し，評価項目の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

詳細評価に用いる応答加速度は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

(1) 原動機は横形ころがり軸受電動機であるため，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されている原動機の機能確認済加速度を適用する。

4.2　ポンプの動的機能維持評価

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプは，地震後機能維持が要求される設備であるが，ポンプの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1　評価対象部位

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプは，原子力発電耐震設計特別調査委員会報告書「動的機器の地震時機能維持評価に関する調査報告書（昭和 62 年 2 月）」及び電力共通研究「動的機器の地震時機能維持の耐震余裕に関する研究（平成 25 年 3 月）」における類似構造の既往知見を踏まえ，地震時異常要因分析に基づいて，評価項目を以下のとおり抽出して評価を実施する。

a.　基礎ボルト
b.　取付ボルト
c.　軸
d.　軸受
e.　摺動部（主ねじ部）
f.　メカニカルシール
g.　軸継手

このうち「a.　基礎ボルト」「b.　取付ボルト」については，「3.　構造強度評価」に従い評価を行った「5.　評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。また，「g.　軸継手」は，軸受でスラスト荷重を受け持つことで軸継手にスラスト荷重が発生しない構造であるため，評価対象外とする。

以上より，本計算書においては，軸，軸受，摺動部（主ねじ部）及びメカニカルシールを評価対象部位とする。

4.2.2　評価基準値

軸の許容応力は，軸の変形等による回転機能への影響を考慮し，軸の変形を弾性範囲内に留めるよう，その他の支持構造物の許容応力状態ⅢＡＳに準拠し設定する。摺動部（主ねじ部）については，主ねじとスリーブの接触による，回転機能，移送機能への影響を考慮して主ねじとスリーブ間隙間を評価基準値とする。軸受は，回転機能確保の観点より面圧を，メカニカルシールは，流体保持機能確保の観点よりシール回転環の変位可能量を評価基準値とする。

評価基準値を表 4－1 に示す。

表 4－1　評価基準値

評価対象部位	材料	単位	評価基準値
軸	[redacted]	MPa	[redacted]
軸受	－	MPa	
摺動部（主ねじ部）	－	mm	
メカニカルシール	－	mm	

4.2.3　記号の説明

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの動的機能維持評価に使用する記号を表4－2に示す。

表4－2　記号の説明

記号	記号の説明	単位
a	軸端から支点Aまでの距離（＝ℓ_2）	mm
A	軸の断面積	mm^2
A_{RA}	ラジアル荷重を受ける軸受Aの投影面積	mm^2
A_{RB}	ラジアル荷重を受ける軸受Bの投影面積	mm^2
A_S	スラスト荷重を受ける軸受の投影面積	mm^2
b	軸端から支点Bまでの距離	mm
C_H	水平方向震度	－
C_P	ポンプ振動による震度	－
C_V	鉛直方向震度	－
d	曲げモーメントが最大となる箇所の軸径	mm
E	縦弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_1	摺動部（主ねじ部）の評価における軸の断面二次モーメント	mm^4
I_2	メカニカルシールの評価における軸の断面二次モーメント	mm^4
ℓ	軸長さ	mm
ℓ_1	支点間距離	mm
ℓ_2	軸端から支点Aまでの距離（＝a）	mm
M	最大曲げモーメント	N･mm
m_0	軸系総質量	kg
m_1	軸質量	kg
m_2	軸継手質量	kg
M_{A1}	支点Aの軸等分布荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{A2}	支点Aの軸継手端部荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{B1}	支点Bの軸等分布荷重による曲げモーメント	N･mm
M_{B2}	支点Bの軸継手端部荷重による曲げモーメント	N･mm
M_P	ポンプ回転により作用するモーメント	N･mm
N	回転速度（原動機の同期回転速度）	rpm
P	原動機出力	kW
P_{RA}	ラジアル荷重による軸受Aの面圧	MPa
P_{RB}	ラジアル荷重による軸受Bの面圧	MPa
P_S	スラスト荷重による軸受の面圧	MPa
W_0	軸受にかかる通常運転時荷重	N

記号	記号の説明	単位
W_1	地震力を考慮した軸等分布荷重	N/mm
W_2	地震力を考慮した軸継手端部荷重	N
W_3	地震力を考慮した軸質量による支点A，B間中央位置にかかる荷重	N
W_4	地震力を考慮した軸系総質量による端部荷重	N
W_{RA}	軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重	N
W_{RB}	軸受Bにかかる地震時のラジアル荷重	N
W_S	軸受にかかる地震時のスラスト荷重	N
x_1	軸端から支点A，B間中央位置までの距離	mm
x_2	軸端からメカニカルシールシール面までの距離	mm
Z	軸の断面係数	mm^3
Z_P	軸の極断面係数	mm^3
δ_1	摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量	mm
δ_2	シール面における軸のたわみ量	mm
π	円周率	－
σ	軸に生じる引張及び曲げ応力の和	MPa
σ_S	軸に生じる組合せ応力	MPa
τ	軸に生じるねじり応力	MPa

4.2.4　評価方法

(1)　軸

軸の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の引張及び曲げ応力の和とねじり応力の組合せによる軸の応力を算出する。

発生する応力値が，その許容応力値を下回ることを確認する。

軸の評価モデルを図 4－1 に示す。

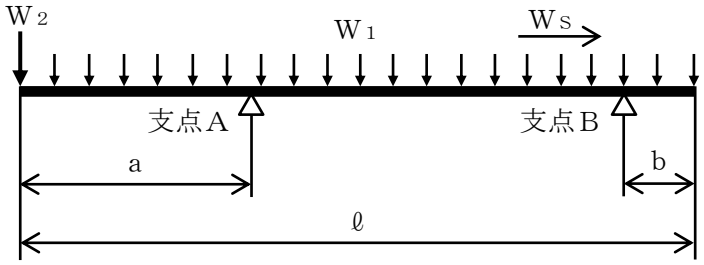


図 4－1　軸の評価モデル

軸に生じる組合せ応力σSは次式で求める。

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.1)$$

軸に生じる引張及び曲げ応力の和σは次式で求める。

$$\sigma = \frac{M}{Z} + \frac{W_S}{A} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.2)$$

ここで、最大曲げモーメントMは

$$M = max\left(M_{A1} + M_{A2},\ M_{B1} + M_{B2} \right) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.3)$$

ここで，支点Aの軸等分布荷重による曲げモーメントM_{A1}は

$$M_{A1} = \frac{W_1 \cdot a^2}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.4)$$

ここで，支点Aの軸継手端部荷重による曲げモーメントM_{A2}は

$$M_{A2} = W_2 \cdot a \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.5)$$

ここで，支点Bの軸等分布荷重による曲げモーメントM_{B1}は

$$M_{B1} = \frac{W_1 \cdot b^2}{2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.6)$$

ここで，支点Ｂの軸継手端部荷重による曲げモーメントM_{B2}は

$$M_{B2} = W_2 \cdot b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.7)$$

ここで，地震力を考慮した軸等分布荷重W_1は

$$W_1 = \frac{m_1 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2 + (1+C_V)^2} + C_P)}{\ell} \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.8)$$

ここで，地震力を考慮した軸継手端部荷重W_2は

$$W_2 = m_2 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2 + (1+C_V)^2} + C_P) \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.9)$$

ここで，軸の断面係数Ｚは

$$Z = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.10)$$

ここで，軸受にかかる地震時のスラスト荷重W_Sは

$$W_S = m_0 \cdot g \cdot (C_H + C_P) + W_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.11)$$

ここで，軸の断面積Ａは

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.12)$$

軸に生じるねじり応力τは次式で求める。

$$\tau = \frac{M_P}{Z_P} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.13)$$

ここで，ポンプ回転により作用するモーメントM_Pは

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.14)$$

$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$

ここで，軸の極断面係数Z_Pは

$$Z_P = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.15)$$

(2) 軸受

軸受の評価は，地震力が加わる場合に発生する全荷重を軸受が受けるものとし，地震による荷重が軸受の許容荷重（許容面圧）以下であることを確認する。

a. 軸受Aのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Aの面圧P_{RA}は次式で求める。

$$P_{RA}=\frac{W_{RA}}{A_{RA}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.16)$$

ここで，軸受Aにかかる地震時のラジアル荷重W_{RA}は

$$W_{RA}= m_0 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2+(1+C_V)^2}+C_P) \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.17)$$

b. 軸受Bのラジアル荷重

ラジアル荷重による軸受Bの面圧P_{RB}は次式で求める。

$$P_{RB}=\frac{W_{RB}}{A_{RB}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.18)$$

ここで，軸受Bにかかる地震時のラジアル荷重W_{RB}は

$$W_{RB}= m_0 \cdot g \cdot (\sqrt{C_H{}^2+(1+C_V)^2}+C_P) \quad \cdots\cdots\cdots (4.2.4.19)$$

c. スラスト荷重

スラスト荷重による軸受の面圧P_Sは次式で求める。

$$P_S=\frac{W_S}{A_S} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2.4.20)$$

(3)　摺動部（主ねじ部）

摺動部の評価は，軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合の摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量を算出し，発生するたわみ量が主ねじとスリーブ間隙間内であることを確認する。

摺動部（主ねじ部）の評価モデルを図 4－2 に示す。

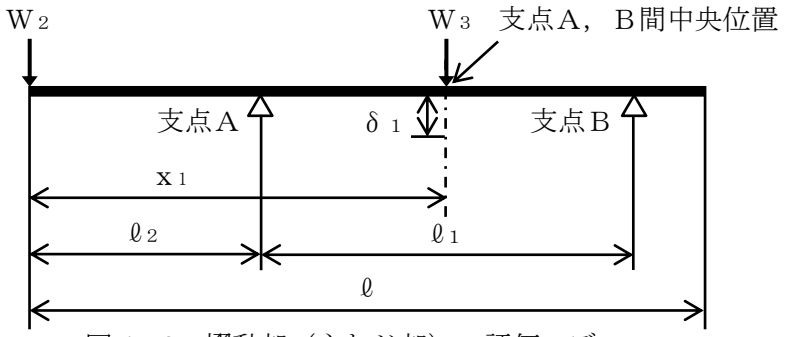


図 4－2　摺動部（主ねじ部）の評価モデル

摺動部（主ねじ部）における軸のたわみ量δ1は次式で求める。

$$\delta_1 = \frac{W_3 \cdot \ell_1^{\,3}}{48 \cdot E \cdot I_1} + \left(- \frac{x_1 - \ell_2}{6 \cdot E \cdot I_1 \cdot \ell_1} \cdot \{ W_2 \cdot \ell_2 \cdot (x_1 - \ell_2)^2 - 3 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1 \cdot (x_1 - \ell_2) + 2 \cdot W_2 \cdot \ell_2 \cdot \ell_1^{\,2} \} \right)$$

・・・・・・・・・(4.2.4.21)

(4)　メカニカルシール

軸を単純はりとしてモデル化し，地震力が加わる場合のメカニカルシールシール面における軸の軸直角方向たわみ量を算出し，発生するたわみ量がメカニカルシール回転環の変位可能量を下回ることを確認する。

メカニカルシールの評価モデルを図 4－3 に示す。

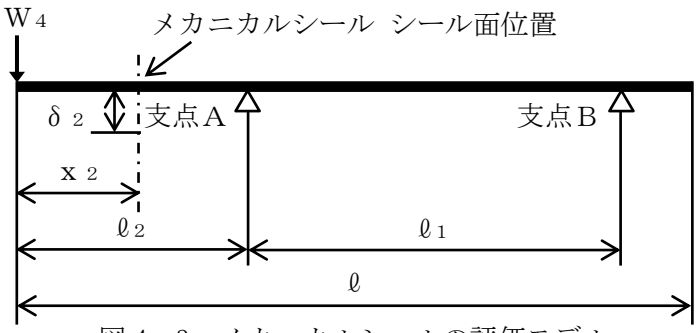


図 4－3　メカニカルシールの評価モデル

シール面における軸のたわみ量δ_2は次式で求める。

$$\delta_2 = \frac{W_4 \cdot \ell_2^{\,3}}{3 \cdot E \cdot I_2} \cdot \left\{ \frac{(\ell_2+\ell_1)}{\ell_2} - \left(\frac{3}{2} + \frac{\ell_1}{\ell_2} \right) \cdot \frac{x_2}{\ell_2} + \frac{x_2^{\,3}}{2 \cdot \ell_2^{\,3}} \right\}$$

・・・・・・・・・(4.2.4.22)

ここで，地震力を考慮した軸系総質量による軸端部荷重W_4は

$$W_4 = m_0 \cdot g \cdot \left(\sqrt{C_H^{\,2} + (1+C_V)^2} + C_P \right)$$

・・・・・・・・・(4.2.4.23)

4.3　原動機の動的機能維持評価

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ用原動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 4－3 に示す。

表 4－3　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
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　重大事故等対処設備としての評価結果

ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2)　機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【ガスタービン発電機用燃料移送ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	ガスタービン発電機建物 EL 47.5*1	—*2	—*2	—	—	C_H=2.11*3	C_V=0.89*3	[redacted]	66	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*1
基礎ボルト (ｉ＝1)	[redacted]	260	140	140	16 (M16)	201.1	4	2
			290	290				2
ポンプ取付ボルト (ｉ＝2)		135	95	95	16 (M16)	201.1	4	2
			80	80				2
原動機取付ボルト (ｉ＝3)		112	95	95	10 (M10)	78.54	4	2
			70	70				2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向		M_p (N・mm)
					弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ	
基礎ボルト (ｉ＝1)	231*2 (16mm＜径≦40mm)	394*2 (16mm＜径≦40mm)	—	276	—	軸直角	—
ポンプ取付ボルト (ｉ＝2)	699*3 (径≦63mm)	803*3 (径≦63mm)	—	562	—	軸	—
原動機取付ボルト (ｉ＝3)	715*2 (径≦63mm)	838*2 (径≦63mm)	—	586	—	軸	—

H_P (μm)	N（ポンプ） (rpm)	N（原動機） (rpm)
[redacted]		

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

1.1.3　計算数値

1.1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	[redacted]	―	[redacted]
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	―		―	
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	―		―	

1.1.4　結論

1.1.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	―	―	σ_{b1}＝12	f_{ts1}＝207*
		せん断	―	―	τ_{b1}＝ 7	f_{sb1}＝159
ポンプ取付ボルト（ｉ＝2）	SNB7	引張	―	―	σ_{b2}＝ 5	f_{ts2}＝421*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝ 3	f_{sb2}＝324
原動機取付ボルト（ｉ＝3）	SNB7	引張	―	―	σ_{b3}＝ 8	f_{ts3}＝440*
		せん断	―	―	τ_{b3}＝ 5	f_{sb3}＝338

すべて許容応力以下である。

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

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m^3/h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ	スクリュー式	4.0	ガスタービン発電機建物 EL 47.5*1	—*2	—*2	C_H＝1.76*3	C_V＝0.75*3	[redacted]	66	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動Ｓｓ		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
ガスタービン発電機用燃料移送ポンプ用原動機	横形ころがり軸受電動機	3.7	ガスタービン発電機建物 EL 47.5*1	—*2	—*2	C_H＝1.76*3	C_V＝0.75*3	[redacted]	—	50

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

m_0 (kg)	m_1 (kg)	m_2 (kg)	ℓ (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	a (mm)	b (mm)	d (mm)	x_1 (mm)	x_2 (mm)

A_{RA} (mm^2)	A_{RB} (mm^2)	A_S (mm^2)	E (MPa)	I_1 (mm^4)	I_2 (mm^4)	N (rpm)	P (kW)	W_0 (N)
							3.7	

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.76	—
	鉛直方向	0.75	—
原動機	水平方向	1.76	4.7
	鉛直方向	0.75	1.0

注記＊：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度により定まる加速度
ポンプは，本文4.2.1項に基づき，以下の項目について評価する。
原動機は，機能維持評価用加速度がすべて機能確認済加速度以下である。

1.2.3.2　スクリュー式ポンプの動的機能維持評価

1.2.3.2.1　代表評価項目の評価

基礎ボルト，ポンプ取付ボルトについては，構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため，計算は省略する。

1.2.3.2.2　上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1　軸の評価　（単位：MPa）

評価部位	発生応力	許容応力
軸	[redacted]	[redacted]

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2　軸受の評価　（単位：MPa）

評価部位	荷重	評価項目	発生面圧	許容面圧
軸受	ラジアル（原動機側）	軸受Ａ面圧	[redacted]	[redacted]
	ラジアル（負荷側）	軸受Ｂ面圧		
	スラスト	軸受Ｂ面圧		

すべて許容面圧以下である。

1.2.3.2.2.3　摺動部（主ねじ）の評価　（単位：mm）

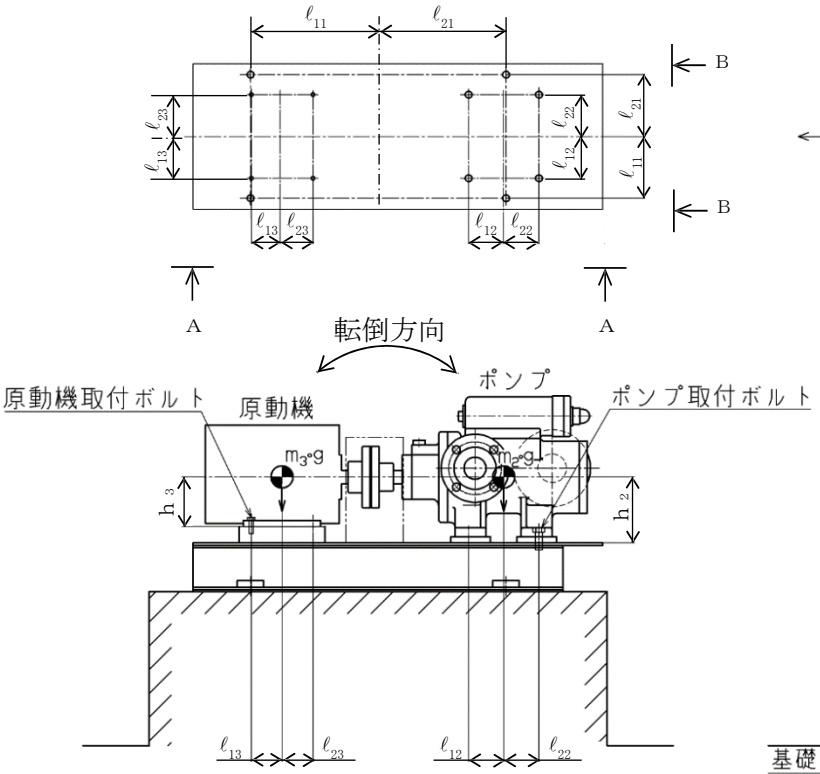
評価部位	たわみ量	スリーブ間隙間
摺動部（主ねじ）	[redacted]	[redacted]

すべてスリーブ間隙間以下である。

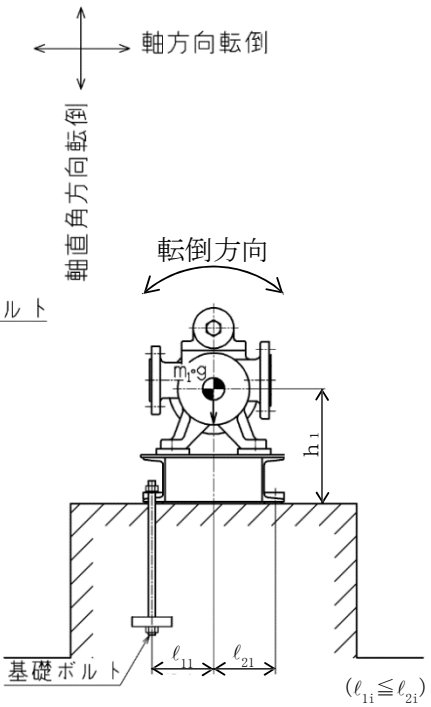
1.2.3.2.2.4　メカニカルシールの評価　（単位：mm）

評価部位	たわみ量	変位可能量
メカニカルシール	[redacted]	[redacted]

すべて変位可能量以下である。



A～A矢視図
（ポンプ, 原動機取付ボルト）



B～B矢視図
（基礎ボルト）

Ⅵ-2-10-1-2-3-7　緊急用直流 115V 蓄電池の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 8
6.　評価結果 ····· 9
6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急用直流 115V 蓄電池が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

緊急用直流 115V 蓄電池は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，緊急用直流 115V 蓄電池は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤に類するため，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

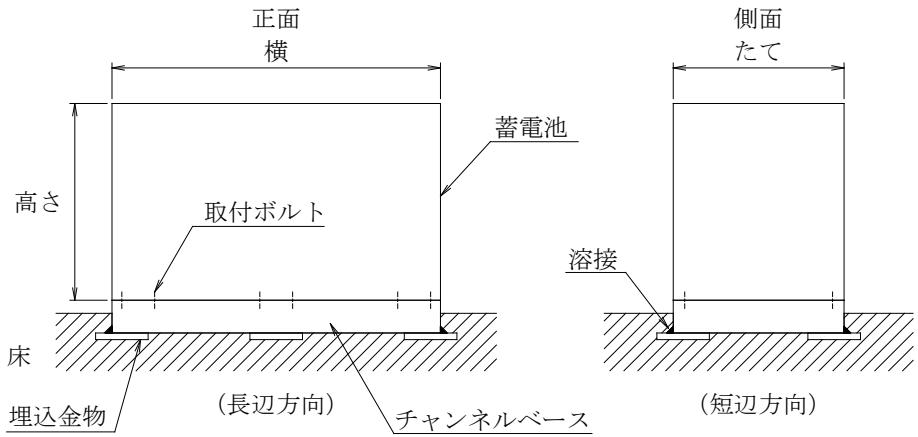
2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急用直流 115V 蓄電池の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
緊急用直流 115V 蓄電池は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 （鋼製架台に固定された制御弁式据置鉛蓄電池）	【緊急用直流 115V 蓄電池】



機器名称	緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (4 個並び 2 段 1 列)	緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (3 個並び 2 段 1 列)	緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (2，3 個並び 2 段 1 列)
たて			
横			
高さ			

（単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

緊急用直流 115V 蓄電池の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (4 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			
緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (3 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			
緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (2，3 個並び 2 段 1 列)	水平			
	鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

緊急用直流 115V 蓄電池の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用直流 115V 蓄電池の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－1 に示す。

4.2.2 許容応力

緊急用直流 115V 蓄電池の許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急用直流115V 蓄電池の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4－3に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【緊急用直流 115V 蓄電池(R42-J2930，R42-J0930)（4 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】，【緊急用直流 115V 蓄電池(R42-J2930，R42-J0930)（3 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】，【緊急用直流 115V 蓄電池(R42-J2930，R42-J0930)（2，3 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	緊急用 直流 115V 蓄電池	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$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}＋Ｓｓ」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4－3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

緊急用直流 115V 蓄電池の電気的機能維持評価について，以下に示す。

蓄電池は，ＪＥＡＧ４６０１-1987 において「装置」に分類され，機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって，緊急用直流 115V 蓄電池の機能維持評価は，支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用直流 115V 蓄電池の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は(1)構造強度評価結果による。

【緊急用直流 115V 蓄電池(R42-J2930，R42-J0930)（4 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (4 個並び 2 段 1 列)	常設耐震／防止 常設／緩和	ガスタービン 発電機建物 EL 47.5*1	[redacted]		－	－	C_H＝2.11*2	C_V＝0.89*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

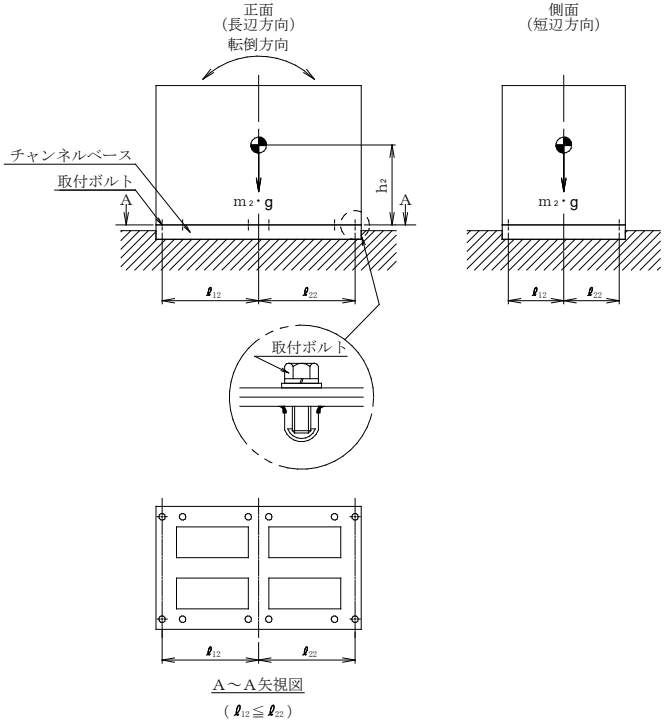
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	683	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	430.5	430.5	6	—	280	—	長辺方向
	760	760	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。



A～A矢視図

($\ell_{12} \leqq \ell_{22}$)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	―	―	σ_{b2}＝50	f_{ts2}＝210*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝20	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

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

【緊急用直流 115V 蓄電池(R42-J2930，R42-J0930)（3 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (3 個並び 2 段 1 列)	常設耐震／防止 常設／緩和	ガスタービン 発電機建物 EL 47.5*1			－	－	C_H＝2.11*2	C_V＝0.89*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

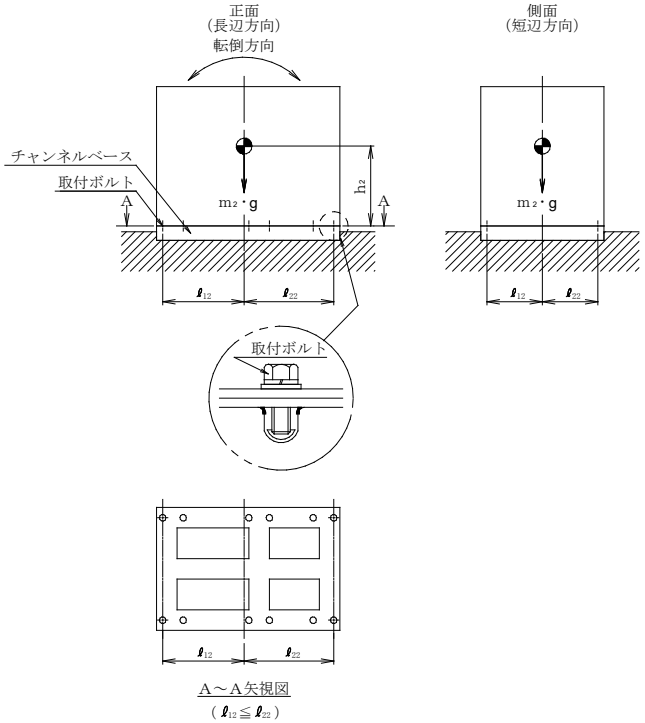
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)		683	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	430.5	430.5	6	—	280	—	長辺方向
	575	605	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	—	—	σ_{b2}＝52	f_{ts2}＝210*
		せん断	—	—	τ_{b2}＝16	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

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

【緊急用直流 115V 蓄電池(R42-J2930，R42-J0930)（2，3 個並び 2 段 1 列）の耐震性についての計算結果】

1.　重大事故等対処設備

1.1　設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急用直流 115V 蓄電池 (R42-J2930，R42-J0930) (2，3 個並び 2 段 1 列)	常設耐震／防止 常設／緩和	ガスタービン 発電機建物 EL 47.5*1	[redacted]		－	－	C_H＝2.11*2	C_V＝0.89*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

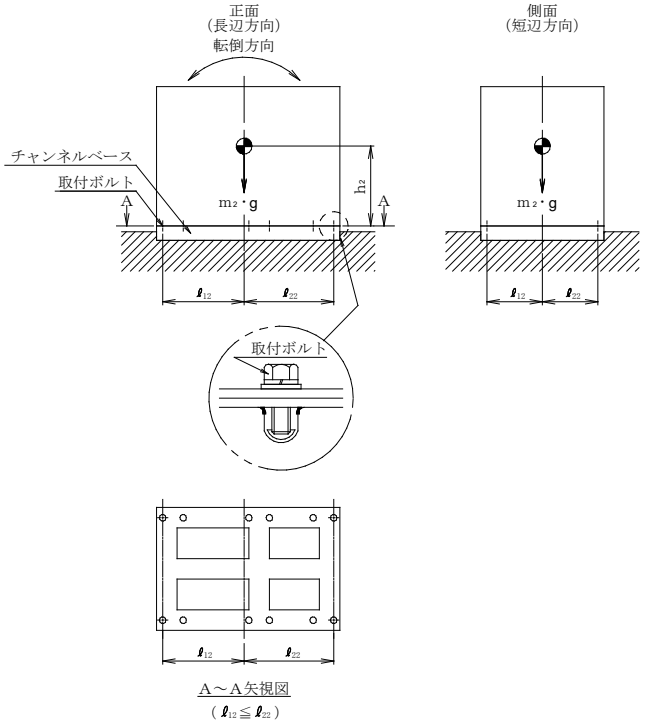
1.2　機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト （ｉ＝2）	[redacted]	616	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト （ｉ＝2）	430.5	430.5	6	—	280	—	長辺方向
	495	685	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。



A～A矢視図

（$\ell_{12} \leqq \ell_{22}$）

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	―	―	σ_{b2}＝41	f_{ts2}＝210*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝14	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

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

Ⅵ-2-10-1-2-4　緊急時対策所用発電機の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-10-1-2-4-1　緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書

緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性については，Ⅵ-2-2-34「緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書」で説明する。

Ⅵ-2-10-1-4　その他のその他発電用原子炉の附属施設の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-10-1-4-4　高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

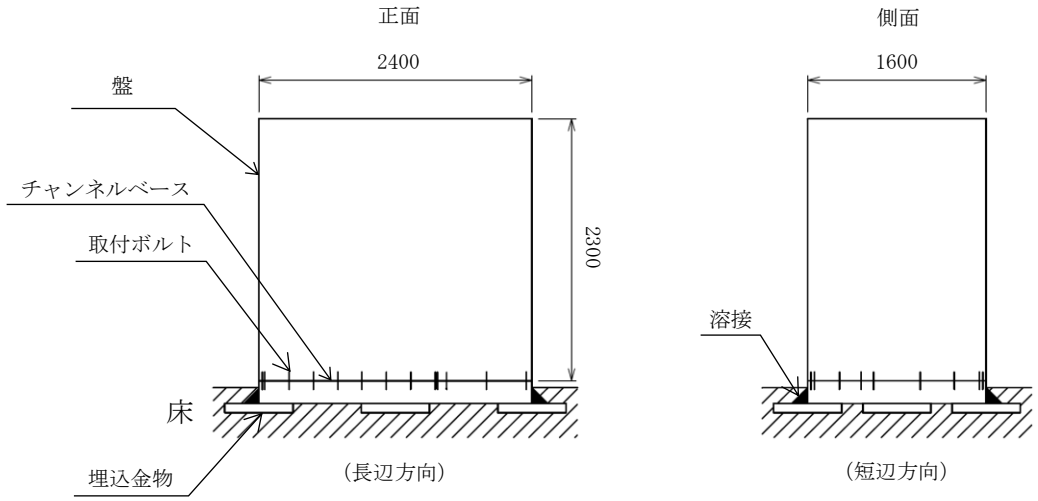
なお，高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の構造計画を表 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	
高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

高圧炉心スプレイ系 充電器・直流盤 (2-2267H，2-2265H)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤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

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の許容応力は，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

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤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【高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤（2-2267H，2-2265H）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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤	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 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	せん断
ⅢAS	1.5・ｆ t	1.5・ｆ s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400，SGD3* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

注記＊：SS400 相当

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400，SGD3* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

注記＊：SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の電気的機能維持評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤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，同形式の器具又は当該機器と類似の器具単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　　(×9.8m/s^2)

機器名称	方向	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤 (2-2267H，2-2265H)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤（2-2267H，2-2265H）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高圧炉心スプレイ系 充電器・直流盤 (2-2267H，2-2265H)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	C_H＝0.78*2	C_V＝0.54*2	C_H＝1.56*3	C_V＝1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	34	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	670	840	8	235	280	短辺方向	長辺方向
	1020	1300	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400, SGD3	引張	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=43$	$f_{ts2}=210^{*}$
		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＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤(2-2267H, 2-2265H)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高圧炉心スプレイ系 充電器・直流盤 (2-2267H，2-2265H)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	34	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	670	840	8	—	280	—	長辺方向
	1020	1300	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400, SGD3	引張	―	―	σ_{b2}＝43	f_{ts2}＝210*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝9	f_{sb2}＝161

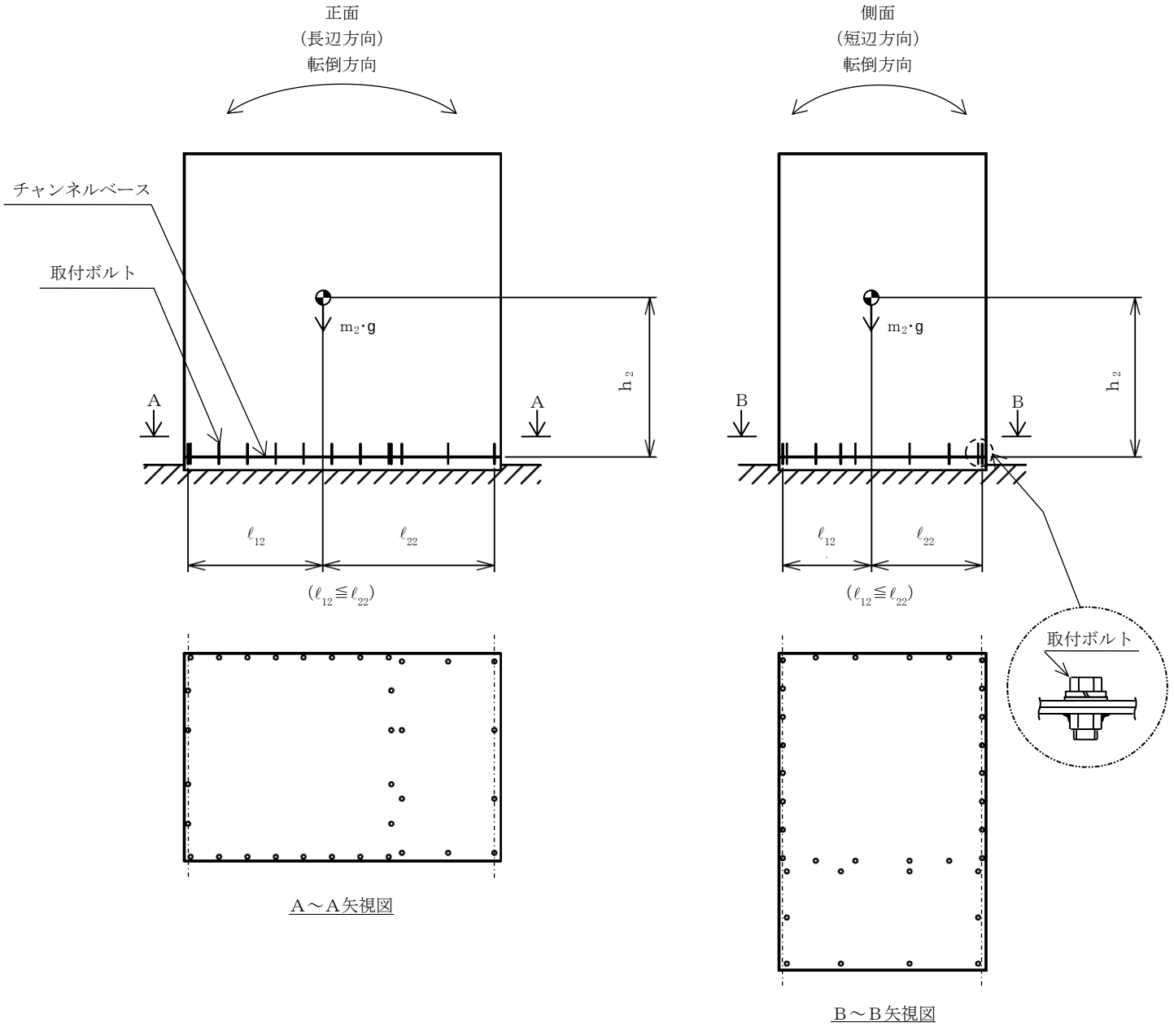
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
高圧炉心スプレイ系充電器・直流盤(2-2267H, 2-2265H)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
m2・g
h2
A
A
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
側面
(短辺方向)
転倒方向
m2・g
h2
B
B
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
取付ボルト

A～A矢視図

B～B矢視図

Ⅵ-2-10-1-4-8　コントロールセンタの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 5
3.1　固有周期の確認 ····· 5
4.　構造強度評価 ····· 6
4.1　構造強度評価方法 ····· 6
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 6
4.3　計算条件 ····· 6
5.　機能維持評価 ····· 10
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 10
6.　評価結果 ····· 11
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 11
6.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 11

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，コントロールセンタが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

2C1-R／B コントロールセンタ，2C2-R／B コントロールセンタ，2C3-R／B コントロールセンタ，2D1-R／B コントロールセンタ，2D2-R／B コントロールセンタ，2D3-R／B コントロールセンタ，2A-DG コントロールセンタ，2B-DG コントロールセンタ，2A-計装コントロールセンタ，2B-計装コントロールセンタは，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。2HPCS コントロールセンタ，2S-R／B コントロールセンタは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

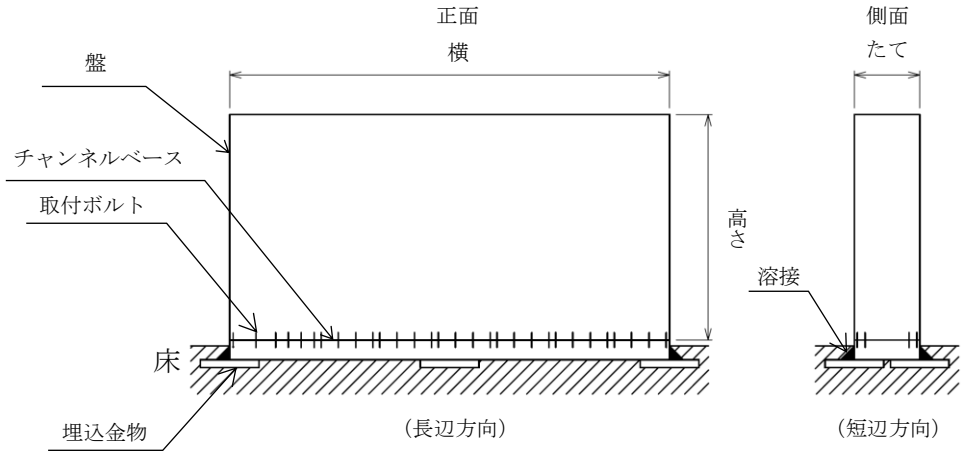
なお，コントロールセンタは，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

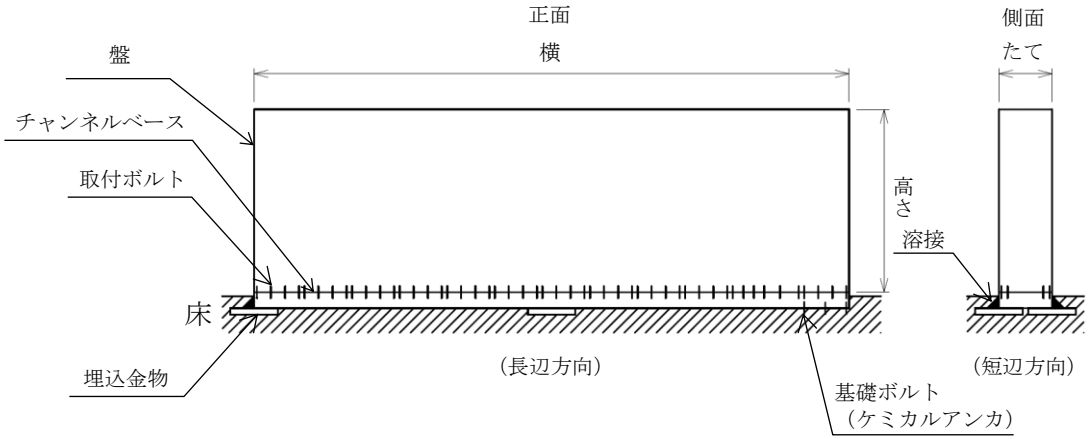
コントロールセンタの構造計画を表 2－1，表 2－2，表 2－3 に示す。

表 2－1　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>コントロールセンタは，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</td><td>直立形
（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）</td><td>【コントロールセンタ】
 

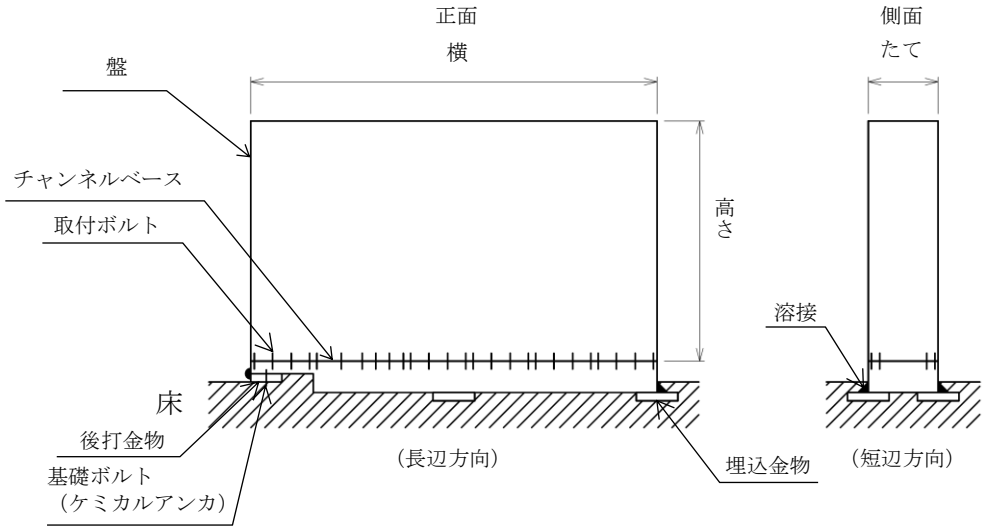
<table>
<tr><th>機器名称</th><th>2C1-R／B
コントロール
センタ
(2C1-R/B C/C)</th><th>2D1-R／B
コントロール
センタ
(2D1-R/B C/C)</th><th>2D2-R／B
コントロール
センタ
(2D2-R/B C/C)</th><th>2HPCS
コントロール
センタ
(2HPCS C/C)</th><th>2A-DG
コントロール
センタ
(2A-DG C/C)</th><th>2B-DG
コントロール
センタ
(2B-DG C/C)</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr>
<tr><td>横</td><td>4500</td><td>5100</td><td>8100</td><td>6000</td><td>2700</td><td>2700</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>2300</td><td>2300</td><td>2300</td><td>2300</td><td>2300</td><td>2300</td></tr>
</table>
（単位：mm）</td></tr>
</table>

表 2－2　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>コントロールセンタは，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。
チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置するとともに，溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</td><td>直立形
（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）</td><td>【コントロールセンタ】
 

<table>
<tr><th>機器名称</th><th>2C2-R／B
コントロールセンタ
(2C2-R/B C/C)</th><th>2C3-R／B
コントロールセンタ
(2C3-R/B C/C)</th><th>2D3-R／B
コントロールセンタ
(2D3-R/B C/C)</th><th>2S-R／B
コントロールセンタ
(2S-R/B C/C)</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td><td>700</td></tr>
<tr><td>横</td><td>7500</td><td>8700</td><td>8100</td><td>11400</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>2300</td><td>2300</td><td>2300</td><td>2300</td></tr>
</table>
（単位：mm）</td></tr>
</table>

表 2－3　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>コントロールセンタは，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。
チャンネルベースは溶接にて後打金物及び基礎に埋め込まれた金物に固定する。
後打金物は基礎ボルトにて基礎に設置する。</td><td>直立形
（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）</td><td>【コントロールセンタ】
 

<table>
<tr><th>機器名称</th><th>2A-計装
コントロールセンタ
(2A-計装 C/C)</th><th>2B-計装
コントロールセンタ
(2B-計装 C/C)</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>700</td><td>700</td></tr>
<tr><td>横</td><td>3900</td><td>4500</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>2300</td><td>2300</td></tr>
</table>
（単位：mm）</td></tr>
</table>

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

コントロールセンタのうち 2C1-R／B，2C2-R／B，2C3-R／B，2D1-R／B，2D2-R／B，2D3-R／B，2HPCS，2A-DG，2B-DG，2A-計装，2B-計装コントロールセンタの固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。

2S-R／B コントロールセンタの固有周期は，構造が同等な盤に対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。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）

2C1-R／B コントロールセンタ (2C1-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2C2-R／B コントロールセンタ (2C2-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2C3-R／B コントロールセンタ (2C3-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2D1-R／B コントロールセンタ (2D1-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2D2-R／B コントロールセンタ (2D2-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2D3-R／B コントロールセンタ (2D3-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2HPCS コントロールセンタ (2HPCS C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2A-DG コントロールセンタ (2A-DG C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2B-DG コントロールセンタ (2B-DG C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2S-R／B コントロールセンタ (2S-R/B C/C)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下
2A-計装コントロールセンタ (2A-計装 C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2B-計装コントロールセンタ (2B-計装 C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

コントロールセンタの構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

コントロールセンタの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち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

コントロールセンタの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

コントロールセンタの使用材料の許容応力評価条件のうち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【2C1-R／B コントロールセンタ(2C1-R/B C/C)の耐震性についての計算結果】，【2C2-R／B コントロールセンタ(2C2-R/B C/C)の耐震性についての計算結果】，【2C3-R／B コントロールセンタ(2C3-R/B C/C)の耐震性についての計算結果】，【2D1-R／B コントロールセンタ(2D1-R/B C/C)の耐震性についての計算結果】，【2D2-R／B コントロールセンタ(2D2-R/B C/C)の耐震性についての計算結果】，【2D3-R／B コントロールセンタ(2D3-R/B C/C)の耐震性についての計算結果】，【2HPCS コントロールセンタ(2HPCS C/C)の耐震性についての計算結果】，【2A-DG コントロールセンタ(2A-DG C/C)の耐震性についての計算結果】，【2B-DG コントロールセンタ(2B-DG C/C)の耐震性についての計算結果】，【2S-R／B コントロールセンタ(2S-R/B C/C)の耐震性についての計算結果】，【2A-計装コントロールセンタ(2A-計装 C/C)の耐震性についての計算結果】，【2B-計装コントロールセンタ(2B-計装 C/C)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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	コントロールセンタ	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	コントロールセンタ	常設耐震／防止 常設／緩和*2 常設／防止（ＤＢ拡張）*3	—*4	D＋P_D＋M_D＋S s*5	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，「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。

＊2：2C1-R／B，2C2-R／B，2C3-R／B，2D1-R／B，2D2-R／B，2D3-R／B，2A-DG，2B-DG，2A-計装，2B-計装コントロールセンタの設備分類を示す。

＊3：2HPCS，2S-R／B コントロールセンタの設備分類を示す。

＊4：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。

＊5：「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	せん断
ⅢAS	1.5・ｆ t	1.5・ｆ s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400，SS41*，SGD3* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

注記＊：SS400 相当

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400，SS41*，SGD3* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

注記＊：SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

コントロールセンタの電気的機能維持評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

コントロールセンタに設置される器具の機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，同形式の器具又は当該機器と類似の器具単体のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5－1に示す。

表5－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
2C1-R／B コントロールセンタ (2C1-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2C2-R／B コントロールセンタ (2C2-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2C3-R／B コントロールセンタ (2C3-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2D1-R／B コントロールセンタ (2D1-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2D2-R／B コントロールセンタ (2D2-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2D3-R／B コントロールセンタ (2D3-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2HPCS コントロールセンタ (2HPCS C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2A-DG コントロールセンタ (2A-DG C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2B-DG コントロールセンタ (2B-DG C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2S-R／B コントロールセンタ (2S-R/B C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2A-計装コントロールセンタ (2A-計装 C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
2B-計装コントロールセンタ (2B-計装 C/C)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

コントロールセンタの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

コントロールセンタの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【2C1-R／B コントロールセンタ(2C1-R/B C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2C1-R／B コントロールセンタ (2C1-R/B C/C)	S	原子炉建物 EL 23.8*1	[redacted]	[redacted]	C_H=1.19*2	C_V=1.10*2	C_H=1.73*3	C_V=2.07*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	84	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	30	235	280	長辺方向	長辺方向
	1870	2560	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=16$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2C1-R／B コントロールセンタ (2C1-R/B C/C)	水平方向	1.44	[redacted]
	鉛直方向	1.73	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2C1-R／B コントロールセンタ (2C1-R/B C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 23.8*1	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.73*2	C_V=2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	84	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	30	—	280	—	長辺方向
	1870	2560	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=44$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

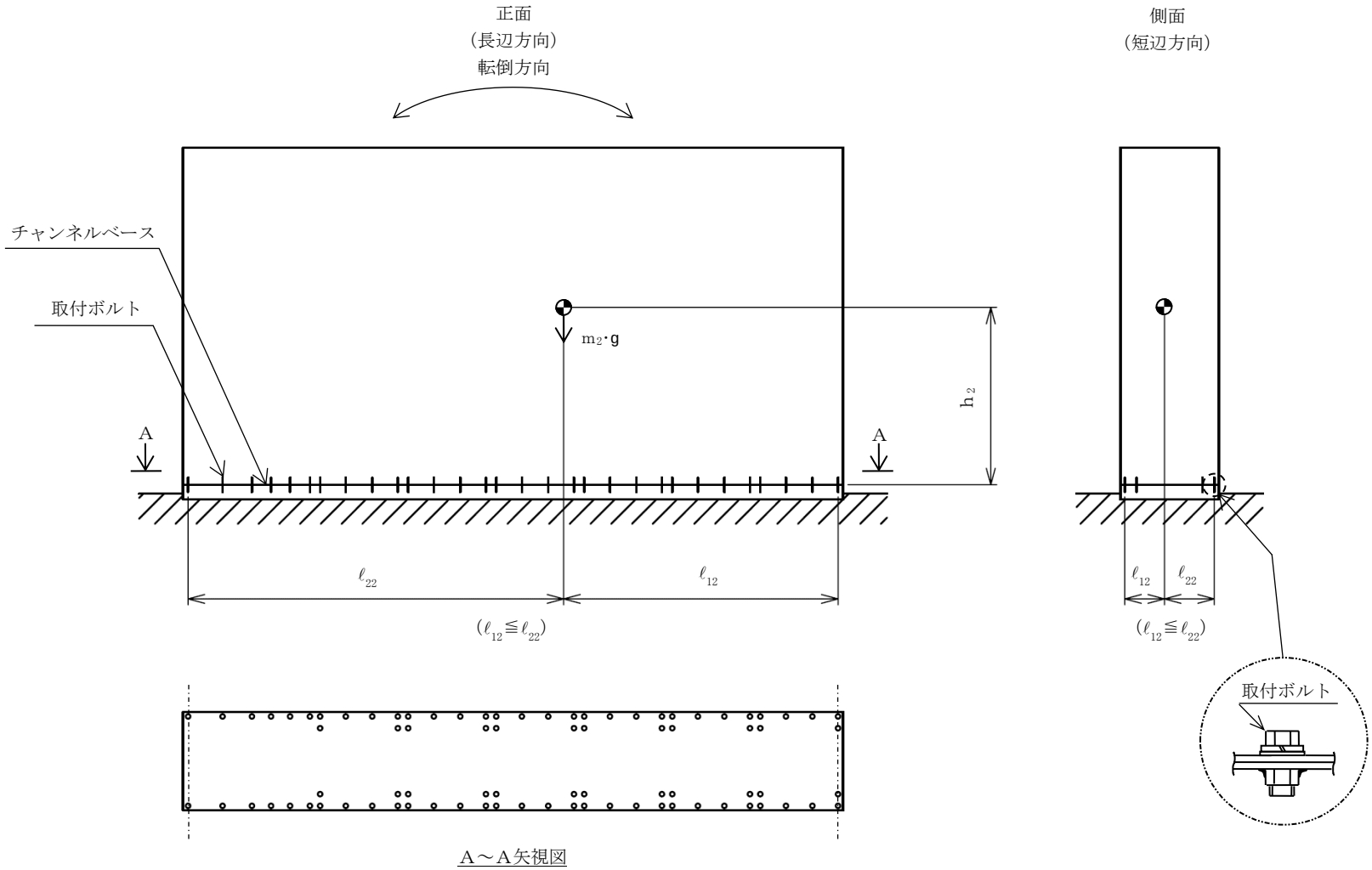
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2C1-R／B コントロールセンタ (2C1-R/B C/C)	水平方向	1.44	[redacted]
	鉛直方向	1.73	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
側面
(短辺方向)
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
h_2
A
A
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【2C2-R／B コントロールセンタ(2C2-R/B C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2C2-R／B コントロールセンタ (2C2-R/B C/C)	S	原子炉建物 EL 28.8 (EL 30.5*1)	[redacted]	[redacted]	C_H＝1.92*2	C_V＝1.25*2	C_H＝2.33*3	C_V＝2.31*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	144	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	50	235	280	長辺方向	長辺方向
	3260	4170	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	$\sigma_{b2}=31$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=77$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2C2-R／B コントロールセンタ (2C2-R/B C/C)	水平方向	1.95	[redacted]
	鉛直方向	1.94	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2C2-R／B コントロールセンタ (2C2-R/B C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 28.8 (EL 30.5*1)	□	□	—	—	C_H=2.33*2	C_V=2.31*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	144	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	50	—	280	—	長辺方向
	3260	4170	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	―	―	σ_{b2}＝77	f_{ts2}＝210*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝5	f_{sb2}＝161

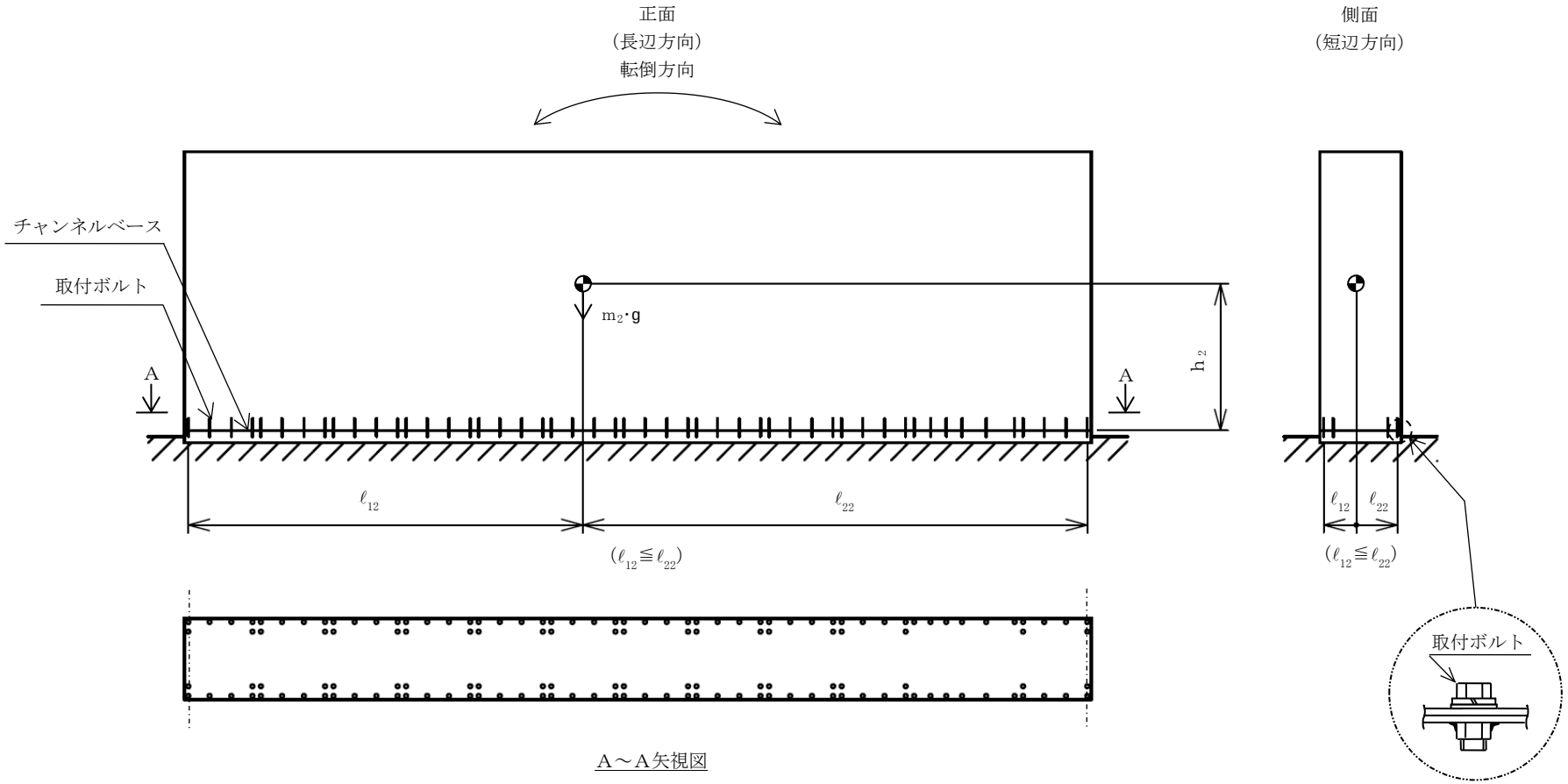
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2C2-R／B コントロールセンタ (2C2-R/B C/C)	水平方向	1.95	[redacted]
	鉛直方向	1.94	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【2C3-R／B コントロールセンタ(2C3-R/B C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2C3-R／B コントロールセンタ (2C3-R/B C/C)	S	原子炉建物 EL 28.8 (EL 30.5*1)	[redacted]	[redacted]	C_H＝1.92*2	C_V＝1.25*2	C_H＝2.33*3	C_V＝2.31*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	168	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	58	235	280	長辺方向	長辺方向
	3690	4940	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	σ_{b2}＝34	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝87	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝5	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2C3-R／B コントロールセンタ (2C3-R/B C/C)	水平方向	1.95	[redacted]
	鉛直方向	1.94	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2C3-R／B コントロールセンタ (2C3-R/B C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 28.8 (EL 30.5*1)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=2.33*2	C_V=2.31*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	168	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	58	—	280	—	長辺方向
	3690	4940	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	―	―	σ_{b2}＝87	f_{ts2}＝210*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝5	f_{sb2}＝161

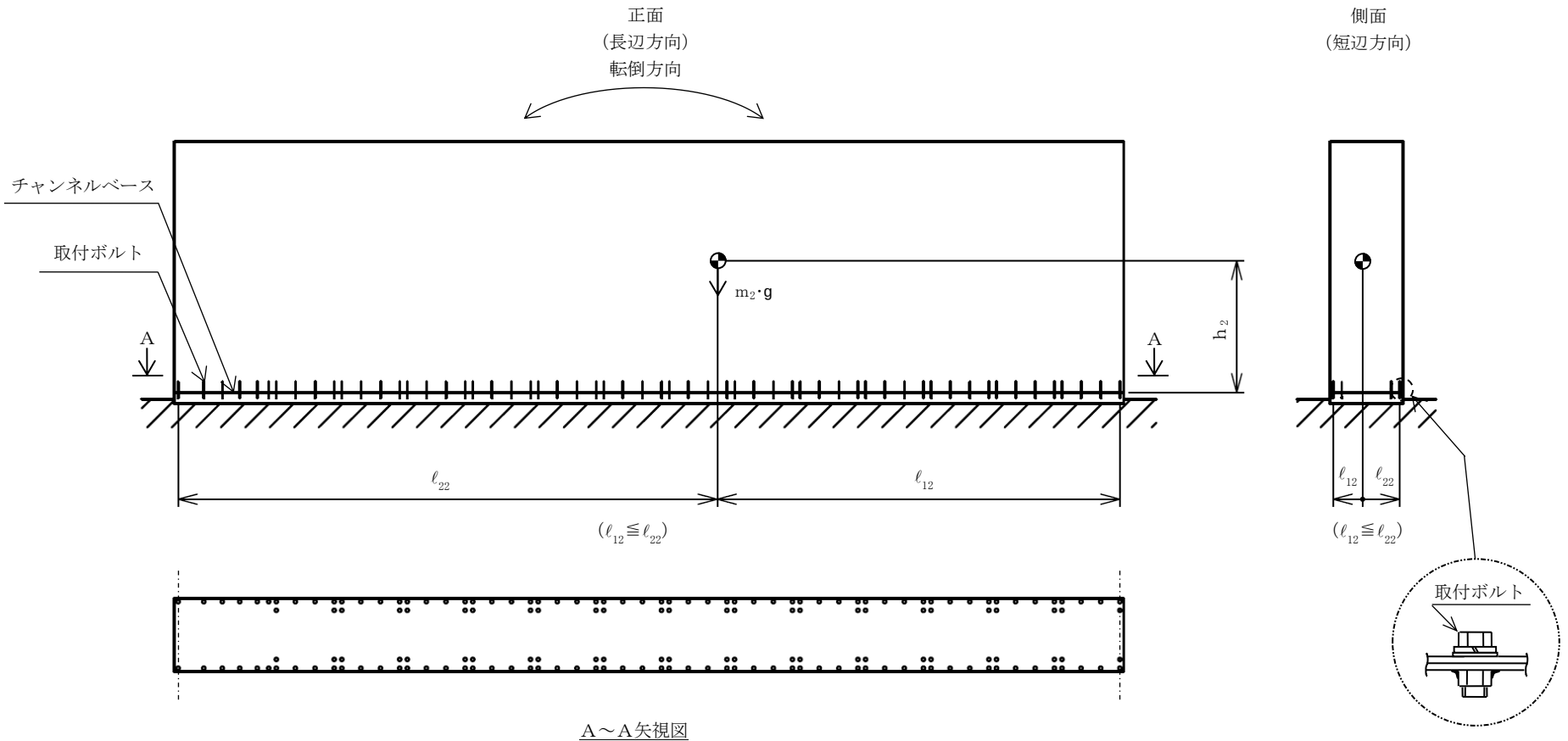
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2C3-R／B コントロールセンタ (2C3-R/B C/C)	水平方向	1.95	[redacted]
	鉛直方向	1.94	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
側面
(短辺方向)
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【2D1-R／B コントロールセンタ(2D1-R/B C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2D1-R／B コントロールセンタ (2D1-R/B C/C)	S	原子炉建物 EL 8.8*1	[redacted]	[redacted]	C_H＝0.78*2	C_V＝0.54*2	C_H＝1.56*3	C_V＝1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	96	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*		F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
							弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	34		235	280	短辺方向	長辺方向
	2130	2900	Ｓｄ：2	Ｓｓ：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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=22$	$f_{ts2}=210^{*}$
		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＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2D1-R／B コントロールセンタ (2D1-R/B C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2D1-R／B コントロールセンタ (2D1-R/B C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 8.8*1	□	□	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	96	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	34	—	280	—	長辺方向
	2130	2900	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=22$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

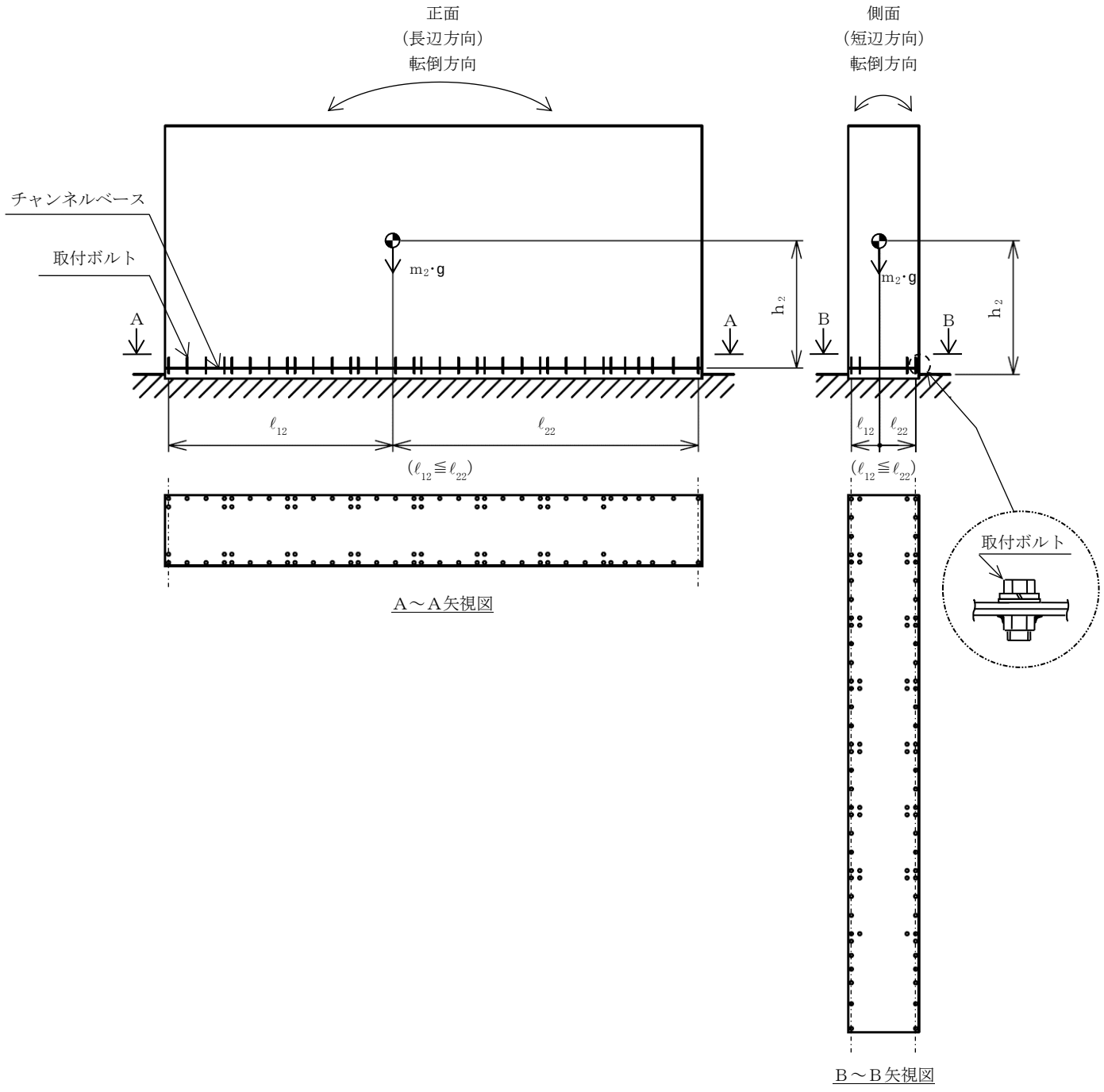
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2D1-R／B コントロールセンタ (2D1-R/B C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
h_2
A
A
B
B
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

B～B矢視図

【2D2-R／B コントロールセンタ(2D2-R/B C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2D2-R／B コントロールセンタ (2D2-R/B C/C)	S	原子炉建物 EL 23.8*1	[redacted]	[redacted]	C_H=1.19*2	C_V=1.10*2	C_H=1.73*3	C_V=2.07*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	156	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	54	235	280	長辺方向	長辺方向
	3480	4550	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=64$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2D2-R／B コントロールセンタ (2D2-R/B C/C)	水平方向	1.44	[redacted]
	鉛直方向	1.73	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2D2-R／B コントロールセンタ (2D2-R/B C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 23.8*1	□	□	—	—	C_H=1.73*2	C_V=2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (i =2)	□	1210	16 (M16)	201.1	156	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (i =2)	270	340	54	—	280	—	長辺方向
	3480	4550	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=64$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

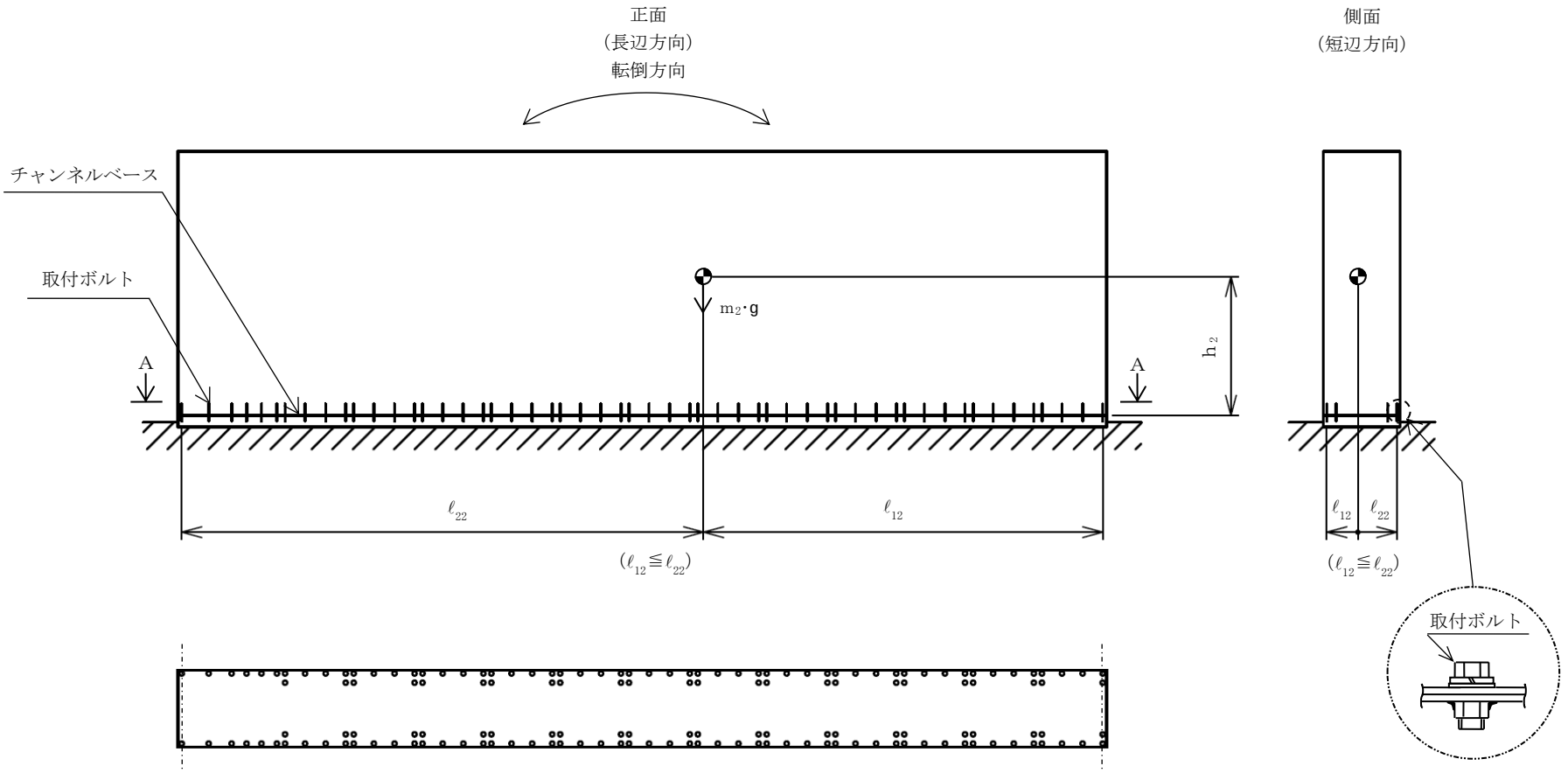
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2D2-R／B コントロールセンタ (2D2-R/B C/C)	水平方向	1.44	[redacted]
	鉛直方向	1.73	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
m2・g
h2
ℓ22
ℓ12
(ℓ12≦ℓ22)
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
取付ボルト

A～A矢視図

【2D3-R／B コントロールセンタ(2D3-R/B C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2D3-R／B コントロールセンタ (2D3-R/B C/C)	S	原子炉建物 EL 23.8*1	[redacted]	[redacted]	C_H=1.19*2	C_V=1.10*2	C_H=1.73*3	C_V=2.07*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	156	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	54	235	280	長辺方向	長辺方向
	3430	4600	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2D3-R／B コントロールセンタ (2D3-R/B C/C)	水平方向	1.44	[redacted]
	鉛直方向	1.73	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2D3-R／B コントロールセンタ (2D3-R/B C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 23.8*1	□	□	—	—	C_H=1.73*2	C_V=2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (i =2)	□	1210	16 (M16)	201.1	156	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (i =2)	270	340	54	—	280	—	長辺方向
	3430	4600	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	―	―	σ_{b2}＝65	f_{ts2}＝210*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

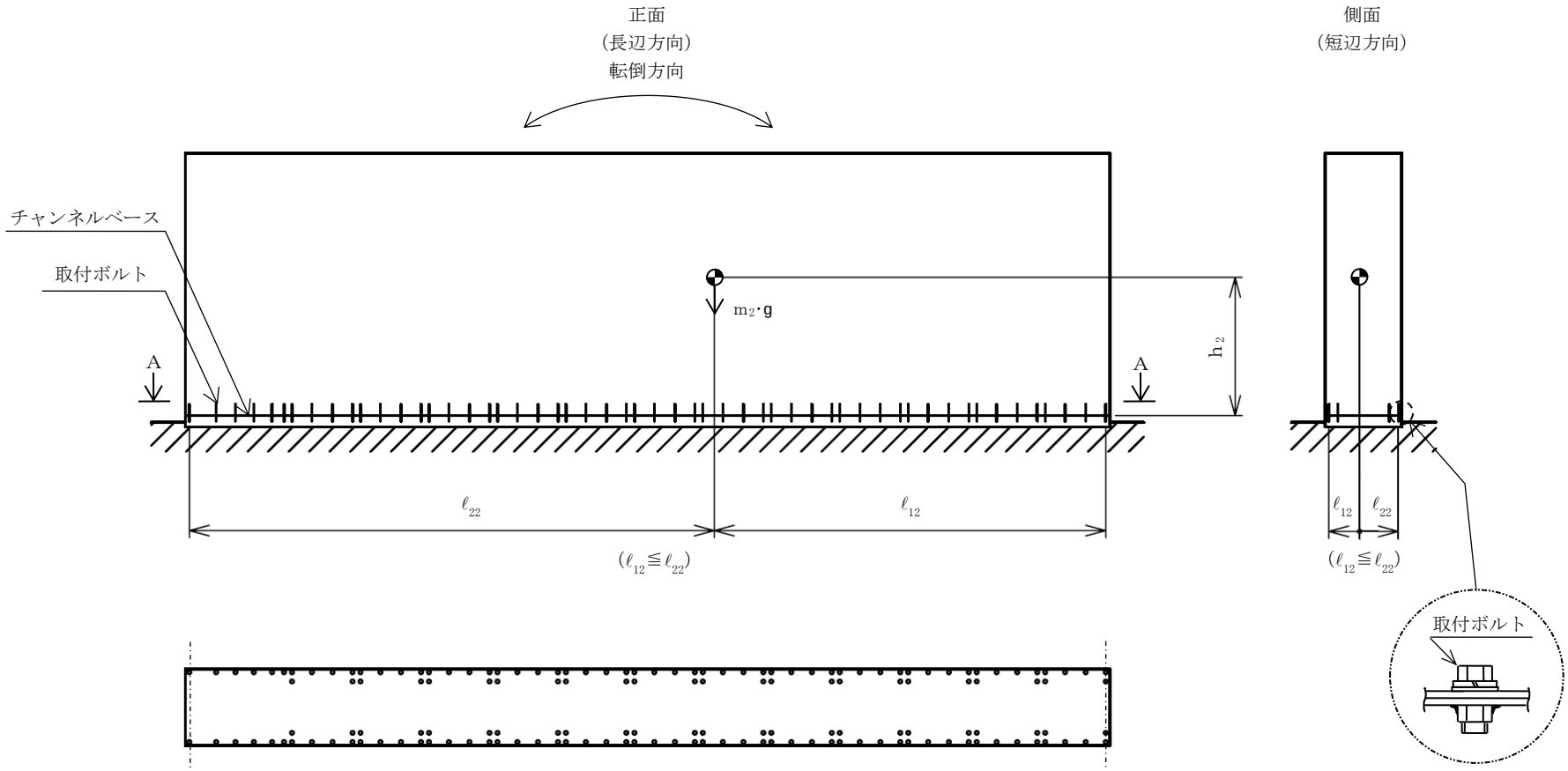
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2D3-R／B コントロールセンタ (2D3-R/B C/C)	水平方向	1.44	[redacted]
	鉛直方向	1.73	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【2HPCS コントロールセンタ(2HPCS C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2HPCS コントロールセンタ (2HPCS C/C)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	C_H=0.78*2	C_V=0.54*2	C_H=1.56*3	C_V=1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	120	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	40	235	280	短辺方向	長辺方向
	2610	3320	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=23$	$f_{ts2}=210^{*}$
		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＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2HPCS コントロールセンタ (2HPCS C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2HPCS コントロールセンタ (2HPCS C/C)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	120	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	40	—	280	—	長辺方向
	2610	3320	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=23$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

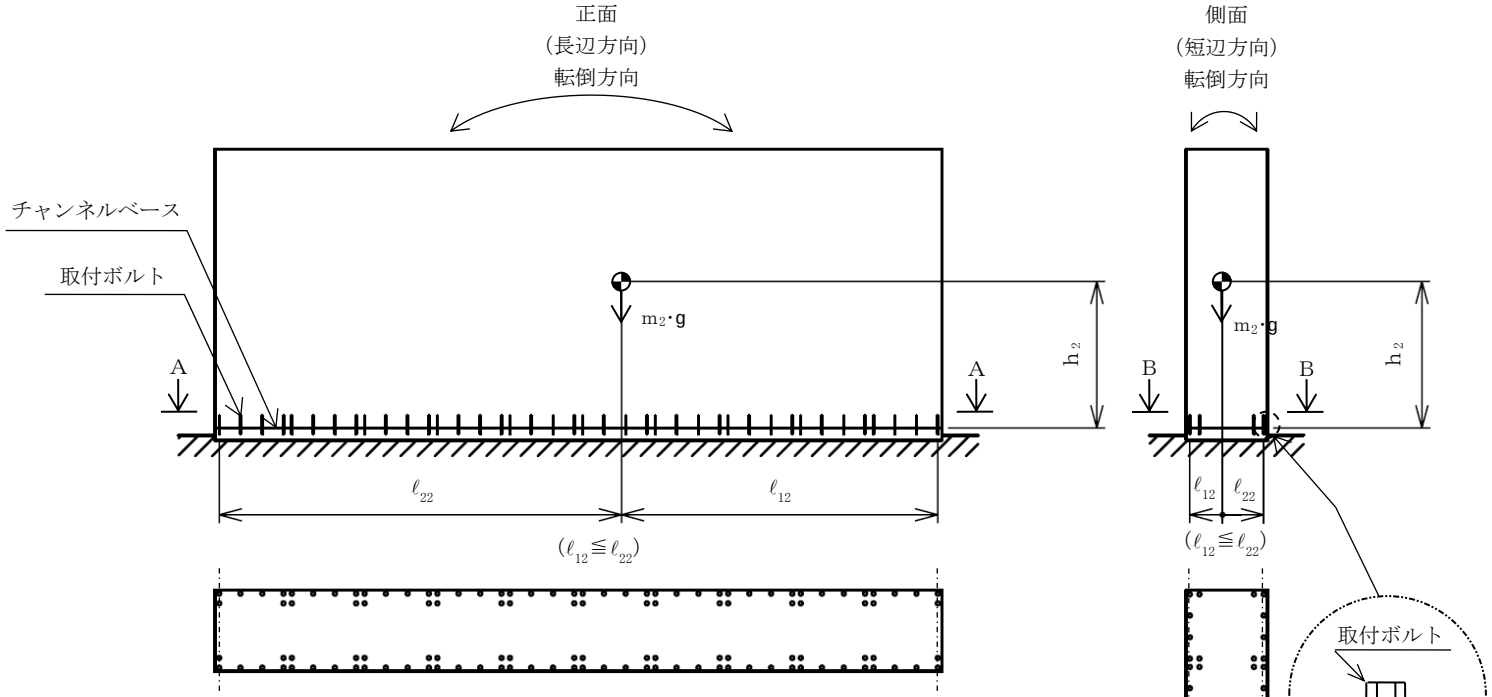
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2HPCS コントロールセンタ (2HPCS C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$

A～A矢視図

側面
（短辺方向）
転倒方向
B
B
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

B～B矢視図

【2A-DG コントロールセンタ(2A-DG C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2A-DG コントロールセンタ (2A-DG C/C)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	C_H=0.78*2	C_V=0.54*2	C_H=1.56*3	C_V=1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	48	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*		F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
							弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	18		235	280	長辺方向	長辺方向
	1070	1560	Ｓｄ：2	Ｓｓ：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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3	引張	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=19$	$f_{ts2}=210^{*}$
		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＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2A-DG コントロールセンタ (2A-DG C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2A-DG コントロールセンタ (2A-DG C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	48	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	18	—	280	—	長辺方向
	1070	1560	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3	引張	―	―	$\sigma_{b2}=19$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

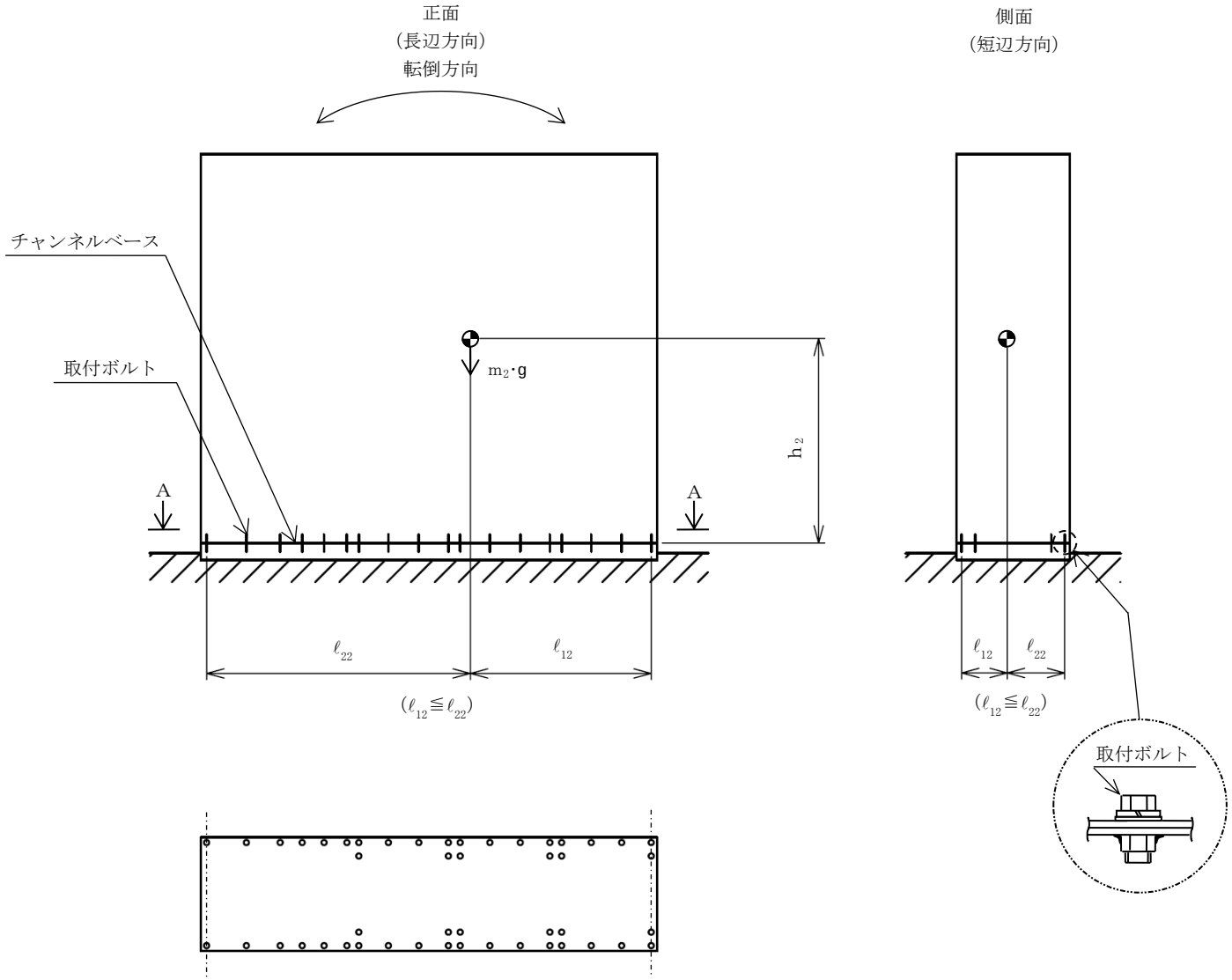
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2A-DG コントロールセンタ (2A-DG C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
側面
(短辺方向)
チャンネルベース
取付ボルト
m2・g
h2
A
A
ℓ22
ℓ12
(ℓ12≦ℓ22)
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
取付ボルト

A～A矢視図

【2B-DG コントロールセンタ(2B-DG C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2B-DG コントロールセンタ (2B-DG C/C)	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	C_H=0.78*2	C_V=0.54*2	C_H=1.56*3	C_V=1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	48	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*		F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
							弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	18		235	280	長辺方向	長辺方向
	1070	1560	Ｓｄ：2	Ｓｓ：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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3	引張	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=19$	$f_{ts2}=210^{*}$
		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＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2B-DG コントロールセンタ (2B-DG C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2B-DG コントロールセンタ (2B-DG C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	□	□	—	—	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	48	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	18	—	280	—	長辺方向
	1070	1560	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3	引張	―	―	$\sigma_{b2}=19$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=161$

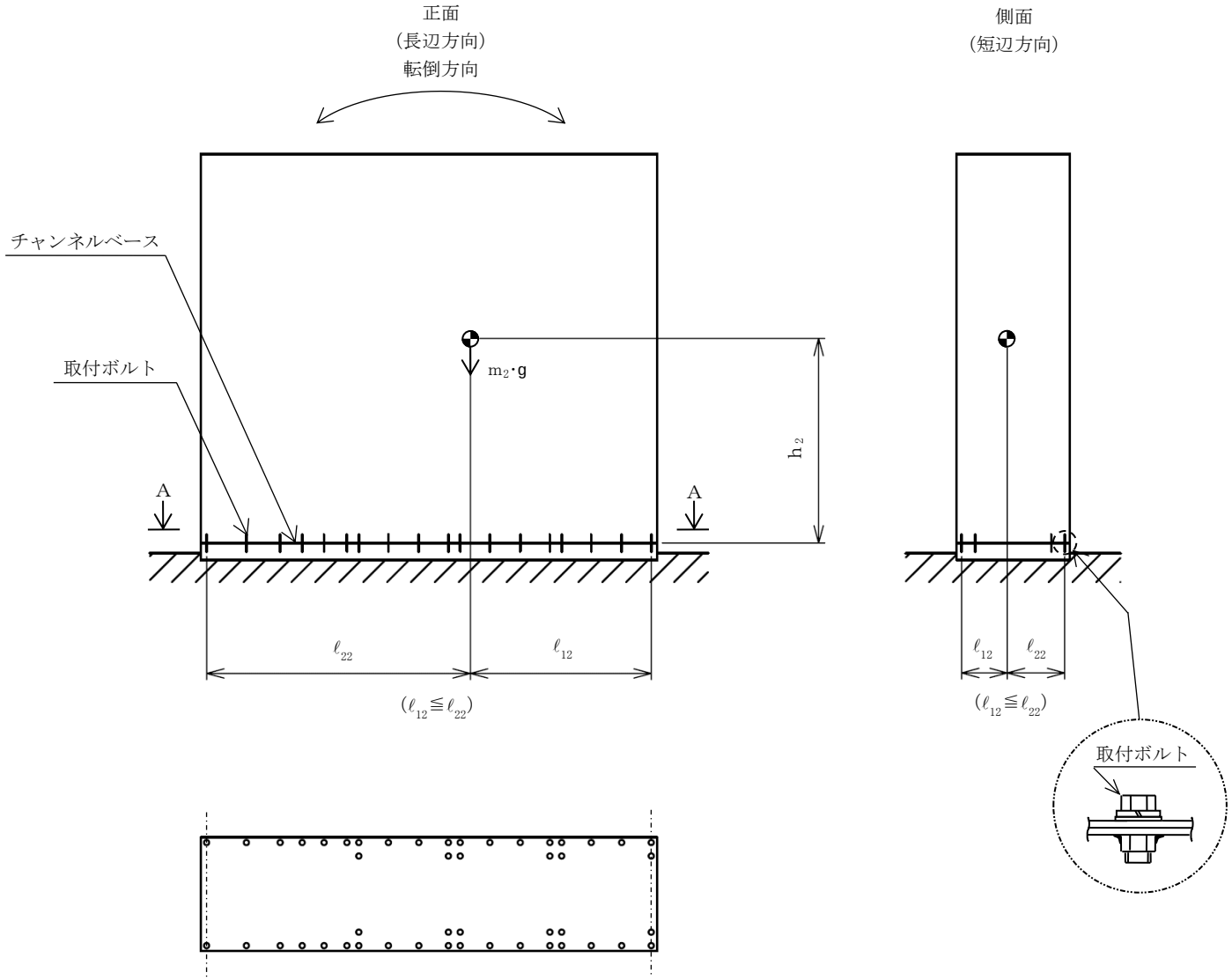
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2B-DG コントロールセンタ (2B-DG C/C)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.96	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
側面
(短辺方向)
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
h_2
A
A
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【2S-R／Bコントロールセンタ(2S-R/B C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2S-R／B コントロールセンタ (2S-R/B C/C)	S	原子炉建物 EL 28.8 (EL 30.5*1)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝1.92*2	C_V＝1.25*2	C_H＝2.33*3	C_V＝2.31*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	216	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	76	235	280	長辺方向	長辺方向
	4880	6450	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	$\sigma_{b2}=36$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=102$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2S-R／B コントロールセンタ (2S-R/B C/C)	水平方向	1.95	[redacted]
	鉛直方向	1.94	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2S-R／B コントロールセンタ (2S-R/B C/C)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	原子炉建物 EL 28.8 (EL 30.5*1)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H=2.33*2	C_V=2.31*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	216	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	76	—	280	—	長辺方向
	4880	6450	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41, SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=102$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

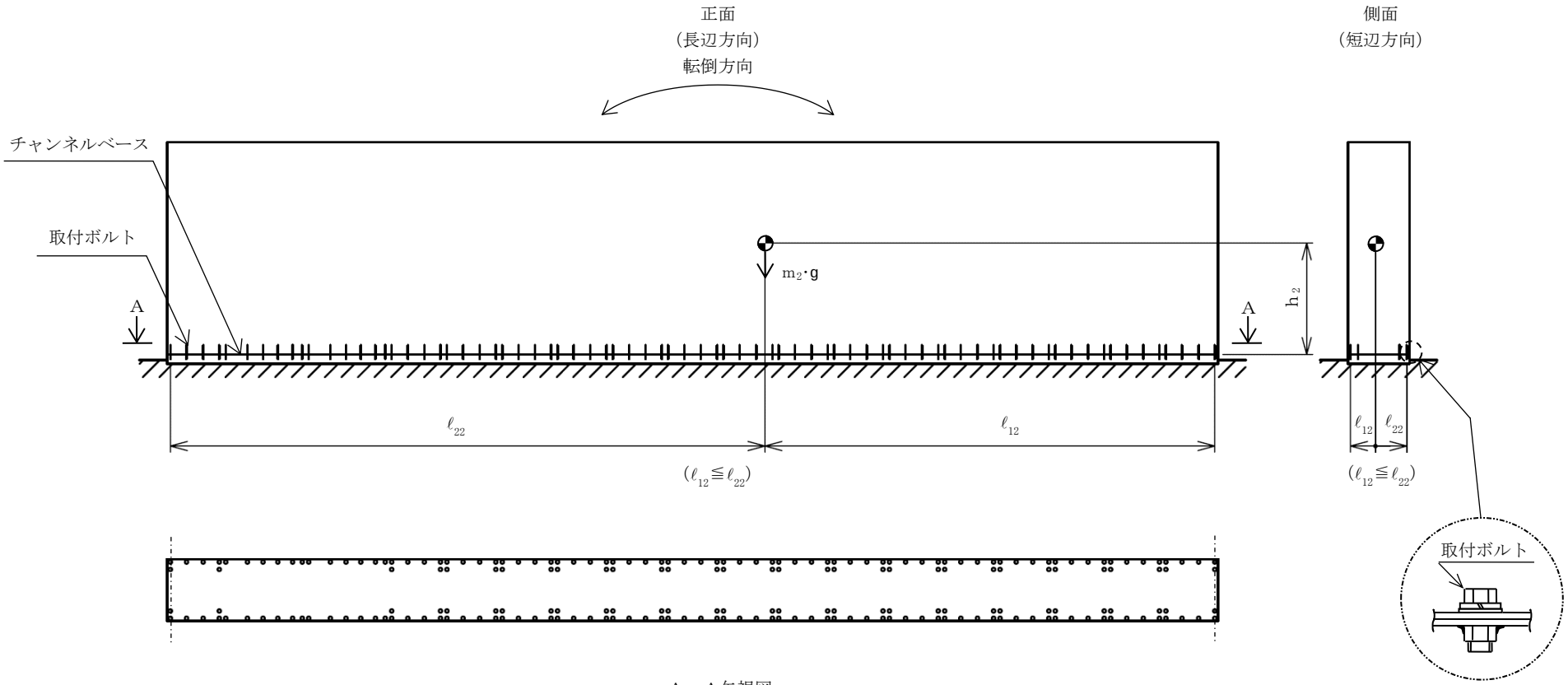
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2S-R／B コントロールセンタ (2S-R/B C/C)	水平方向	1.95	[redacted]
	鉛直方向	1.94	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【2A-計装コントロールセンタ(2A-計装 C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2A-計装 コントロールセンタ (2A-計装 C/C)	S	廃棄物処理建物 EL 16.9*1	□	□	C_H=1.25*2	C_V=0.68*2	C_H=1.88*3	C_V=1.46*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	□	1210	16 (M16)	201.1	72	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	26	235	280	短辺方向	長辺方向
	1630	2200	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3, SS400	引張	$\sigma_{b2}=13$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2A-計装コントロールセンタ（2A-計装 C/C）	水平方向	1.56	[redacted]
	鉛直方向	1.22	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2A-計装 コントロールセンタ (2A-計装 C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	廃棄物処理建物 EL 16.9*1	□	□	—	—	C_H=1.88*2	C_V=1.46*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	72	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	26	—	280	—	長辺方向
	1630	2200	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3, SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

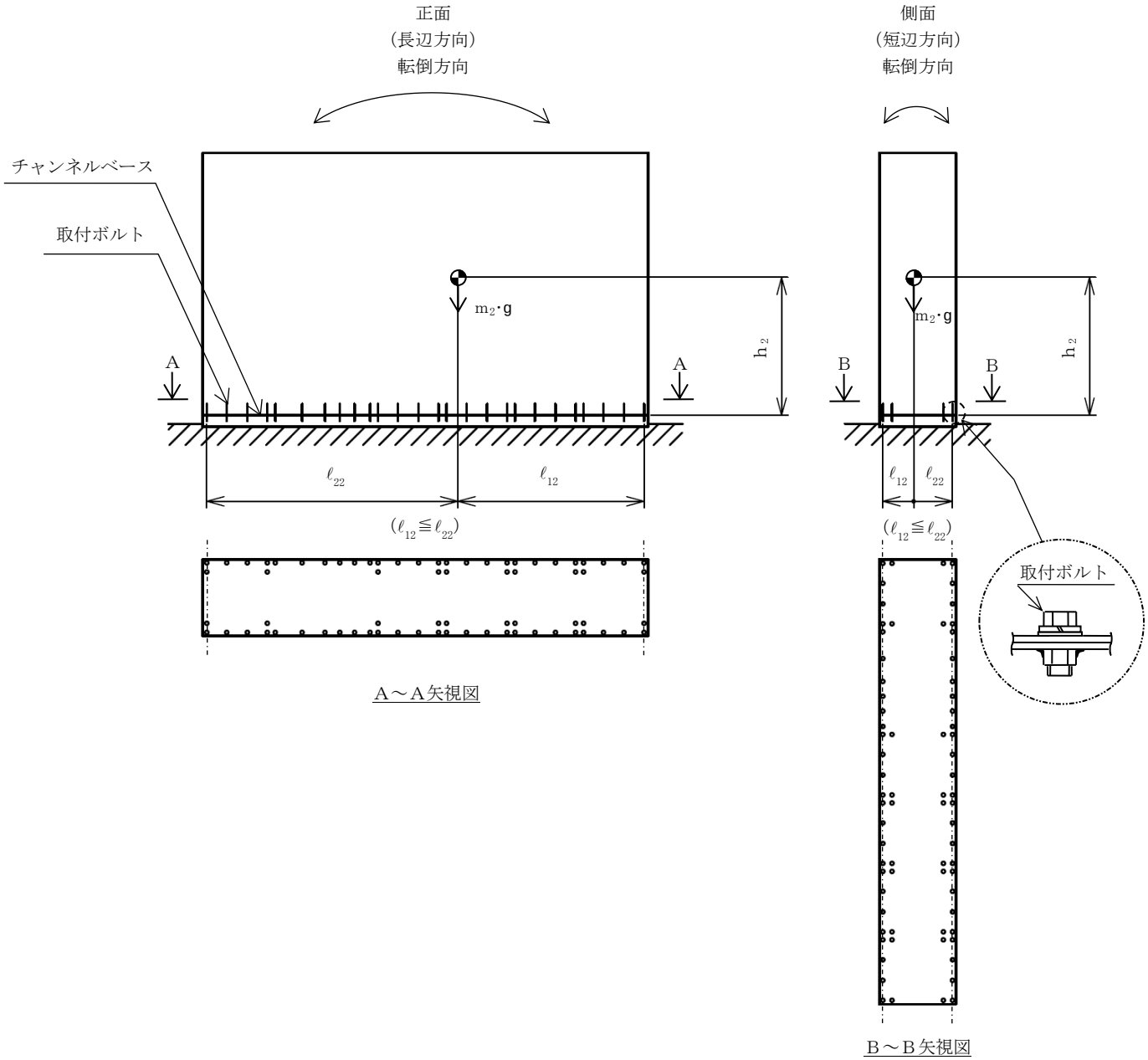
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2A-計装コントロールセンタ（2A-計装 C/C）	水平方向	1.56	[redacted]
	鉛直方向	1.22	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
h_2
A
A
B
B
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

B～B矢視図

【2B-計装コントロールセンタ(2B-計装 C/C)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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2B-計装 コントロールセンタ (2B-計装 C/C)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3*1	[redacted]	[redacted]	C_H=1.01*2	C_V=0.57*2	C_H=1.79*3	C_V=1.26*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	[redacted]	1210	16 (M16)	201.1	84	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	270	340	30	235	280	短辺方向	長辺方向
	1880	2550	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3, SS400	引張	$\sigma_{b2}=10$	$f_{ts2}=176^{*}$	$\sigma_{b2}=26$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=135$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2B-計装コントロールセンタ（2B-計装 C/C）	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2B-計装 コントロールセンタ (2B-計装 C/C)	常設耐震／防止 常設／緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3*1	□	□	—	—	C_H=1.79*2	C_V=1.26*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	84	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	270	340	30	—	280	—	長辺方向
	1880	2550	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SGD3, SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=26$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=161$

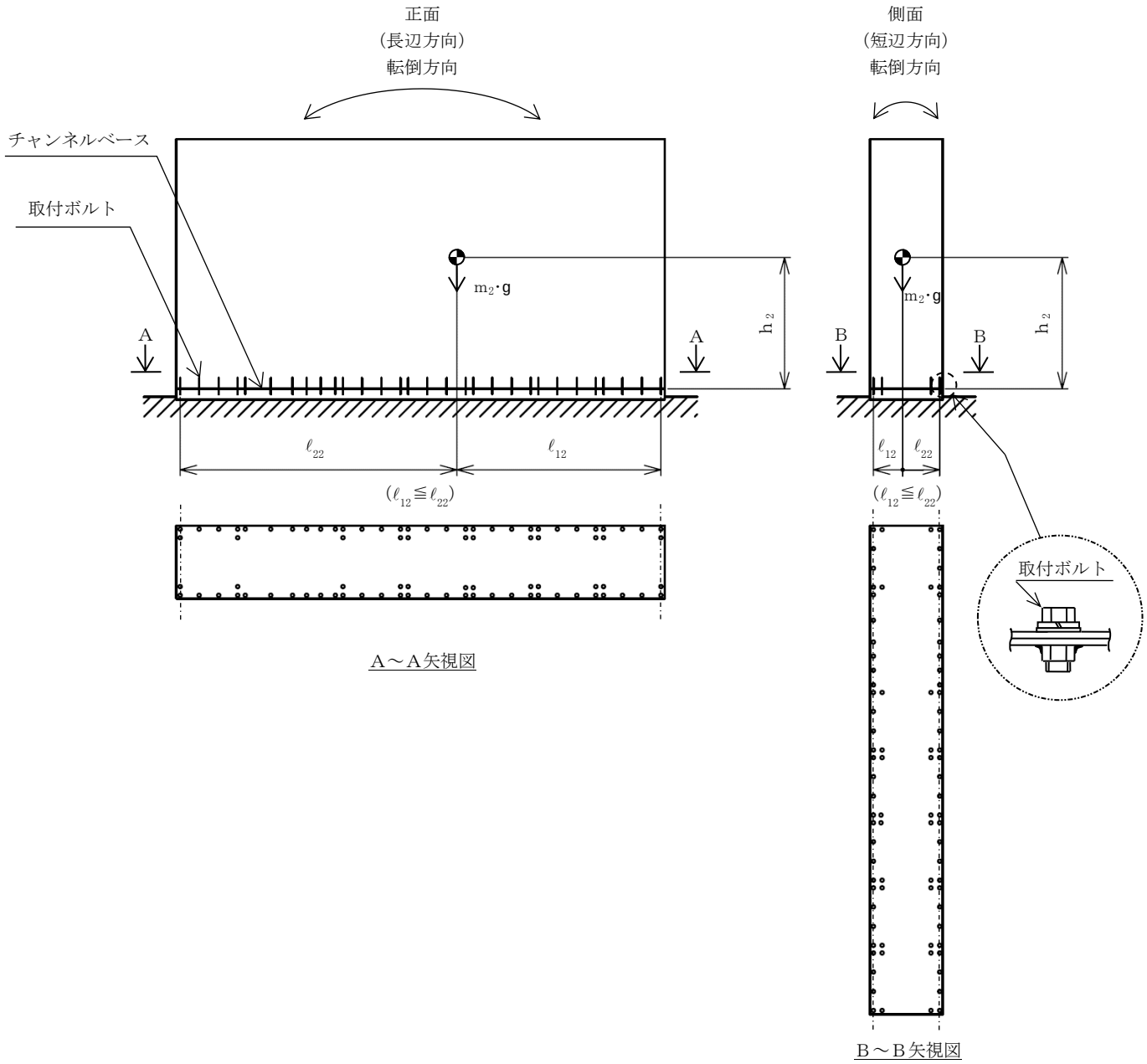
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
2B-計装 コントロールセンタ (2B-計装 C/C)	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
m2・g
h2
A
A
ℓ22
ℓ12
(ℓ12≦ℓ22)
A～A矢視図
側面
（短辺方向）
転倒方向
m2・g
h2
B
B
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
取付ボルト
B～B矢視図

Ⅵ-2-10-1-4-9　動力変圧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
3.　固有周期 ····· 4
3.1　固有周期の確認 ····· 4
4.　構造強度評価 ····· 5
4.1　構造強度評価方法 ····· 5
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.3　計算条件 ····· 5
5.　機能維持評価 ····· 9
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 9
6.　評価結果 ····· 10
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 10
6.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 10

1. 概要

本計算書は，VI-2-1-9「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，動力変圧器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

動力変圧器 2C,2D 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。動力変圧器 HPCS は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

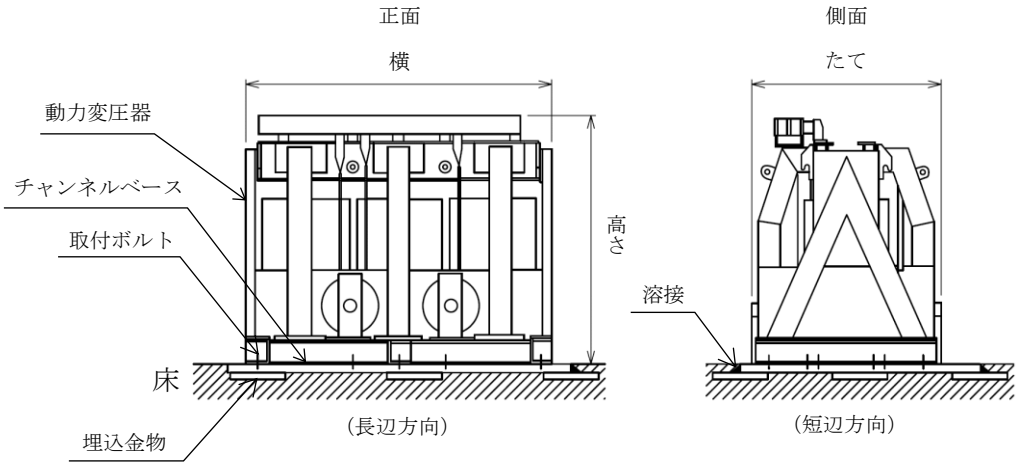
なお，動力変圧器は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形（変圧器）であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

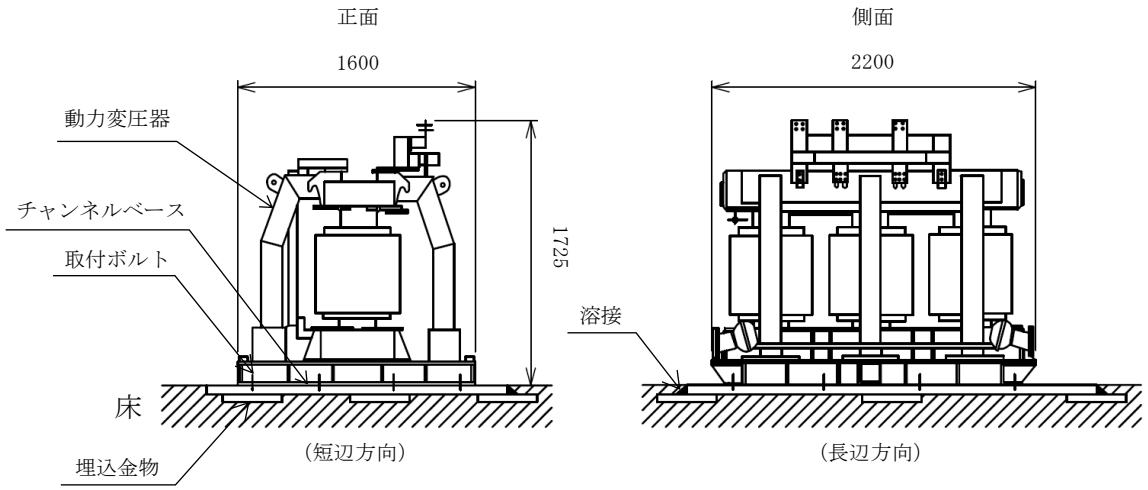
動力変圧器の構造計画を表 2－1 及び表 2－2 に示す。

表 2－1　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>動力変圧器は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。
チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</td><td>直立形（変圧器）</td><td>【動力変圧器】
 

<table>
<tr><th>機器名称</th><th>動力変圧器 2C</th><th>動力変圧器 2D</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>1760</td><td>1760</td></tr>
<tr><td>横</td><td>2700</td><td>2700</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>2075</td><td>2075</td></tr>
</table>
（単位：mm）</td></tr>
</table>

表 2－2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
動力変圧器は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形（変圧器）	【動力変圧器（動力変圧器 HPCS)】  （単位：mm）

3. 固有周期

3.1 固有周期の確認

動力変圧器のうち動力変圧器 2D の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。

動力変圧器 2C，HPCS の固有周期は，構造が同等な盤に対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。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）

動力変圧器 2C	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下
動力変圧器 2D	水平	
	鉛直	
動力変圧器 HPCS	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

動力変圧器の構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

動力変圧器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－1 に，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

動力変圧器の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

動力変圧器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－4 に，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【動力変圧器 2C の耐震性についての計算結果】，【動力変圧器 2D の耐震性についての計算結果】，【動力変圧器 HPCS 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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	動力変圧器	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	動力変圧器	常設耐震／防止 常設／緩和*2 常設／防止（ＤＢ拡張）*3	—*4	D＋P_D＋M_D＋S s *5	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，「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：動力変圧器 2C,2D の設備分類を示す。

＊3：動力変圧器 HPCS の設備分類を示す。

＊4：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。

＊5：「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	せん断
ⅢＡＳ	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

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

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

表 4－4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

注記＊：SS400 相当

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

注記＊：SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

動力変圧器の電気的機能維持評価について，以下に示す。

動力変圧器はＪＥＡＧ４６０１-1987 において「装置」に分類され，機能維持評価は構造健全性を確認することとされている。したがって，動力変圧器の機能維持評価は，支持構造物が健全であることの確認により行う。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

動力変圧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，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は(1)構造強度評価結果による。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

動力変圧器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は(1)構造強度評価結果による。

【動力変圧器 2C の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
動力変圧器 2C	S	原子炉建物 EL 23.8*1	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝1.19*2	C_V＝1.10*2	C_H＝1.73*3	C_V＝2.07*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	900	24 (M24)	452.4	18	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	630	770	4	215	258	短辺方向	短辺方向
	1120	1380	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=49$	$f_{ts2}=161^{*}$	$\sigma_{b2}=102$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=23$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

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

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
動力変圧器 2C	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 23.8*1	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.73*2	C_V＝2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	900	24 (M24)	452.4	18	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	630	770	4	—	258	—	短辺方向
	1120	1380	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

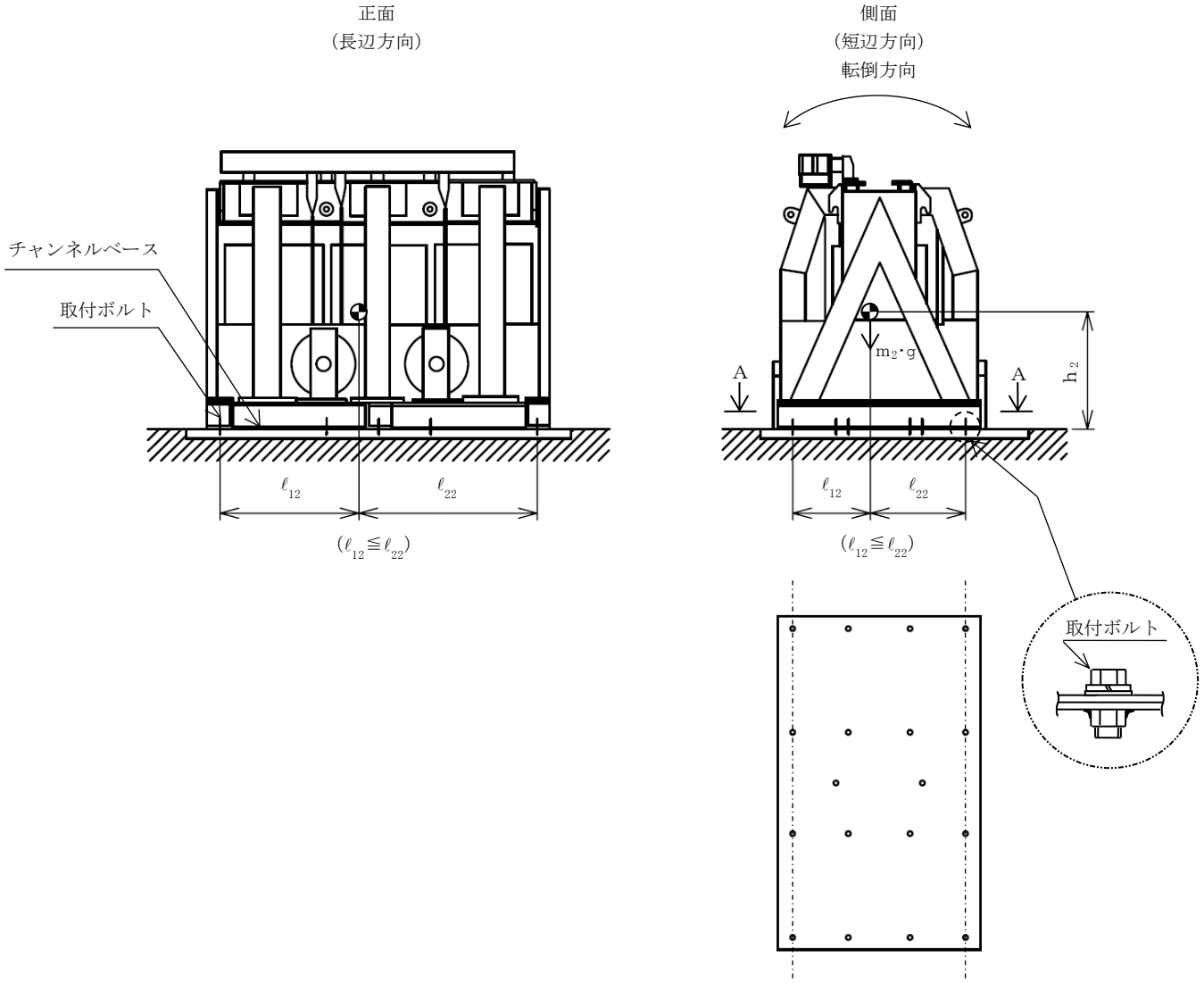
2.4　結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	σ_{b2}＝102	f_{ts2}＝193*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝23	f_{sb2}＝148

すべて許容応力以下である。

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


正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【動力変圧器 2D の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
動力変圧器 2D	S	原子炉建物 EL 23.8*1	[redacted]	[redacted]	C_H＝1.19*2	C_V＝1.10*2	C_H＝1.73*3	C_V＝2.07*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	900	24 (M24)	452.4	18	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	630	770	4	215	258	短辺方向	短辺方向
	1120	1380	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=49$	$f_{ts2}=161^{*}$	$\sigma_{b2}=102$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=16$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=23$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

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

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
動力変圧器 2D	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 23.8*1	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H＝1.73*2	C_V＝2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	900	24 (M24)	452.4	18	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	630	770	4	—	258	—	短辺方向
	1120	1380	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

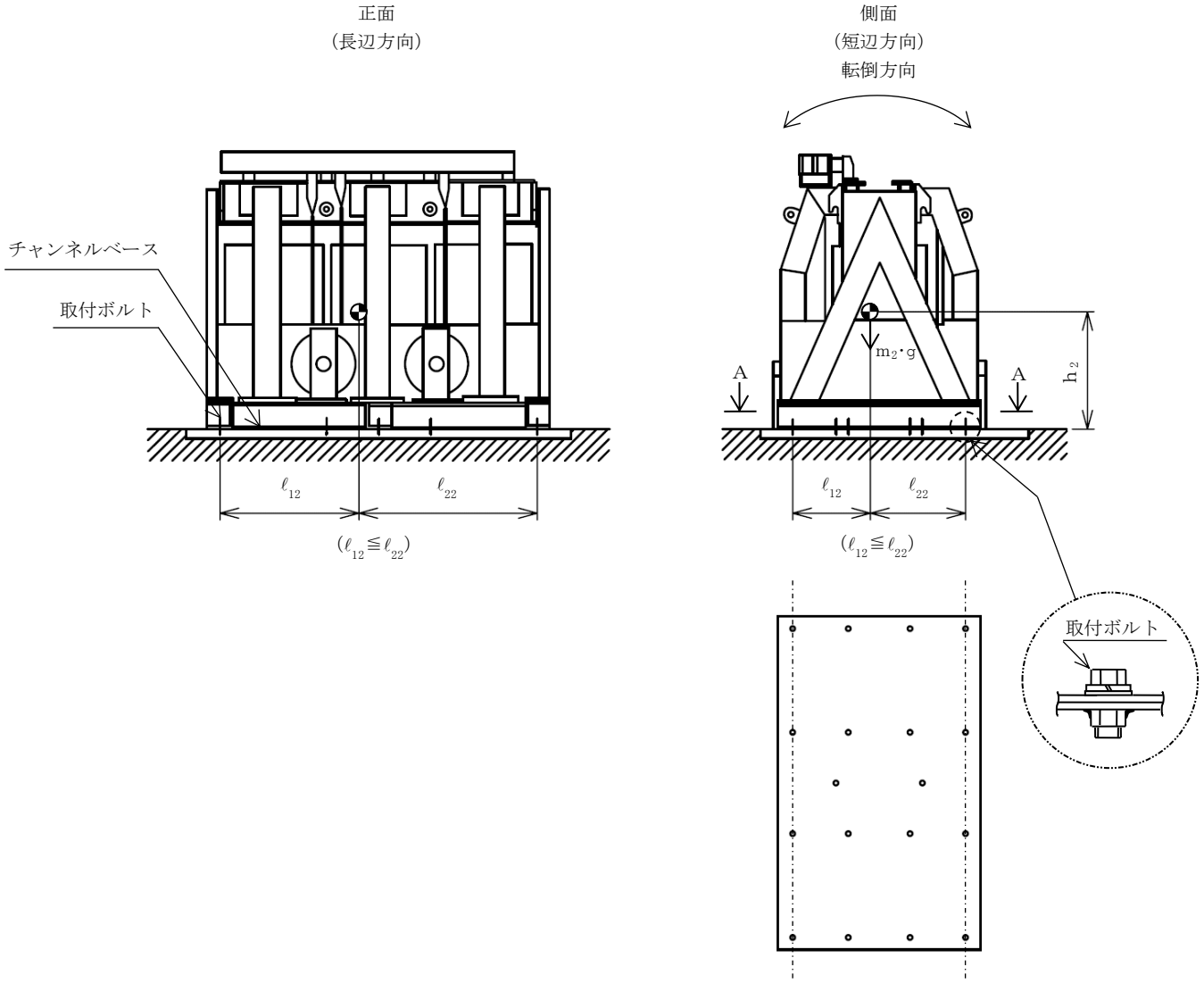
2.4　結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	σ_{b2}＝102	f_{ts2}＝193*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝23	f_{sb2}＝148

すべて許容応力以下である。

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


正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

【動力変圧器 HPCS 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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
動力変圧器 HPCS	S	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.78*2	C_V＝0.54*2	C_H＝1.56*3	C_V＝1.16*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	710	24 (M24)	452.4	16	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	630	770	4	215	258	短辺方向	短辺方向
	850	1050	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=161^{*}$	$\sigma_{b2}=23$	$f_{ts2}=193^{*}$
		せん断	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=124$	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=148$

すべて許容応力以下である。

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

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
動力変圧器 HPCS	常設／防止 (ＤＢ拡張)	原子炉建物 EL 2.8 (EL 8.8*1)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.56*2	C_V＝1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	710	24 (M24)	452.4	16	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	630	770	4	—	258	—	短辺方向
	850	1050	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

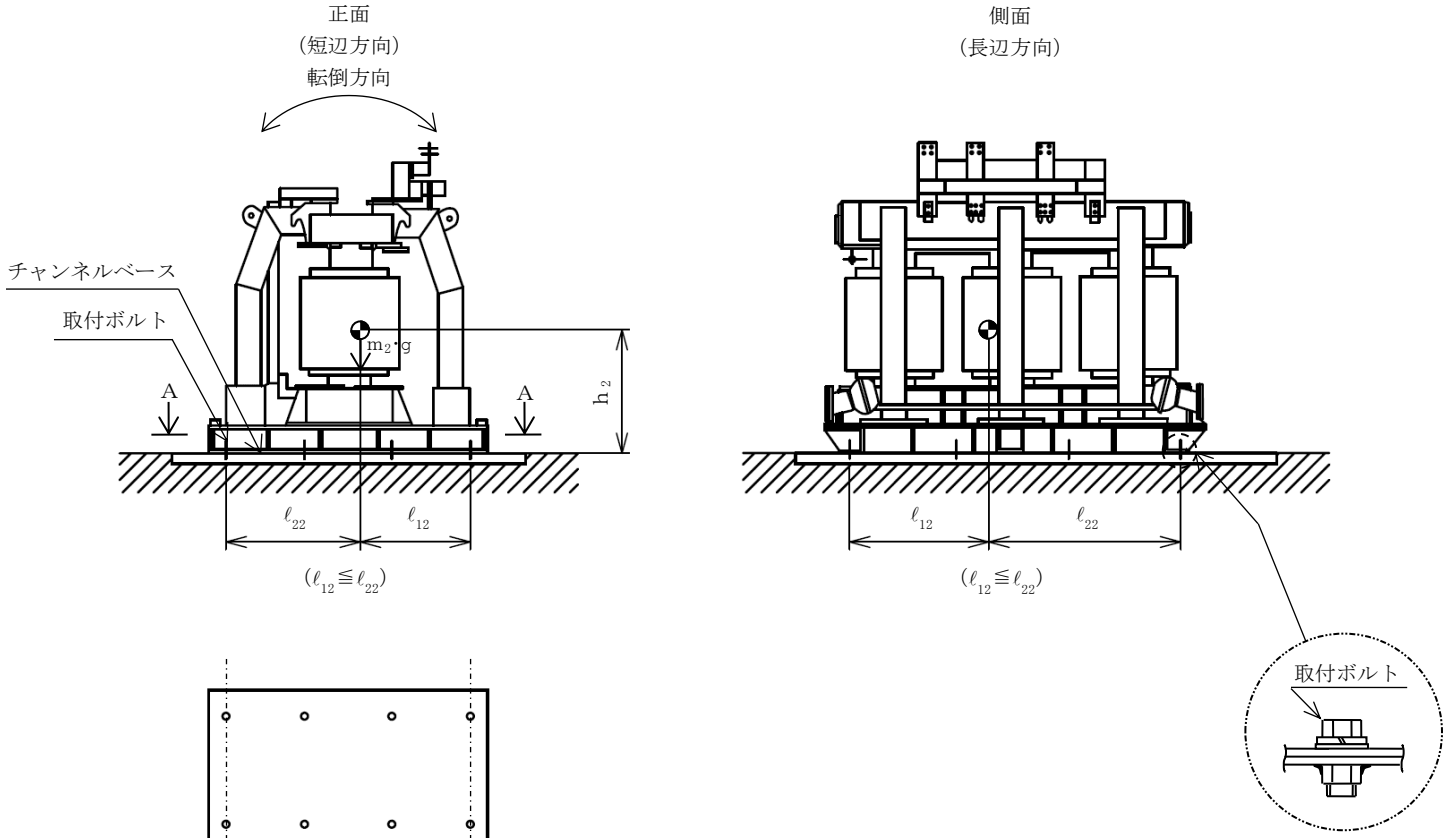
2.4　結論

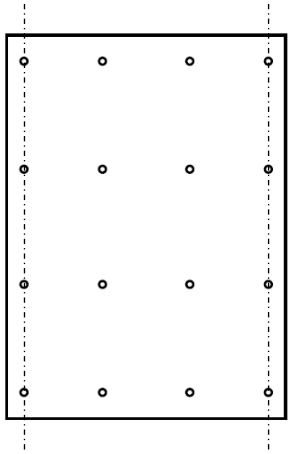
2.4.1　ボルトの応力　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	―	―	σ_{b2}＝23	f_{ts2}＝193*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝11	f_{sb2}＝148

すべて許容応力以下である。

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


正面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
A
A
h_2
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
側面
（長辺方向）
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト



A～A矢視図

Ⅵ-2-10-1-4-11　緊急用メタクラ接続プラグ盤の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
2.2　評価方針 …… 3
2.3　適用規格・基準等 …… 4
2.4　記号の説明 …… 5
2.5　計算精度と数値の丸め方 …… 7
3.　評価部位 …… 8
4.　固有周期 …… 8
4.1　基本方針 …… 8
4.2　固有周期の確認方法 …… 8
4.3　固有周期の確認結果 …… 8
5.　構造強度評価 …… 9
5.1　構造強度評価方法 …… 9
5.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 9
5.3　設計用地震力 …… 13
5.4　計算方法 …… 14
5.5　計算条件 …… 18
5.6　応力の評価 …… 19
6.　機能維持評価 …… 20
6.1　電気的機能維持評価方法 …… 20
7.　評価結果 …… 21
7.1　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及び機能維持の設計方針に基づき，緊急用メタクラ接続プラグ盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

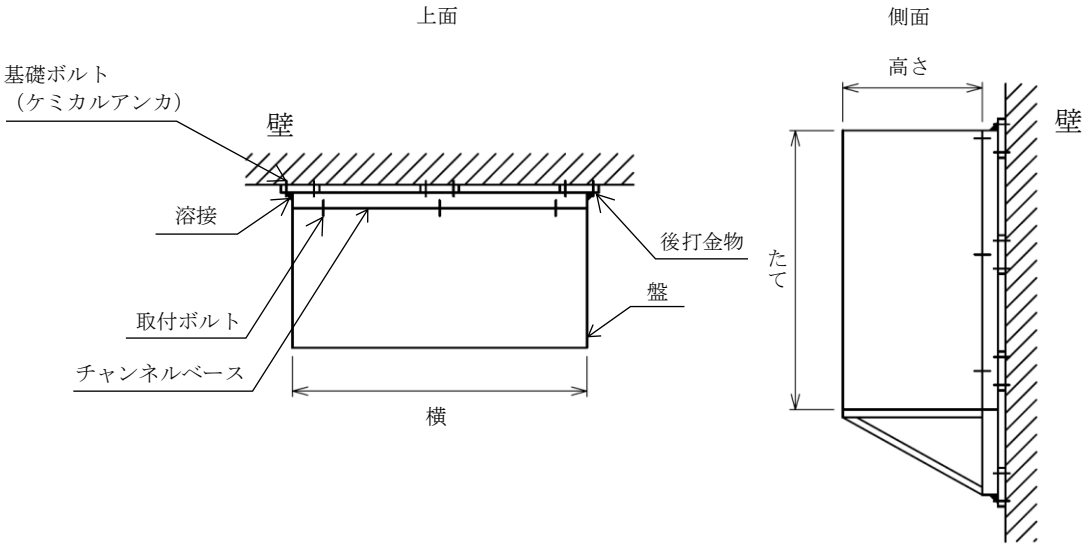
緊急用メタクラ接続プラグ盤は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急用メタクラ接続プラグ盤の構造計画を表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	
緊急用メタクラ接続プラグ盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて後打金物に固定され、後打金物は基礎ボルトにて壁に設置する。	壁掛形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）	

機器名称	２号緊急用M／C接続プラグ盤 (H21-P2944)	予備緊急用M／C接続プラグ盤 (H21-P0944)
たて	1800	1800
横	1900	1900
高さ	900	900

（単位：mm）

2.2　評価方針

緊急用メタクラ接続プラグ盤の応力評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す緊急用メタクラ接続プラグ盤の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，緊急用メタクラ接続プラグ盤の機能維持評価は，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

緊急用メタクラ接続プラグ盤の耐震評価フローを図2－1に示す。

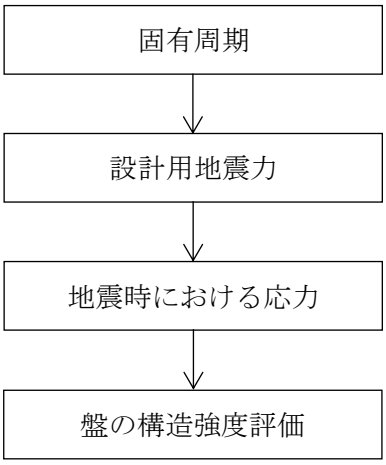


図2－1　緊急用メタクラ接続プラグ盤の耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）*1	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）*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（許容組合せ応力）*1	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離*2	mm
ℓ_{1i}	重心と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	盤の質量*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（側面方向）（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（正面方向）（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

記号	記号の説明	単位
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
P_K	風荷重	N
P_S	積雪荷重	N

注記＊1：A_{bi}，d_i，F_i，F_i^*，F_{bi}，F_{b1i}，F_{b2i}，f_{sbi}，f_{toi}，f_{tsi}，ℓ_{1i}，ℓ_{2i}，ℓ_{3i}，n_i，n_{fVi}，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：据付面

i＝2：取付面

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

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

3. 評価部位

緊急用メタクラ接続プラグ盤の耐震評価は，「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。

緊急用メタクラ接続プラグ盤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

緊急用メタクラ接続プラグ盤の固有周期は，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，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，固有周期を確認する。緊急用メタクラ接続プラグ盤の外形図を表 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，剛構造であることを確認した。

表 4－1 固有周期 （単位：s）

2 号緊急用M／C 接続プラグ盤 (H21-P2944)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
予備緊急用M／C 接続プラグ盤 (H21-P0944)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。

(2) 地震力は盤に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3) 盤は取付ボルトでチャンネルベースに固定されており，固定端とする。

(4) チャンネルベースは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。

(5) 転倒方向は，正面方向及び側面方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(6) 盤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。

(7) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急用メタクラ接続プラグ盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5－1 に示す。

5.2.2 許容応力

緊急用メタクラ接続プラグ盤の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5－2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急用メタクラ接続プラグ盤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。

5.2.4 風荷重

風荷重は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，風速 30m/s を使用し，緊急用メタクラ接続プラグ盤の形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 5－4 に示す。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し，緊急用メタクラ接続プラグ盤の形状を踏まえ，算出する。算出した積雪荷重を表 5－5 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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	緊急用メタクラ接続プラグ盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_K+P_S$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$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：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表5－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	40	205	520	―
取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

表5－4　基準速度圧　（単位：N/m^2）

作用する部位	基準速度圧
２号緊急用M／C 接続プラグ盤 (H21-P2944)	645.0
予備緊急用M／C 接続プラグ盤 (H21-P0944)	645.0

表5－5　積雪荷重　（単位：N）

作用する部位	積雪荷重
２号緊急用M／C 接続プラグ盤 (H21-P2944)	3.922×10^3
予備緊急用M／C 接続プラグ盤 (H21-P0944)	3.922×10^3

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5－6に示す。

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

表5－6　設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
		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
２号緊急用M／C接続プラグ盤 (H21-P2944)	ガスタービン建物 EL 47.5 (EL 54.5*1)	[redacted]	[redacted]	―	―	C_H＝2.57*2	C_V＝1.23*2
予備緊急用M／C接続プラグ盤 (H21-P0944)	ガスタービン建物 EL 47.5 (EL 54.5*1)	[redacted]	[redacted]	―	―	C_H＝2.57*2	C_V＝1.23*2

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

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。

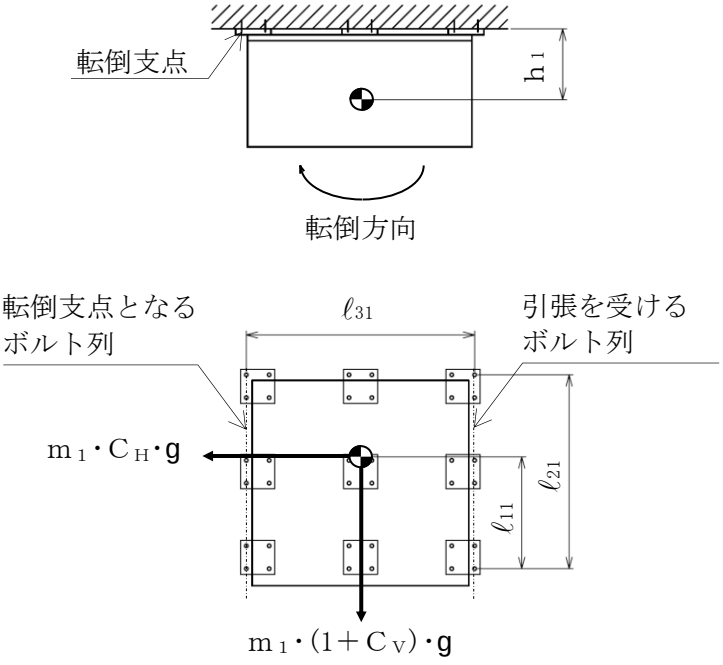


図 5－1　計算モデル（正面方向転倒）

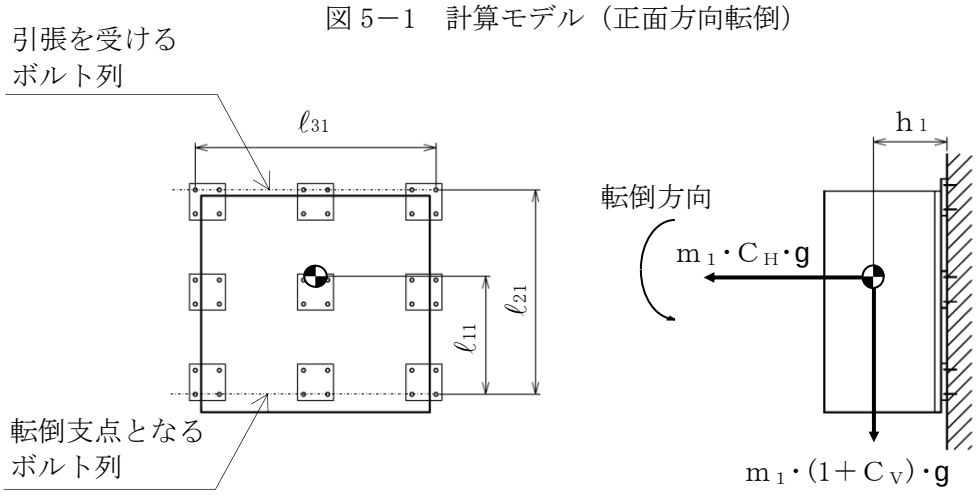


図 5－2　計算モデル（側面方向転倒）

(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

$$F_{b11}=\frac{(m_1\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h_1}{n_{fV1}\cdot \ell_{21}}+\frac{(m_1\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot h_1+P_K\cdot h_1}{n_{fH1}\cdot \ell_{31}}\cdots (5.4.1.1.1)$$

$$F_{b21}=\frac{(m_1\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h_1}{n_{fV1}\cdot \ell_{21}}+\frac{(m_1\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot \ell_{11}}{n_{fV1}\cdot \ell_{21}}\cdots (5.4.1.1.2)$$

$$F_{b1}=\mathrm{Max}(F_{b11},\ F_{b21}) \cdots (5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b1}=\frac{F_{b1}}{A_{b1}} \cdots (5.4.1.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_{b1}は次式により求める。

$$A_{b1}=\frac{\pi}{4}\cdot d_1{}^2 \cdots (5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b11}=C_H\cdot(m_1\cdot g+0.35\cdot P_S)+P_K \cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b21}=(1+C_V)\cdot(m_1\cdot g+0.35\cdot P_S) \cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_{b1}=\sqrt{(Q_{b11})^2+(Q_{b21})^2} \cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b1}=\frac{Q_{b1}}{n_1\cdot A_{b1}} \cdots (5.4.1.1.9)$$

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。

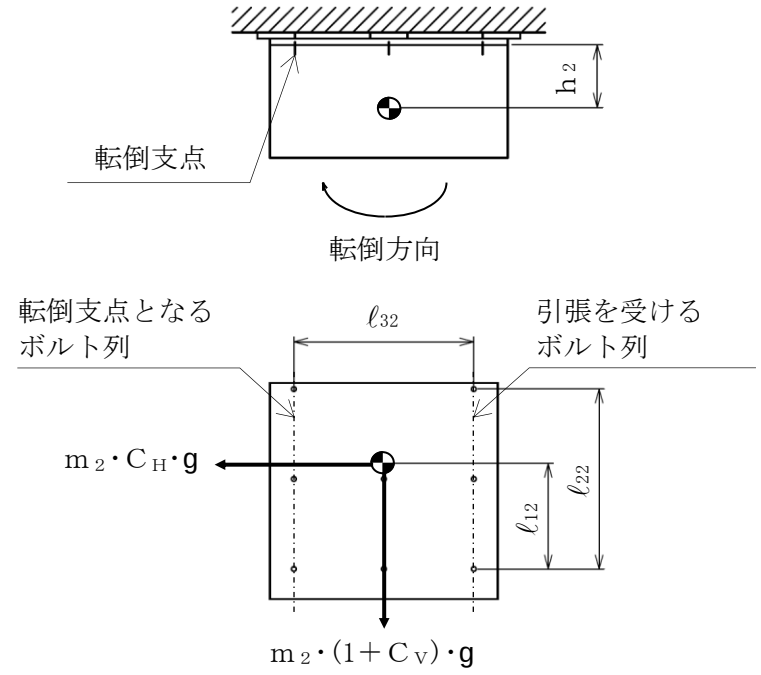


図 5－3　計算モデル（正面方向転倒）

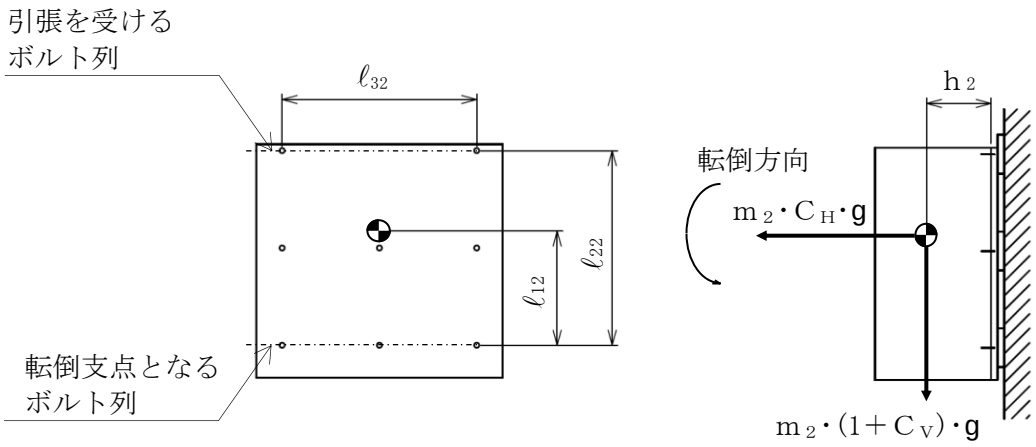


図 5－4　計算モデル（側面方向転倒）

(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

$$F_{b12}=\frac{(m_2\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV2}\cdot \ell_{22}}+\frac{(m_2\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot h_2+P_K\cdot h_2}{n_{fH2}\cdot \ell_{32}}\cdots (5.4.1.2.1)$$

$$F_{b22}=\frac{(m_2\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h_2}{n_{fV2}\cdot \ell_{22}}+\frac{(m_2\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot \ell_{12}}{n_{fV2}\cdot \ell_{22}}\cdots (5.4.1.2.2)$$

$$F_{b2}=\mathrm{Max}(F_{b12},\ F_{b22}) \cdots (5.4.1.2.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b2}=\frac{F_{b2}}{A_{b2}} \cdots (5.4.1.2.4)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積A_{b2}は次式により求める。

$$A_{b2}=\frac{\pi}{4}\cdot d_2{}^2 \cdots (5.4.1.2.5)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b12}=C_H\cdot(m_2\cdot g+0.35\cdot P_S)+P_K \cdots (5.4.1.2.6)$$

$$Q_{b22}=(1+C_V)\cdot(m_2\cdot g+0.35\cdot P_S) \cdots (5.4.1.2.7)$$

$$Q_{b2}=\sqrt{(Q_{b12})^2+(Q_{b22})^2} \cdots (5.4.1.2.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b2}=\frac{Q_{b2}}{n_2\cdot A_{b2}} \cdots (5.4.1.2.9)$$

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【２号緊急用Ｍ／Ｃ接続プラグ盤（H21-P2944）の耐震性についての計算結果】，【予備緊急用Ｍ／Ｃ接続プラグ盤（H21-P0944）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【２号緊急用Ｍ／Ｃ接続プラグ盤（H21-P2944）の耐震性についての計算結果】，【予備緊急用Ｍ／Ｃ接続プラグ盤（H21-P0944）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

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

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

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Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\dfrac{F_i^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\dfrac{F_i^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

緊急用メタクラ接続プラグ盤の電気的機能維持評価について，以下に示す。

緊急用メタクラ接続プラグ盤はケーブル及び剛体とみなせる器具のみを収納した盤であり，構造的に健全であればその機能が維持できる。したがって，緊急用メタクラ接続プラグ盤の機能維持評価は，支持構造物が健全であることの確認により行う。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急用メタクラ接続プラグ盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は(1)構造強度評価結果による。

【２号緊急用Ｍ／Ｃ接続プラグ盤（H21-P2944）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
２号緊急用Ｍ／Ｃ 接続プラグ盤 (H21-P2944)	常設耐震／防止 常設／緩和	ガスタービン建物 EL 47.5 (EL 54.5*1)	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=2.57*2	C_V=1.23*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	[redacted]	566	16 (M16)	201.1	47	205	520
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	500	16 (M16)	201.1	8	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	n_{fvi}	n_{fHi}	P_K (N)	P_S (N)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
										弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	1710	2410	1960	6	7	3.708×10^3	3.922×10^3	—	246	—	側面方向
取付ボルト (ｉ＝2)	880	1500	1500	2	3	3.708×10^3	3.922×10^3	—	280	—	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	[redacted]	―	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

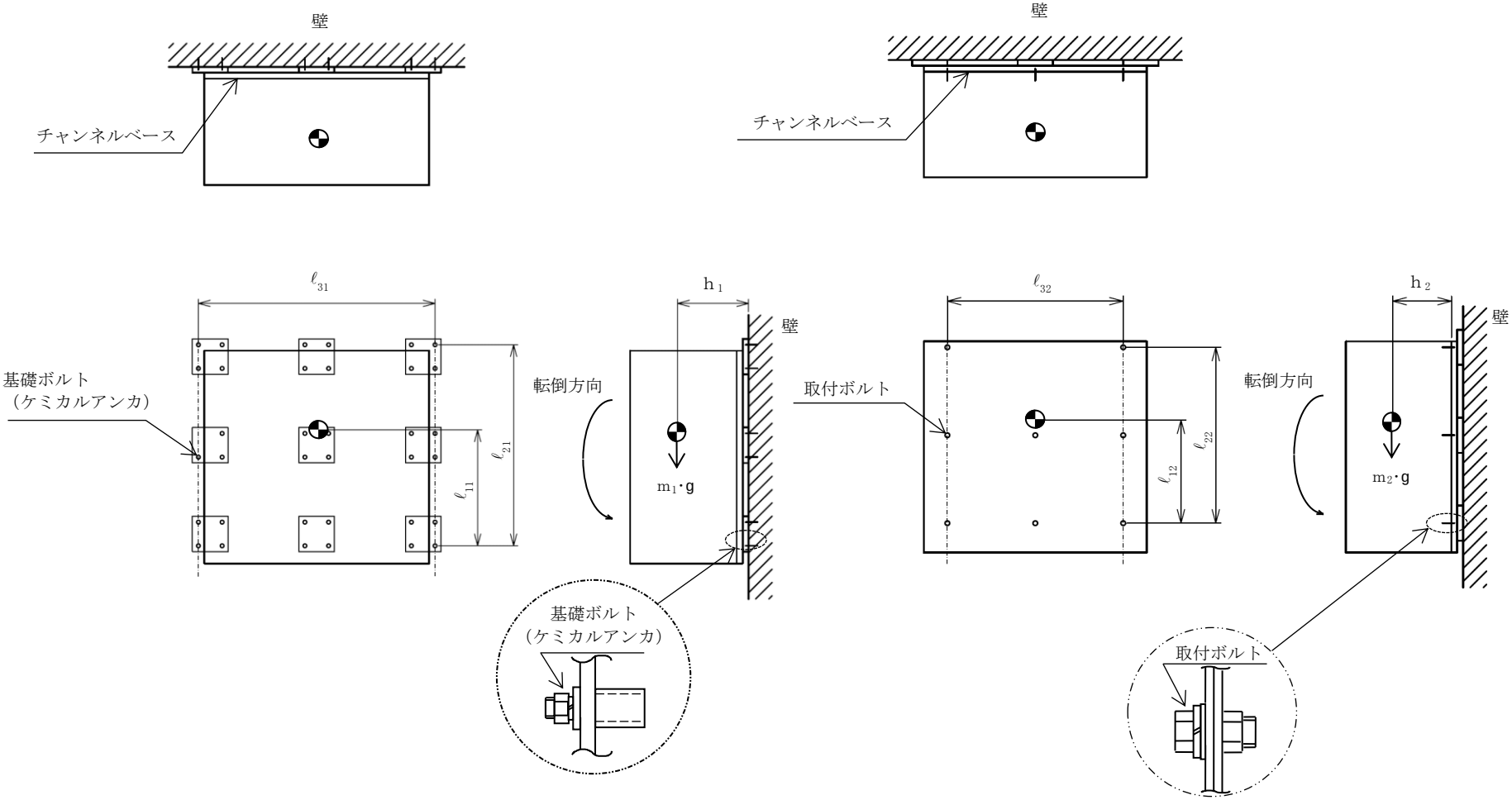
1.4　結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	―	―	$\sigma_{b1}=35$	$f_{ts1}=147^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=113$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=79$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=32$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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


壁
チャンネルベース
壁
チャンネルベース
ℓ_{31}
h_1
壁
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
転倒方向
ℓ_{21}
ℓ_{11}
$m_1 \cdot g$
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
ℓ_{32}
h_2
壁
取付ボルト
転倒方向
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$m_2 \cdot g$
取付ボルト

【予備緊急用Ｍ／Ｃ接続プラグ盤（H21-P0944）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
予備緊急用Ｍ／Ｃ接続プラグ盤 (H21-P0944)	常設耐震／防止常設／緩和	ガスタービン建物 EL 47.5 (EL 54.5*1)	□	□	—	—	C_H=2.57*2	C_V=1.23*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	□	566	16 (M16)	201.1	48	205	520
取付ボルト (ｉ＝2)	□	500	16 (M16)	201.1	8	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	n_{fvi}	n_{fHi}	P_K (N)	P_S (N)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
										弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	1710	2410	1960	6	8	3.708×10^3	3.922×10^3	—	246	—	側面方向
取付ボルト (ｉ＝2)	880	1500	1500	2	3	3.708×10^3	3.922×10^3	—	280	—	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—	[redacted]	—	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	—	[redacted]	—	[redacted]

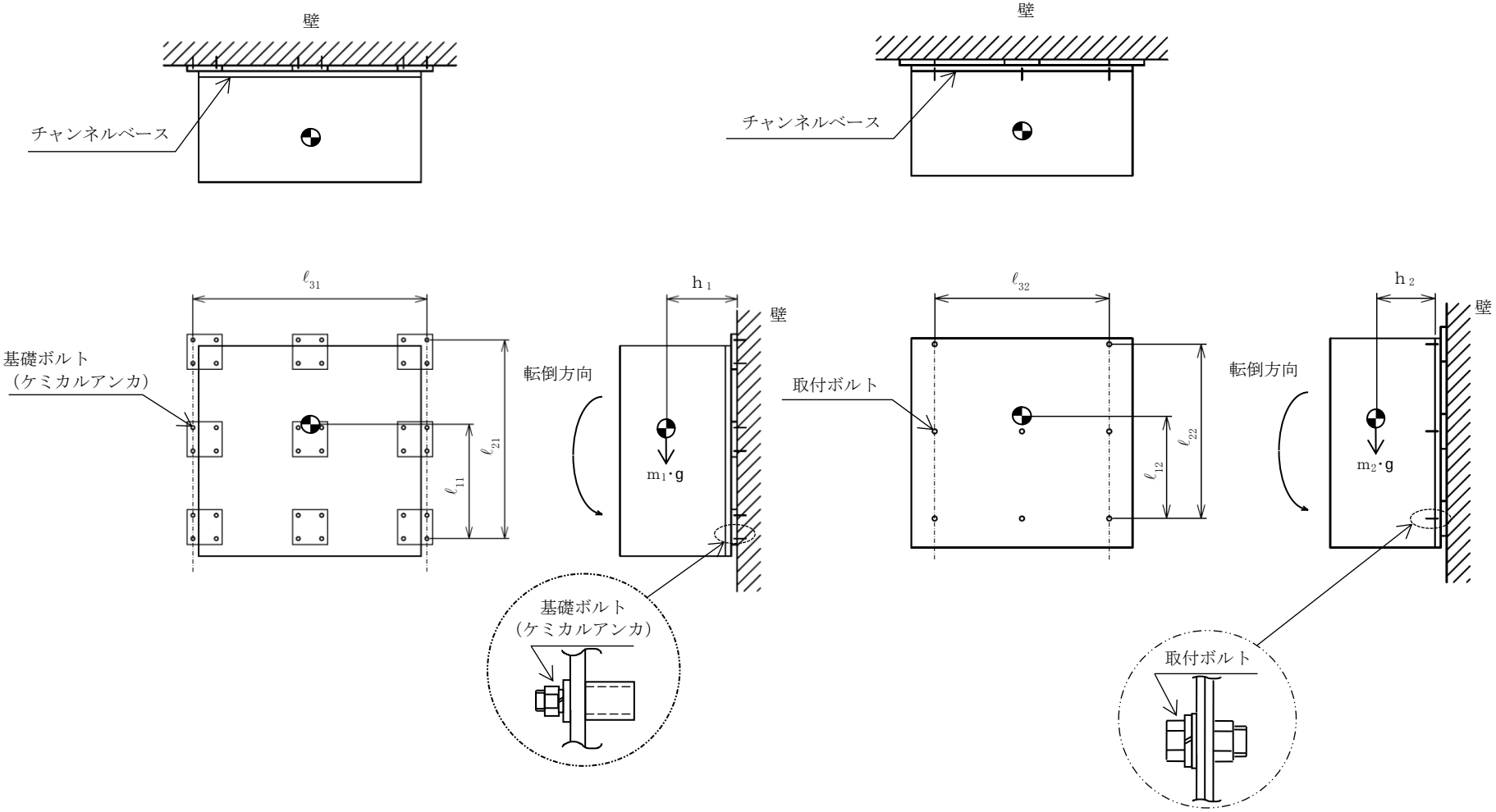
1.4　結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	—	—	$\sigma_{b1}=35$	$f_{ts1}=147^{*}$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=113$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=79$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=32$	$f_{sb2}=161$

すべて許容応力以下である。

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


壁
チャンネルベース
壁
チャンネルベース
ℓ_{31}
h_1
壁
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
転倒方向
ℓ_{21}
ℓ_{11}
$m_1 \cdot g$
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
ℓ_{32}
h_2
壁
取付ボルト
転倒方向
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$m_2 \cdot g$
取付ボルト

Ⅵ-2-10-1-4-15　高圧発電機車接続プラグ収納箱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
5.3　設計用地震力 …… 13
5.4　計算方法 …… 14
5.5　計算条件 …… 16
5.6　応力の評価 …… 17
6.　機能維持評価 …… 18
6.1　電気的機能維持評価方法 …… 18
7.　評価結果 …… 19
7.1　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 19

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，高圧発電機車接続プラグ収納箱が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

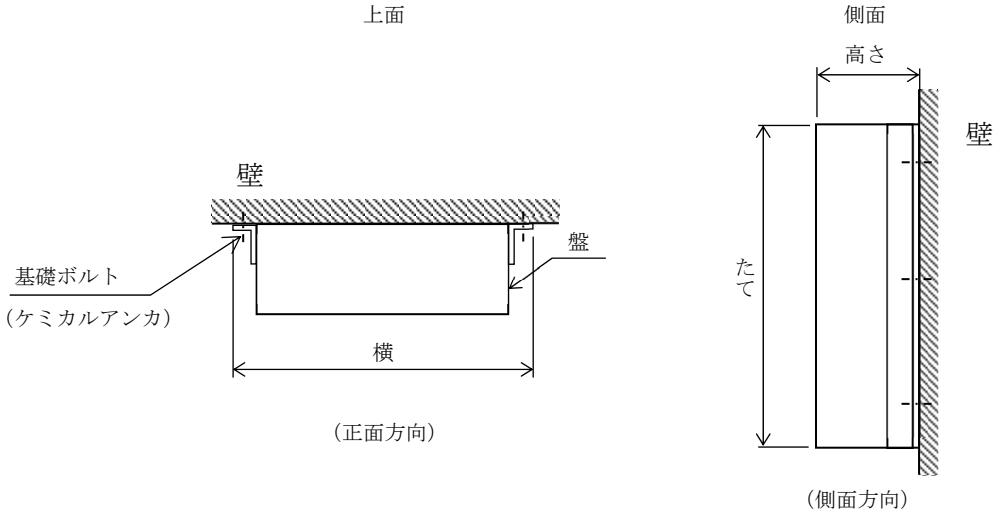
高圧発電機車接続プラグ収納箱は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧発電機車接続プラグ収納箱の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

<table>
<tr><th colspan="2">計画の概要</th><th rowspan="2">概略構造図</th></tr>
<tr><th>基礎・支持構造</th><th>主体構造</th></tr>
<tr><td>高圧発電機車接続プラグ収納箱は，基礎ボルトにて壁に設置する。</td><td>壁掛形
（鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）</td><td>【高圧発電機車接続プラグ収納箱】
 

<table>
<tr><th>機器名称</th><th>高圧発電機車
接続プラグ収納箱
（西側Ｃ系）
(2YIB-18)</th><th>高圧発電機車
接続プラグ収納箱
（西側Ｄ系）
(2YIB-19)</th><th>高圧発電機車
接続プラグ収納箱
（南側Ｃ系）
(2YIB-20)</th><th>高圧発電機車
接続プラグ収納箱
（南側Ｄ系）
(2YIB-21)</th></tr>
<tr><td>たて</td><td>1180</td><td>1180</td><td>1180</td><td>1180</td></tr>
<tr><td>横</td><td>850</td><td>850</td><td>850</td><td>850</td></tr>
<tr><td>高さ</td><td>300</td><td>300</td><td>300</td><td>300</td></tr>
</table>
（単位：mm）</td></tr>
</table>

2.2　評価方針

高圧発電機車接続プラグ収納箱の応力評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す高圧発電機車接続プラグ収納箱の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，高圧発電機車接続プラグ収納箱の機能維持評価は，「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。

高圧発電機車接続プラグ収納箱の耐震評価フローを図2－1に示す。

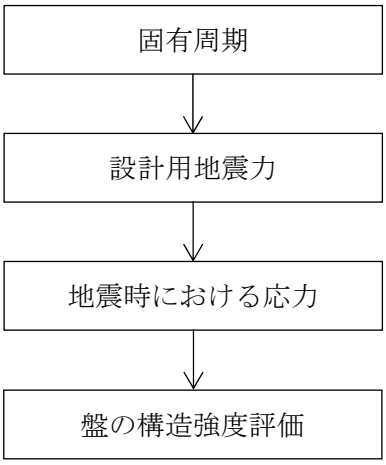


図2－1　高圧発電機車接続プラグ収納箱の耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_2	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_3	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）	mm
m	盤の質量	kg
n	ボルトの本数	―
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（側面方向）（壁掛形）	―
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（正面方向）（壁掛形）	―
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（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	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℃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
P_K	風荷重	N
P_S	積雪荷重	N

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

高圧発電機車接続プラグ収納箱の耐震評価は，「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。

高圧発電機車接続プラグ収納箱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

高圧発電機車接続プラグ収納箱の固有周期は，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，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，固有周期を確認する。高圧発電機車接続プラグ収納箱の外形図を表 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，剛構造であることを確認した。

表 4－1 固有周期 （単位：s）

高圧発電機車 接続プラグ収納箱 （西側Ｃ系） （2YIB-18）	水平	□
	鉛直	□
高圧発電機車 接続プラグ収納箱 （西側Ｄ系） （2YIB-19）	水平	□
	鉛直	□
高圧発電機車 接続プラグ収納箱 （南側Ｃ系） （2YIB-20）	水平	□
	鉛直	□
高圧発電機車 接続プラグ収納箱 （南側Ｄ系） （2YIB-21）	水平	□
	鉛直	□

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 盤の質量は重心に集中しているものとする。

(2) 地震力は盤に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3) 盤は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。

(4) 転倒方向は，正面方向及び側面方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(5) 盤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

高圧発電機車接続プラグ収納箱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

高圧発電機車接続プラグ収納箱の許容応力は，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

高圧発電機車接続プラグ収納箱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。

5.2.4 風荷重

風荷重は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，風速30m/sを使用し，高圧発電機車接続プラグ収納箱の形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表5－4に示す。

5.2.5 積雪荷重

積雪荷重は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し，高圧発電機車接続プラグ収納箱の形状を踏まえ，算出する。算出した積雪荷重を表5－5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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	高圧発電機車 接続プラグ収納箱	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_K+P_S$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$	V_AS（V_ASとしてIV_AS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：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400 (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

表 5－4　基準速度圧　　（単位：N/m^2）

作用する部位	基準速度圧
高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｃ系）（2YIB-18）	645.0
高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｄ系）（2YIB-19）	645.0
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｃ系）（2YIB-20）	645.0
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｄ系）（2YIB-21）	645.0

表 5－5　積雪荷重　　（単位：N）

作用する部位	積雪荷重
高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｃ系）（2YIB-18）	6.800×10^2
高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｄ系）（2YIB-19）	6.800×10^2
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｃ系）（2YIB-20）	6.800×10^2
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｄ系）（2YIB-21）	6.800×10^2

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5－6に示す。

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

表5－6　設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｃ系）(2YIB-18)	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□	—	—	C_H＝1.73*2	C_V＝2.07*2
高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｄ系）(2YIB-19)	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□				
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｃ系）(2YIB-20)	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□				
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｄ系）(2YIB-21)	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□				

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

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。

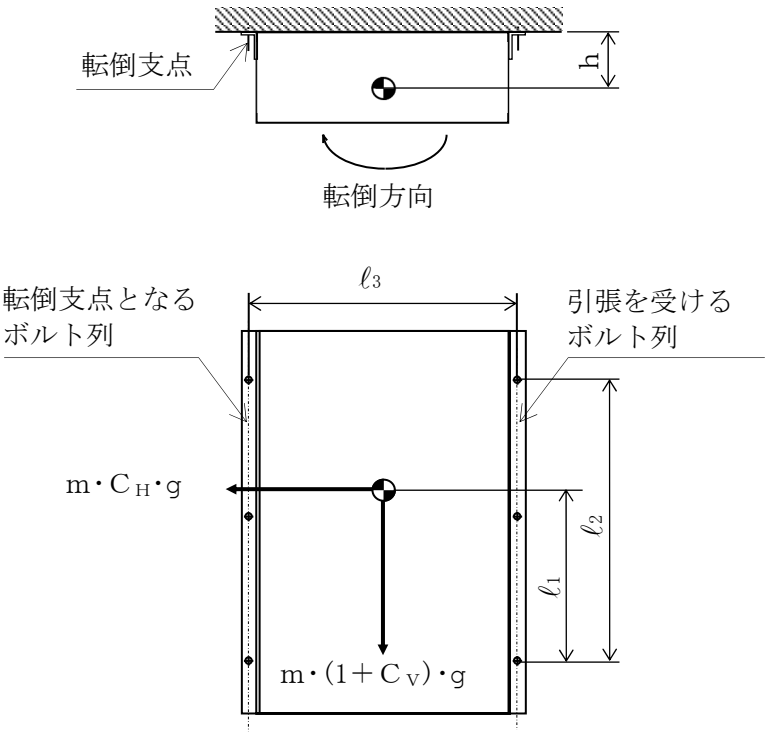


図 5－1　計算モデル（正面方向転倒）

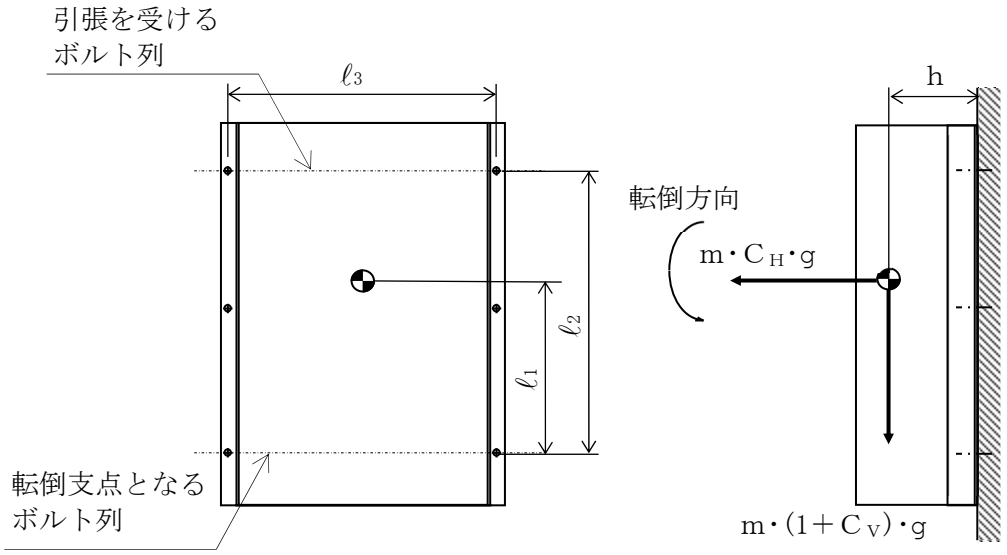


図 5－2　計算モデル（側面方向転倒）

(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

$$F_{b1}=\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h}{n_{fV}\cdot \ell_2}+\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot h+P_K\cdot h}{n_{fH}\cdot \ell_3}\cdots (5.4.1.1.1)$$

$$F_{b2}=\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h}{n_{fV}\cdot \ell_2}+\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot \ell_1}{n_{fV}\cdot \ell_2}\cdots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \cdots (5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots (5.4.1.1.4)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots (5.4.1.1.5)$$

(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

$$Q_{b1}=C_H\cdot(m\cdot g+0.35\cdot P_S)+P_K \cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2}=(1+C_V)\cdot(m\cdot g+0.35\cdot P_S) \cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots (5.4.1.1.9)$$

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【高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｃ系）（2YIB-18）の耐震性についての計算結果】，【高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｄ系）（2YIB-19）の耐震性についての計算結果】，【高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｃ系）（2YIB-20）の耐震性についての計算結果】，【高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｄ系）（2YIB-21）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

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

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

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Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\dfrac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

高圧発電機車接続プラグ収納箱の電気的機能維持評価について，以下に示す。

高圧発電機車接続プラグ収納箱はケーブルのみを収納した盤であり，構造的に健全であればその機能が維持できる。したがって，高圧発電機車接続プラグ収納箱の機能維持評価は，支持構造物が健全であることの確認により行う。

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧発電機車接続プラグ収納箱の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価は支持構造物が健全であることの確認により行うため，評価結果は(1)構造強度評価結果による。

【高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｃ系）（2YIB-18）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
高圧発電機車 接続プラグ収納箱 （西側Ｃ系） (2YIB-18)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□	—	—	C_H=1.73*2	C_V=2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

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	□	170	16 (M16)	201.1	6	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	n_{fV}	n_{fH}	P_K (N)	P_S (N)	F (MPa)	F * (MPa)	転倒方向	
										弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト	440	800	790	2	3	7.310×10^2	6.800×10^2	—	258	—	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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

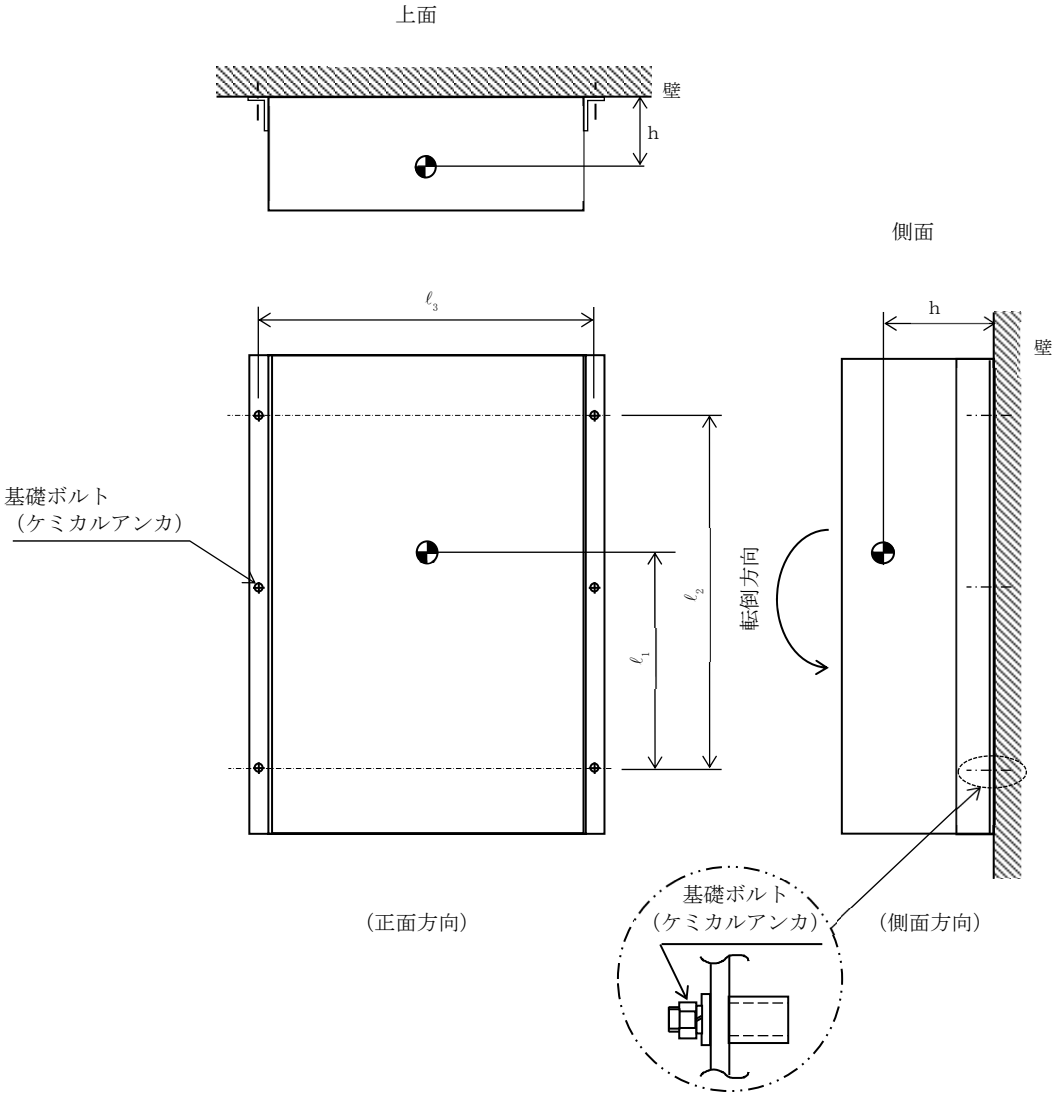
1.4　結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_b=11$	$f_{ts}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=9$	$f_{sb}=119$

すべて許容応力以下である。

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


上面
壁
h
側面
ℓ_3
h
壁
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
ℓ_2
ℓ_1
転倒方向
（正面方向）
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
（側面方向）

【高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｄ系）（2YIB-19）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
高圧発電機車接続プラグ収納箱（西側Ｄ系）（2YIB-19）	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□	—	—	C_H=1.73*2	C_V=2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

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	□	170	16 (M16)	201.1	6	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	n_{fV}	n_{fH}	P_K (N)	P_S (N)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
										弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	440	800	790	2	3	7.310×10^2	6.800×10^2	—	258	—	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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

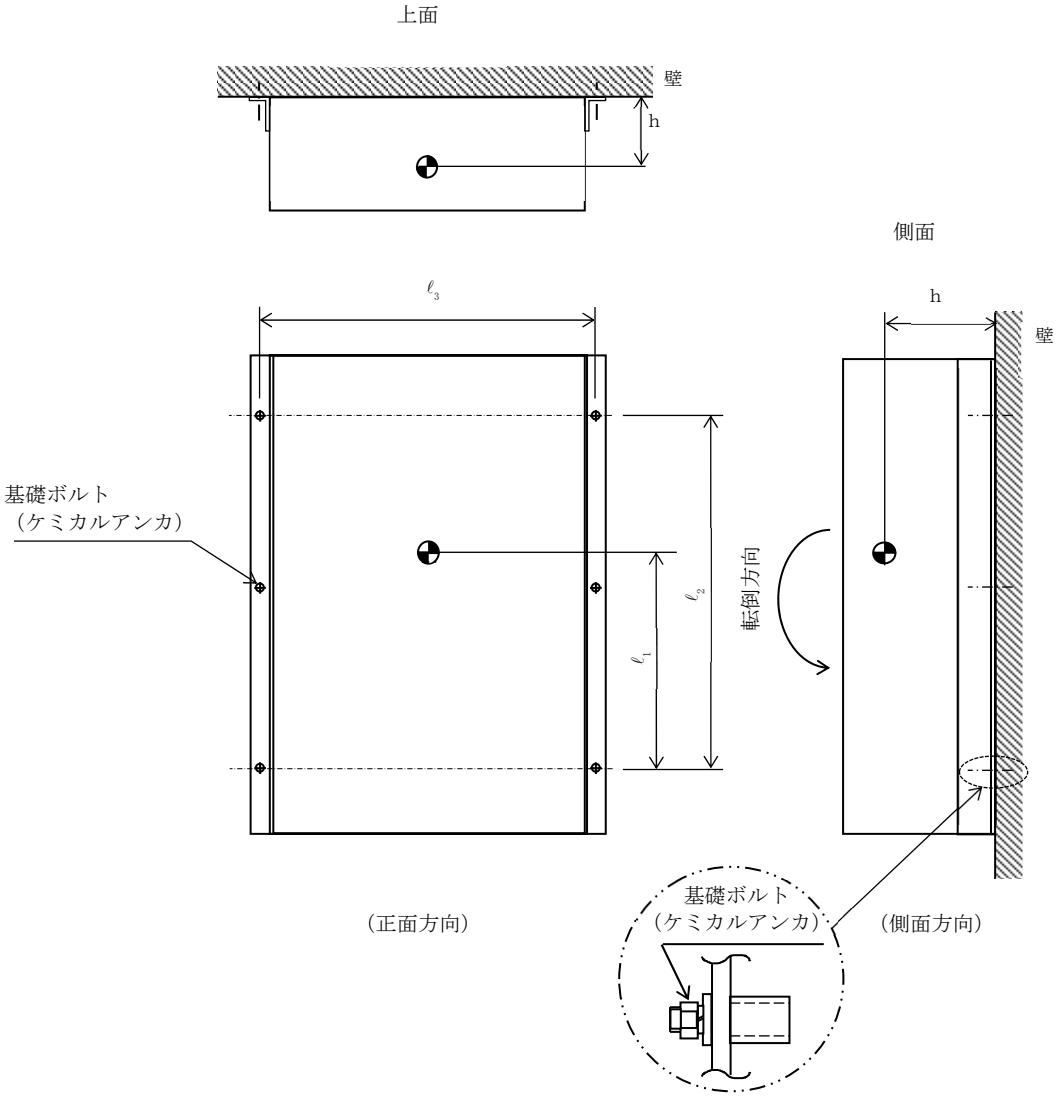
1.4 結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_b=11$	$f_{ts}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=9$	$f_{sb}=119$

すべて許容応力以下である。

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


上面
壁
h
側面
ℓ_3
h
壁
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
ℓ_2
ℓ_1
転倒方向
（正面方向）
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
（側面方向）

【高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｃ系）（2YIB-20）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｃ系）（2YIB-20）	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□	—	—	C_H＝1.73*2	C_V＝2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

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	□	170	16 (M16)	201.1	6	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	n_{fv}	n_{fH}	P_K (N)	P_S (N)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
										弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	440	800	790	2	3	7.310×10^2	6.800×10^2	—	258	—	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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

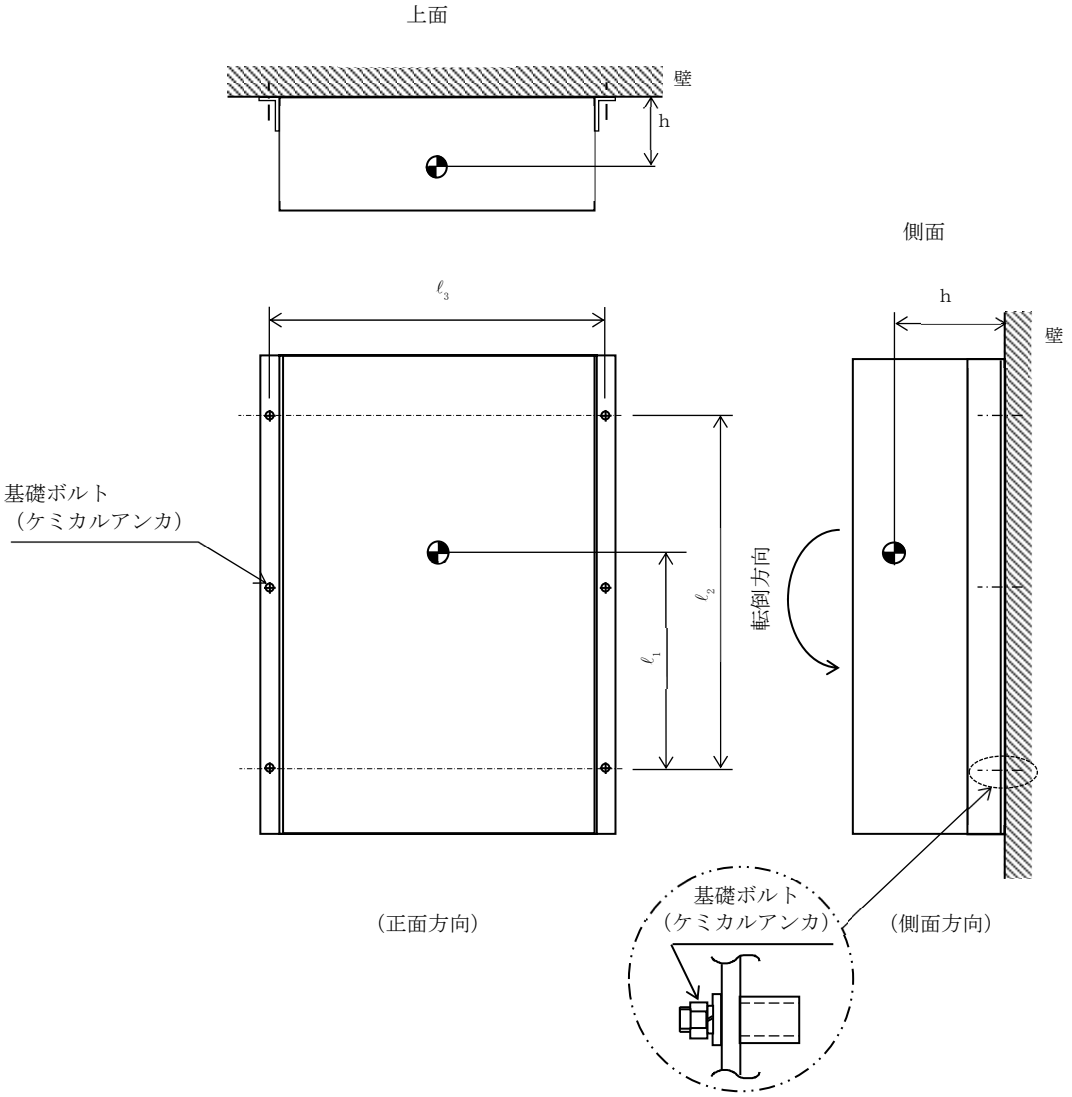
1.4 結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_b=11$	$f_{ts}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=9$	$f_{sb}=119$

すべて許容応力以下である。

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


上面
壁
h
側面
ℓ_3
h
壁
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
ℓ_2
ℓ_1
転倒方向
（正面方向）
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
（側面方向）

【高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｄ系）（2YIB-21）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
高圧発電機車接続プラグ収納箱（南側Ｄ系）（2YIB-21）	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建物 EL 15.3 (EL 23.8*1)	□	□	—	—	C_H＝1.73*2	C_V＝2.07*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

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	□	170	16 (M16)	201.1	6	215 (40mm＜径)	400

部材	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	n_{fV}	n_{fH}	P_K (N)	P_S (N)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
										弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	440	800	790	2	3	7.310×10^2	6.800×10^2	—	258	—	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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	—	[redacted]	—	[redacted]

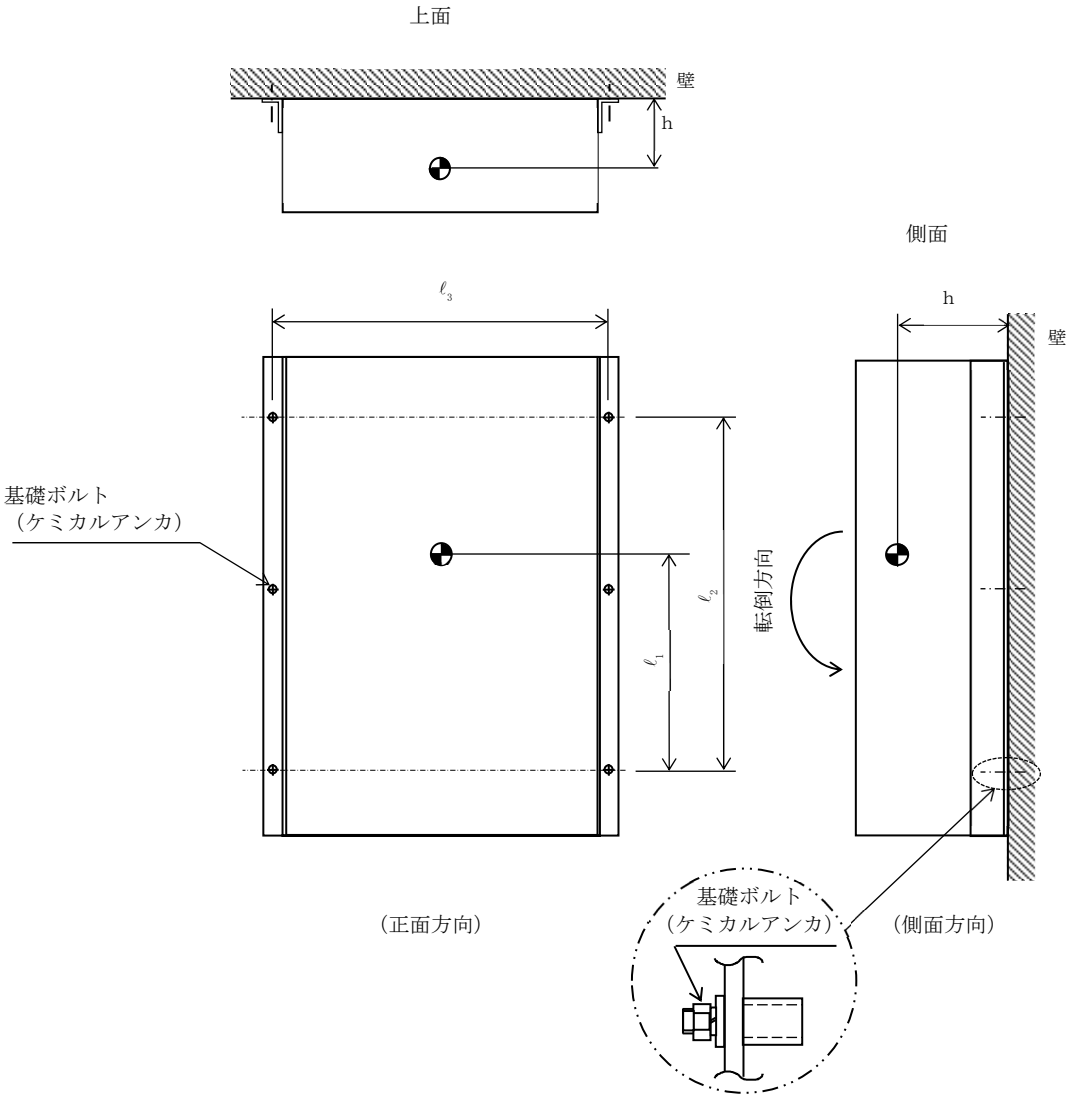
1.4 結論

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	—	—	$\sigma_b=11$	$f_{ts}=154^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=9$	$f_{sb}=119$

すべて許容応力以下である。

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


上面
壁
h
側面
ℓ_3
h
壁
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
ℓ_2
ℓ_1
転倒方向
（正面方向）
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
（側面方向）

Ⅵ-2-10-1-4-16　SA 電源切替盤の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，SA 電源切替盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

SA 電源切替盤は，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電気的機能維持評価を示す。

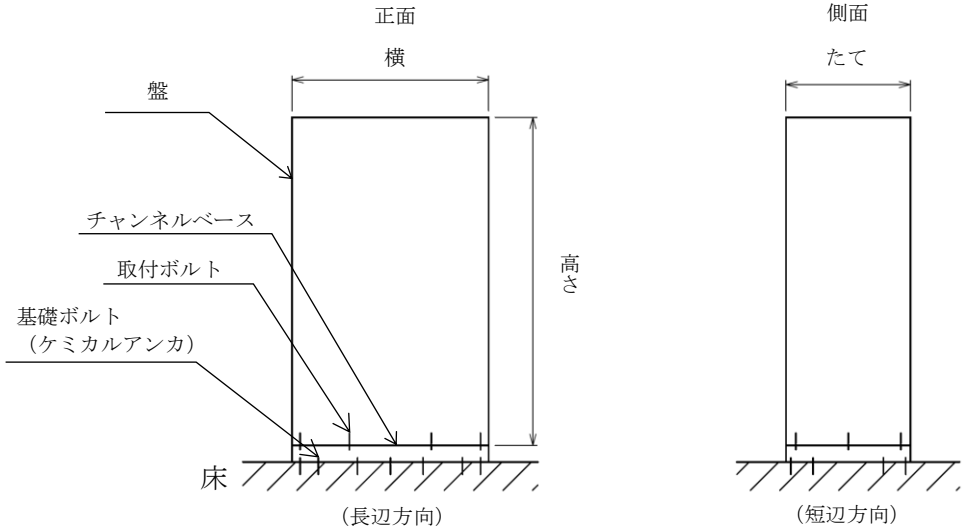
なお，SA 電源切替盤は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

SA 電源切替盤の構造計画を表 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	
SA 電源切替盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【SA 電源切替盤】 

機器名称	A-SA 電源切替盤 (2-1112)	B-SA 電源切替盤 (2-1113)
たて	800	800
横	1200	1200
高さ	2000	2000

（単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

SA 電源切替盤の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

A-SA 電源切替盤 (2-1112)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
B-SA 電源切替盤 (2-1113)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

SA 電源切替盤の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

SA 電源切替盤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

SA 電源切替盤の許容応力は，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

SA 電源切替盤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【A-SA 電源切替盤（2-1112）の耐震性についての計算結果】，【B-SA 電源切替盤（2-1113）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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	SA 電源切替盤	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	SA 電源切替盤	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 4－3　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	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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 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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

SA 電源切替盤の電気的機能維持評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

SA 電源切替盤に設置される器具の機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，当該器具と類似の器具単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
A-SA 電源切替盤 (2-1112)	水平	□
	鉛直	□
B-SA 電源切替盤 (2-1113)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

SA 電源切替盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

SA 電源切替盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【A-SA 電源切替盤（2-1112）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
A-SA 電源切替盤 (2-1112)	S	原子炉建物 EL 34.8*1			C_H＝1.56*2	C_V＝1.31*2	C_H＝2.07*3	C_V＝2.39*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)		1420	16 (M16)	201.1	14	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト (ｉ＝2)		1320	16 (M16)	201.1	10	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	270	430	5	215	258	長辺方向	長辺方向
	490	610	2				
取付ボルト (ｉ＝2)	240	400	4	235	280	短辺方向	短辺方向
	490	610	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	σ_{b1}＝59	f_{ts1}＝129*	σ_{b1}＝93	f_{ts1}＝154*
		せん断	τ_{b1}＝6	f_{sb1}＝99	τ_{b1}＝8	f_{sb1}＝119
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	σ_{b2}＝42	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝63	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝8	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
A-SA 電源切替盤（2-1112）	水平方向	1.73	[redacted]
	鉛直方向	1.98	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
A-SA 電源切替盤 (2-1112)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 34.8*1	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H=2.07*2	C_V=2.39*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ=1)	[redacted]	1420	16 (M16)	201.1	14	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト (ｉ=2)	[redacted]	1320	16 (M16)	201.1	10	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ=1)	270	430	5	—	258	—	長辺方向
	490	610	2				
取付ボルト (ｉ=2)	240	400	4	—	280	—	短辺方向
	490	610	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	[redacted]	―	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	―	―	σ_{b1}＝93	f_{ts1}＝154*
		せん断	―	―	τ_{b1}＝8	f_{sb1}＝119
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	―	―	σ_{b2}＝63	f_{ts2}＝210*
		せん断	―	―	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝161

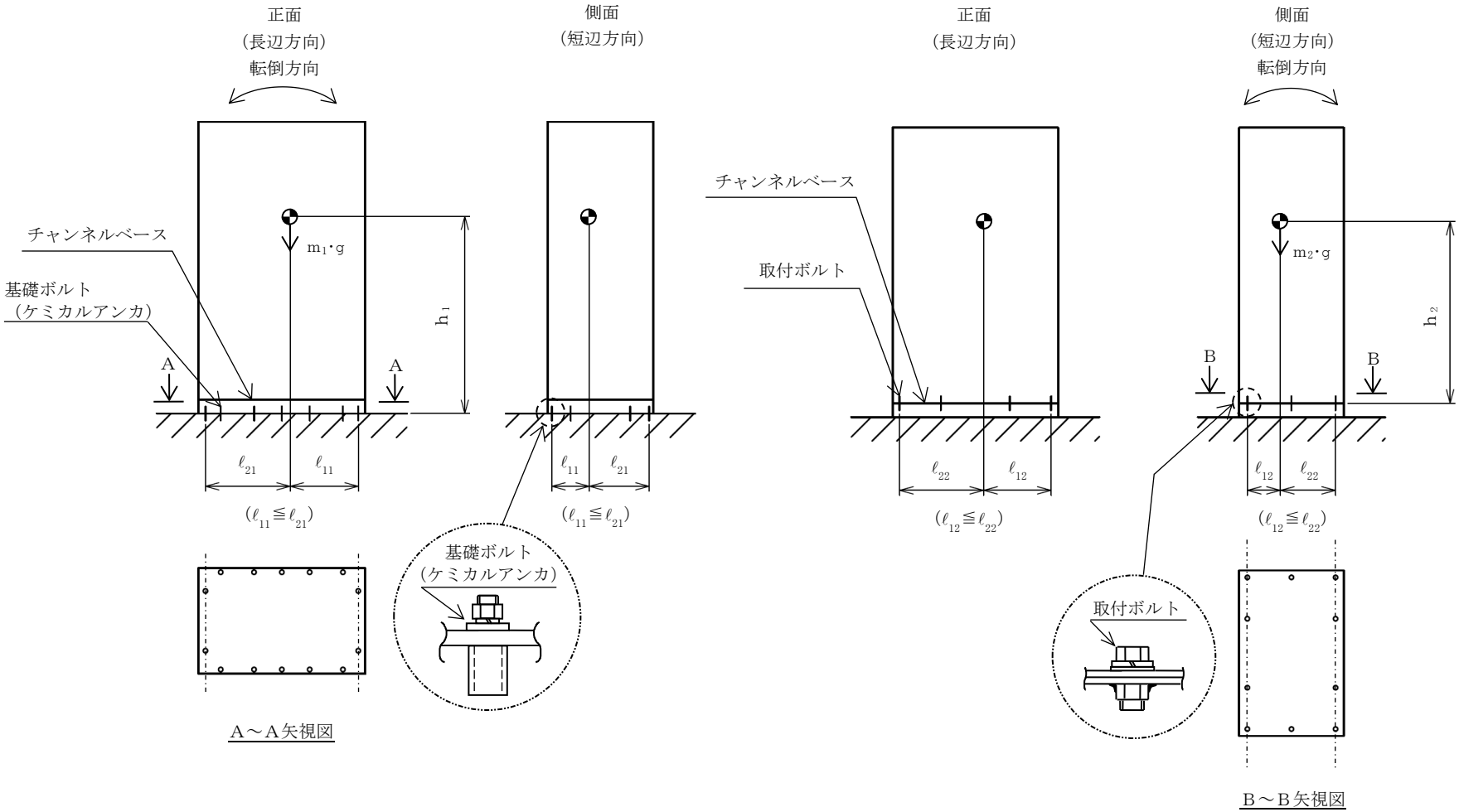
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
A-SA 電源切替盤（2-1112）	水平方向	1.73	[redacted]
	鉛直方向	1.98	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
側面
(短辺方向)
チャンネルベース
基礎ボルト
(ケミカルアンカ)
$m_1 \cdot g$
h_1
A
A
ℓ_{21}
ℓ_{11}
$(\ell_{11} \leqq \ell_{21})$
ℓ_{11}
ℓ_{21}
$(\ell_{11} \leqq \ell_{21})$
基礎ボルト
(ケミカルアンカ)
A～A矢視図
正面
(長辺方向)
側面
(短辺方向)
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
h_2
B
B
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト
B～B矢視図

【B-SA 電源切替盤（2-1113）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B-SA 電源切替盤 (2-1113)	S	原子炉建物 EL 34.8*1			C_H＝1.56*2	C_V＝1.31*2	C_H＝2.07*3	C_V＝2.39*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト （ｉ＝1）		1420	16 (M16)	201.1	14	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト （ｉ＝2）		1320	16 (M16)	201.1	10	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト （ｉ＝1）	270	430	5	215	258	長辺方向	長辺方向
	490	610	2				
取付ボルト （ｉ＝2）	240	400	4	235	280	短辺方向	短辺方向
	490	610	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	σ_{b1}＝59	f_{ts1}＝129*	σ_{b1}＝93	f_{ts1}＝154*
		せん断	τ_{b1}＝6	f_{sb1}＝99	τ_{b1}＝8	f_{sb1}＝119
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	σ_{b2}＝42	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝63	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝8	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
B-SA 電源切替盤（2-1113）	水平方向	1.73	[redacted]
	鉛直方向	1.98	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B-SA 電源切替盤 (2-1113)	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建物 EL 34.8*1	□	□	—	—	C_H＝2.07*2	C_V＝2.39*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	□	1420	16 (M16)	201.1	14	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1320	16 (M16)	201.1	10	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	270	430	5	—	258	—	長辺方向
	490	610	2				
取付ボルト (ｉ＝2)	240	400	4	—	280	—	短辺方向
	490	610	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—	[redacted]	—	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	—	—	σ_{b1}＝93	f_{ts1}＝154*
		せん断	—	—	τ_{b1}＝8	f_{sb1}＝119
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	—	—	σ_{b2}＝63	f_{ts2}＝210*
		せん断	—	—	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝161

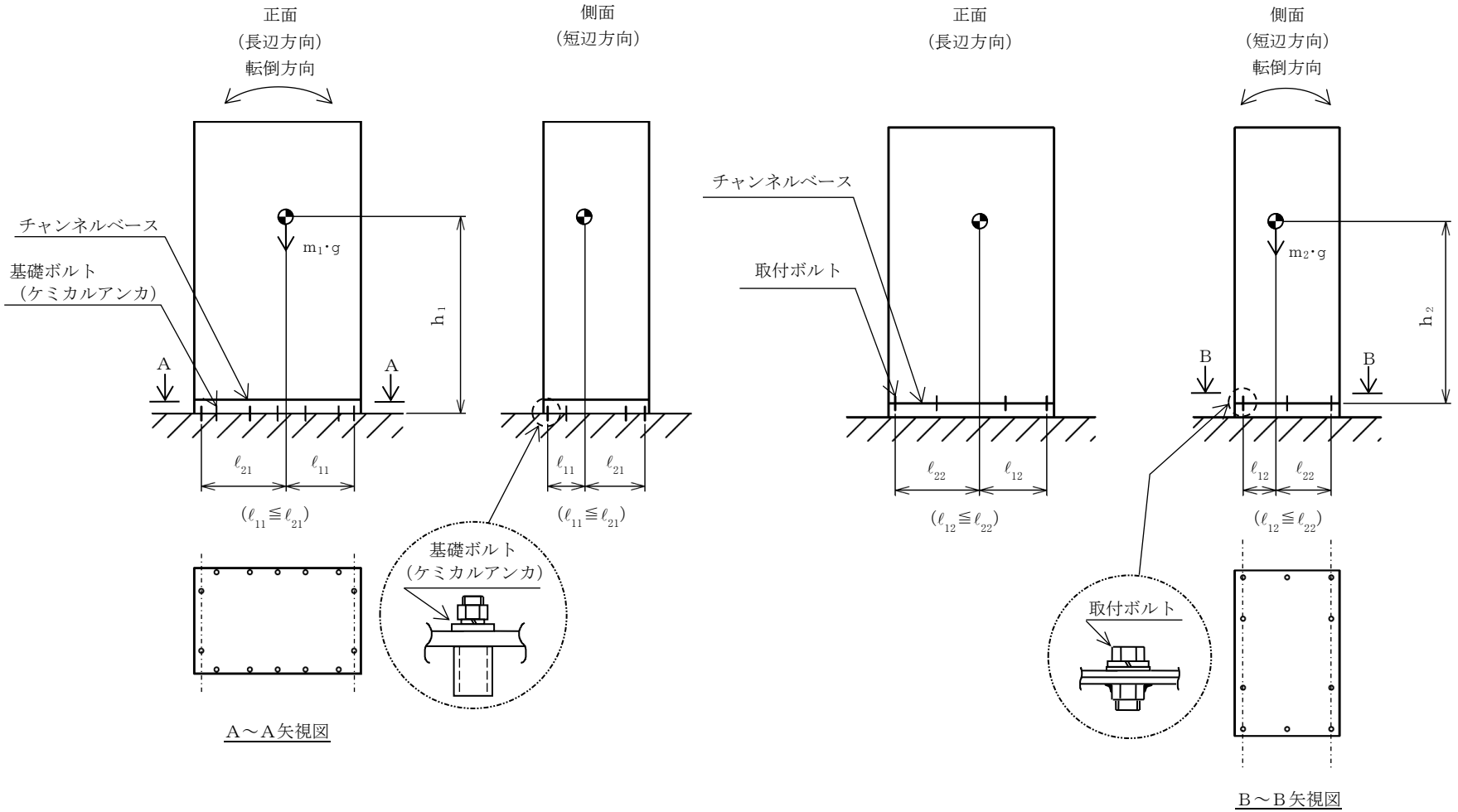
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
B-SA 電源切替盤（2-1113）	水平方向	1.73	[redacted]
	鉛直方向	1.98	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
側面
(短辺方向)
チャンネルベース
基礎ボルト
(ケミカルアンカ)
$m_1 \cdot g$
h_1
A
A
ℓ_{21}
ℓ_{11}
$(\ell_{11} \leqq \ell_{21})$
ℓ_{11}
ℓ_{21}
$(\ell_{11} \leqq \ell_{21})$
基礎ボルト
(ケミカルアンカ)
A～A矢視図
正面
(長辺方向)
側面
(短辺方向)
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
h_2
B
B
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト
B～B矢視図

Ⅵ-2-10-1-4-17　充電器電源切替盤の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，充電器電源切替盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

充電器電源切替盤は，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電気的機能維持評価を示す。

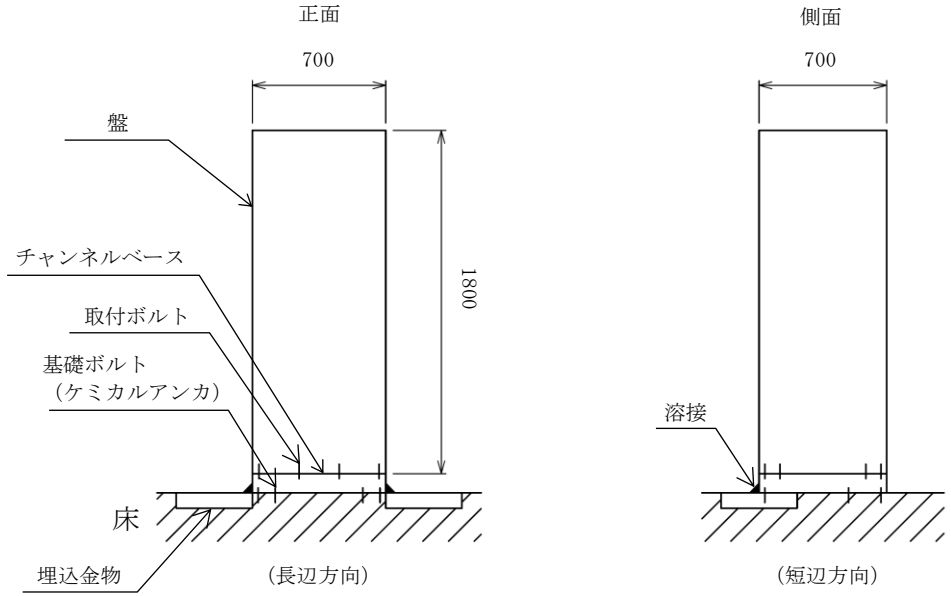
なお，充電器電源切替盤は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

充電器電源切替盤の構造計画を表 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	
充電器電源切替盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置するとともに，溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【充電器電源切替盤】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

充電器電源切替盤の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

充電器電源切替盤 (2-1248-1)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

充電器電源切替盤の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

充電器電源切替盤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

充電器電源切替盤の許容応力は，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

充電器電源切替盤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【充電器電源切替盤（2-1248-1）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	充電器電源切替盤	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	充電器電源切替盤	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 4－3　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	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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 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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

充電器電源切替盤の電気的機能維持評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

充電器電源切替盤に設置される器具の機能確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，当該器具と類似の器具単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1 機能確認済加速度 （×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
充電器電源切替盤 (2-1248-1)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

充電器電源切替盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

充電器電源切替盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【充電器電源切替盤（2-1248-1）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
充電器電源切替盤 (2-1248-1)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3*1	□	□	C_H＝1.01*2	C_V＝0.57*2	C_H＝1.79*3	C_V＝1.26*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	□	1090	16 (M16)	201.1	6	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト (ｉ＝2)	□	990	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	260	350	2	215	258	長辺方向	長辺方向
	285	355	1				
取付ボルト (ｉ＝2)	260	350	4	235	280	短辺方向	短辺方向
	280	350	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	σ_{b1}＝40	f_{ts1}＝129*	σ_{b1}＝84	f_{ts1}＝154*
		せん断	τ_{b1}＝5	f_{sb1}＝99	τ_{b1}＝8	f_{sb1}＝119
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	σ_{b2}＝9	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝19	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝2	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
充電器電源切替盤（2-1248-1）	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
充電器電源切替盤 (2-1248-1)	常設耐震／防止 常設／緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3*1	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H＝1.79*2	C_V＝1.26*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	[redacted]	1090	16 (M16)	201.1	6	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	990	16 (M16)	201.1	12	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	260	350	2	—	258	—	長辺方向
	285	355	1				
取付ボルト (ｉ＝2)	260	350	4	—	280	—	短辺方向
	280	350	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—	[redacted]	—	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	—	—	σ_{b1}＝84	f_{ts1}＝154*
		せん断	—	—	τ_{b1}＝8	f_{sb1}＝119
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	—	—	σ_{b2}＝19	f_{ts2}＝210*
		せん断	—	—	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝161

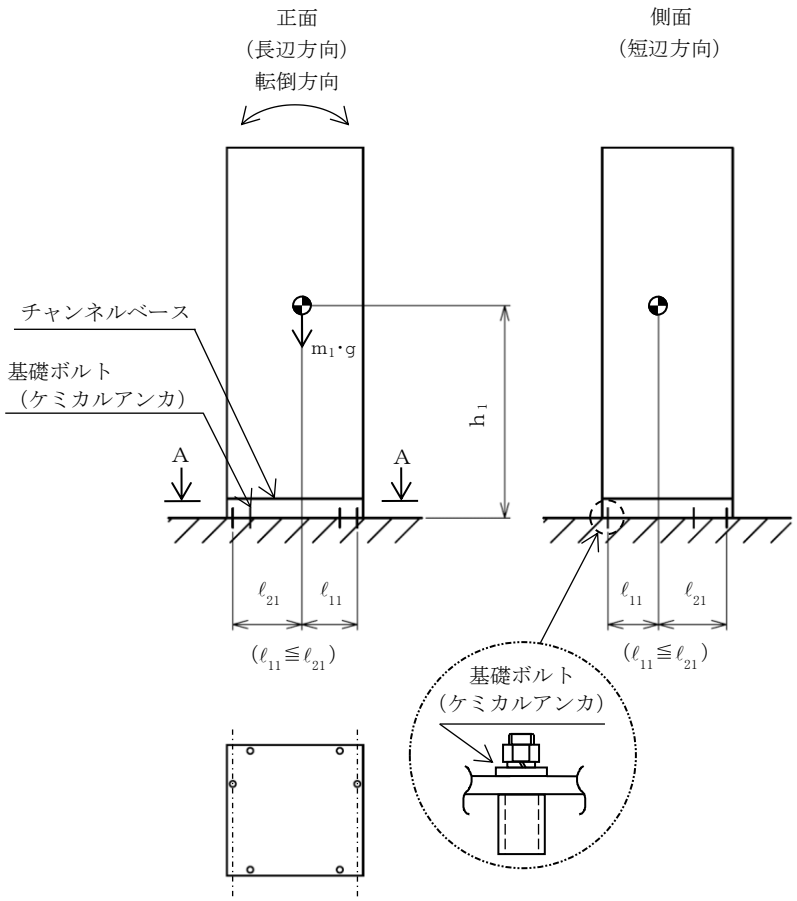
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

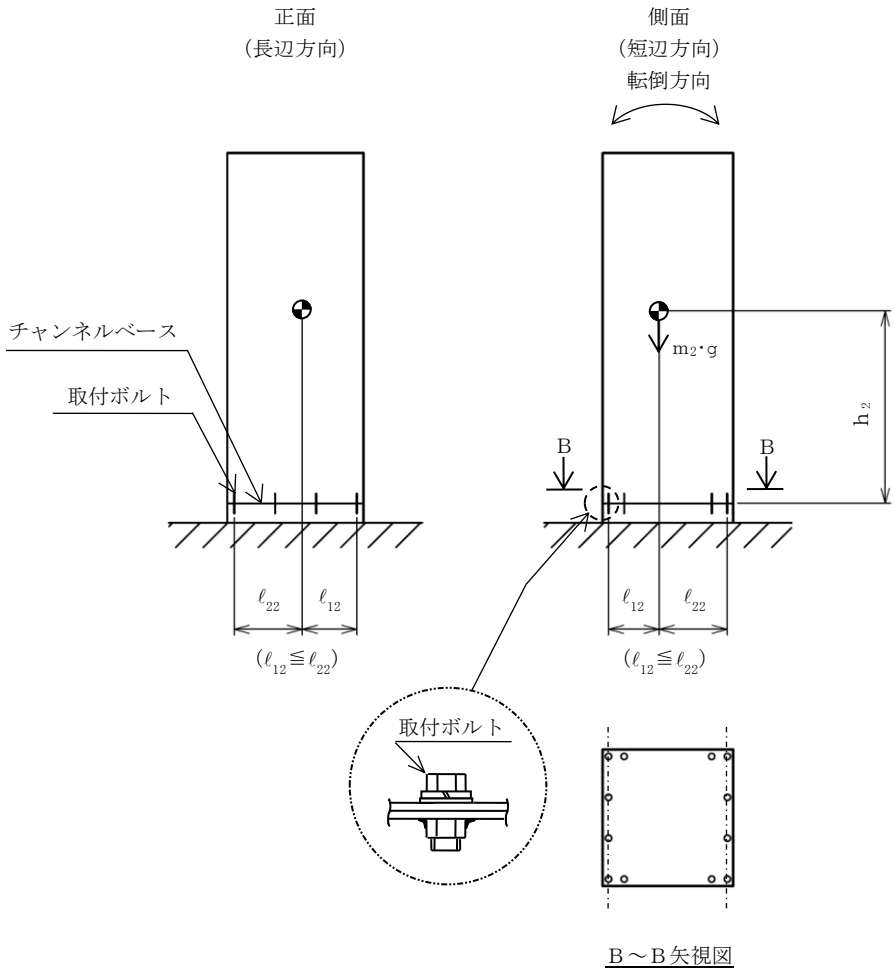
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
充電器電源切替盤（2-1248-1）	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
チャンネルベース
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
A
A
$m_1 \cdot g$
h_1
ℓ_{21}
ℓ_{11}
$(\ell_{11} \leqq \ell_{21})$
ℓ_{11}
ℓ_{21}
$(\ell_{11} \leqq \ell_{21})$
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）

A～A矢視図


正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
B
B
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

B～B矢視図

VI-2-10-1-4-18　緊急時対策所　発電機接続プラグ盤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
5.3　設計用地震力 …… 12
5.4　計算方法 …… 13
5.5　計算条件 …… 15
5.6　応力の評価 …… 16
6.　機能維持評価 …… 17
6.1　電気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，緊急時対策所　発電機接続プラグ盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

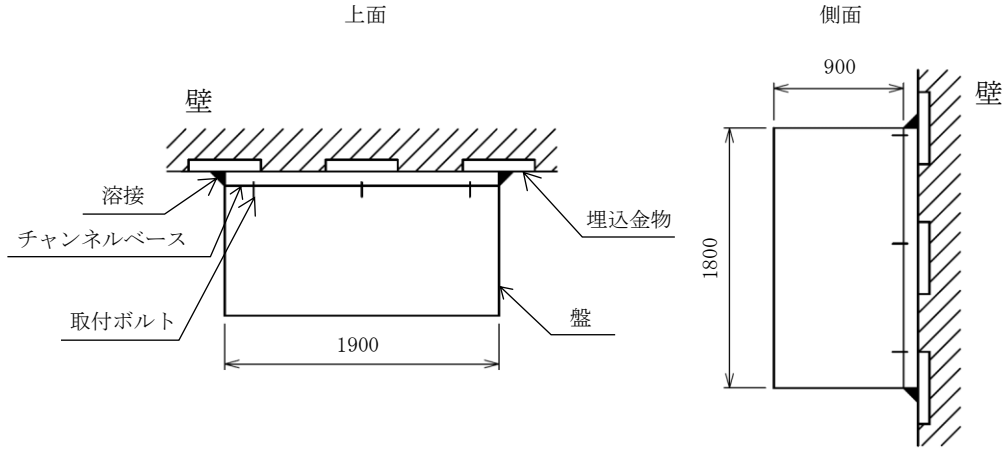
緊急時対策所　発電機接続プラグ盤は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の構造計画を表 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	
緊急時対策所　発電機接続プラグ盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて壁に埋め込まれた金物に固定する。	壁掛形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）	

（単位：mm）

2.2　評価方針

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の応力評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.1　構造計画」にて示す緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また，緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の機能維持評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の耐震評価フローを図2－1に示す。

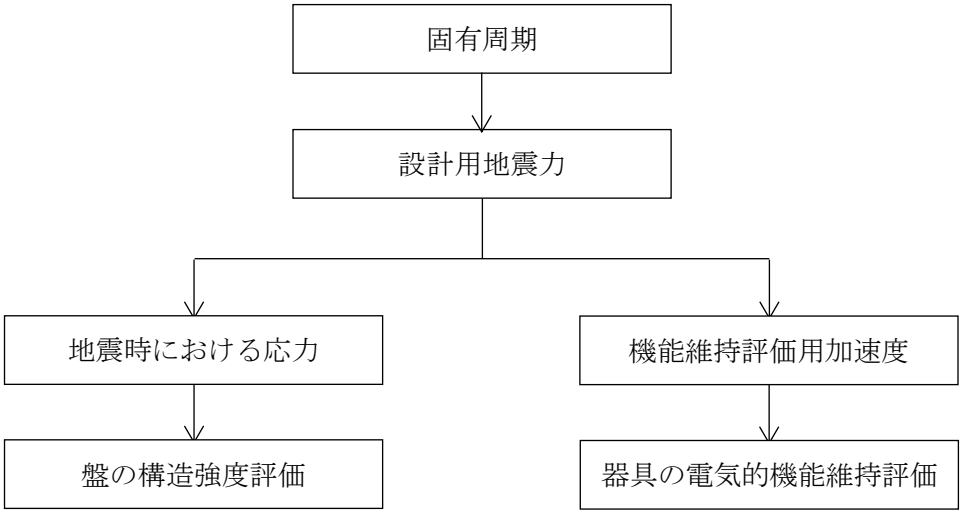


図2－1　緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d	ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_2	上側ボルトと下側ボルト間の鉛直方向距離（壁掛形）	mm
ℓ_3	左側ボルトと右側ボルト間の水平方向距離（壁掛形）	mm
m	盤の質量	kg
n	ボルトの本数	―
n_{fV}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（側面方向）（壁掛形）	―
n_{fH}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（正面方向）（壁掛形）	―
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（壁掛形）	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力（壁掛形）	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℃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
P_K	風荷重	N
P_S	積雪荷重	N

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は，表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

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

3.　評価部位

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の耐震評価は，「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取付ボルトについて実施する。

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤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

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の固有周期は，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，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，固有周期を確認する。緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の外形図を表 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，剛構造であることを確認した。

表 4－1　固有周期　　（単位：s）

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤 (H21-P0801)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　盤の質量は重心に集中しているものとする。

(2)　地震力は盤に対して，水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　盤は取付ボルトでチャンネルベースに固定されており，固定端とする。

(4)　チャンネルベースは埋込金物で基礎に固定されており，固定端とする。

(5)　転倒方向は，正面方向及び側面方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。

(6)　盤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。

(7)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5－1に示す。

5.2.2　許容応力

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5－2のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤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。

5.2.4　風荷重

風荷重は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，風速30m/sを使用し，緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の形状，風向きを踏まえ，作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表5－4に示す。

5.2.5　積雪荷重

積雪荷重は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し，緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の形状を踏まえ，算出する。算出した積雪荷重を表5－5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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	緊急時対策所 発電機接続プラグ盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D+P_D+M_D+S_s+P_K+P_S$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$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：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_K+P_S$」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表5－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

表 5－4　基準速度圧　（単位：N/m^2）

作用する部位	基準速度圧
緊急時対策所　発電機接続プラグ盤 (H21-P0801)	645.0

表 5－5　積雪荷重　（単位：N）

作用する部位	積雪荷重
緊急時対策所　発電機接続プラグ盤 (H21-P0801)	3.671×10^3

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5－6に示す。

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

表5－6　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Ｓｄ 又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
緊急時対策所 EL 50.25 (EL 56.6*1)	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
	□	□	—	—	C_H＝2.90*2	C_V＝1.41*2

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　取付ボルトの計算方法

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

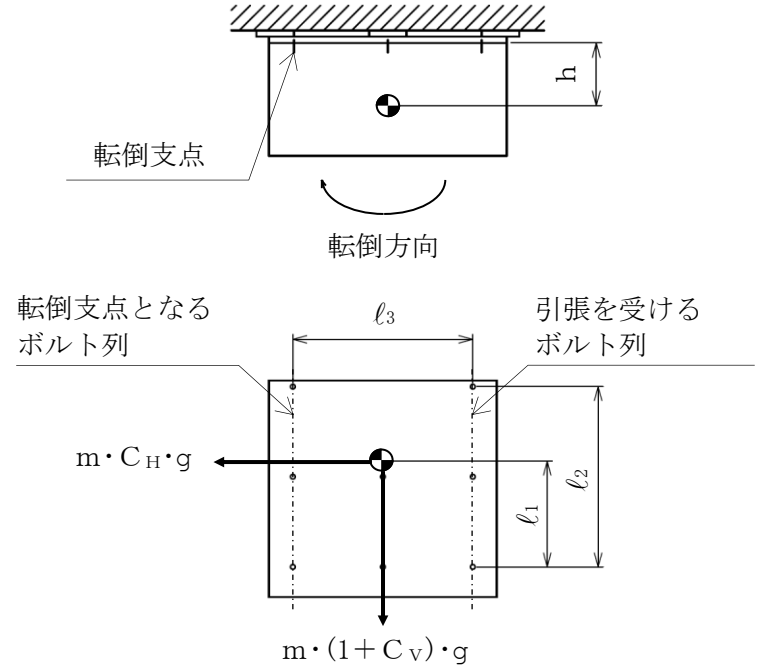


図 5－1　計算モデル（正面方向転倒）

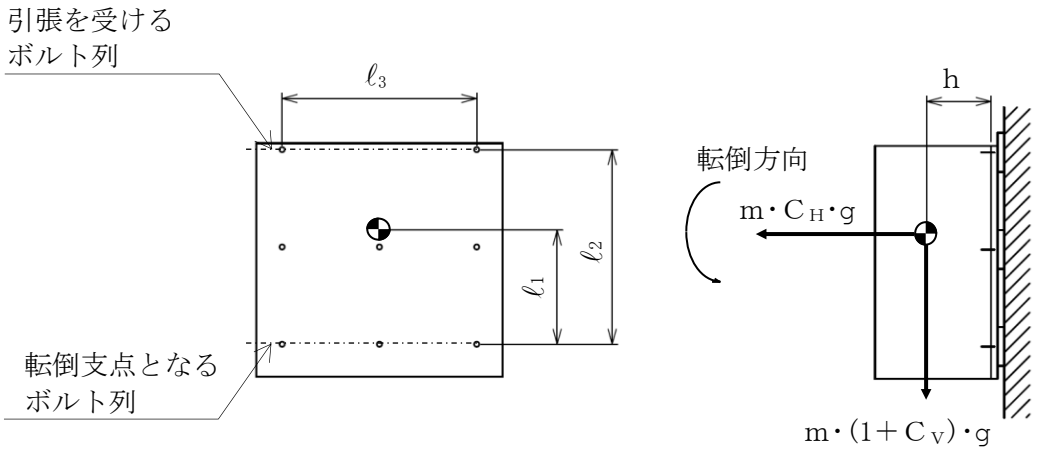


図 5－2　計算モデル（側面方向転倒）

(1) 引張応力

取付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

$$F_{b1}=\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h}{n_{fV}\cdot \ell_2}+\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot h+P_K\cdot h}{n_{fH}\cdot \ell_3} \cdots (5.4.1.1.1)$$

$$F_{b2}=\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot(1+C_V)\cdot h}{n_{fV}\cdot \ell_2}+\frac{(m\cdot g+0.35\cdot P_S)\cdot C_H\cdot \ell_1}{n_{fV}\cdot \ell_2} \cdots (5.4.1.1.2)$$

$$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2}) \cdots (5.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_b=\frac{F_b}{A_b} \cdots (5.4.1.1.4)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b=\frac{\pi}{4}\cdot d^2 \cdots (5.4.1.1.5)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は，ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1}=C_H\cdot(m\cdot g+0.35\cdot P_S)+P_K \cdots (5.4.1.1.6)$$

$$Q_{b2}=(1+C_V)\cdot(m\cdot g+0.35\cdot P_S) \cdots (5.4.1.1.7)$$

$$Q_b=\sqrt{(Q_{b1})^2+(Q_{b2})^2} \cdots (5.4.1.1.8)$$

せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{n\cdot A_b} \cdots (5.4.1.1.9)$$

5.5　計算条件

5.5.1　取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【緊急時対策所　発電機接続プラグ盤（H21-P0801）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6　応力の評価

5.6.1　ボルトの応力評価

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

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

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Ｓｓ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 電気的機能維持評価方法

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の電気的機能維持評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤に設置される器具の機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，当該器具と類似の器具単体のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6－1 に示す。

表 6－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
緊急時対策所　発電機接続プラグ盤 (H21-P0801)	水平	□
	鉛直	□

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所　発電機接続プラグ盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所　発電機接続プラグ盤（H21-P0801）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急時対策所 発電機接続プラグ盤 (H21-P0801)	常設耐震／防止 常設／緩和	緊急時対策所 EL 50.25 (EL 56.6*1)	□	□	—	—	C_H=2.90*2	C_V=1.41*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

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)
取付ボルト	□	500	16 (M16)	201.1	8	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	n_{fV}	n_{fH}	P_K (N)	P_S (N)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
										弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト	880	1500	1500	2	3	3.678×10^3	3.671×10^3	—	280	—	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		Q_b	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張	―	―	$\sigma_b=88$	$f_{ts}=210^*$
		せん断	―	―	$\tau_b=35$	$f_{sb}=161$

すべて許容応力以下である。

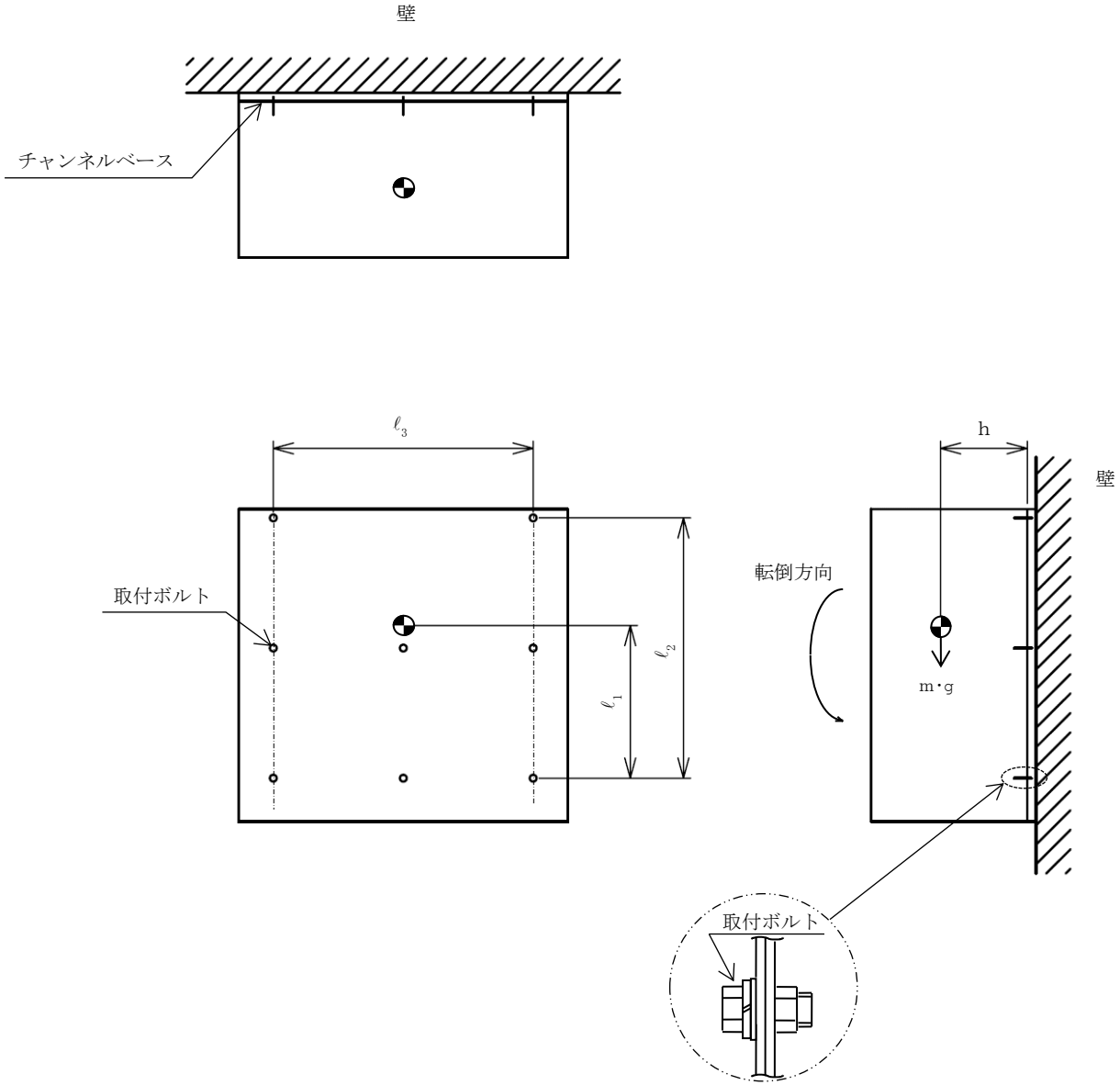
注記＊：$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
緊急時対策所 発電機接続プラグ盤 (H21-P0801)	水平方向	2.42	[redacted]
	鉛直方向	1.17	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


壁
チャンネルベース
ℓ_3
取付ボルト
ℓ_2
ℓ_1
h
壁
転倒方向
m・g
取付ボルト

Ⅵ-2-10-1-4-19　緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 8
6.　評価結果 ····· 9
6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤は，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。

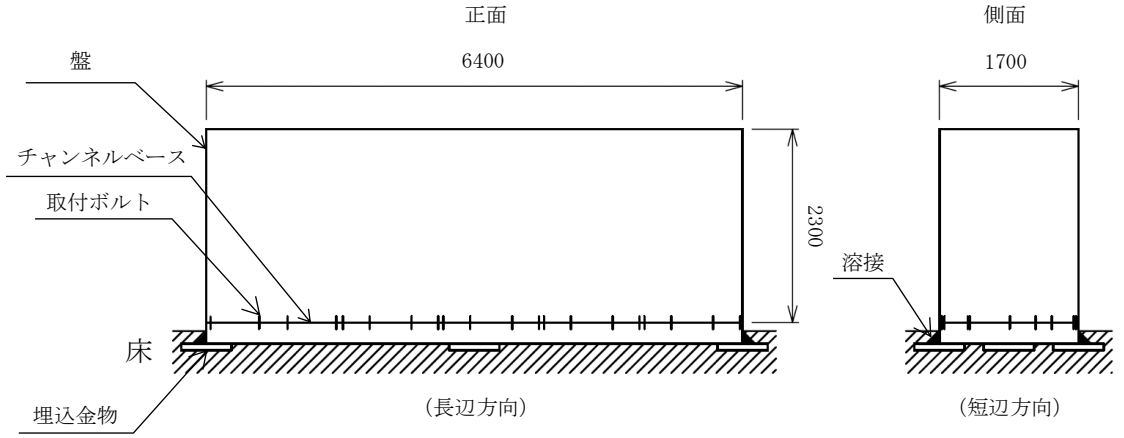
なお，緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の構造計画を表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	
緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表3－1に示す。

表3－1　固有周期　（単位：s）

緊急時対策所 低圧受電盤・低圧母線盤 (R24-P0800～4)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－1 に示す。

4.2.2 許容応力

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤（R24-P0800～4）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	緊急時対策所 低圧受電盤・低圧母線盤	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$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}＋Ｓｓ」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の電気的機能維持評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤に設置される器具の機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，当該器具と類似の器具単体のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤 (R24-P0800～4)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤（R24-P0800～4）の耐震性についての計算結果】

1.　重大事故等対処設備

1.1　設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
緊急時対策所 低圧受電盤・低圧母線盤 (R24-P0800～4)	常設耐震／防止 常設／緩和	緊急時対策所 EL 50.25*1	□	□	—	—	C_H=2.90*2	C_V=1.41*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

1.2　機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト （ｉ＝2）	9600	1090	16 (M16)	201.1	68	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト （ｉ＝2）	660	940	16	—	280	—	長辺方向
	2470	3850	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=88$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=20$	$f_{sb2}=161$

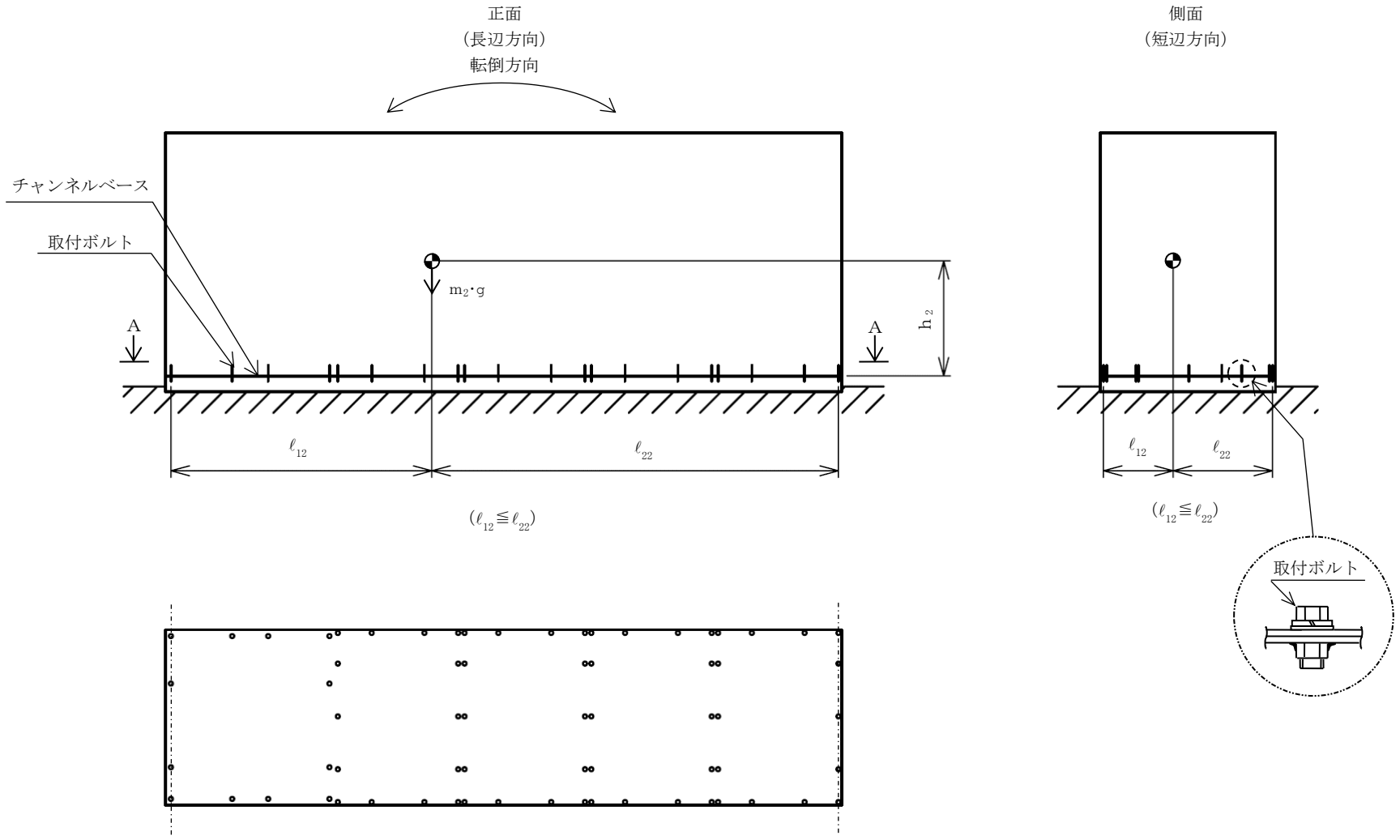
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
緊急時対策所 低圧受電盤・低圧母線盤 (R24-P0800～4)	水平方向	1.83	[redacted]
	鉛直方向	1.16	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
側面
（短辺方向）
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

Ⅵ-2-10-1-4-30　230V 系直流盤（RCIC）の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，230V 系直流盤（RCIC）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

230V 系直流盤（RCIC）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に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

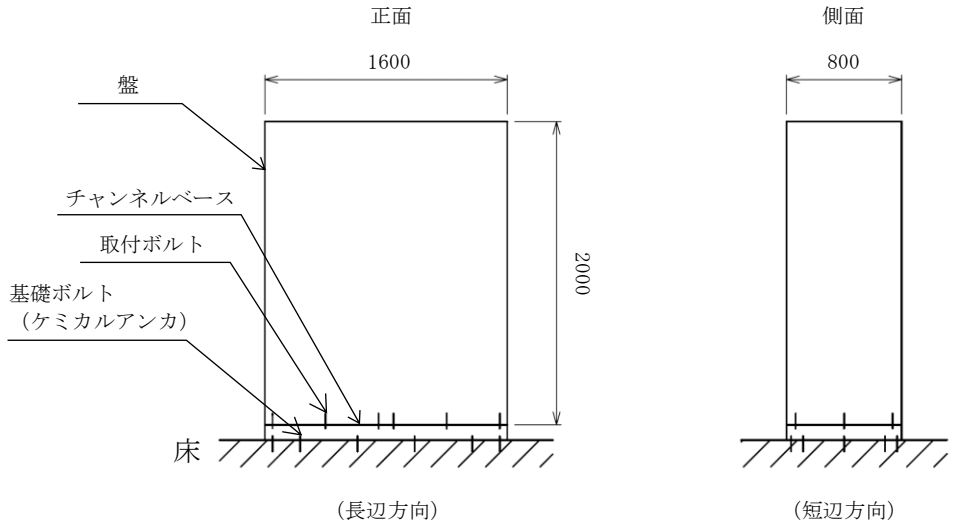
なお，230V 系直流盤（RCIC）は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

230V 系直流盤（RCIC）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	
230V 系直流盤（RCIC）は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【230V 系直流盤（RCIC）】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

230V 系直流盤（RCIC）の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　（単位：s）

230V 系直流盤（RCIC） (2-2265D-1)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

230V 系直流盤（RCIC）の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

230V 系直流盤（RCIC）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

230V 系直流盤（RCIC）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

230V 系直流盤（RCIC）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【230V 系直流盤（RCIC）（2-2265D-1）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	230V 系直流盤（RCIC）	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	230V 系直流盤（RCIC）	常設耐震／防止	—*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	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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 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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

230V 系直流盤（RCIC）の電気的機能維持評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

230V 系直流盤（RCIC）に設置される器具の機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，同形式の器具単体のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
230V 系直流盤（RCIC） (2-2265D-1)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

230V 系直流盤（RCIC）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

230V 系直流盤（RCIC）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【230V 系直流盤（RCIC）（2-2265D-1）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
230V 系直流盤 (RCIC) (2-2265D-1)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3*1			C_H＝1.01*2	C_V＝0.57*2	C_H＝1.79*3	C_V＝1.26*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)		1200	16 (M16)	201.1	14	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト (ｉ＝2)		1100	16 (M16)	201.1	16	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	310	390	4	215	258	短辺方向	短辺方向
	670	830	3				
取付ボルト (ｉ＝2)	280	360	6	235	280	短辺方向	短辺方向
	670	830	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	σ_{b1}＝30	f_{ts1}＝129*	σ_{b1}＝63	f_{ts1}＝154*
		せん断	τ_{b1}＝6	f_{sb1}＝99	τ_{b1}＝10	f_{sb1}＝119
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	σ_{b2}＝19	f_{ts2}＝176*	σ_{b2}＝40	f_{ts2}＝210*
		せん断	τ_{b2}＝5	f_{sb2}＝135	τ_{b2}＝9	f_{sb2}＝161

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
230V系直流盤（RCIC）（2-2265D-1）	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
230V 系直流盤 (RCIC) (2-2265D-1)	常設耐震／防止	廃棄物処理建物 EL 12.3*1	[redacted]	[redacted]	—	—	C_H＝1.79*2	C_V＝1.26*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	[redacted]	1200	16 (M16)	201.1	14	215 (40mm＜径)	400
取付ボルト (ｉ＝2)	[redacted]	1100	16 (M16)	201.1	16	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	310	390	4	—	258	—	短辺方向
	670	830	3				
取付ボルト (ｉ＝2)	280	360	6	—	280	—	短辺方向
	670	830	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。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	[redacted]	―	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張	―	―	$\sigma_{b1}=63$	$f_{ts1}=154^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb1}=119$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=40$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=161$

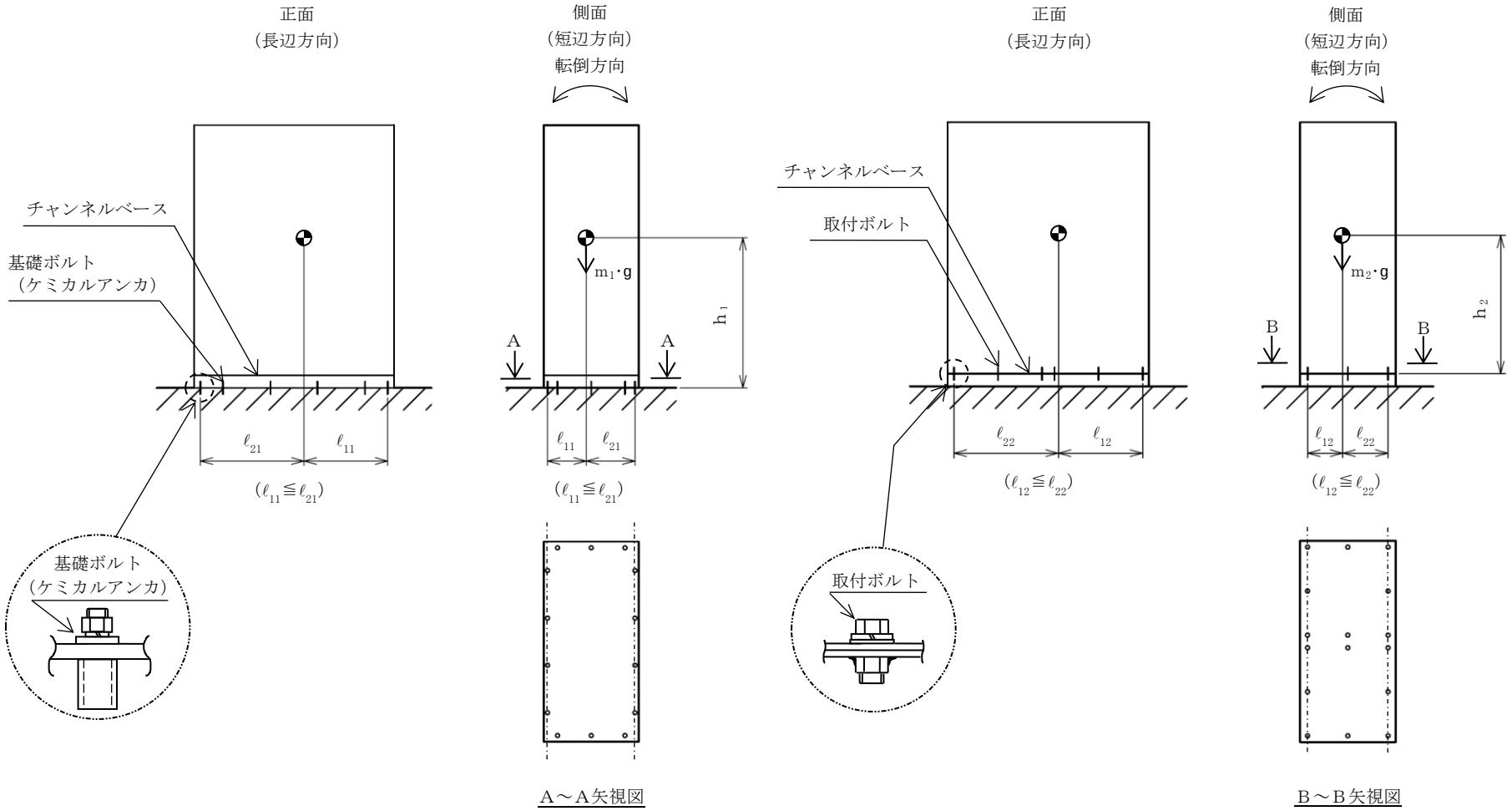
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
230V系直流盤（RCIC）（2-2265D-1）	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
$m_1 \cdot g$
h_1
A
A
ℓ_{21}
ℓ_{11}
$(\ell_{11} \leqq \ell_{21})$
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
正面
（長辺方向）
側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
$m_2 \cdot g$
h_2
B
B
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト

A～A矢視図

B～B矢視図

Ⅵ-2-10-1-4-31　230V 系直流盤（常用）の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，230V 系直流盤（常用）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

230V 系直流盤（常用）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。

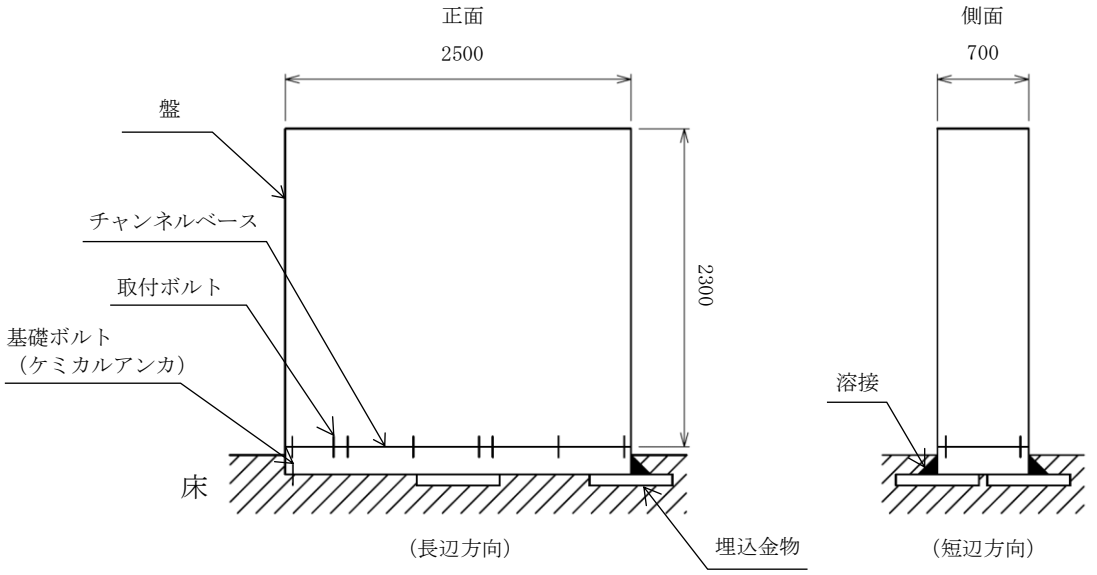
なお，230V 系直流盤（常用）は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

230V 系直流盤（常用）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	
230V 系直流盤（常用）は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置するとともに，溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【230V 系直流盤（常用）】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

230V 系直流盤（常用）の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

230V 系直流盤（常用） (2-2265D-2)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

230V 系直流盤（常用）の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

230V 系直流盤（常用）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

230V 系直流盤（常用）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

230V 系直流盤（常用）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【230V 系直流盤（常用）（2-2265D-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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	230V 系直流盤（常用）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	IV_AS
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS（V_ASとしてIV_AS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}＋Ｓｓ」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400，SGD3* (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

注記＊：SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

230V 系直流盤（常用）の電気的機能維持評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

230V 系直流盤（常用）に設置される器具の機能確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，当該器具と類似の器具単体のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
230V 系直流盤（常用） (2-2265D-2)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

230V 系直流盤（常用）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【230V 系直流盤（常用）（2-2265D-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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
230V 系直流盤 (常用) (2-2265D-2)	常設耐震／防止 常設／緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3*1	□	□	—	—	C_H=1.79*2	C_V=1.26*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	1210	16 (M16)	201.1	16	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	240	300	8	—	280	—	長辺方向
	1020	1380	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400, SGD3	引張	―	―	$\sigma_{b2}=52$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=161$

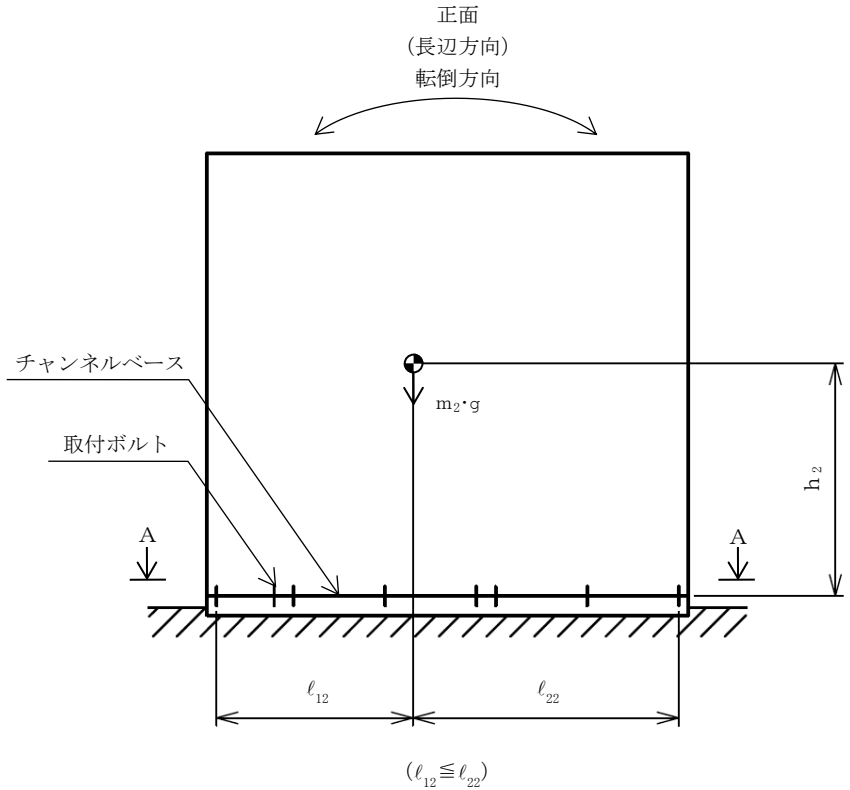
すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

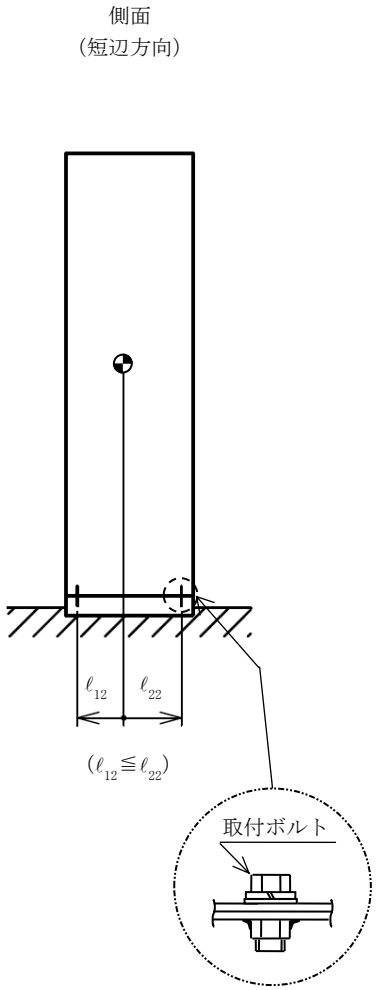
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8m/s^2)

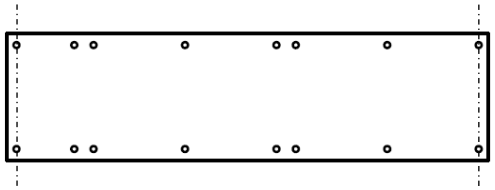
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
230V系直流盤（常用）（2-2265D-2）	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
$m_2 \cdot g$
h_2
ℓ_{12}
ℓ_{22}
（$\ell_{12} \leqq \ell_{22}$）


側面
（短辺方向）
ℓ_{12}
ℓ_{22}
（$\ell_{12} \leqq \ell_{22}$）
取付ボルト



A～A矢視図

VI-2-10-1-4-39　原子炉中性子計装用分電盤の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 4
3.1　固有周期の確認 ····· 4
4.　構造強度評価 ····· 5
4.1　構造強度評価方法 ····· 5
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 5
4.3　計算条件 ····· 5
5.　機能維持評価 ····· 10
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 10
6.　評価結果 ····· 11
6.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 11
6.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 11

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，原子炉中性子計装用分電盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉中性子計装用分電盤は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

なお，原子炉中性子計装用分電盤は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形盤であるため，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉中性子計装用分電盤の構造計画を表 2－1 及び表 2－2 に示す。

表 2－1　構造計画

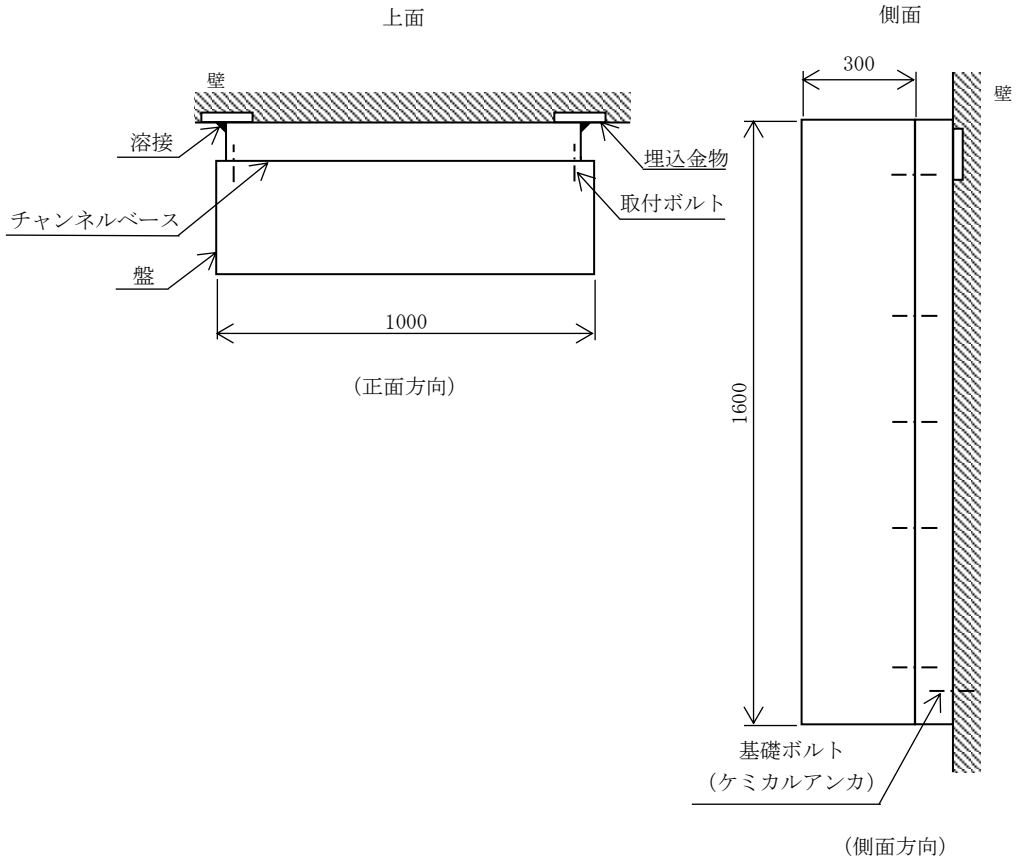
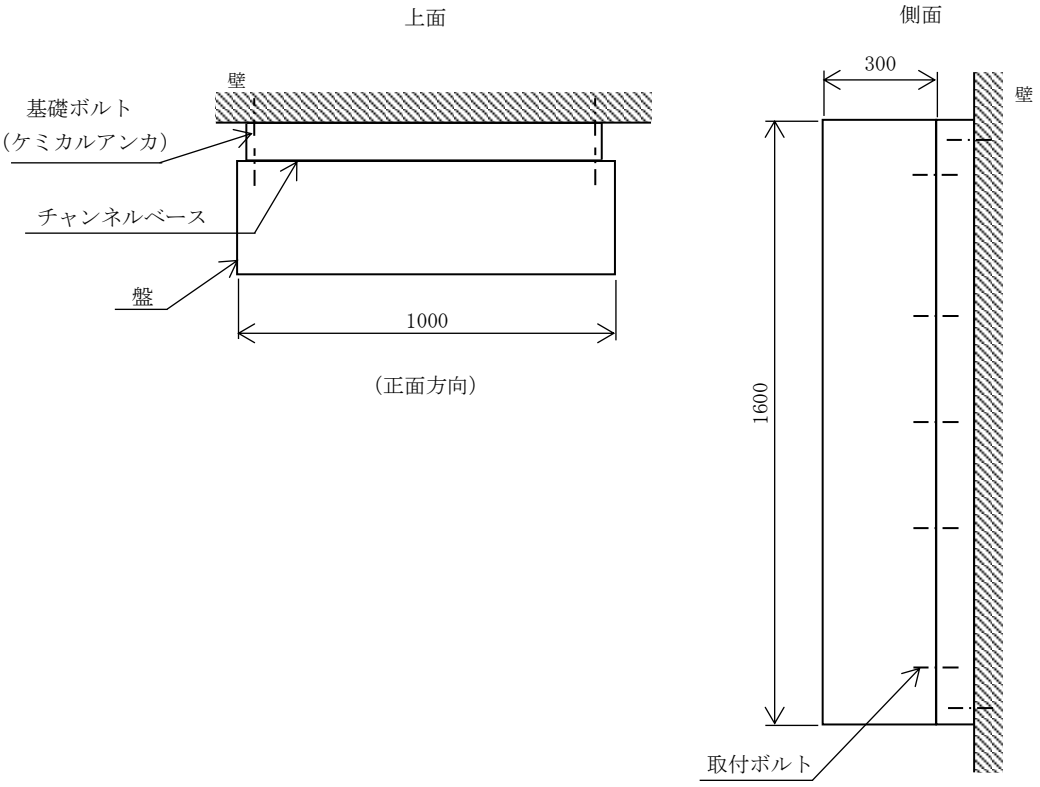
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
A-原子炉中性子計装用分電盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて壁に設置するとともに，溶接にて壁に埋め込まれた金物に固定する。	壁掛形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）	【A-原子炉中性子計装用分電盤】  （単位：mm）

表 2－2　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
B-原子炉中性子計装用分電盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて壁に設置する。	壁掛形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）	【B-原子炉中性子計装用分電盤】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

原子炉中性子計装用分電盤の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　（単位：s）

A-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263A)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]
B-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263B)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

原子炉中性子計装用分電盤の構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉中性子計装用分電盤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

原子炉中性子計装用分電盤の許容応力は，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

A-原子炉中性子計装用分電盤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。

B-原子炉中性子計装用分電盤の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－6 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－7 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【A-原子炉中性子計装用分電盤（2-2263A）の耐震性についての計算結果】，【B-原子炉中性子計装用分電盤（2-2263B）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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	原子炉中性子計装用分電盤	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	原子炉中性子計装用分電盤	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 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	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
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 4－4　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	50	211	394	―

注記＊：SS400 相当

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	50	211	394	―

注記＊：SS400 相当

表 4－6　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	50	211	394	―
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	50	211	394	―

注記＊：SS400 相当

表 4－7　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	50	211	394	―
取付ボルト	SS41* (40mm＜径)	周囲環境温度	50	211	394	―

注記＊：SS400 相当

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

原子炉中性子計装用分電盤の電気的機能維持評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉中性子計装用分電盤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又は当該機器と類似の器具単体のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
A-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263A)	水平	□
	鉛直	□
B-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263B)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉中性子計装用分電盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉中性子計装用分電盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【A-原子炉中性子計装用分電盤（2-2263A）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
A-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263A)	S	廃棄物処理建物 EL 16.9 (EL 22.1*1)	□	□	C_H＝1.49*2	C_V＝0.78*2	C_H＝1.95*3	C_V＝1.65*3	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度

＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	170	16 (M16)	201.1	10	211 (40mm＜径)	394

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fVi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	720	1300	900	2	5	211	253	側面方向	側面方向
	720	1300	900	2	5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	σ_{b2}＝16	f_{ts2}＝158*	σ_{b2}＝21	f_{ts2}＝190*
		せん断	τ_{b2}＝7	f_{sb2}＝122	τ_{b2}＝10	f_{sb2}＝146

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8m/s^2)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
A-原子炉中性子計装用分電盤(2-2263A)	水平方向	1.62	[redacted]
	鉛直方向	1.38	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
A-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263A)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	廃棄物処理建物 EL 16.9 (EL 22.1*1)	□	□	—	—	C_H=1.95*2	C_V=1.65*2	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ＝2)	□	170	16 (M16)	201.1	10	211 (40mm＜径)	394

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fVi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	720	1300	900	2	5	—	253	—	側面方向
	720	1300	900	2	5				

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。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (ｉ＝2)	SS41	引張	―	―	$\sigma_{b2}=21$	$f_{ts2}=190$*
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=146$

すべて許容応力以下である。

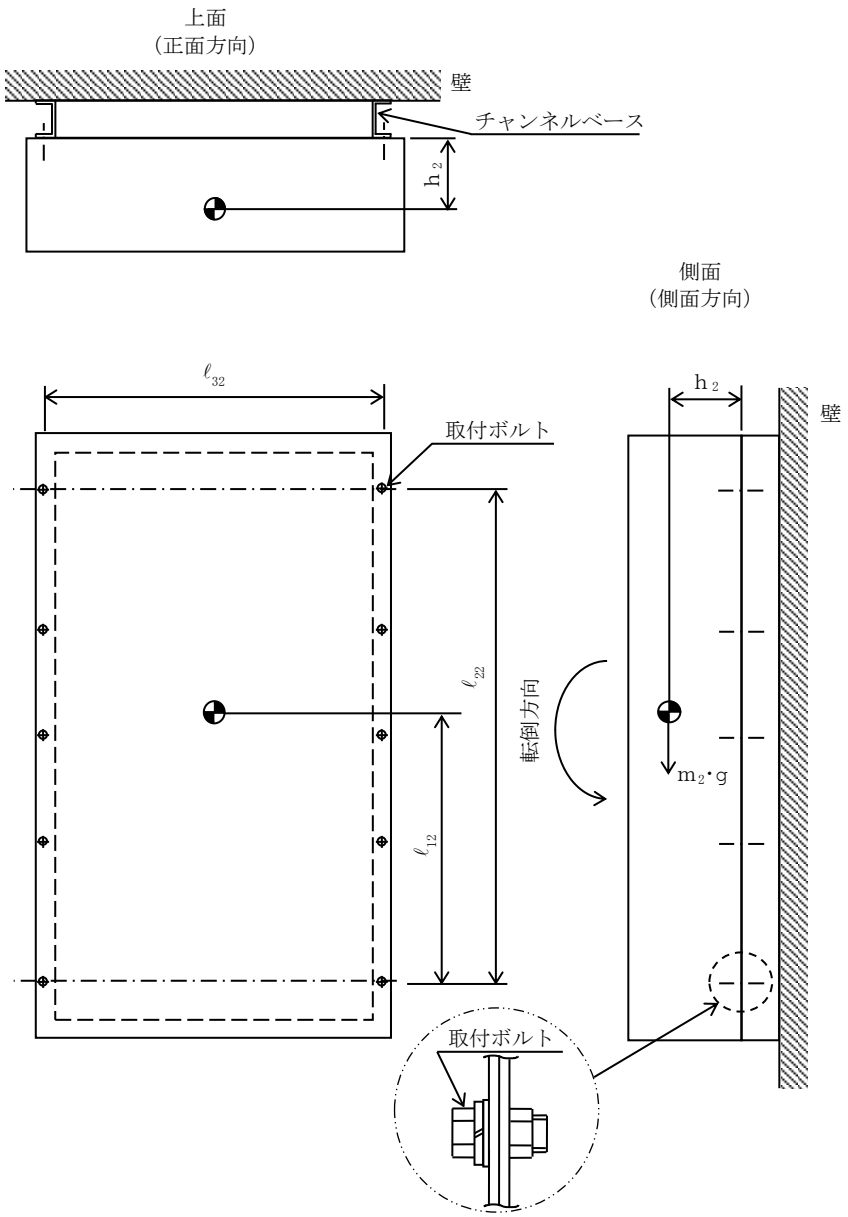
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
A-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263A)	水平方向	1.62	[redacted]
	鉛直方向	1.38	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


上面
（正面方向）
壁
チャンネルベース
h_2
側面
（側面方向）
ℓ_{32}
取付ボルト
h_2
壁
ℓ_{22}
転倒方向
$m_2 \cdot g$
ℓ_{12}
取付ボルト

【B-原子炉中性子計装用分電盤（2-2263B）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
B-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263B)	S	廃棄物処理建物 EL 12.3 (EL 15.3*1)	□	□	C_H＝1.17*2	C_V＝0.63*2	C_H＝1.97*3	C_V＝1.38*3	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度

＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	□	270	16 (M16)	201.1	4	211 (40mm＜径)	394
取付ボルト (ｉ＝2)	□	170	16 (M16)	201.1	10	211 (40mm＜径)	394

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fVi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	820	1500	900	2	2	211	253	側面方向	側面方向
	820	1500	900	2	2				
取付ボルト (ｉ＝2)	720	1300	900	2	5	211	253	側面方向	側面方向
	720	1300	900	2	5				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS41	引張	σ_{b1}＝15	f_{ts1}＝126*	σ_{b1}＝24	f_{ts1}＝152*
		せん断	τ_{b1}＝16	f_{sb1}＝97	τ_{b1}＝24	f_{sb1}＝117
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	σ_{b2}＝13	f_{ts2}＝158*	σ_{b2}＝21	f_{ts2}＝190*
		せん断	τ_{b2}＝6	f_{sb2}＝122	τ_{b2}＝9	f_{sb2}＝146

すべて許容応力以下である。　　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
B-原子炉中性子計装用分電盤(2-2263B)	水平方向	1.65	[redacted]
	鉛直方向	1.16	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
B-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263B)	常設／防止 (ＤＢ拡張)	廃棄物処理建物 EL 12.3 (EL 15.3*1)	□	□	—	—	C_H=1.97*2	C_V=1.38*2	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	□	270	16 (M16)	201.1	4	211 (40mm＜径)	394
取付ボルト (ｉ＝2)	□	170	16 (M16)	201.1	10	211 (40mm＜径)	394

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fVi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	820	1500	900	2	2	—	253	—	側面方向
	820	1500	900	2	2				
取付ボルト (ｉ＝2)	720	1300	900	2	5	—	253	—	側面方向
	720	1300	900	2	5				

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。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—	[redacted]	—	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	—	[redacted]	—	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b1}=24$	$f_{ts1}=152^{*}$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=24$	$f_{sb1}=117$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b2}=21$	$f_{ts2}=190^{*}$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=9$	$f_{sb2}=146$

すべて許容応力以下である。

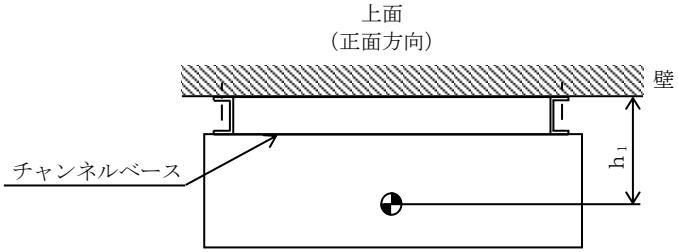
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

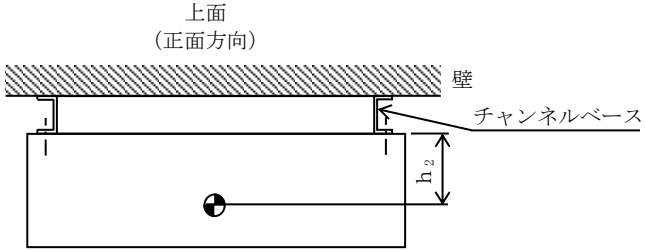
2.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

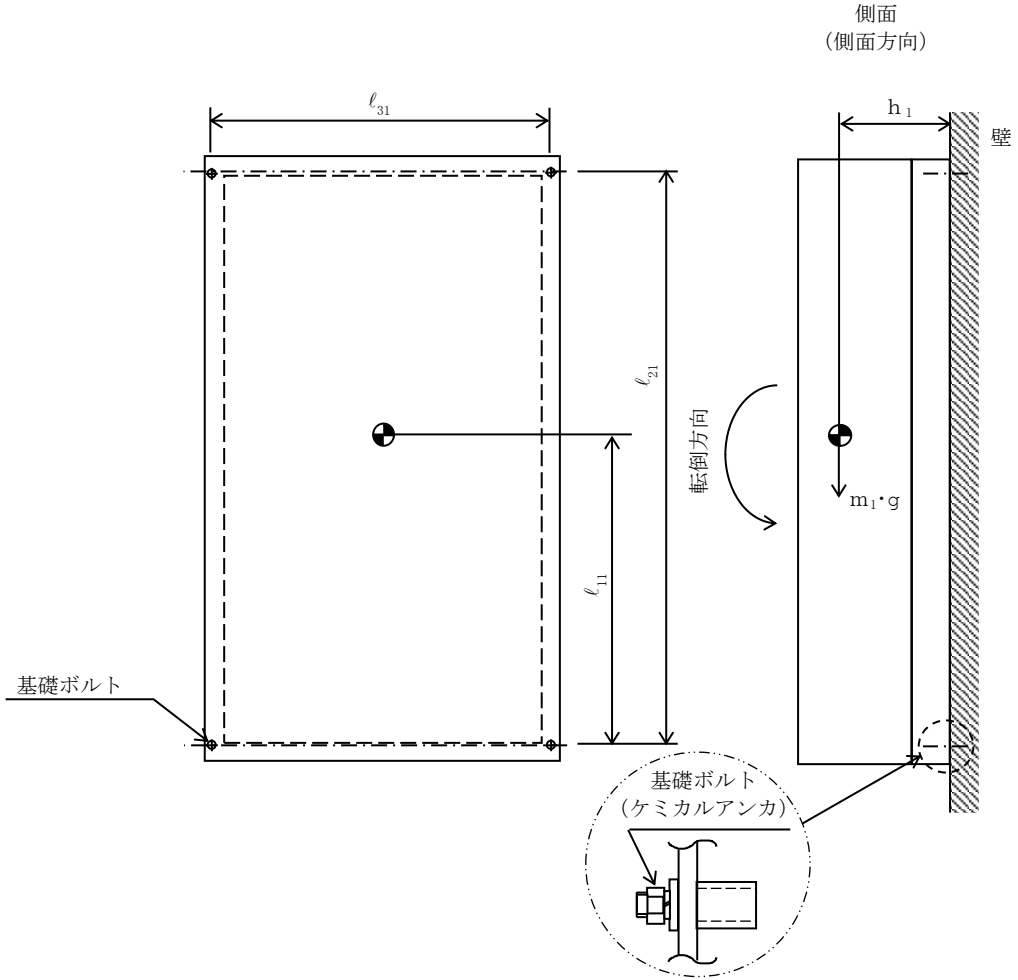
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
B-原子炉中性子計装用分電盤 (2-2263B)	水平方向	1.65	[redacted]
	鉛直方向	1.16	[redacted]

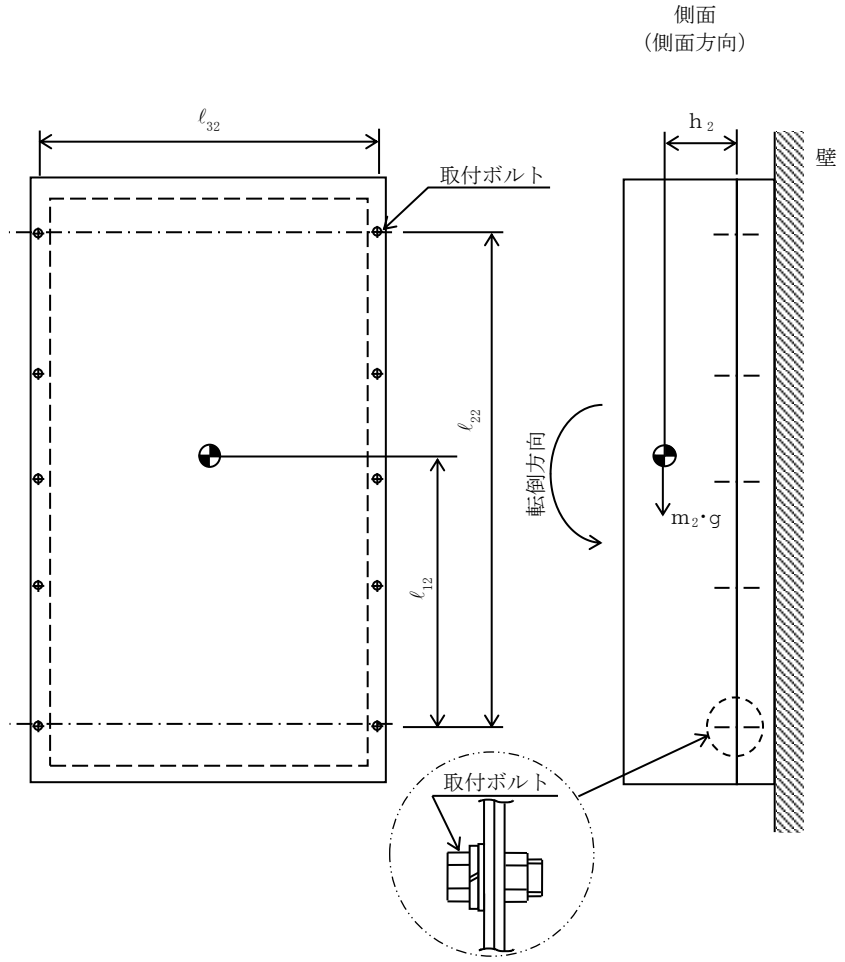
注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


上面
（正面方向）
壁
チャンネルベース
h_1


上面
（正面方向）
壁
チャンネルベース
h_2


側面
（側面方向）
ℓ_{31}
h_1
壁
ℓ_{21}
転倒方向
$m_1 \cdot g$
ℓ_{11}
基礎ボルト
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）


側面
（側面方向）
ℓ_{32}
h_2
壁
取付ボルト
ℓ_{22}
転倒方向
$m_2 \cdot g$
ℓ_{12}
取付ボルト

Ⅵ-2-10-1-4-40　SA 対策設備用分電盤（2）の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 8
6.　評価結果 ····· 9
6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，SA 対策設備用分電盤（2）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

SA 対策設備用分電盤（2）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。

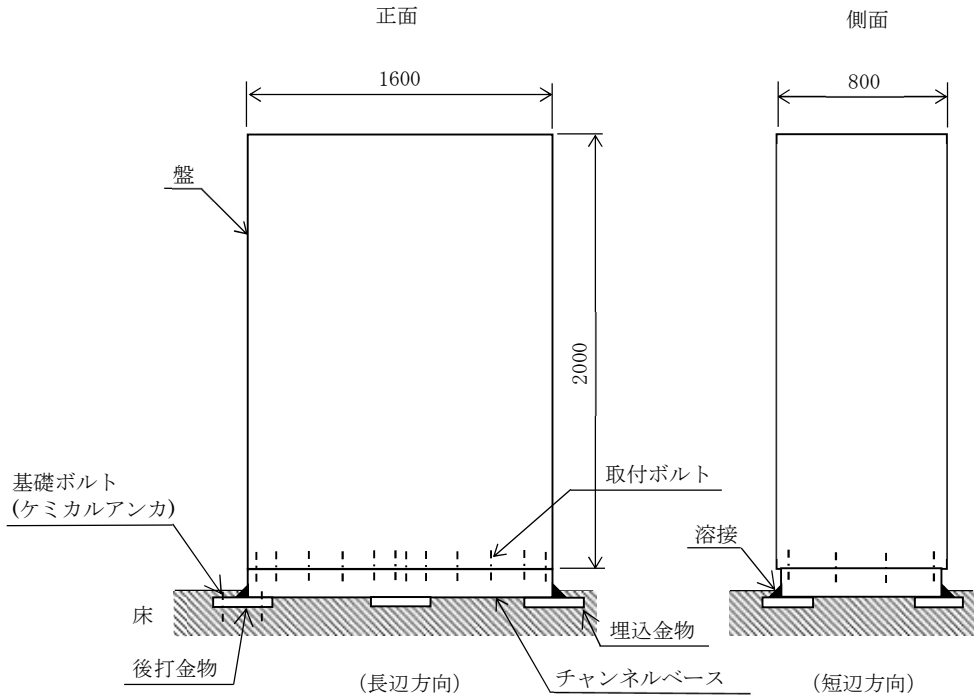
なお，SA 対策設備用分電盤（2）は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

SA 対策設備用分電盤（2）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	
SA 対策設備用分電盤 （2）は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて後打金物及び基礎に埋め込まれた金物に固定する。 後打金物は基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	【SA 対策設備用分電盤（2）】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

SA 対策設備用分電盤（2）の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

SA 対策設備用分電盤（2） （2-1203-2）	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

SA 対策設備用分電盤（2）の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

SA 対策設備用分電盤（2）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－1 に示す。

4.2.2 許容応力

SA 対策設備用分電盤（2）の許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

SA 対策設備用分電盤（2）の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－3 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【SA 対策設備用分電盤（2）（2-1203-2）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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	SA 対策設備用分電盤（2）	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$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}＋Ｓｓ」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

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

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

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

表 4－3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	50	231	394	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

SA 対策設備用分電盤（2）の電気的機能維持評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

SA 対策設備用分電盤（2）に設置される器具の機能確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，同形式の器具単体のサインビート波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1　機能確認済加速度　（×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
SA 対策設備用分電盤（2） （2-1203-2）	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

SA 対策設備用分電盤（2）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【SA 対策設備用分電盤（2）（2-1203-2）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
SA 対策設備用分電盤（2） (2-1203-2)	常設耐震／防止 常設／緩和	廃棄物処理建物 EL 12.3*1	□	□	—	—	C_H＝1.79*2	C_V＝1.26*2	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト （ｉ＝2）	□	1200	16 (M16)	201.1	24	231 (16mm＜径≦40mm)	394

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
取付ボルト （ｉ＝2）	300	380	8	—	276	—	長辺方向
	675	855	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト (ｉ＝2)	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (ｉ＝2)	SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=53$	$f_{ts2}=207$*
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=5$	$f_{sb2}=159$

すべて許容応力以下である。

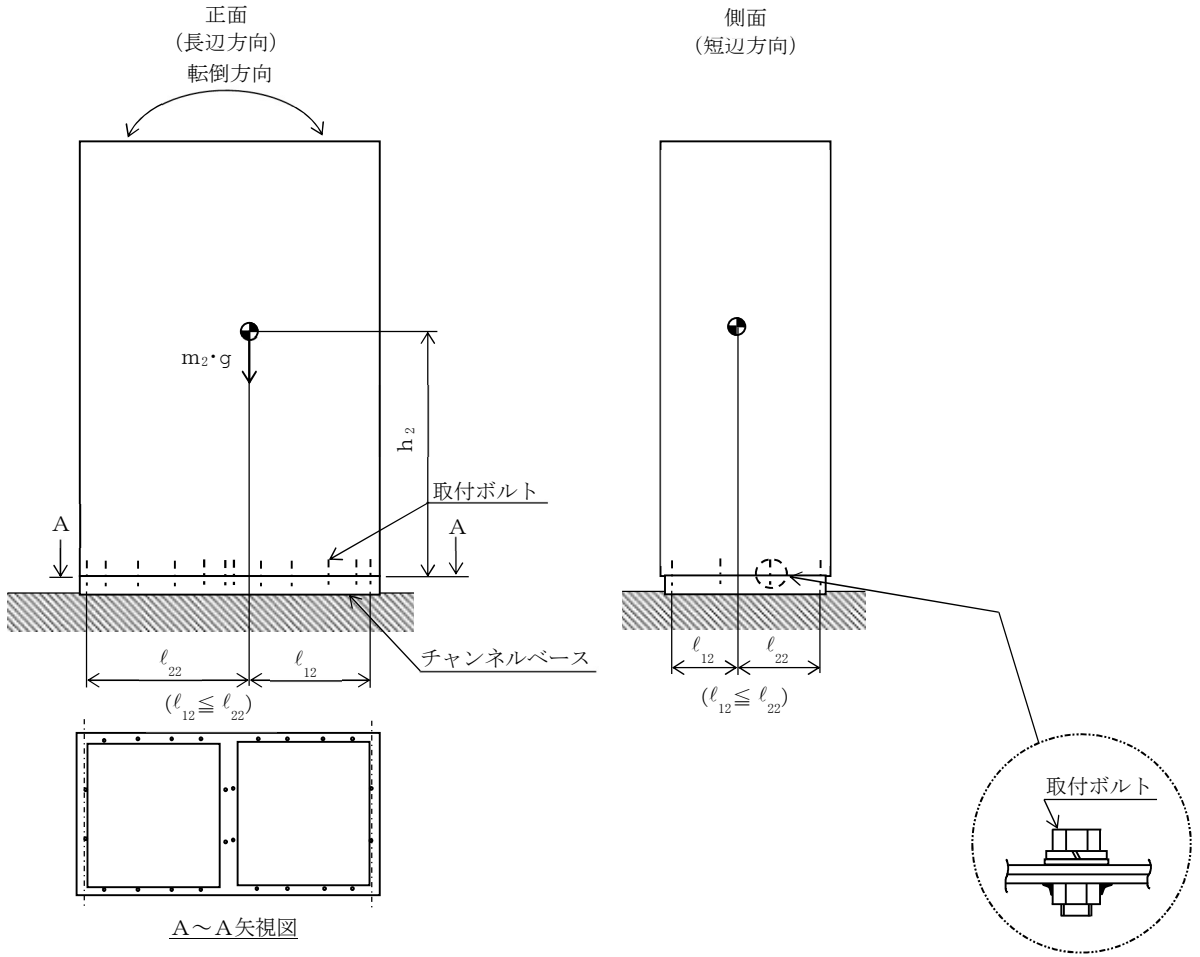
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
SA 対策設備用分電 (2) (2-1203-2)	水平方向	1.49	[redacted]
	鉛直方向	1.05	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
（長辺方向）
転倒方向
側面
（短辺方向）
$m_2 \cdot g$
h_2
取付ボルト
A
A
チャンネルベース
ℓ_{22}
ℓ_{12}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
ℓ_{12}
ℓ_{22}
$(\ell_{12} \leqq \ell_{22})$
取付ボルト
A～A矢視図

VI-2-10-1-4-41　SRV 用電源切替盤の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気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，SRV 用電源切替盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを説明するものである。

SRV 用電源切替盤は，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に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

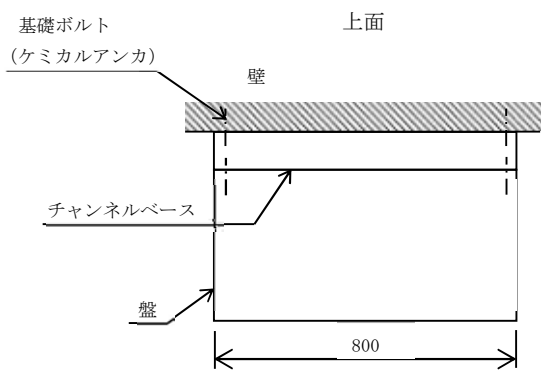
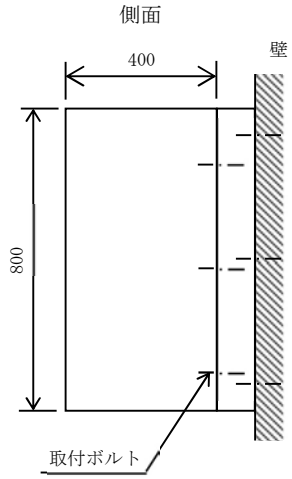
なお，SRV 用電源切替盤は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の壁掛形盤であるため，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

SRV 用電源切替盤の構造計画を表 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	
SRV 用電源切替盤は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは基礎ボルトにて壁に設置する。	壁掛形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）	【SRV 用電源切替盤】  （正面方向）  （側面方向） （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

SRV 用電源切替盤の固有周期は，プラスチックハンマ等により，当該設備に振動を与え自由減衰振動を振動解析装置により記録解析し，確認する。試験の結果，剛構造であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　（単位：s）

SRV 用電源切替盤 (2-1023)	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

SRV 用電源切替盤の構造強度評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

SRV 用電源切替盤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

SRV 用電源切替盤の許容応力は，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

SRV 用電源切替盤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【SRV 用電源切替盤（2-1023）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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	SRV 用電源切替盤	S	—*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	SRV 用電源切替盤	常設耐震／防止	—*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	せん断
ⅢAS	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣAS	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

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

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

表 4－4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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	―

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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
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. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

SRV 用電源切替盤の電気的機能維持評価は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

SRV 用電源切替盤に設置される器具の機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，当該器具と類似の器具単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1 機能確認済加速度 （×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
SRV 用電源切替盤 (2-1023)	水平	□
	鉛直	□

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

SRV 用電源切替盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

SRV 用電源切替盤の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【SRV 用電源切替盤（2-1023）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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
SRV 用電源切替盤 (2-1023)	S	廃棄物処理建物 EL 16.9 (EL 22.1*1)	□	□	C_H＝1.49*2	C_V＝0.78*2	C_H＝1.95*3	C_V＝1.65*3	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動Ｓｄ）又は静的震度

＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	□	320	12 (M12)	113.1	6	211 (40mm＜径)	394
取付ボルト (ｉ＝2)	□	220	16 (M16)	201.1	6	231 (16mm＜径≦40mm)	394

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fVi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	380	660	740	2	3	211	253	側面方向	側面方向
	380	660	740	2	3				
取付ボルト (ｉ＝2)	350	550	740	2	3	231	276	側面方向	側面方向
	350	550	740	2	3				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	σ_{b1}＝18	f_{ts1}＝126*	σ_{b1}＝25	f_{ts1}＝152*
		せん断	τ_{b1}＝8	f_{sb1}＝97	τ_{b1}＝11	f_{sb1}＝117
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	σ_{b2}＝8	f_{ts2}＝173*	σ_{b2}＝12	f_{ts2}＝207*
		せん断	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝133	τ_{b2}＝6	f_{sb2}＝159

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
SRV用電源切替盤 (2-1023)	水平方向	1.62	[redacted]
	鉛直方向	1.38	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
SRV 用電源切替盤 (2-1023)	常設耐震／防止	廃棄物処理建物 EL 16.9 (EL 22.1*1)	□	□	—	—	C_H=1.95*2	C_V=1.65*2	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

2.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	□	320	12 (M12)	113.1	6	211 (40mm＜径)	394
取付ボルト (ｉ＝2)	□	220	16 (M16)	201.1	6	231 (16mm＜径≦40mm)	394

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fVi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	380	660	740	2	3	—	253	—	側面方向
	380	660	740	2	3				
取付ボルト (ｉ＝2)	350	550	740	2	3	—	276	—	側面方向
	350	550	740	2	3				

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。

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	―	[redacted]	―	[redacted]
取付ボルト（ｉ＝2）	―	[redacted]	―	[redacted]

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400	引張	―	―	$\sigma_{b1}=25$	$f_{ts1}=152$*
		せん断	―	―	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=117$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張	―	―	$\sigma_{b2}=12$	$f_{ts2}=207$*
		せん断	―	―	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=159$

すべて許容応力以下である。

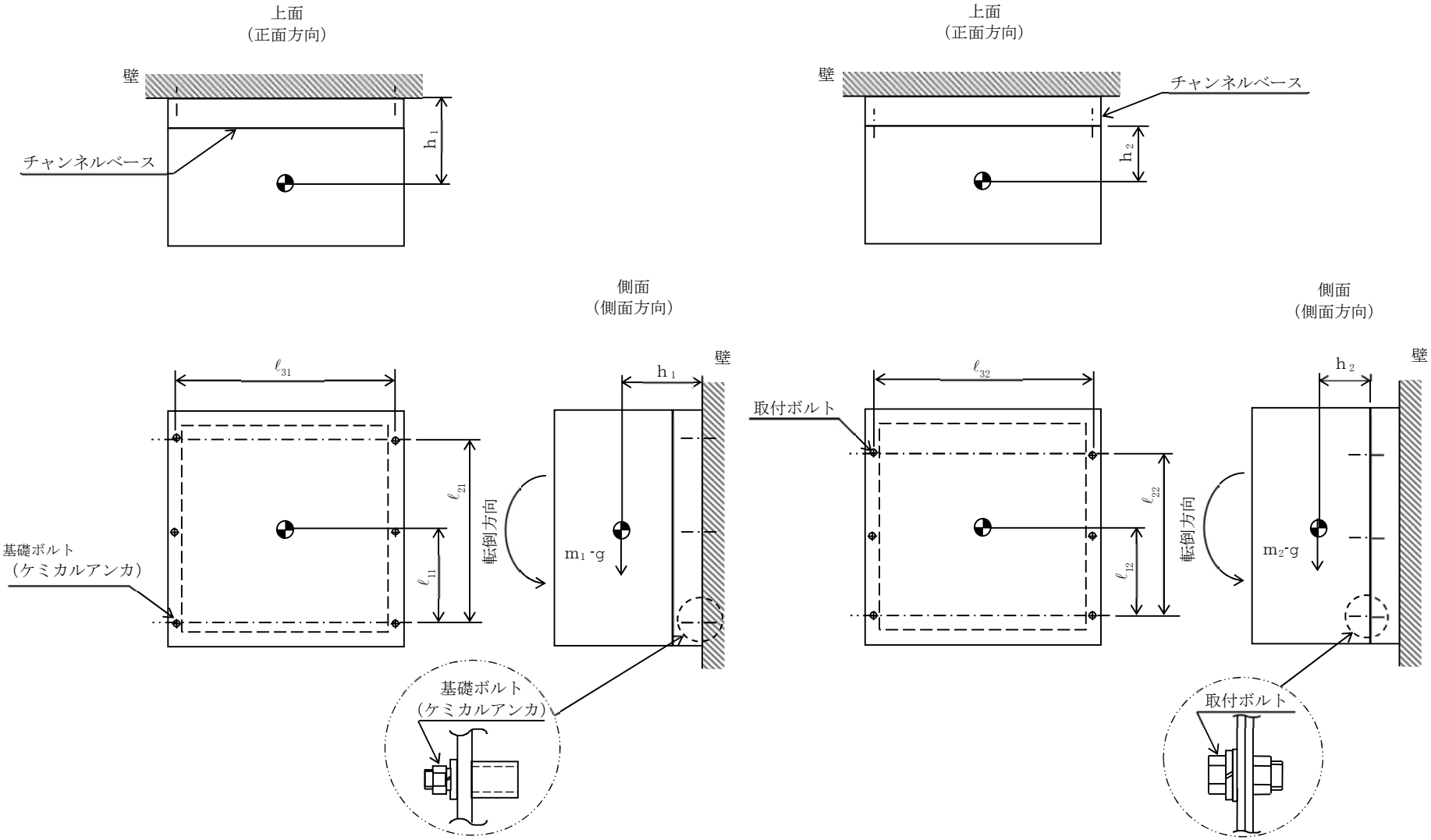
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

2.4.2 電気的機能維持の評価結果 ($\times 9.8\mathrm{m/s^2}$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
SRV用電源切替盤 (2-1023)	水平方向	1.62	[redacted]
	鉛直方向	1.38	[redacted]

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


上面
（正面方向）
壁
チャンネルベース
h1
上面
（正面方向）
壁
チャンネルベース
h2
側面
（側面方向）
壁
ℓ31
h1
ℓ21
ℓ11
転倒方向
m1・g
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
基礎ボルト
(ケミカルアンカ)
側面
（側面方向）
壁
ℓ32
h2
取付ボルト
ℓ22
ℓ12
転倒方向
m2・g
取付ボルト

Ⅵ-2-10-2　浸水防護施設の耐震性に関する説明書

Ⅵ-2-10-2-13　堰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　検討対象堰一覧 ····· 1
2.2　配置概要 ····· 2
2.3　構造計画 ····· 22
2.3.1　柱支持型堰の構造 ····· 22
2.3.2　鋼板折曲げ型堰の構造 ····· 23
2.3.3　鉄筋コンクリート製堰の構造 ····· 24
2.4　評価方針 ····· 25
2.5　適用規格 ····· 25
2.6　記号の説明 ····· 26
3.　固有振動数及び設計用地震力 ····· 29
3.1　固有振動数の計算方法 ····· 29
3.1.1　解析モデルの設定 ····· 29
3.1.2　記号の説明 ····· 30
3.1.3　固有振動数の算出方法 ····· 30
3.2　固有振動数の計算条件 ····· 31
3.3　固有振動数の計算結果 ····· 46
3.4　設計用地震力 ····· 54
4.　構造強度評価 ····· 56
4.1　評価対象部位及び評価対象設備 ····· 56
4.1.1　柱支持型堰 ····· 56
4.1.2　鋼板折曲げ型堰 ····· 61
4.1.3　鉄筋コンクリート製堰 ····· 63
4.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 64
4.2.1　荷重の組合せ ····· 64
4.2.2　荷重 ····· 64
4.3　許容限界 ····· 65
4.3.1　柱支持型堰の許容限界 ····· 65
4.3.2　鋼板折曲げ型堰の許容限界 ····· 67
4.3.3　鉄筋コンクリート製堰の許容限界 ····· 68
4.4　評価方法 ····· 69
4.4.1　柱支持型堰の評価方法 ····· 69
4.4.2　鋼板折曲げ型堰の評価方法 ····· 77
4.4.3　鉄筋コンクリート製堰の評価方法 ····· 79
4.5　評価条件 ····· 84
5.　評価結果 ····· 86

1. 概要

本資料は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり，浸水防護施設である溢水用堰及び管理区域堰（以下「堰」という。）があり，溢水用堰については基準地震動S_Sによる地震力に対して，管理区域堰については耐震Bクラスの施設に適用される地震力S_Bに対して溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は，応力評価により行う。

堰は設計基準対象施設においては耐震Bクラス施設及び耐震C－2クラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の各建物の数を表2－1に示す。

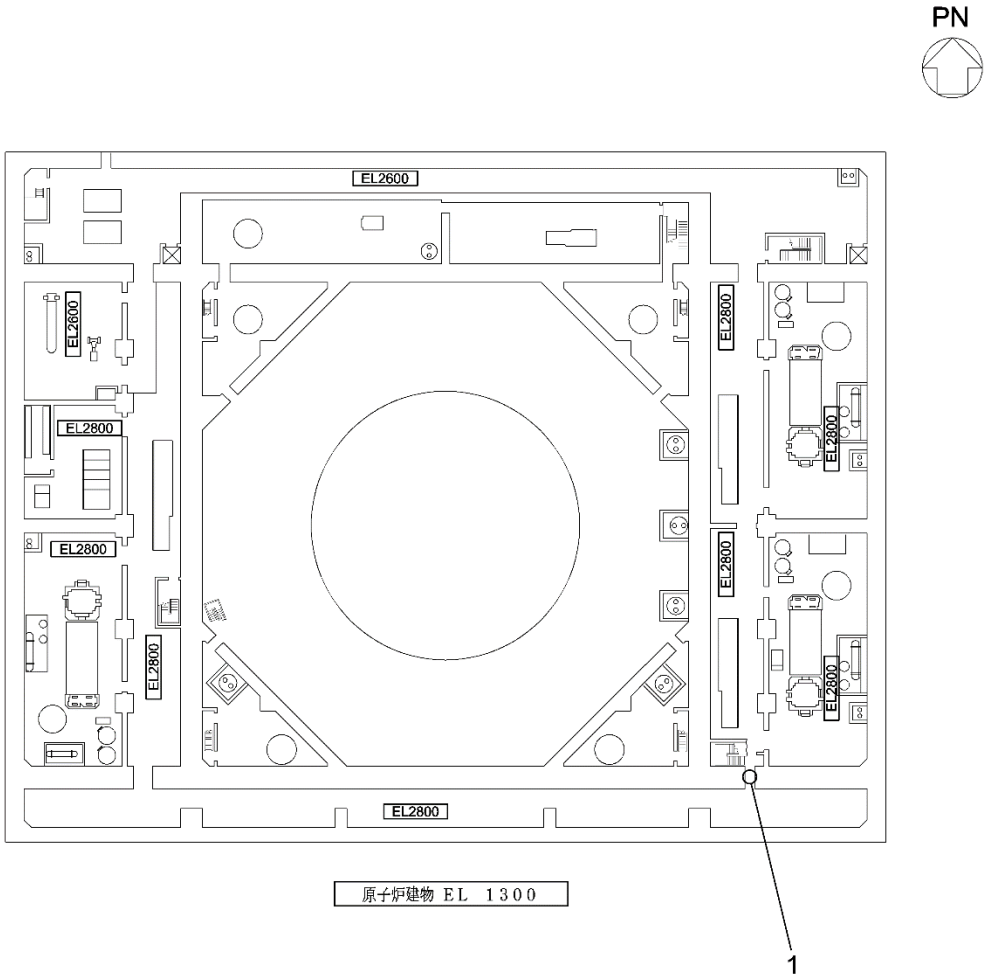
表2－1 検討対象堰

設置建物	対象堰数
原子炉建物	49
タービン建物	11
廃棄物処理建物	13
制御室建物	5
サイトバンカ建物	13
合計	91

2.2　配置概要

堰は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.2　溢水用堰の設計方針」及び「4.1.5　管理区域水密扉，堰及び防水板の設計方針」に示すとおり，原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物，制御室建物及びサイトバンカ建物に設置する。堰の設置位置及び堰の名称を図2－1に示す。

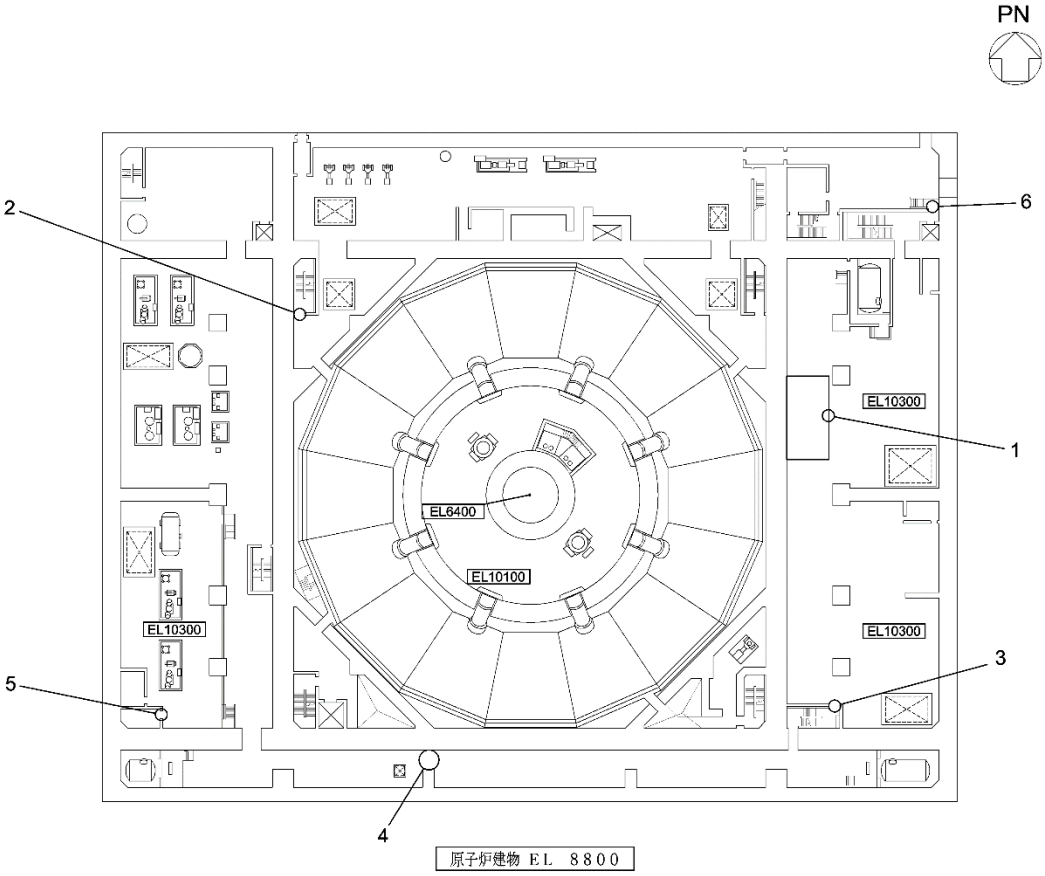
配置図



1	原子炉建物 地下 2 階 B-非常用 DG 電気室南側浸水防止堰

図 2－1(1)　設置位置図

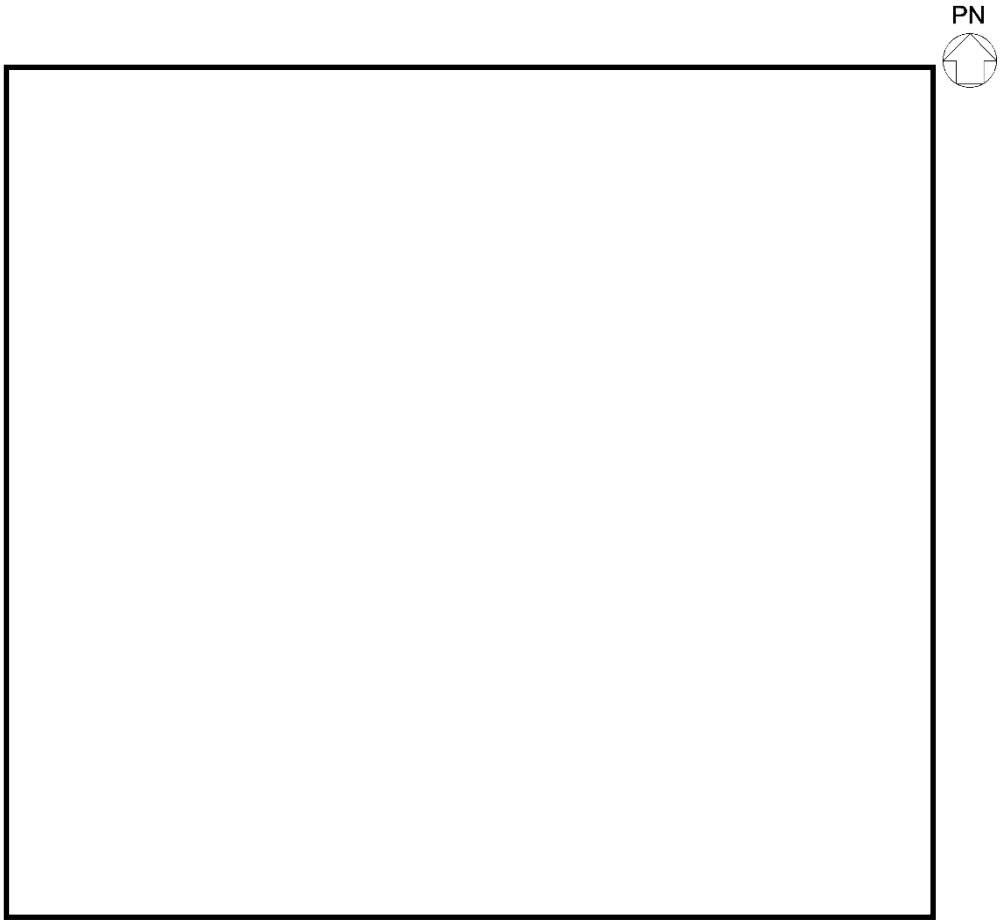
配置図



1	原子炉建物 地下1階 RCIC 直流 C/C 浸水防止堰
2	原子炉建物 地下1階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 地下1階 DG 室吸気ダクト室南側階段浸水防止堰
4	原子炉建物 地下1階 南側通路浸水防止堰
5	原子炉建物 地下1階 HPCS 給気消音器フィルタ室浸水防止堰
6	原子炉建物 地下1階 第3チェックポイント浸水防止堰

図 2－1(2)　設置位置図

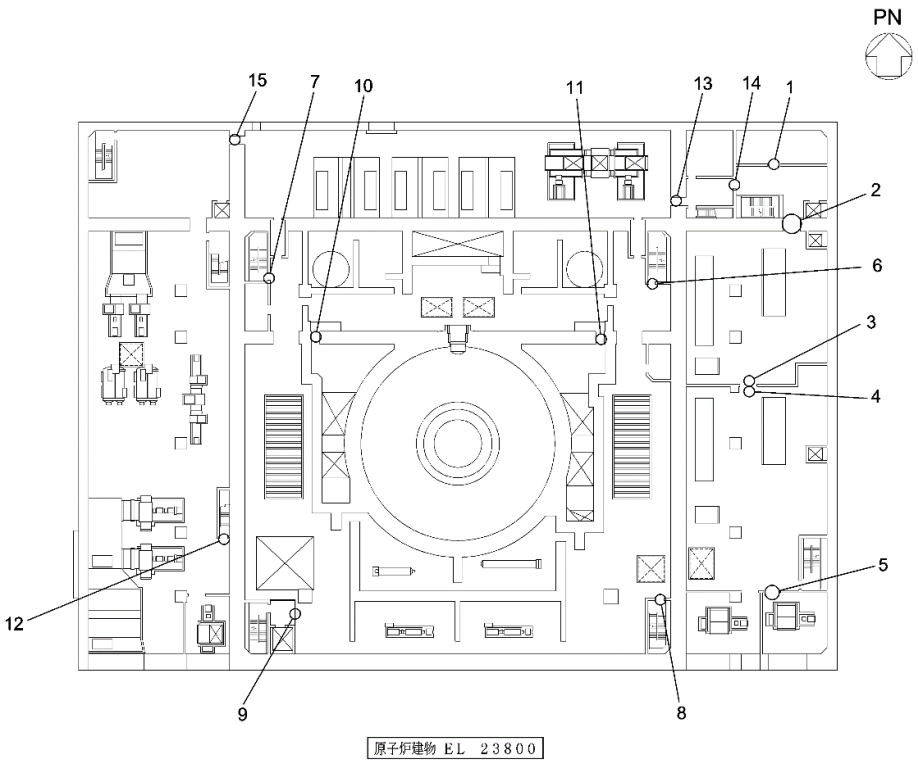
配置図



1	原子炉建物 1階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 1階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 1階 南東階段浸水防止堰
4	原子炉建物 1階 南西階段浸水防止堰
5	原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰
6	原子炉建物 1階 エアロック前浸水防止堰
7	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（非管理区域側）
8	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（管理区域側）

図 2－1(3)　設置位置図

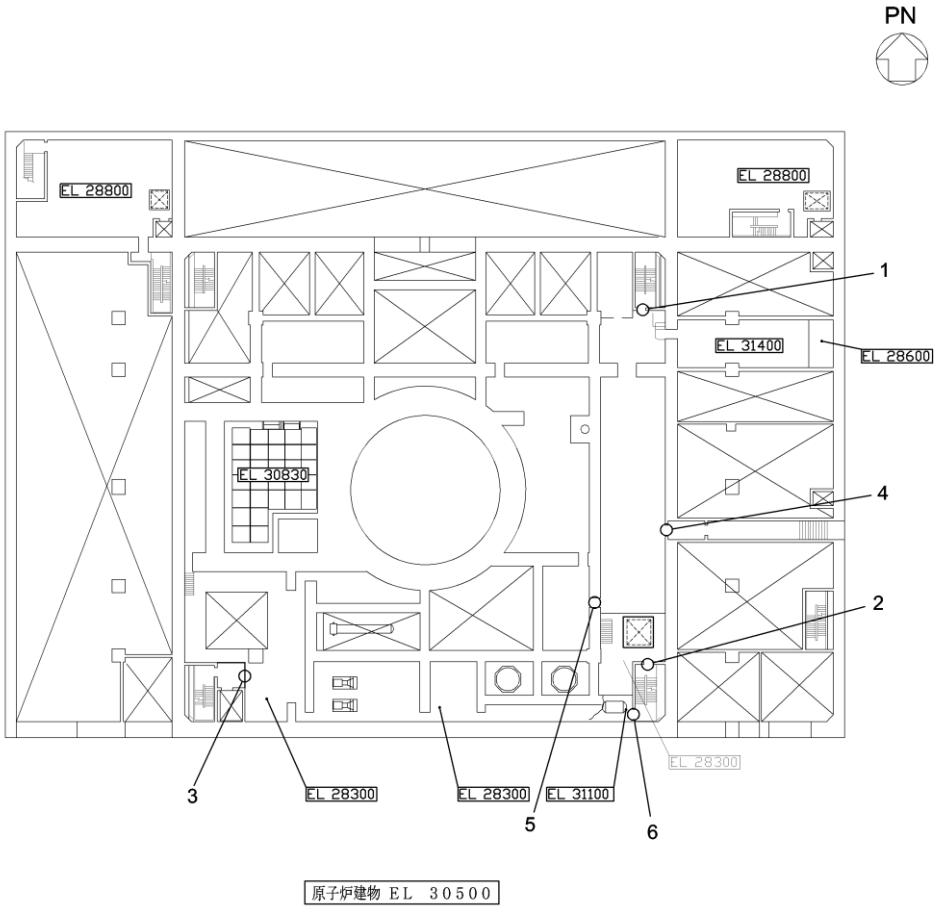
配置図



1	原子炉建物 2 階 A-逃がし安全弁窒素ガス供給装置横浸水防止堰
2	原子炉建物 2 階 非常用電気室北側浸水防止堰
3	原子炉建物 2 階 A-非常用電気室南側浸水防止堰
4	原子炉建物 2 階 B-非常用電気室北側浸水防止堰
5	原子炉建物 2 階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰
6	原子炉建物 2 階 北東階段浸水防止堰
7	原子炉建物 2 階 北西階段浸水防止堰
8	原子炉建物 2 階 南東階段浸水防止堰
9	原子炉建物 2 階 南西階段浸水防止堰
10	原子炉建物 2 階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰
11	原子炉建物 2 階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰
12	原子炉建物 2 階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰
13	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰
14	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰
15	原子炉建物 2 階 RCW バルブ室東側浸水防止堰

図 2－1(4)　設置位置

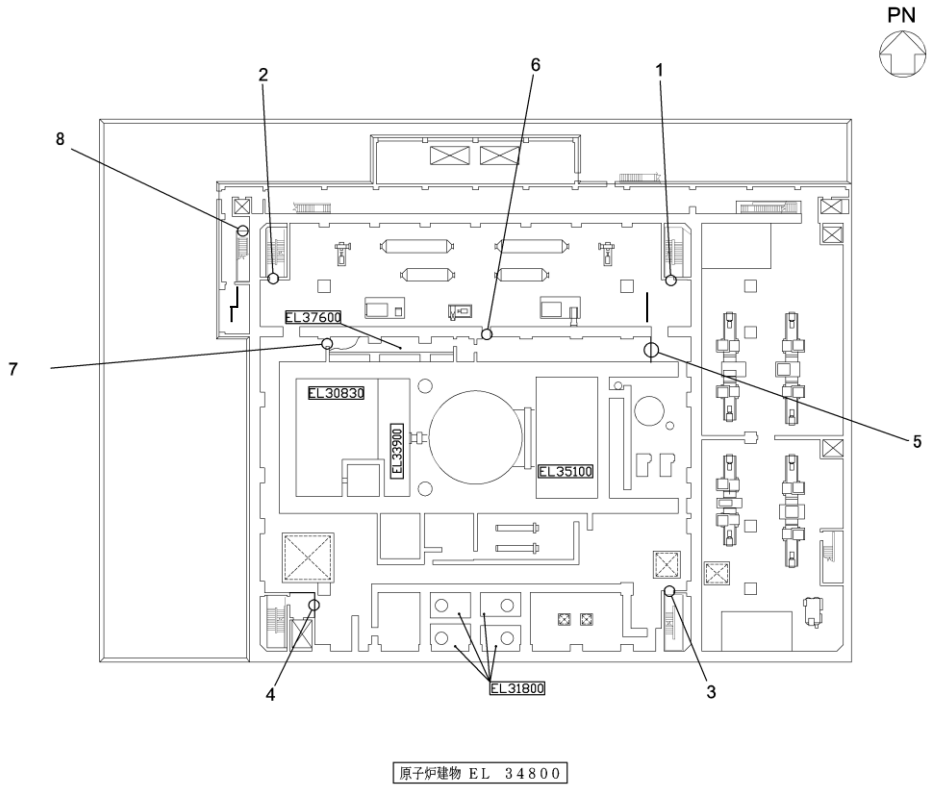
配置図



1	原子炉建物 中2階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 中2階 南東階段浸水防止堰
3	原子炉建物 中2階 南西階段浸水防止堰
4	原子炉建物 中2階 エアロック前浸水防止堰
5	原子炉建物 中2階 CUW バルブ室東側浸水防止堰
6	原子炉建物 中2階 CUW サージタンク室浸水防止堰

図 2－1(5)　設置位置図

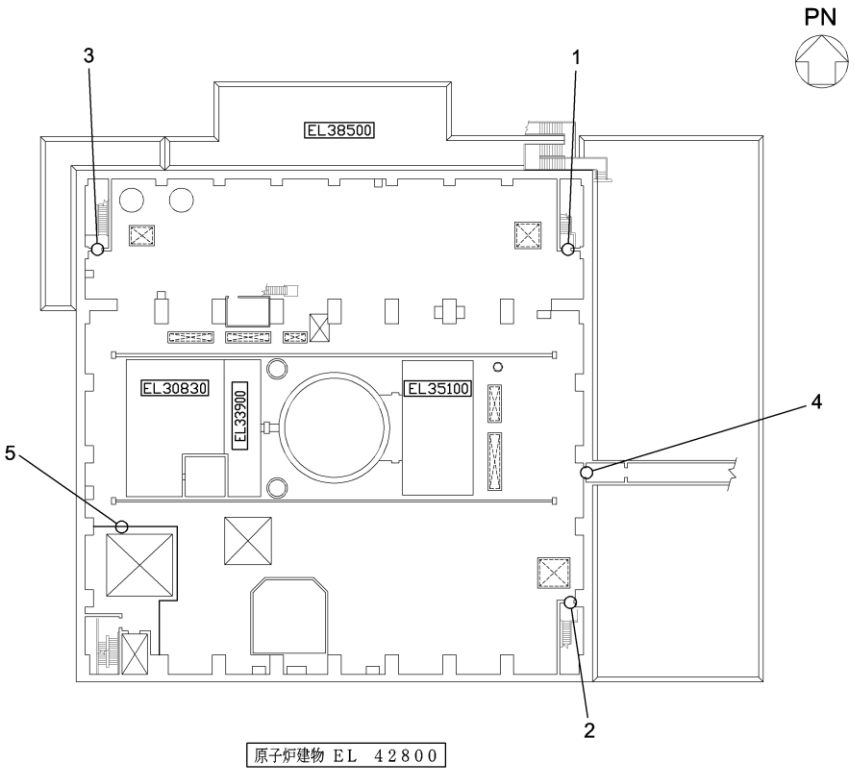
配置図



1	原子炉建物 3 階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 3 階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 3 階 南東階段浸水防止堰
4	原子炉建物 3 階 南西階段浸水防止堰
5	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（通路側）
6	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（SGT 室側）
7	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室前浸水防止堰
8	原子炉建物 3 階 北西側階段室浸水防止堰

図 2－1(6)　設置位置図

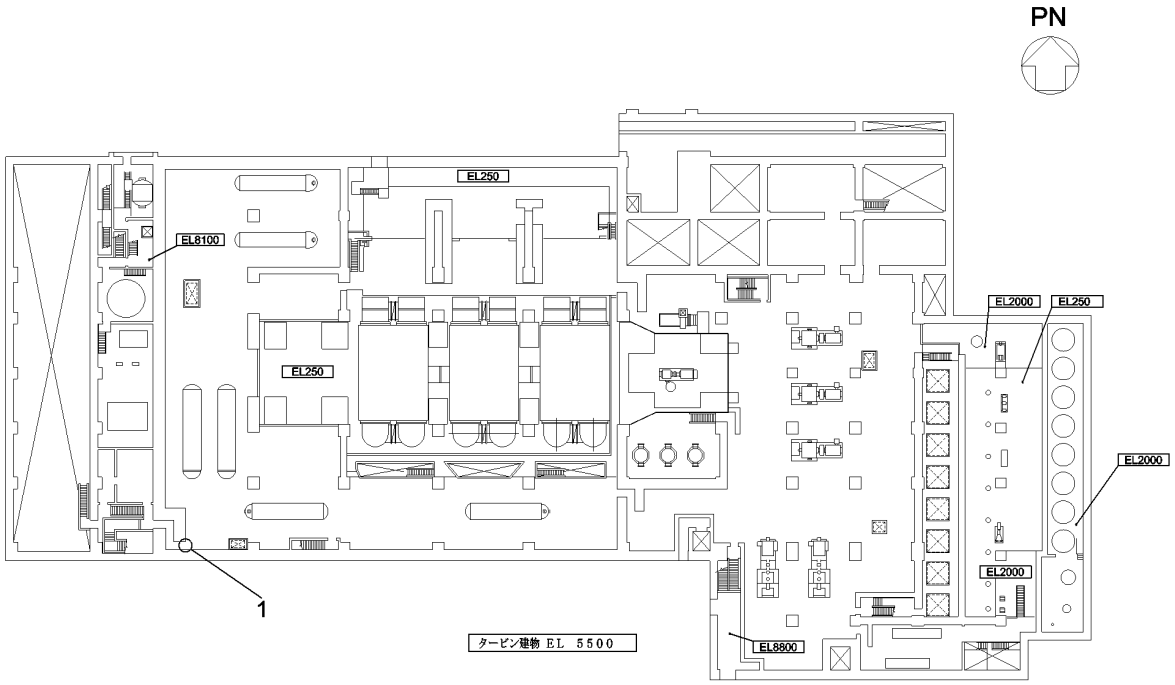
配置図



1	原子炉建物 4階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 4階 南東階段浸水防止堰
3	原子炉建物 4階 北西階段浸水防止堰
4	原子炉建物 4階 エアロック浸水防止堰
5	原子炉建物 4階 大物搬入口浸水防止堰

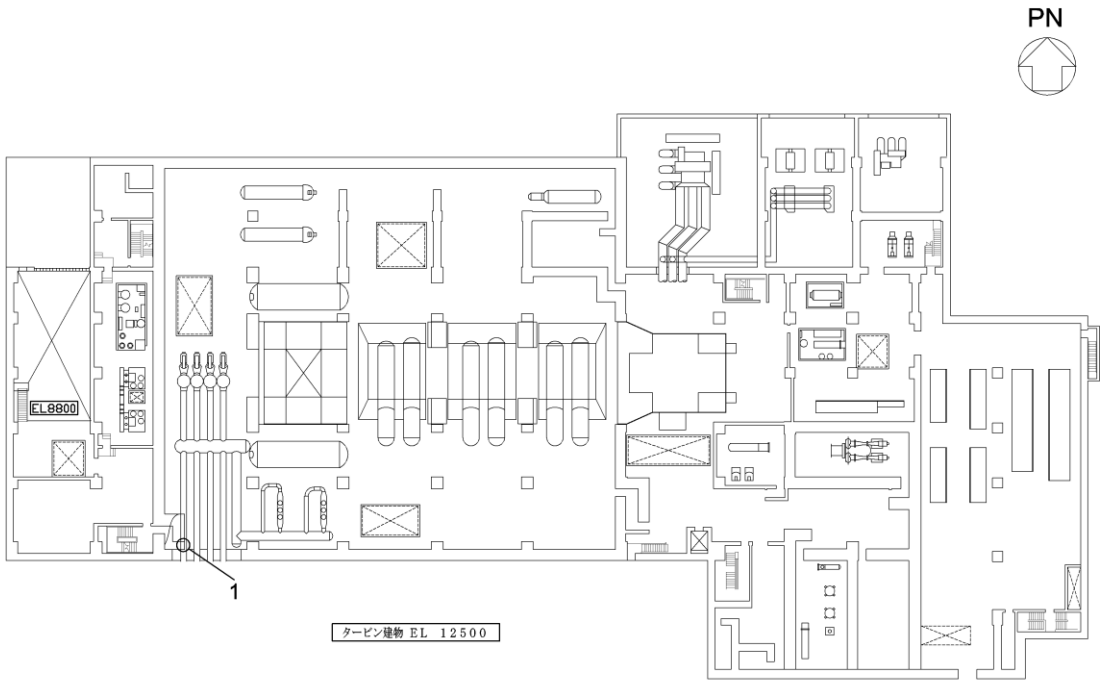
図 2－1(7)　設置位置図

配置図



1	タービン建物 1階 給水加熱器室南西浸水防止堰

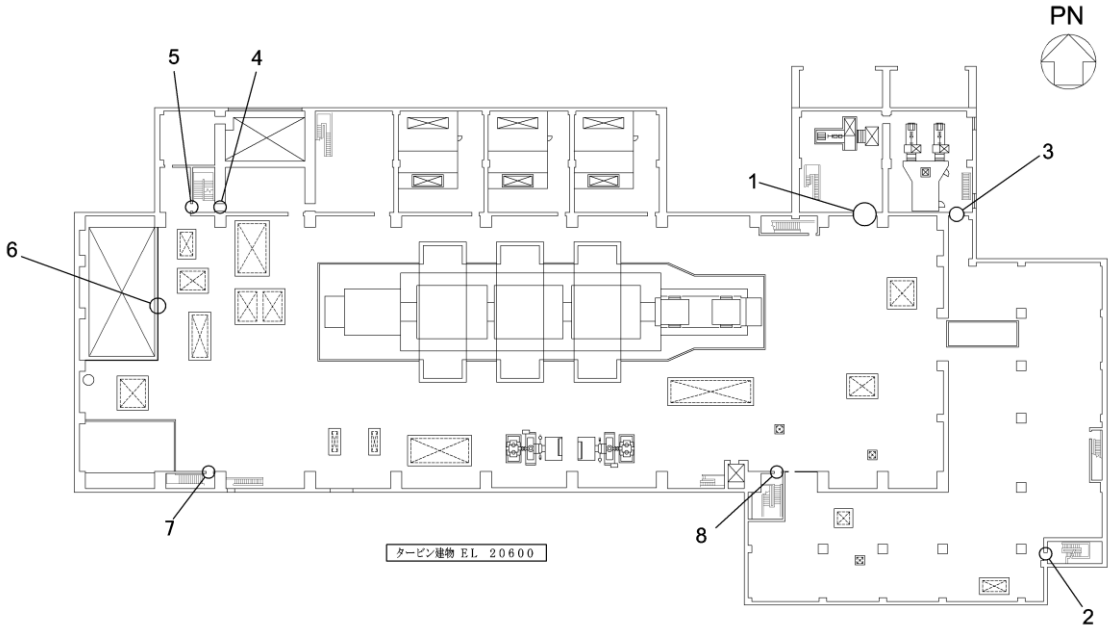
図 2－1(8)　設置位置図

配置図


1	タービン建物 2 階 復水器室南西階段浸水防止堰

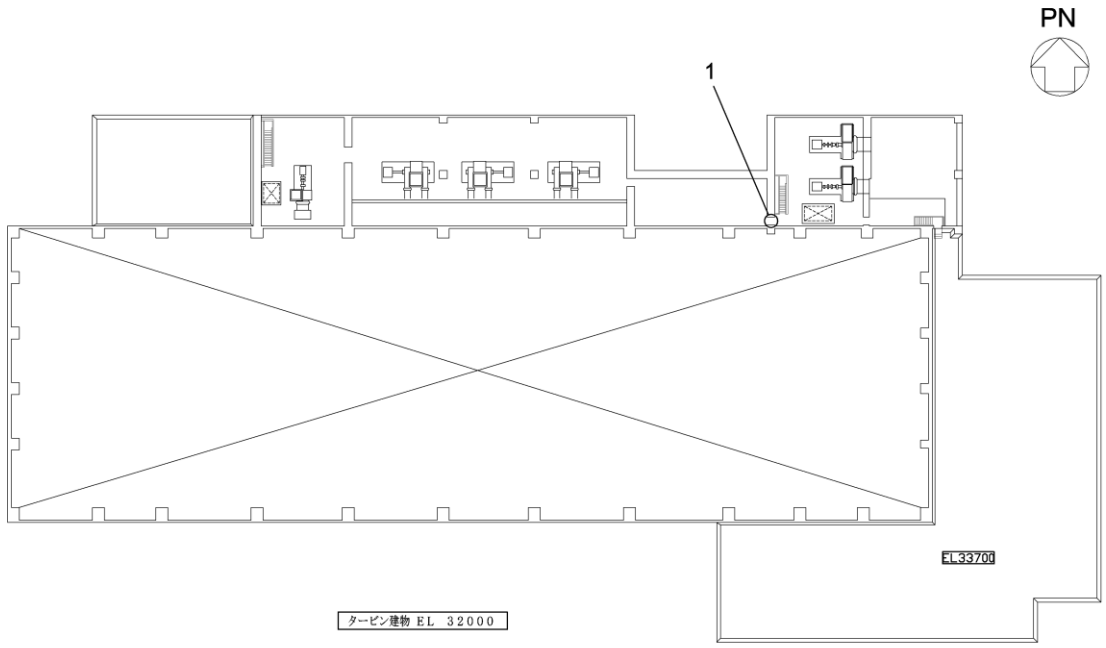
図 2－1(9)　設置位置図

配置図



1	タービン建物 3 階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰
2	タービン建物 3 階 オペフロ南東階段浸水防止堰
3	タービン建物 3 階 常用電気室送風機室南側浸水防止堰
4	タービン建物 3 階 タービン建物ダストサンプラ室西側浸水防止堰
5	タービン建物 3 階 オペフロ北西階段浸水防止堰
6	タービン建物 3 階 大物搬入口浸水防止堰
7	タービン建物 3 階 オペフロ南西階段浸水防止堰
8	タービン建物 3 階 オペフロ南側階段浸水防止堰

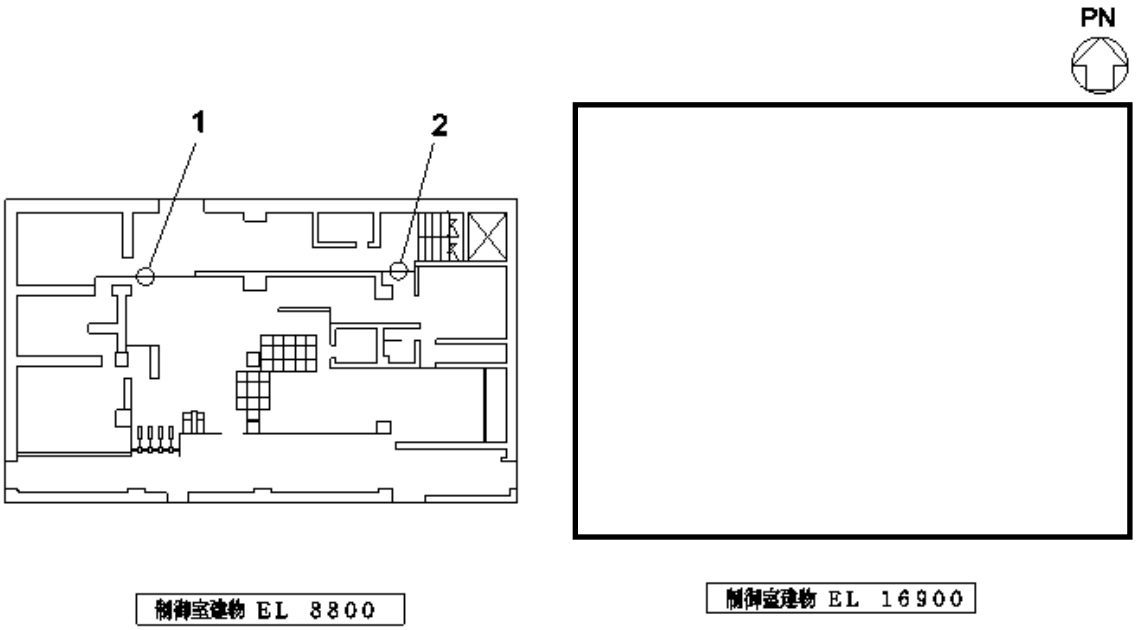
図 2－1(10)　設置位置図

配置図


1	タービン建物 4階 工具室浸水防止堰

図 2－1(11)　設置位置図

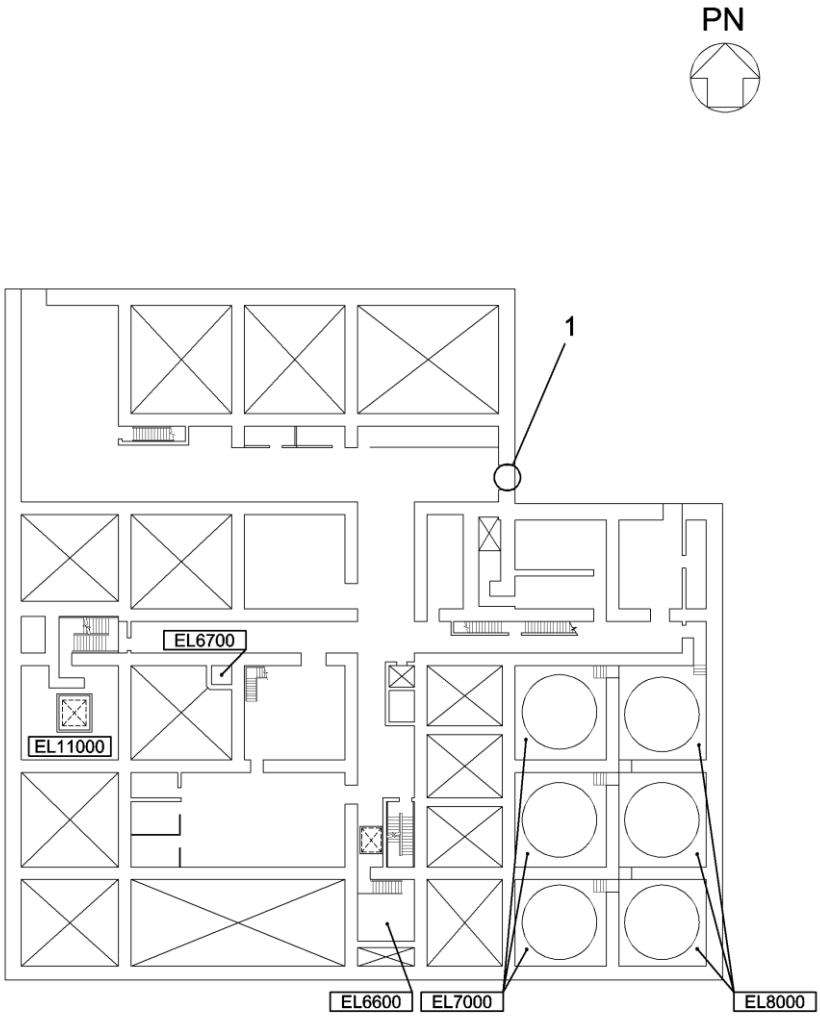
配置図



1	制御室建物 2階 第1チェックポイント中央浸水防止堰
2	制御室建物 2階 第1チェックポイント東側浸水防止堰
3	
4	
5	

図 2－1(12)　設置位置図

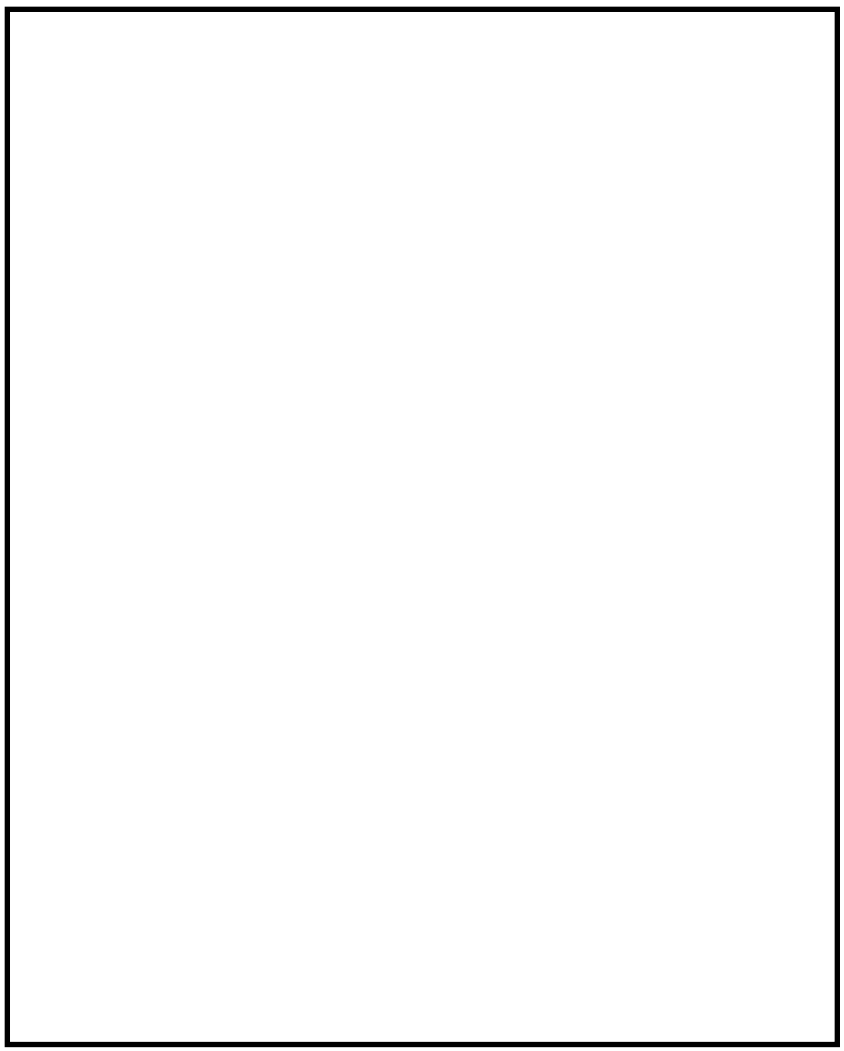
配置図



1	廃棄物処理建物 地下1階 通路東側浸水防止堰

図 2－1(13)　設置位置図

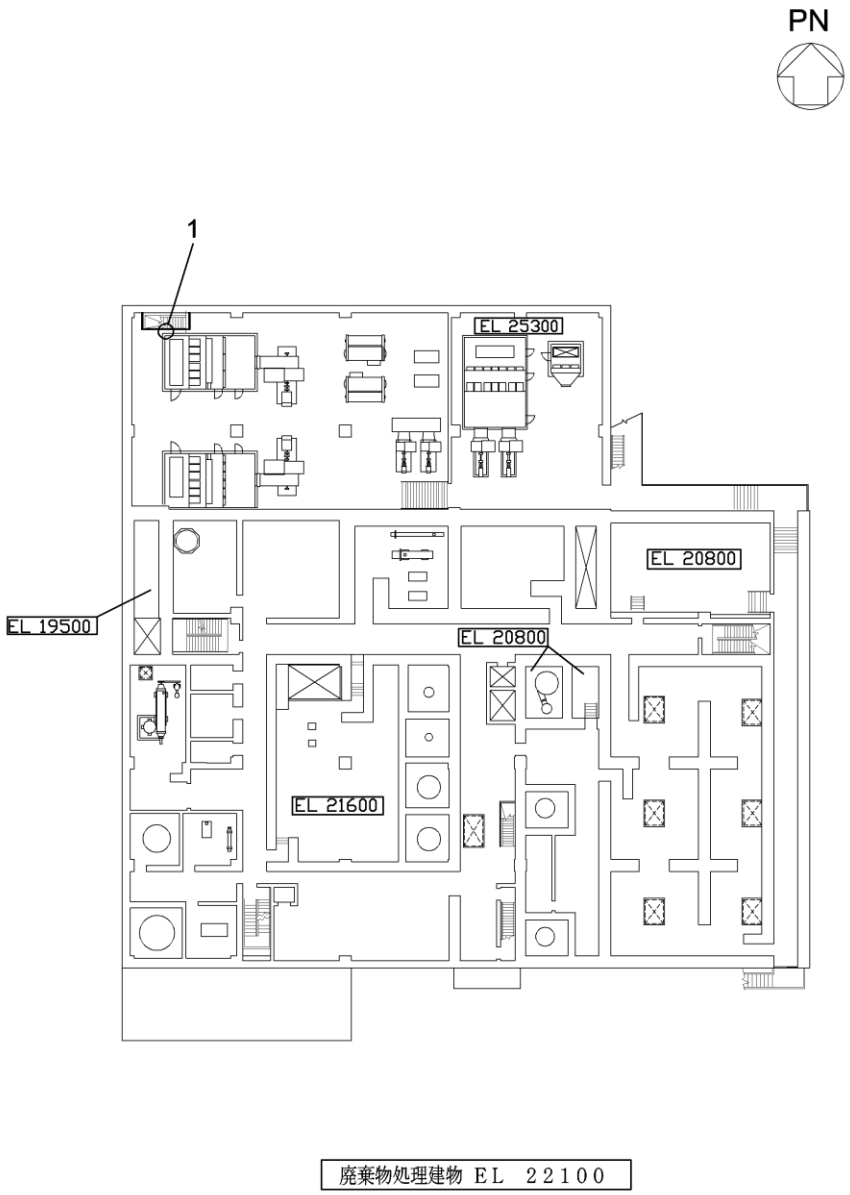
配置図



1	廃棄物処理建物 2階 計算機室連絡扉前浸水防止堰
2	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（北）浸水防止堰
3	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（中）浸水防止堰
4	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（南）浸水防止堰
5	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰
6	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（運転員控室側）
7	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（予備室側）
8	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（補助盤室側）

図 2－1(14)　設置位置図

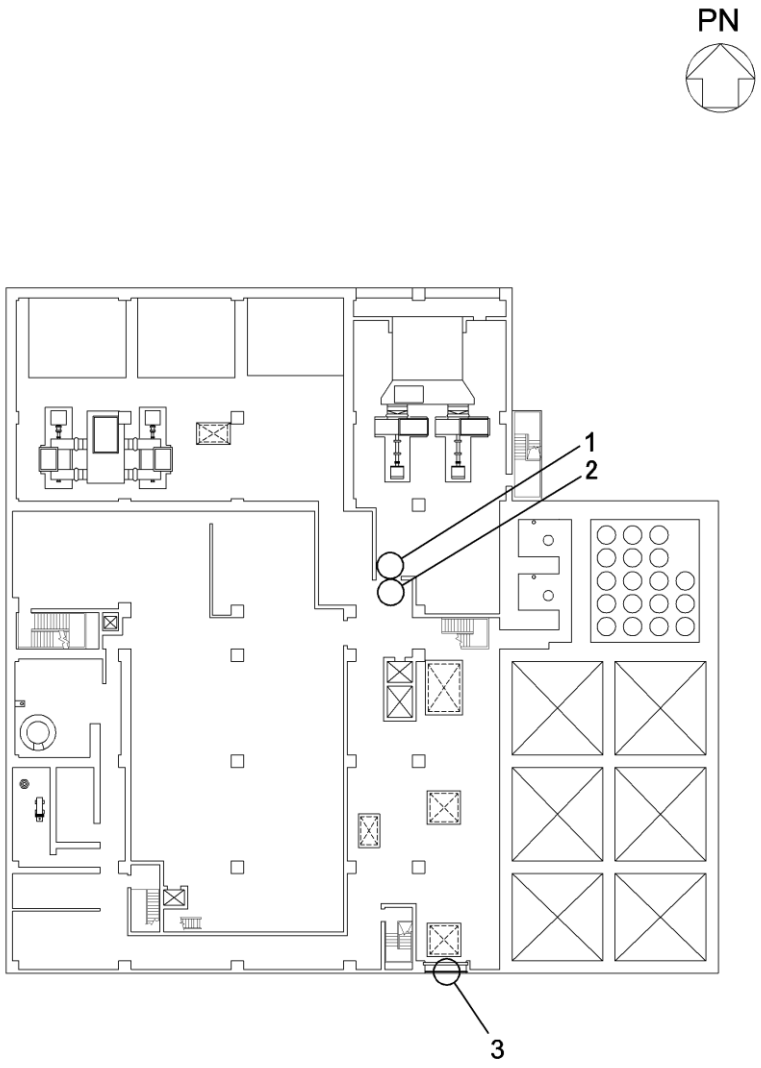
配置図



1	廃棄物処理建物 2階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰

図 2－1(15)　設置位置図

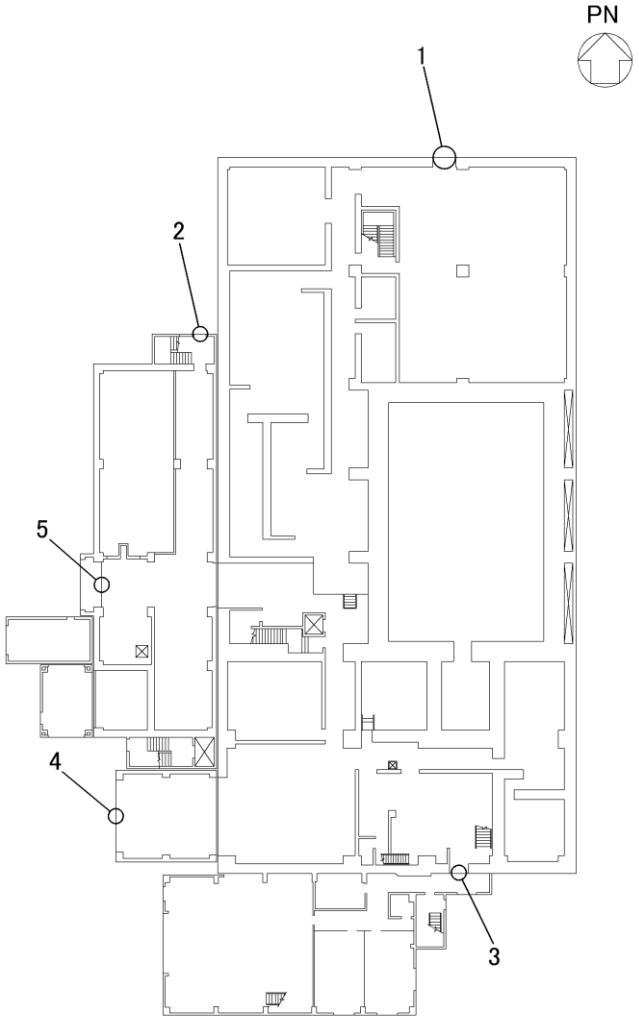
配置図



1	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（非管理区域側）
2	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（管理区域側）
3	廃棄物処理建物 4 階 南側シャッター前浸水防止堰

図 2－1(16)　設置位置図

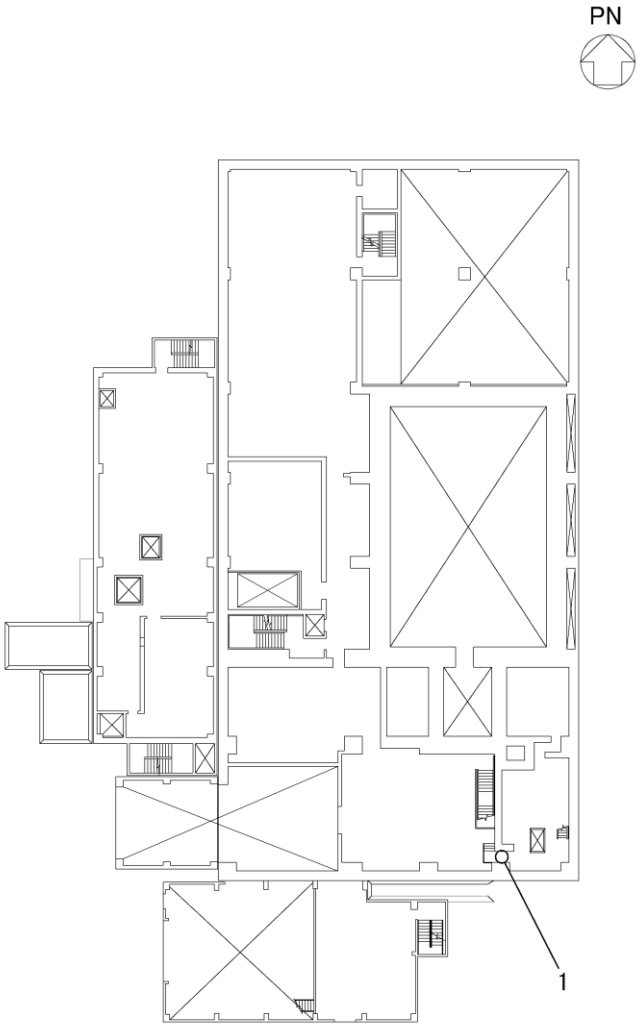
配置図



1	サイトバンカ建物 1階 排風機室北側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 1階 北西側階段室浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰

図 2－1(17)　設置位置図

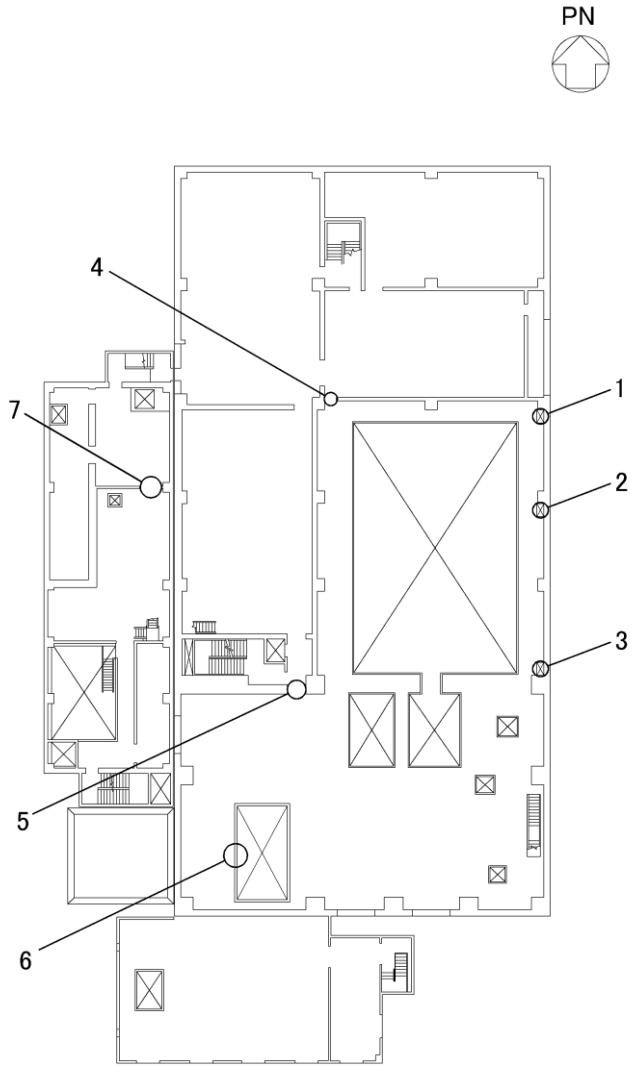
配置図



1	サイトバンカ建物 2階 プリコート室浸水防止堰

図 2－1(18)　設置位置図

配置図



1	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰
6	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰
7	サイトバンカ建物 3 階 溶融物搬入機室浸水防止堰

図 2－1(19)　設置位置図

2.3　構造計画

堰の構造は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。堰は，柱支持型堰，鋼板折曲げ型堰及び鉄筋コンクリート製堰に分類される構造とする。

2.3.1　柱支持型堰の構造

柱支持型堰は，鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。柱支持型堰の構造計画を表 2－2 に，概略構造図を図 2－2 に示す。

表 2－2　柱支持型堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
柱材を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトにて構成する。	図2－2

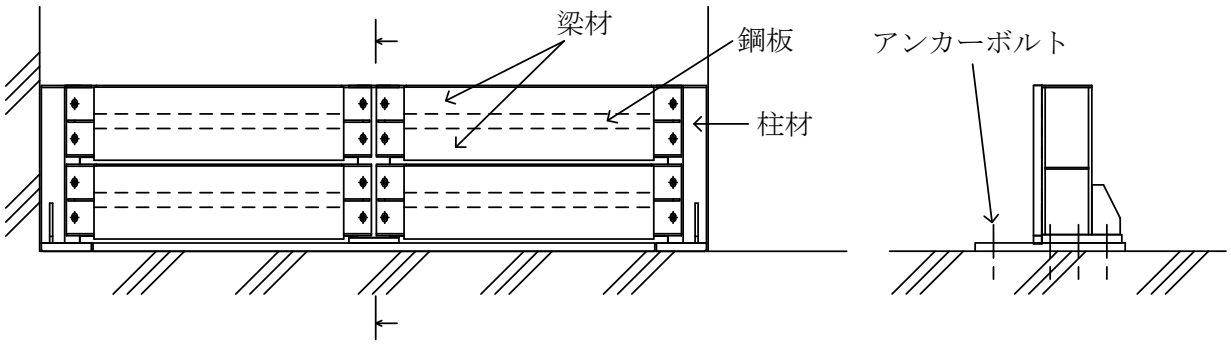


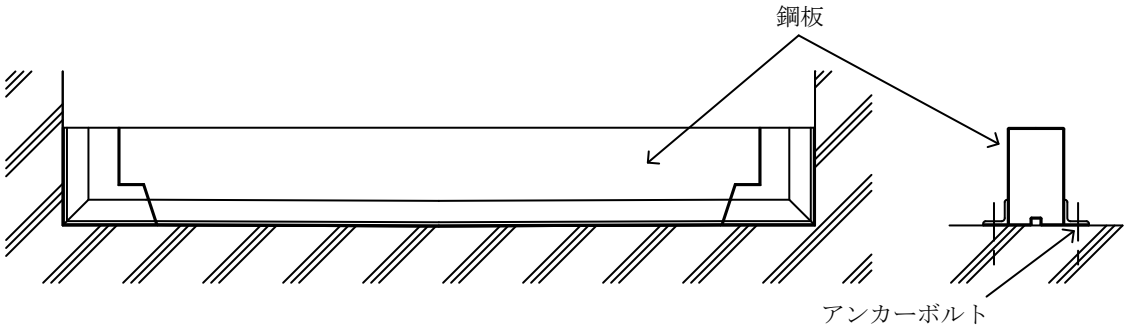
図 2－2　柱支持型堰の概略構造図

2.3.2　鋼板折曲げ型堰の構造

鋼板折曲げ型堰は，鋼板及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。鋼板折曲げ型堰の構造計画を表 2－3 に，概略構造図を図 2－3 に示す。

表 2－3　鋼板折曲げ型堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板及びアンカーボルトにて構成する。	図2－3



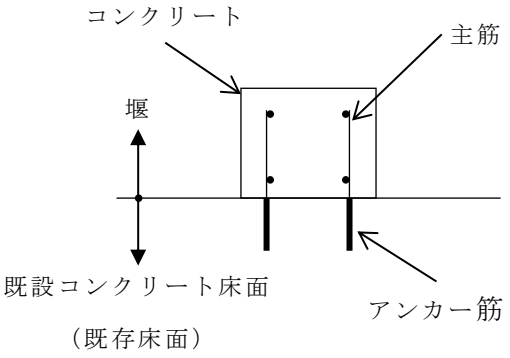
立面図　　断面図

図 2－3　鋼板折曲げ型堰の概略構造図

2.3.3　鉄筋コンクリート製堰の構造

鉄筋コンクリート製堰は，アンカー筋により既存躯体と堰を一体化させた鉄筋コンクリート構造物である。鉄筋コンクリート製堰の構造計画を表 2－4 に示す。

表 2－4　鉄筋コンクリート製堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	コンクリート，主筋及びアンカー筋により構成する。	

2.4　評価方針

堰の耐震評価は，「3.　固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4.　構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。堰の耐震評価フローを図 2－4 に示す。

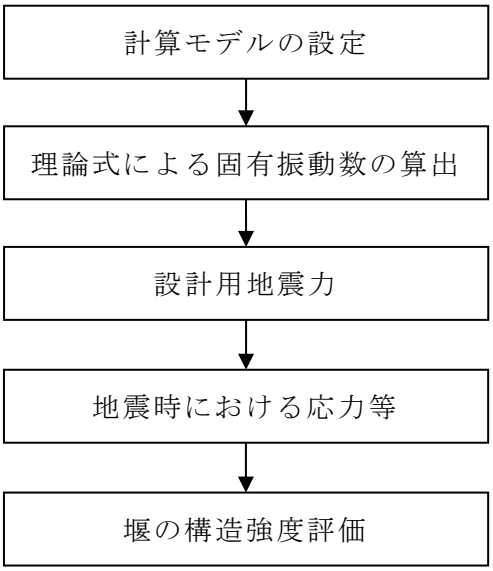


図 2－4　堰の耐震評価フロー

2.5　適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令
・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）
・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
・日本産業規格（ＪＩＳ）（日本規格協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）
・構造力学公式集（（社）土木学会）

2.6　記号の説明

柱支持型堰の耐震評価に用いる記号を表2－5に,鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる記号を表2－6に,鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号を表2－7に示す。

表2－5(1)　柱支持型堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ	kN/m^3	鋼板の単位体積重量
t	mm	鋼板の板厚
k_H	－	水平方向の設計震度
Pw’	N/mm^2	地震荷重による分布荷重
L_1	mm	梁材間距離
Z	mm^3/mm	鋼板の断面係数
σ_ρ	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度
L_1’	mm	梁材1本当たりが負担する鋼板の幅
w_1	kg/m	梁材の単位質量
g	m/s^2	重力加速度
wf’	N/mm	梁材の単位長さ当たりの水平荷重
L_2	mm	梁材の長さ
Z_f	mm^3	梁材の断面係数
σ_f	N/mm^2	梁材の曲げ応力度
A_f	mm^2	梁材のせん断断面積
τ_f	N/mm^2	梁材のせん断応力度
σ_{ef}	N/mm^2	梁材の組合せ応力度
H	mm	柱材の長さ
n	本	梁材の本数
L_2’	mm	柱材1本当たりが負担する梁材の長さ
w_2	kg/m	柱材の単位質量
wf_2’	N/mm	柱材の単位長さ当たりの水平荷重
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数
σ_Y	N/mm^2	柱材の曲げ応力度
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積
τ_Y	N/mm^2	柱材のせん断応力度
σ_{eY}	N/mm^2	柱材の組合せ応力度

表 2－5(2)　柱支持型堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
L_3	mm	ベースプレートの幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
N_1	本	引張を受けるアンカーボルトの本数
N_2	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力
q	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力
T a	kN	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重
Q a	kN	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重

表 2－6　鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
M	N･mm	鋼板の曲げモーメント
Z	mm^3	鋼板の断面係数
σ	N/mm^2	鋼板の曲げ応力度
R_V	kN	支点反力（鉛直方向）
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じる引張力
R_H	kN	支点反力（水平方向）
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数
q	kN	アンカーボルト 1 本当たりに生じるせん断力
T a	kN	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重
Q a	kN	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重
B	mm	堰の幅
H	mm	堰の高さ

表 2－7(1)　鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
w_1	kN/m	単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
ρ	kN/m^3	コンクリートの単位体積重量
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅

表 2－7(2)　鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
H	m	鉄筋コンクリート製堰の高さ
M_h	kN･m/m	鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント
k_H	－	水平方向の設計震度
b_1'	m	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
T_1	kN/本	アンカー筋に生じる引張力
F_H	kN/m	設計用水平地震力
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
q_1	kN/本	アンカー筋に生じるせん断力
Ta_1	kN/本	アンカー筋の引張に対する短期許容荷重
Qa_1	kN/本	アンカー筋のせん断に対する短期許容荷重
b_2'	m	主筋の重心位置から躯体端部までの距離
N_3	本	引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数
T_2	kN/本	主筋に生じる引張力
N_4	本	せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数
q_2	kN/本	主筋に生じるせん断力
Ta_2	kN/本	主筋の引張に対する短期許容荷重
Qa_2	kN/本	主筋のせん断に対する短期許容荷重
τ'	N/mm^2	堰底部のコンクリートのせん断応力度
F_V	kN/m	設計用鉛直地震力
k_V	－	鉛直方向の設計震度
Z	mm^3/m	鉄筋コンクリート製堰の断面係数
σ_c	N/mm^2	堰底部のコンクリートに生じる圧縮応力度

3.　固有振動数及び設計用地震力

3.1　固有振動数の計算方法

堰の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を求める。

3.1.1　解析モデルの設定

(1)　柱支持型堰

各部位の寸法や形状を踏まえ柱支持型堰は柱材を片持ちはりに単純化したモデルとし，堰の評価モデル図を図3－1に示す。評価モデルの高さ（ℓ）は柱材の長さ（H）とする。

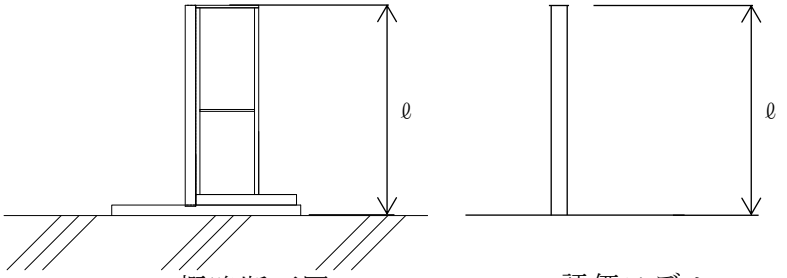


図3－1　柱支持型堰の評価モデル図

(2)　鋼板折曲げ型堰

各部位の寸法や形状を踏まえ鋼板折曲げ型堰は単位幅の梁要素でモデル化し，実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルとし，堰の評価モデル図を図3－2に示す。評価モデルの高さ（ℓ）は堰の高さ（H）とする。

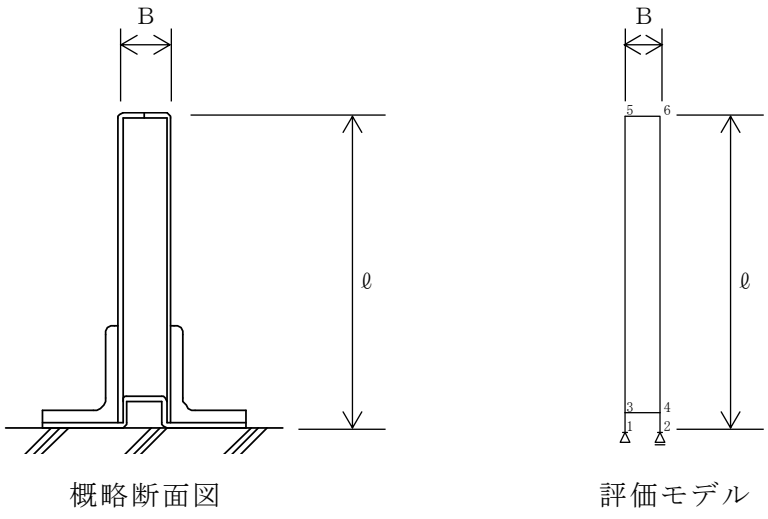


図3－2　鋼板折曲げ型堰の評価モデル図

(3)　鉄筋コンクリート製堰

各部位の寸法や形状を踏まえ鉄筋コンクリート製堰は片持ちはりに単純化したモデルとし，堰の評価モデル図を図 3－3 に示す。評価モデルの高さ（ℓ）は鉄筋コンクリート製堰の高さ（H）とする。

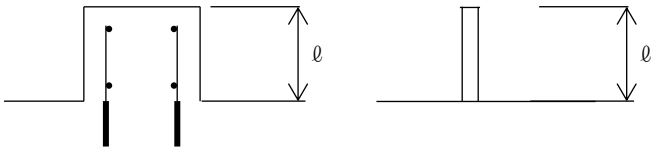


図 3－3　鉄筋コンクリート製堰の評価モデル図

3.1.2　記号の説明

堰の固有振動数算出に用いる記号を表 3－1 に示す。

表 3－1　堰の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	固有振動数
ℓ	mm	堰高さ
E	N/mm^2	ヤング率
I	mm^4	断面 2 次モーメント
m	kg/m	単位長さ当たりの質量

3.1.3　固有振動数の算出方法

(1)　柱支持型堰及び鉄筋コンクリート製堰

固有振動数 f を「土木学会 構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{1.875^2}{2\pi\ell^2}\sqrt{\frac{E\,I}{m}\times 10^6}$$

(2)　鋼板折曲げ型堰

「3.1.1　解析モデルの設定」にて設定した解析モデルを用いて，固有値解析により算出する。

解析プログラムは，「ＫＡＮＳＡＳ２」とする。なお，解析プログラムの検証及び妥当性の確認の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2　固有振動数の計算条件

柱支持型堰の固有振動数の計算条件を表3－2に,鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件を表3－3に,鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算条件を表3－4に示す。

表3－2(1)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面2次モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 2800mm	原子炉建物 地下2階 B-非常用DG電気室南側浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	129.1
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下1階 北西階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	135.9
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下1階 南側通路浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.6
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下1階 HPCS給気消音器フィルタ室浸水防止堰	1050	2.05×10^5	5.630×10^6	150.5
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 北東階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	161.1
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 北西階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.1
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 南東階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	146.2

表 3－2(2)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南西階段浸 水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	131.4
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 PLR ポンプ MG セット室南 西階段浸水防 止堰	400	2.05×10^5	5.630×10^6	147.2
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 エアロック 前浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	147.6
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 第 2 チェッ クポイント浸 水防止堰(非管 理区域側)	500	2.05×10^5	5.630×10^6	135.9
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 第 2 チェッ クポイント浸 水防止堰(管理 区域側)	500	2.05×10^5	5.630×10^6	112.6
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-逃がし安 全弁窒素ガス 供給装置横浸 水防止堰	600	2.05×10^5	1.600×10^7	272.1
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 非常用電気 室北側浸水防 止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.6

表 3－2(3)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-非常用電気室南側浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	164.1
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 B-非常用電気室北側浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	141.5
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	172.6
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 北東階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	130.8
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 北西階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	126.6
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 南東階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	114.2
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 南西階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	147.7
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	1050	2.05×10^5	2.038×10^7	77.25

表 3－2(4)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	1050	2.05×10^5	2.038×10^7	77.48
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	106.3
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰	500	2.05×10^5	2.038×10^7	85.9
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰	755	2.05×10^5	1.600×10^7	203.7
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 RCW バルブ室東側浸水防止堰	800	2.05×10^5	5.630×10^6	124.9
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 北東階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	7.400×10^6	84.87

表 3－2(5)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南東階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	118.7
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南西階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	147.7
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 エアロック前浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	144.5
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 CUW バルブ室東側浸水防止堰	500	2.05×10^5	2.038×10^7	85.90
原子炉建物 EL 31100mm	原子炉建物 中 2 階 CUW サージタンク室浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	120.7
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北東階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	129.1
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	124.4
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南東階段浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	124.4
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南西階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	147.7

表 3－2(6)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（通路側）	500	2.05×10^5	5.630×10^6	114.9
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（SGT 室側）	500	2.05×10^5	2.038×10^7	86.18
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室前浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	133.9
タービン建物 EL 5500mm	タービン建物 1 階 給水加熱器室南西浸水防止堰	900	2.05×10^5	5.630×10^6	100.6
タービン建物 EL 12500mm	タービン建物 2 階 復水器室南西階段浸水防止堰	800	2.05×10^5	5.630×10^6	106.2
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	137.8
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南東階段浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	123.4

表 3－2(7)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 常用電気 室送風機室南 側浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	132.3
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン 建物ダストサ ンプラ室西側 浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	101.3
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ 北西階段浸水 防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	119.9
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 大物搬入 口浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	128.4
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ 南西階段浸水 防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	118.9
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ 南側階段浸水 防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	118.9
タービン建物 EL 32000mm	タービン建物 4 階 工具室浸 水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	103.1

表 3－2(8)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
廃棄物処理建物 EL 8800mm	廃棄物処理建物 地下 1 階 通路東側浸水防止堰	600	2.05×10^5	5.630×10^6	157.2
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰(非管理区域側)	1050	2.05×10^5	5.630×10^6	119.6
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰(管理区域側)	750	2.05×10^5	5.630×10^6	144.2
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 南側シャッター前浸水防止堰	750	2.05×10^5	5.630×10^6	127.2
サイトバンカ建物 EL 10200mm	サイトバンカ建物 1 階 排風機室北側浸水防止堰	300	2.05×10^5	5.630×10^6	135.8
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1 階 北西側階段室浸水防止堰	650	2.05×10^5	5.630×10^6	85.82

表 3－2(9)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
サイトバンカ建物 EL 14800mm	サイトバンカ建物 2 階 プリコート室浸水防止堰	500	2.05×10^5	1.210×10^7	72.88
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	137.5
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	137.0
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	134.7
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	121.3
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰	500	2.05×10^5	5.630×10^6	141.5

表 3－2(10)　柱支持型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
サイトバンカ建物 EL 20300mm	サイトバンカ 建物 3 階 溶 融物搬入機室 浸水防止堰	300	2.05×10^5	5.630×10^6	134.8

表 3－3(1)　鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	板厚 t (mm)	単位体積重量 ρ (kN/m^3)	堰幅 B (mm)
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下1階 RCIC直流C/C浸水防止堰	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下1階 DG室給気ダクト室南側階段浸水防止堰	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下1階 第3チェックポイント浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3階 北西側階段室浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4階 北東階段浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4階 南東階段浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4階 北西階段浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4階 エアロック浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150

表 3－3(2)　鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	板厚 t (mm)	単位体積重量 ρ (kN/m^3)	堰幅 B (mm)
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 大物搬入口浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	150
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント中央浸水防止堰	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント東側浸水防止堰	290	2.05×10^5	3.2	77.0	150
廃棄物処理建物 EL 21150mm	廃棄物処理建物 2 階 計算機室連絡扉前浸水防止堰	210	2.05×10^5	3.2	77.0	150
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（北）浸水防止堰	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（中）浸水防止堰	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（南）浸水防止堰	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150

表 3－3(3)　鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	板厚 t (mm)	単位体積重量 ρ (kN/m^3)	堰幅 B (mm)
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰	260	2.05×10^5	3.2	77.0	150
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（運転員控室側）	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（予備室側）	300	2.05×10^5	3.2	77.0	36
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（補助盤室側）	250	2.05×10^5	3.2	77.0	36
廃棄物処理建物 EL 22100mm	廃棄物処理建物 2階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰	210	2.05×10^5	3.2	77.0	150
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰	200	2.05×10^5	3.2	77.0	36

表 3－3(4)　鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	板厚 t (mm)	単位体積重量 ρ (kN/m^3)	堰幅 B (mm)
サイトバンカ建物 EL 8900mm	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰	100	2.05×10^5	3.2	77.0	36
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰	200	2.05×10^5	3.2	77.0	36
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰	200	2.05×10^5	3.2	77.0	36

表 3－4　鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算条件

設置場所	設備名称	堰高さ ℓ (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面 2 次 モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
制御室建物 EL 16900mm		200	2.20×10^4	2.250×10^9	783.1
制御室建物 EL 16900mm		200	2.20×10^4	4.094×10^8	416.0
制御室建物 EL 16900mm		200	2.20×10^4	4.860×10^8	440.5

3.3　固有振動数の計算結果

柱支持型堰の固有振動数の計算結果を表 3－5 に,鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算結果を表3－6に,鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算結果を表3－7に示す。計算結果より，全ての堰が剛であることを確認した。

表 3－5(1)　柱支持型堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
原子炉建物 EL 2800mm	原子炉建物 地下 2 階 B-非常用 DG 電気室南側浸水防止堰	211.617
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 北西階段浸水防止堰	206.255
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 南側通路浸水防止堰	208.023
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 HPCS 給気消音器フィルタ室浸水防止堰	44.443
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北東階段浸水防止堰	189.438
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北西階段浸水防止堰	208.413
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南東階段浸水防止堰	198.857
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南西階段浸水防止堰	209.757
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰	309.656
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 エアロック前浸水防止堰	197.911
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 第 2 チェックポイント浸水防止堰（非管理区域側）	206.255
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 第 2 チェックポイント浸水防止堰（管理区域側）	226.592
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-逃がし安全弁窒素ガス供給装置横浸水防止堰	170.645

表 3－5(2)　柱支持型堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 非常用電気室北側浸水防止堰	208.023
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-非常用電気室南側浸水防止堰	130.346
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 B-非常用電気室北側浸水防止堰	140.370
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰	183.018
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 北東階段浸水防止堰	210.237
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 北西階段浸水防止堰	148.400
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 南東階段浸水防止堰	156.249
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 南西階段浸水防止堰	137.392
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	118.025
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	117.850
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰	161.951
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰	493.589
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰	124.558
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 RCW バルブ室東側浸水防止堰	84.041
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 北東階段浸水防止堰	207.795

表 3－5(3)　柱支持型堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南東階段浸水防止堰	153.259
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南西階段浸水防止堰	137.392
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 エアロック前浸水防止堰	138.905
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 CUW バルブ室東側浸水防止堰	493.589
原子炉建物 EL 31100mm	原子炉建物 中 2 階 CUW サージタンク室浸水防止堰	218.857
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北東階段浸水防止堰	211.617
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西階段浸水防止堰	215.578
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南東階段浸水防止堰	215.578
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南西階段浸水防止堰	137.392
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（通路側）	224.313
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（SGT 室側）	492.786
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室前浸水防止堰	207.789
タービン建物 EL 5500mm	タービン建物 1 階 給水加熱器室南西浸水防止堰	73.989
タービン建物 EL 12500mm	タービン建物 2 階 復水器室南西階段浸水防止堰	91.141
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰	142.242

表 3－5(4)　柱支持型堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南東階段浸水防止堰	150.312
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 常用電気室送風機室南側浸水防止堰	145.168
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン建物ダストサンプラ室西側浸水防止堰	165.900
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ北西階段浸水防止堰	152.490
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 大物搬入口浸水防止堰	147.356
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南西階段浸水防止堰	153.130
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南側階段浸水防止堰	153.130
タービン建物 EL 32000mm	タービン建物 4 階 工具室浸水防止堰	164.445
廃棄物処理建物 EL 8800mm	廃棄物処理建物 地下 1 階 通路東側浸水防止堰	133.176
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（非管理区域側）	49.855
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（管理区域側）	88.992
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 南側シャッター前浸水防止堰	94.752
サイトバンカ建物 EL 10200mm	サイトバンカ建物 1 階 排風機室北側浸水防止堰	573.141
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1 階 北西側階段室浸水防止堰	153.579
サイトバンカ建物 EL 14800mm	サイトバンカ建物 2 階 プリコート室浸水防止堰	412.903

表 3－5(5)　柱支持型堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰	205.051
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰	205.425
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰	207.171
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰	218.315
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰	202.132
サイトバンカ建物 EL 20300mm	サイトバンカ建物 3 階 溶融物搬入機室浸水防止堰	575.263

表 3－6(1)　鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 RCIC 直流 C/C 浸水防止堰	34.504
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 DG 室給気ダクト室南側階段浸水防止堰	34.504
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 第 3 チェックポイント浸水防止堰	40.865
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西側階段室浸水防止堰	40.865
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北東階段浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 南東階段浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北西階段浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 エアロック浸水防止堰	27.247
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 大物搬入口浸水防止堰	27.247
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント中央浸水防止堰	40.865
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント東側浸水防止堰	28.827
廃棄物処理建物 EL 21150mm	廃棄物処理建物 2 階 計算機室連絡扉前浸水防止堰	48.648
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（北）浸水防止堰	34.504
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（中）浸水防止堰	34.504
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（南）浸水防止堰	34.504

表 3－6(2)　鋼板折曲げ型堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰	34.504
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 中央制御室横会議室浸水防止堰（運転員控室側）	40.865
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 中央制御室横会議室浸水防止堰（予備室側）	40.865
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1 階 中央制御室横会議室浸水防止堰（補助盤室側）	58.714
廃棄物処理建物 EL 22100mm	廃棄物処理建物 2 階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰	48.648
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1 階 建物出入口浸水防止堰	91.192
サイトバンカ建物 EL 8900mm	サイトバンカ建物 1 階 南側大物搬入口浸水防止堰	329.349
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1 階 北側大物搬入口浸水防止堰	91.192
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰	91.192

表 3－7　鉄筋コンクリート製堰の固有振動数の計算結果

設置場所	設備名称	固有振動数 f (Hz)
制御室建物 EL 16900mm		3516.873
制御室建物 EL 16900mm		2058.265
制御室建物 EL 16900mm		2179.311

3.4　設計用地震力

耐震Ｃ－２クラス施設の堰の基準地震動Ｓ$_s$による設計用地震力は，Ⅵ-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」，Ⅵ-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」，Ⅵ-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」及びⅥ-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された堰設置床の最大応答加速度から各堰の設計震度を設定する。

耐震Ｂクラスの施設の堰の設計用地震力は，Ⅵ-2-1-1「耐震設計の基本方針」に基づく静的地震力から設計震度を設定する。また，堰は建物・構築物として評価する。

耐震Ｃ－２クラスの各堰の設置床の最大応答加速度から算出した設計震度及び耐震Ｂクラス施設の各堰の静的地震力から算出した設計震度を表3－8に示す。

表 3－8　堰の設計震度

建物	階	床高さ (EL)	水平震度*1 (－)	鉛直震度 (－)
原子炉建物	地上 4 階	42.8m	1.46	1.51
	地上 3 階	34.8m	1.17	1.49
	地上中 2 階	31.1m	1.46	1.49
		30.5m	1.46	1.44
		28.3m	1.46	1.44
	地上 2 階	23.8m	1.02	1.28
	地上 1 階	15.3m	0.92	0.97
	地下 1 階	10.3m	0.92	0.97
		8.8m	0.88	0.64
	地下 2 階	2.8m	0.88	0.64
タービン建物	地上 4 階	32.0m	2.47	1.24
	地上 3 階	20.6m	2.23	0.90
	地上 2 階	12.5m	1.61	0.72
	地上 1 階	5.5m	1.28	0.60
廃棄物処理建物	地上 4 階	32.0m	1.29	0.97
	地上 2 階	22.1m	1.10	0.92
		21.15m	1.10	0.92
	地上 1 階	16.9m	1.07	0.81
	地下 1 階	8.8m	1.02	0.64
制御室建物	地上 4 階	16.9m	1.96	0.88
	地上 2 階	8.8m	1.01	0.66
サイトバンカ建物	地上 3 階	20.3m	0.354*2	－
		19.8m	0.314*3	－
	地上 2 階	14.8m	0.314*3	－
	地上 1 階	10.2m	0.278*3	－
		8.9m	0.278*3	－
		8.8m	0.240*3	－

注記＊1：ＮＳ方向及びＥＷ方向の最大値を用いる。

＊2：平成11年4月26日平成11･04･12資第24号にて認可された工事計画の添付書類「資料2-2　建物の耐震性についての計算書」による。

＊3：昭和56年11月25日資庁第11398号にて認可された工事計画の添付書類「Ⅳ-1-(2)-h サイトバンカ建物の耐震性についての計算書」による。

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は,自重及び地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

また，柱支持型堰，鋼板折曲げ型堰及び鉄筋コンクリート製堰において，評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表して評価する。

4.1.1 柱支持型堰

柱支持型堰の評価対象部位は，自重及び地震に伴う慣性力が，鋼板，梁材及び柱材からアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトとする。

評価の対象となる柱支持型堰の選定結果を表 4－1 に示す。

表 4－1(1) 評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 2800mm	原子炉建物 地下 2 階 B-非常用 DG 電気室南側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 南側通路浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 HPCS 給気消音器フィルタ室浸水防止堰	○*
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰	

注記＊：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

表 4－1(2)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 エアロック前浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（非管理区域側）	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（管理区域側）	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-逃がし安全弁窒素ガス供給装置横浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 非常用電気室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-非常用電気室南側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 B-非常用電気室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰	

表 4－1(3)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 RCW バルブ室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 エアロック前浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 CUW バルブ室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 31100mm	原子炉建物 中 2 階 CUW サージタンク室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（通路側）	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（SGT 室側）	

表 4－1(4)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3階 B-CAMS 室前浸水防止堰	
タービン建物 EL 5500mm	タービン建物 1階 給水加熱器室南西浸水防止堰	
タービン建物 EL 12500mm	タービン建物 2階 復水器室南西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 オペフロ南東階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 常用電気室送風機室南側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 タービン建物ダストサンプラ室西側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 オペフロ北西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 大物搬入口浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 オペフロ南西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3階 オペフロ南側階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 32000mm	タービン建物 4階 工具室浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 8800mm	廃棄物処理建物 地下1階 通路東側浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（非管理区域側）	
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（管理区域側）	

表 4－1(5)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4階 南側シャッター前浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 10200mm	サイトバンカ建物 1階 排風機室北側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 北西側階段室浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 14800mm	サイトバンカ建物 2階 プリコート室浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 20300mm	サイトバンカ建物 3階 溶融物搬入機室浸水防止堰	

4.1.2　鋼板折曲げ型堰

鋼板折曲げ型堰の評価対象部位は，自重及び地震に伴う慣性力が，鋼板からアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，鋼板，及びアンカーボルトとする。評価の対象となる鋼板折曲げ型堰の選定結果を表 4－2 に示す。

表 4－2(1)　評価対象とする鋼板折曲げ型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 RCIC 直流 C/C 浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 DG 室給気ダクト室南側階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 第 3 チェックポイント浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西側階段室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北東階段浸水防止堰	○*
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 エアロック浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 大物搬入口浸水防止堰	
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント中央浸水防止堰	
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント東側浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 21150mm	廃棄物処理建物 2 階 計算機室連絡扉前浸水防止堰	

注記＊：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

表 4－2(2)　評価対象とする鋼板折曲げ型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（北）浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（中）浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（南）浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰(運転員控室側)	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰(予備室側)	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰(補助盤室側)	
廃棄物処理建物 EL 22100mm	廃棄物処理建物 2階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8900mm	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰	

4.1.3　鉄筋コンクリート製堰

鉄筋コンクリート製堰の評価対象部位は，堰に作用する自重及び地震荷重により応力が発生することから,堰と既存躯体の取合い部分の堰底部のコンクリート,アンカー筋及び主筋とする。評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定結果を表 4－3 に示す。

表 4－3　評価対象とする鉄筋コンクリート製堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
制御室建物 EL 16900mm		
制御室建物 EL 16900mm		
制御室建物 EL 16900mm		○*

注記＊：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

4.2　荷重及び荷重の組合せ

4.2.1　荷重の組合せ

堰の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$G + S_S$

ここで，G　：固定荷重(kN)

S_S：地震荷重(kN)

4.2.2　荷重

(1)　固定荷重（G）

固定荷重として堰の自重を考慮する。

(2)　地震荷重（S_S）

耐震Ｃ－２クラスの施設の地震荷重は，基準地震動S_Sによる荷重を考慮する。

耐震Ｂクラス施設の地震荷重は地震力S_Bによる荷重を考慮する。なお，タービン建物，制御室建物及び廃棄物処理建物に設置される耐震Ｂクラスの堰は保守的に地震荷重S_Sによる荷重を考慮する。地震荷重は「3.　固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて，次式により算定する。

$S_S = G \cdot K$

ここで，S_S：地震荷重(kN)

G　：固定荷重(kN)

K　：設計震度

4.3　許容限界

許容限界は，「4.1　評価対象部位及び評価対象設備」にて設定している評価対象部位ごとに機能損傷モードを考慮し，短期許容応力度又は短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

4.3.1　柱支持型堰の許容限界

(1)　鋼板

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」（以下「Ｓ規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度を表 4－4 に示す。

表 4－4　鋼板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm^2)
SS400	271

(2)　梁材

「Ｓ規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4－5 に示す。

表 4－5　梁材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	組合せ (N/mm^2)
SS400	235	135	235

(3) 柱材

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表4－6に示す。

表4－6 柱材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	組合せ (N/mm^2)
SS400	235	135	235

(4) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した短期許容荷重を表4－7に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とアンカーボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表4－7 アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SS400（M20）	44	40

4.3.2　鋼板折曲げ型堰の許容限界

(1)　鋼板

「Ｓ規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 4－8 に示す。

表 4－8　鋼板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm^2)
SS400	271

(2)　アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した短期許容荷重を表 4－9 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とアンカーボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4－9　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SS400(M12)	11	13

4.3.3　鉄筋コンクリート製堰の許容限界

(1)　コンクリート

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）」（以下「ＲＣ規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度を表 4－10 に示す。

表 4－10　コンクリートの短期許容応力度

材料		短期許容応力度	
		圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
コンクリート	Fc22.1	14.6	1.06

(2)　鉄筋

「ＲＣ規準」に基づき算定した短期許容荷重を表 4－11 に示す。

表 4－11　鉄筋の短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SD345（D13）	43	43

(3)　アンカー筋

「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した短期許容荷重を表 4－12 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカー筋の降伏により決まる許容荷重とアンカー筋の付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカー筋母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4－12　アンカー筋の短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SD345（D13）	34	29

S2 補 VI-2-10-2-13 R0

4.4　評価方法

Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，堰の耐震評価は地震により生じる応力度及び荷重が，「4.3　許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

4.4.1　柱支持型堰の評価方法

地震荷重を受けるはりモデルに置き換え，鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトに発生する応力を算定し，各許容限界との比較により耐震評価を行う。

(1)　応力算定

自重及び地震荷重を受ける鋼板，梁材及び柱材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度，並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定する。

柱支持型堰に生じる力の概念図を図4－1～図4－6に示す。

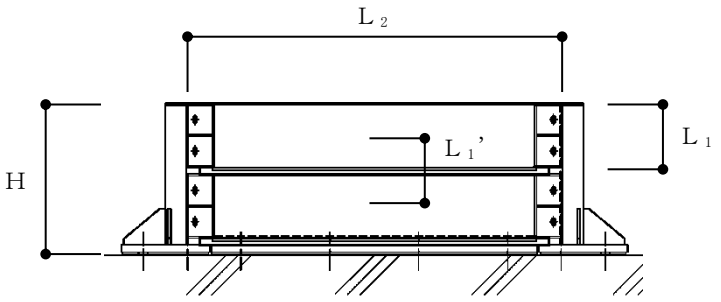


図4－1　柱支持型堰の立面概念図

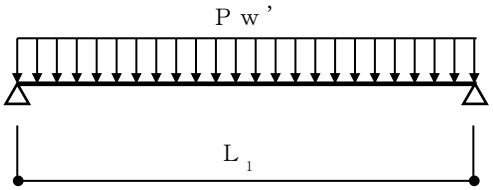


図4－2　地震時の鋼板に生じる力の断面概念図

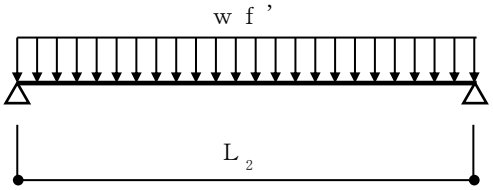


図4－3　地震時の梁材に生じる力の断面概念図

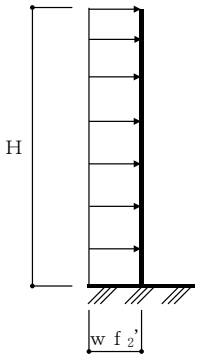


図 4－4　地震時の柱材に生じる力の断面概念図

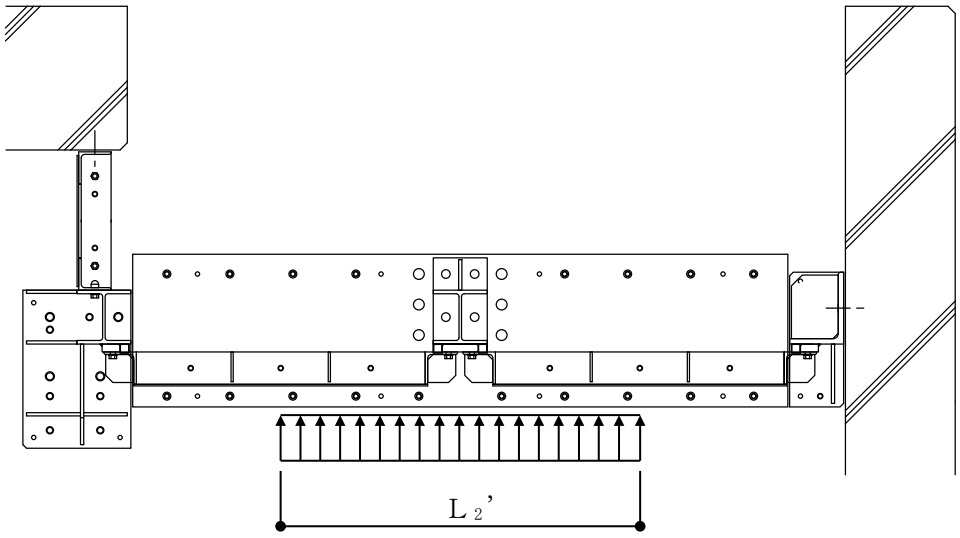


図 4－5　地震時の柱材に生じる力の平面概念図

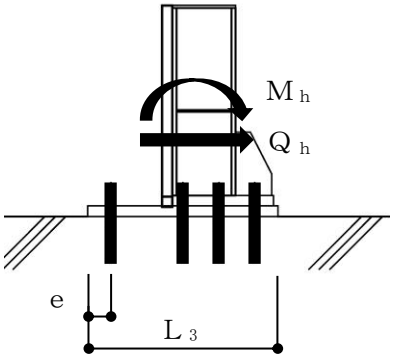


図 4－6　地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震荷重による分布荷重は，次式より算出する。

$$Pw' = \rho \cdot t \cdot k_H \cdot 10^{-6}$$

ここで，

Pw'	：	地震荷重による分布荷重(N/mm^2)
ρ	：	鋼板の単位体積重量(kN/m^3)
t	：	鋼板の板厚(mm)
k_H	：	水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる曲げ応力度は，鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，鋼板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_\rho = 1/8 \cdot Pw' \cdot L_1^2 / Z$$

ここで，

σ_ρ	：	鋼板に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
Pw'	：	地震荷重による分布荷重(N/mm^2)
L_1	：	梁材間距離(mm)
Z	：	鋼板の断面係数(mm^3/mm)

b. 梁材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は鋼板及び梁材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$wf' = (\rho \cdot t \cdot L_1' \cdot 10^{-6} + w_1 \cdot g \cdot 10^{-3}) \cdot k_H$$

ここで，

wf'	：	梁材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)
ρ	：	鋼板の単位体積重量(kN/m^3)
t	：	鋼板の板厚(mm)
L_1'	：	梁材1本当たりが負担する鋼板の幅(mm)
w_1	：	梁材の単位質量(kg/m)
g	：	重力加速度(m/s^2)
k_H	：	水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は，梁材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = 1/8 \cdot wf' \cdot L_2^2 / Z_f$$

ここで，

σ_f	：	梁材の曲げ応力度(N/mm^2)
wf'	：	梁材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)
L_2	：	梁材の長さ(mm)
Z_f	：	梁材の断面係数(mm^3)

(c)　せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は，梁材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$\tau_f = 1/2 \cdot wf' \cdot L_2 / A_f$

ここで，　τ_f　：梁材のせん断応力度(N/mm^2)

wf'　：梁材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)

L_2　：梁材の長さ(mm)

A_f　：梁材のせん断断面積(mm^2)

(d)　曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「Ｓ規準」に基づく次式により算出し，梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

ここで，　σ_{ef}　：梁材の組合せ応力度(N/mm^2)

σ_f　：梁材の曲げ応力度(N/mm^2)

τ_f　：梁材のせん断応力度(N/mm^2)

c. 柱材

(a) 水平方向地震荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は鋼板，梁材及び柱材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$wf_2' = \{(\rho \cdot t \cdot H \cdot 10^{-6} + w_1 \cdot g \cdot n \cdot 10^{-3}) \cdot L_2'/H + w_2 \cdot g \cdot 10^{-3}\} \cdot k_H$$

ここで，

wf_2'	：	柱材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)
ρ	：	鋼板の単位体積重量(kN/m^3)
t	：	鋼板の板厚(mm)
H	：	柱材の長さ(mm)
w_1	：	梁材の単位質量(kg/m)
g	：	重力加速度(m/s^2)
n	：	梁材の本数（本）
L_2'	：	柱材１本当たりが負担する梁材の長さ(mm)
w_2	：	柱材の単位質量(kg/m)
k_H	：	水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は，柱材を片持ちはりとして次式により算出し，柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = 1/2 \cdot wf_2' \cdot H^2/Z_Y$$

ここで，

σ_Y	：	柱材の曲げ応力度(N/mm^2)
wf_2'	：	柱材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)
H	：	柱材の長さ(mm)
Z_Y	：	柱材の断面係数(mm^3)

(c)　せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は,柱材を片持ちはりとして次式により算出し,柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$\tau_Y = wf_2' \cdot H / A_Y$

ここで,　τ_Y　：柱材のせん断応力度(N/mm^2)

wf_2'　：柱材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)

H　：柱材の長さ(mm)

A_Y　：柱材のせん断断面積(mm^2)

(d)　曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「S規準」に基づく次式により算出し，柱材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$

ここで,　σ_{eY}　：柱材の組合せ応力度(N/mm^2)

σ_Y　：柱材の曲げ応力度(N/mm^2)

τ_Y　：柱材のせん断応力度(N/mm^2)

d. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルト1本当たりに生じる引張力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$T = M_h / ((L_3 - e) \cdot N_1) \cdot 10^{-3}$

$M_h = 1/2 \cdot wf_2' \cdot H^2$

ここで，

T	：	アンカーボルト1本当たりに生じる引張力(kN)
wf_2'	：	柱材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)
H	：	柱材の長さ(mm)
L_3	：	ベースプレートの幅(mm)
e	：	アンカーボルトの穴縁端距離(mm)
N_1	：	引張を受けるアンカーボルトの本数（本）

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルト1本当たりに生じるせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$q = Q_h / N_2 \cdot 10^{-3}$

$Q_h = wf_2' \cdot H$

ここで，

q	：	アンカーボルト1本当たりに生じるせん断力(kN)
wf_2'	：	柱材の単位長さ当たりの水平荷重(N/mm)
H	：	柱材の長さ(mm)
N_2	：	せん断を受けるアンカーボルトの本数（本）

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$(T/Ta)^2 + (q/Qa)^2 \leqq 1$

ここで，

T	：	アンカーボルト1本当たりに生じる引張力(kN)
Ta	：	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重(kN)
q	：	アンカーボルト1本当たりに生じるせん断力(kN)
Qa	：	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重(kN)

4.4.2　鋼板折曲げ型堰の評価方法

地震荷重を受ける単位幅の梁要素でモデル化し，実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルに置き換え，鋼板及びアンカーボルトに発生する応力を応力解析により算定し，各許容限界との比較により耐震評価を行う。

(1)　応力算定

自重及び地震荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力度並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を「3.　固有振動数及び設計用地震力」にて設定した解析モデルを用いて，応力解析により算定する。

鋼板折曲げ型堰に生じる力の概念図を図 4－7 に示す。

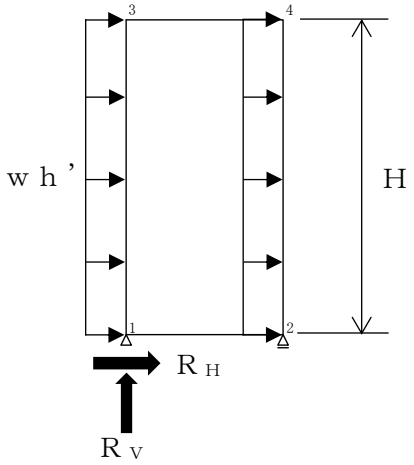


図 4－7　地震時の鋼板及びアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2)　断面検定

a.　鋼板

鋼板に生じる曲げ応力度は，応力解析により求めた鋼板の最大曲げモーメントを用いて次式により算出し，鋼板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$\sigma = M / Z$

ここで，　σ　：鋼板の曲げ応力度(N/mm^2)

M　：鋼板の曲げモーメント(N･mm)

Z　：鋼板の断面係数(mm^3)

b. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルト1本当たりに生じる引張力は，応力解析により求めた支点反力を用いて次式により算出し，アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$T = R_V / N_1$

ここで，　T　：アンカーボルト1本当たりに生じる引張力(kN)
R_V　：支点反力（鉛直方向）(kN)
N_1　：引張を受ける1m当たりのアンカーボルトの本数(本)

(b) せん断力に対する検定

アンカーボルト1本当たりに生じるせん断力は，応力解析により求めた支点反力を用いて次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$q = R_H / N_2$

ここで，　q　：アンカーボルト1本当たりに生じるせん断力(kN)
R_H　：支点反力（水平方向）(kN)
N_2　：せん断を受ける1m当たりのアンカーボルトの本数（本）

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$(T/T_a)^2 + (q/Q_a)^2 \leqq 1$

ここで，　T　：アンカーボルト1本当たりに生じる引張力(kN)
T_a　：アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重(kN)
q　：アンカーボルト1本当たりに生じるせん断力(kN)
Q_a　：アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重(kN)

4.4.3　鉄筋コンクリート製堰の評価方法

鉄筋コンクリート製堰に生じる応力は，地震荷重を受ける片持ちはりとして，既存躯体との接合部に生じる圧縮力及びせん断力を算定し，鉄筋に生じる引張力及びせん断力並びにコンクリートに生じるせん断力及び圧縮力に対する確認を行う。

(1)　応力算定

自重及び地震荷重を受けるアンカー筋，コンクリート及び主筋に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を次式により算定する。

鉄筋コンクリート製堰に生じる力の概念図を図 4－8 に示す。

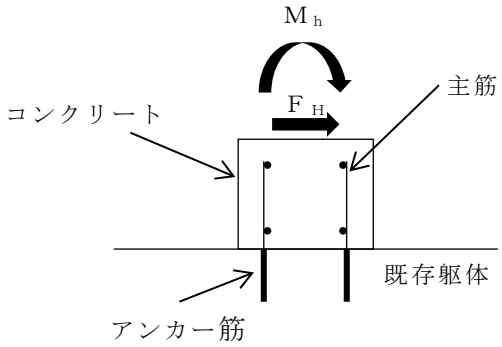


図 4－8　地震時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. アンカー筋

(a) 引張力に対する検定

アンカー筋に作用する引張力は次式により算出し，アンカー筋の短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$T_1 = M_h / b_1' / N_1$

ここで，
- T_1 ：アンカー筋に生じる引張力（kN/本）
- M_h ：鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント（$w_1 \cdot k_H \cdot H/2$）（kN･m/m）
- w_1 ：単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量（$\rho \cdot B \cdot H$）（kN/m）
- ρ ：コンクリートの単位体積重量(kN/m^3)
- B ：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)
- H ：鉄筋コンクリート製堰の高さ(m)
- k_H ：水平方向の設計震度
- b_1' ：アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離(m)
- N_1 ：引張を受ける1m当たりのアンカー筋の本数（本）

(b) せん断力に対する検定

アンカー筋に作用するせん断力は次式により算出し，アンカー筋の短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$q_1 = F_H / N_2$

ここで，
- q_1 ：アンカー筋に生じるせん断力（kN/本）
- F_H ：設計用水平地震力（$w_1 \cdot k_H$）（kN/m）
- w_1 ：単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量（$\rho \cdot B \cdot H$）（kN/m）
- ρ ：コンクリートの単位体積重量(kN/m^3)
- B ：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)
- H ：鉄筋コンクリート製堰の高さ(m)
- k_H ：水平方向の設計震度
- N_2 ：せん断を受ける1m当たりのアンカー筋の本数（本）

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$(T_1/Ta_1)^2+(q_1/Qa_1)^2 \leqq 1$

ここで，
- T_1 ：アンカー筋に生じる引張力（kN/本）
- Ta_1 ：アンカー筋の引張に対する短期許容荷重（kN/本）
- q_1 ：アンカー筋に生じるせん断力（kN/本）
- Qa_1 ：アンカー筋のせん断に対する短期許容荷重（kN/本）

b. 主筋

(a) 引張力に対する検定

主筋に作用する引張力は次式により算出し，主筋に生じる引張力が短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$T_2=M_h/b_2'/N_3$

ここで，
- T_2 ：主筋に生じる引張力（kN/本）
- w_1 ：単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量（ρ・B・H）(kN/m)
- ρ ：コンクリートの単位体積重量(kN/m^3)
- B ：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)
- H ：鉄筋コンクリート製堰の高さ(m)
- M_h ：鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント（w_1・k_H・H/2）(kN･m/m)
- k_H ：水平方向の設計震度
- b_2' ：主筋の重心位置から躯体端部までの距離(m)
- N_3 ：引張を受ける1m当たりの主筋の本数（本）

(b)　せん断力に対する検定

主筋に作用するせん断力は次式により算出し，主筋の短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$q_2 = F_H / N_4$

ここで，　q_2　：主筋に生じるせん断力（kN/本）

F_H　：設計用水平地震力（w_1・k_H）(kN/m)

w_1　：単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量（ρ・B・H）(kN/m)

ρ　：コンクリートの単位体積重量(kN/m^3)

B　：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)

H　：鉄筋コンクリート製堰の高さ(m)

k_H　：水平方向の設計震度

N_4　：せん断を受ける1m当たりの主筋の本数(本)

(c)　引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$(T_2/Ta_2)^2 + (q_2/Qa_2)^2 \leqq 1$

ここで，　T_2　：主筋に生じる引張力（kN/本）

Ta_2　：主筋の引張に対する短期許容荷重（kN/本）

q_2　：主筋に生じるせん断力（kN/本）

Qa_2　：主筋のせん断に対する短期許容荷重（kN/本）

c. 堰底部のコンクリート

(a) せん断力に対する検定

堰底部に生じるせん断力は次式により算出し，短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$\tau' = F_H / (B \cdot 10^3)$

ここで，
- τ' ：堰底部のコンクリートのせん断応力度(N/mm^2)
- F_H ：設計用水平地震力（$w_1 \cdot k_H$）(kN/m)
- w_1 ：単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量（$\rho \cdot B \cdot H$）(kN/m)
- ρ ：コンクリートの単位体積重量(kN/m^3)
- B ：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)
- H ：鉄筋コンクリート製堰の高さ(m)
- k_H ：水平方向の設計震度

(b) 圧縮力に対する検定

堰に生じる自重，鉛直下向きの地震荷重及び曲げモーメントによりコンクリートの圧縮縁に生じる応力度は次式により算出し，短期許容圧縮荷重を下回ることを確認する。

$\sigma_c = (w_1 + F_V) / (B \cdot 10^3) + (M_h \cdot 10^6) / Z$

ここで，
- σ_c ：堰底部のコンクリートに生じる圧縮応力度(N/mm^2)
- w_1 ：単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量（$\rho \cdot B \cdot H$）(kN/m)
- ρ ：コンクリートの単位体積重量(kN/m^3)
- B ：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)
- H ：鉄筋コンクリート製堰の高さ(m)
- F_V ：設計用鉛直地震力（$w_1 \cdot k_V$）(kN/m)
- k_V ：鉛直方向の設計震度
- M_h ：鉄筋コンクリート製堰の曲げモーメント（$w_1 \cdot k_H \cdot H/2$）(kN･m/m)
- k_H ：水平方向の設計震度
- Z ：鉄筋コンクリート製堰の断面係数(mm^3/m)

4.5　評価条件

柱支持型堰の耐震評価に用いる入力値を表 4－13 に，鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる入力値を表 4－14 に，鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる入力値を表 4－15 に示す。

表 4－13　柱支持型堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ	kN/m^3	鋼板の単位体積重量	77.0
t	mm	鋼板の板厚	4.5
k_H	－	水平方向の設計震度	0.92
L_1	mm	梁材間距離	350
Z	mm^3/mm	鋼板の断面係数	3.375
L_1’	mm	梁材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	175
w_1	kg/m	梁材の単位質量	9.590
g	m/s^2	重力加速度	9.80665
L_2	mm	梁材の長さ	1560
Z_f	mm^3	梁材の断面係数	14200
A_f	mm^2	梁材のせん断断面積	581
H	mm	柱材の長さ	1050
n	本	梁材の本数	6
L_2’	mm	柱材 1 本当たりが負担する梁材の長さ	1325
w_2	kg/m	柱材の単位質量	31.1
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数	75100
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積	3000
L_3	mm	ベースプレートの幅	325
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	110
N_1	本	引張を受けるアンカーボルトの本数	1
N_2	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数	3

表 4－14　鋼板折曲げ型堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
M	N･mm	鋼板の曲げモーメント	14000
Z	mm^3	鋼板の断面係数	1707
R_V	kN	支点反力（鉛直方向）	0.3238
N_1	本/m	引張を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数	5
R_H	kN	支点反力（水平方向）	0.3238
N_2	本/m	せん断を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数	10
B	mm	堰の幅	150
H	mm	堰の高さ	300

表 4－15　鉄筋コンクリート製堰の耐震評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ	kN/m^3	コンクリートの単位体積重量	24
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅	0.18
H	m	鉄筋コンクリート製堰の高さ	0.2
k_V	－	鉛直方向の設計震度	0.88
k_H	－	水平方向の設計震度	1.96
b_1'	m	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離	0.09
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数	5
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数	5
b_2'	m	主筋の重心位置から躯体端部までの距離	0.09
N_3	本	引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数	5
N_4	本	せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数	5
Z	mm^3/m	鉄筋コンクリート製堰の断面係数	5400000

5.　評価結果

柱支持型堰の耐震評価結果を表5－1に,鋼板折曲げ型堰の耐震評価結果を表5－2に,鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果を表5－3に示す。発生値は許容限界値以下であり,溢水用堰については基準地震動S_sによる地震力に対して，管理区域堰については耐震Bクラスの施設に適用される地震力S_Bに対して溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを確認した。

表5－1　柱支持型堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値（荷重又は発生応力度）		許容限界		検定値
鋼板	曲げ	2	N/mm^2	271	N/mm^2	0.01＜1.0
梁材	曲げ	4	N/mm^2	235	N/mm^2	0.02＜1.0
	せん断	1	N/mm^2	135	N/mm^2	0.01＜1.0
	組合せ	5	N/mm^2	235	N/mm^2	0.03＜1.0
柱材	曲げ	10	N/mm^2	235	N/mm^2	0.05＜1.0
	せん断	1	N/mm^2	135	N/mm^2	0.01＜1.0
	組合せ	11	N/mm^2	235	N/mm^2	0.05＜1.0
アンカーボルト	引張	4	kN	44	kN	0.1＜1.0
	せん断	1	kN	40	kN	0.03＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.01＜1.0

表5－2　鋼板折曲げ型堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値（荷重又は発生応力度）		許容限界		検定値
鋼板	曲げ	9	N/mm^2	271	N/mm^2	0.04＜1.0
アンカーボルト	引張	0.1	kN	11	kN	0.01＜1.0
	せん断	0.1	kN	13	kN	0.01＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.01＜1.0

表 5－3　鉄筋コンクリート製堰の耐震評価結果

評価対象部位		発生値（荷重又は発生応力度）		許容限界		検定値
アンカー筋	引張	0.4	kN	34	kN	0.02＜1.0
	せん断	0.4	kN	29	kN	0.02＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.01＜1.0
主筋	引張	0.4	kN	43	kN	0.01＜1.0
	せん断	0.4	kN	43	kN	0.01＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.01＜1.0
堰底部のコンクリート	せん断	0.01	N/mm^2	1.06	N/mm^2	0.01＜1.0
	圧縮	0.05	N/mm^2	14.6	N/mm^2	0.01＜1.0

Ⅵ-2-10-2-14　防水板の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 6
2.3　評価方針 ····· 7
2.4　適用規格・基準等 ····· 8
2.5　記号の説明 ····· 8
3.　固有振動数及び設計用地震力 ····· 10
3.1　固有振動数の算出方法 ····· 10
3.1.1　解析モデルの設定 ····· 10
3.1.2　記号の説明 ····· 11
3.1.3　固有振動数の算出方法 ····· 11
3.2　固有振動数の計算条件 ····· 12
3.3　固有振動数の計算結果 ····· 13
3.4　設計用地震力 ····· 14
4.　構造強度評価 ····· 15
4.1　評価対象部位 ····· 15
4.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 16
4.2.1　荷重の組合せ ····· 16
4.2.2　荷重 ····· 16
4.3　許容限界 ····· 17
4.3.1　使用材料 ····· 17
4.3.2　許容限界 ····· 18
4.4　評価方法 ····· 19
4.5　評価条件 ····· 25
5.　評価結果 ····· 28

1. 概要

本資料は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり，浸水用防水板及び管理区域防水板（以下「防水板」という。）があり，溢水用防水板については基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，管理区域防水板については耐震Ｂクラスの施設に適用される地震力S_Bに対して溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを説明するものである。その耐震評価は，応力評価により行う。

防水板は設計基準対象施設においては耐震Ｂクラス施設及び耐震Ｃ－２クラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

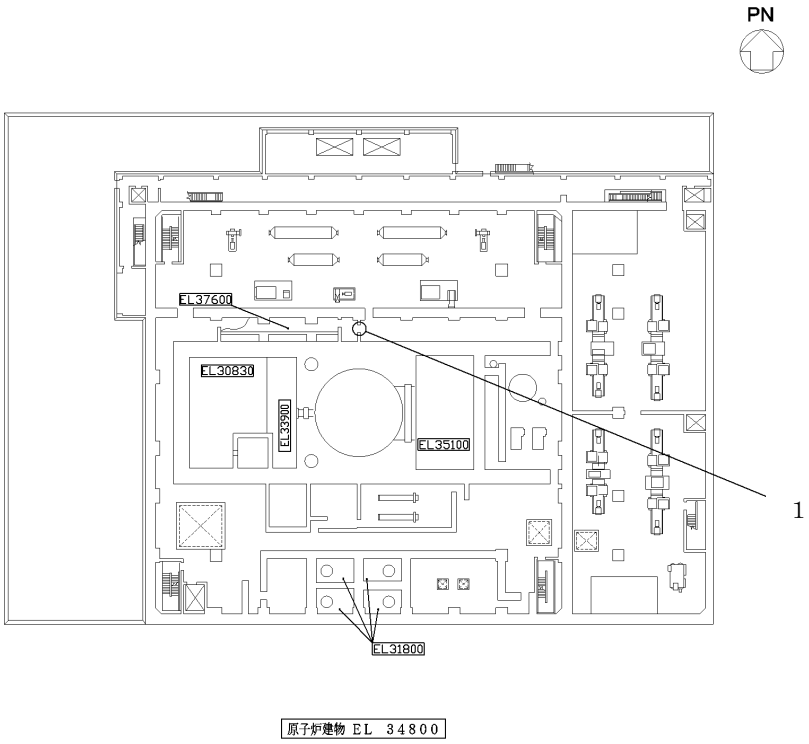
2. 一般事項

2.1 配置概要

防水板は，原子炉建物，タービン建物及び廃棄物処理建物に設置する。

防水板の一覧及び設置位置図を図 2－1 に示す。

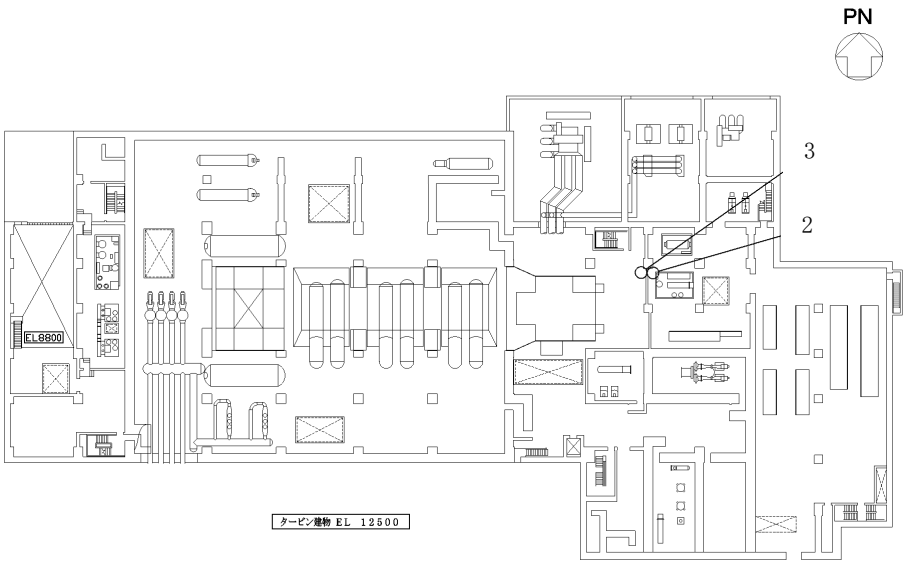
配置図



防水板 No.	防水板名称
1	原子炉建物 3階 新燃料検査台ピット室防水板

図 2－1(1)　設置位置図（原子炉建物 EL 34.8m）

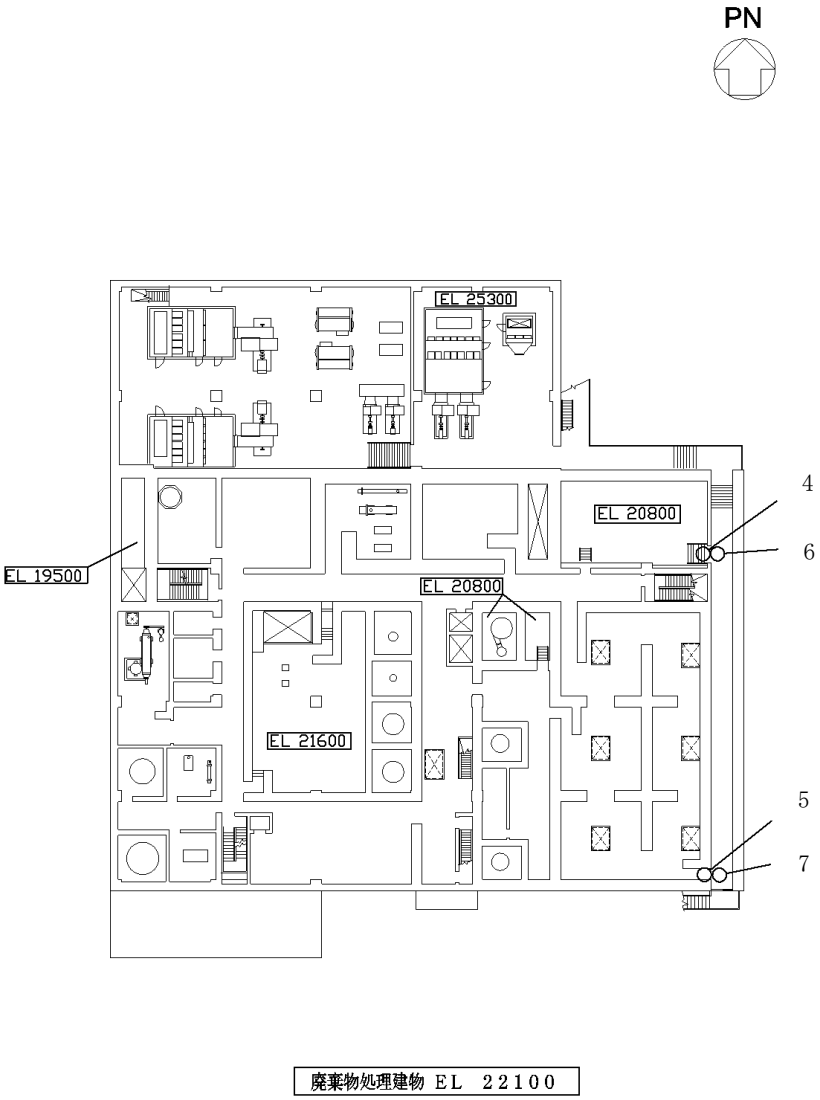
配置図



防水板 No.	防水板名称
2	タービン建物 2階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）
3	タービン建物 2階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）

図 2－1(2)　設置位置図（タービン建物 EL 12.5m）

配置図



防水板 No.	防水板名称
4	廃棄物処理建物 2階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）＊
5	廃棄物処理建物 2階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）＊
6	廃棄物処理建物 2階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）
7	廃棄物処理建物 2階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）

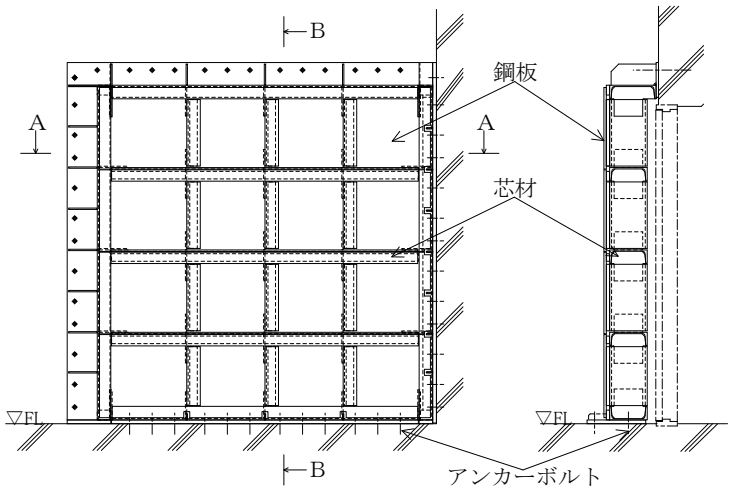
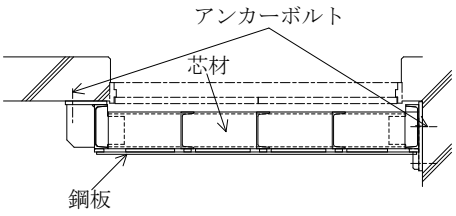
注釈＊：耐震Ｂクラス施設を示す。

図 2－1(3)　設置位置図（廃棄物処理建物 EL 22.1m）

2.2　構造計画

防水板の構造は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。防水板は，芯材，鋼板及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより建物床及び壁に固定する構造とする。防水板の概略構造図を表2－1に示す。

表2－1　防水板の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
芯材で補強した鋼板を建物床及び壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板，芯材及びアンカーボルトにより構成する。	 立面図　　Ｂ－Ｂ断面図  Ａ－Ａ断面図

2.3　評価方針

防水板の耐震評価は，「3.　固有振動数及び設計用地震力」にて算出した固有振動数に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4.　構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

防水板の耐震評価フローを図 2－2 に示す。

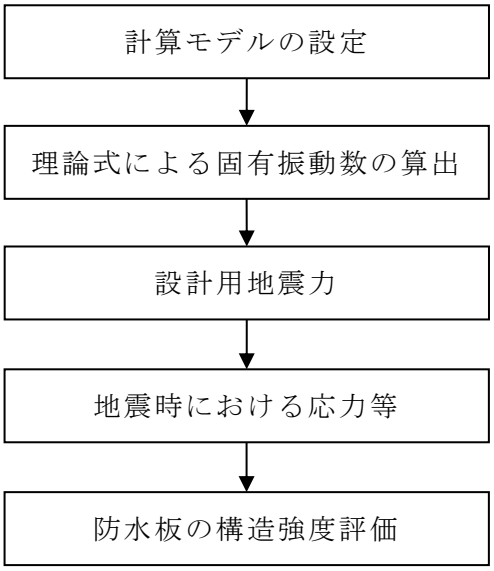


図 2－2　防水板の耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令
・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
・日本産業規格（ＪＩＳ）
・原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版（（社）日本電気協会）
・構造力学公式集（（社）土木学会）

2.5　記号の説明

防水板の耐震評価に用いる記号を表 2－2 に示す。

表 2－2　防水板の耐震評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ	kN/m^3	鋼板の単位体積重量
t	mm	鋼板の板厚
k_H	－	水平方向の設計震度
P_w'	N/mm^2	地震荷重による分布荷重
L_1	mm	芯材間距離
Z	mm^3/m	鋼板の断面係数
σ_ρ	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度
L_1'	mm	芯材１本当たりが負担する鋼板の幅
w_1	kg/m	芯材の単位質量
g	m/s^2	重力加速度
w_f'	N/mm	芯材の単位長さ当たりの水平荷重
L_2	mm	芯材の長さ
Z_f	mm^3	芯材の断面係数
σ_f	N/mm^2	芯材の曲げ応力度
A_f	mm^2	芯材のせん断断面積
τ_f	N/mm^2	芯材のせん断応力度
σ_{ef}	N/mm^2	芯材の組合せ応力度
Q_1	kN	アンカーボルトに生じる引張力
N	本	防水板の片側（左右若しくは上下）に取り付くアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルト１本当たりに生じる引張力
F	kN	F_H又はF_V
G_1	kN	防水板の固定荷重
F_H	kN	防水板に生じる水平方向の地震荷重
k_V	－	鉛直方向の設計震度
F_V	kN	防水板に生じる鉛直方向の地震荷重
Q_2	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
q	kN	アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力
Ta	kN	アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重
Qa	kN	アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重

3.　固有振動数及び設計用地震力

3.1　固有振動数の算出方法

防水板の構造に応じて解析モデルを設定し，固有振動数を算出する。

3.1.1　解析モデルの設定

防水板は，鋼板及び芯材の組合せにより剛な断面を有しているとともに，アンカーボルトにて躯体に固定する構造であることから，防水板の芯材を両端ピンのはりに単純化したモデルとし，モデル化に用いるはり長さは，芯材の全長とする。図 3－1 に解析モデル図を示す。

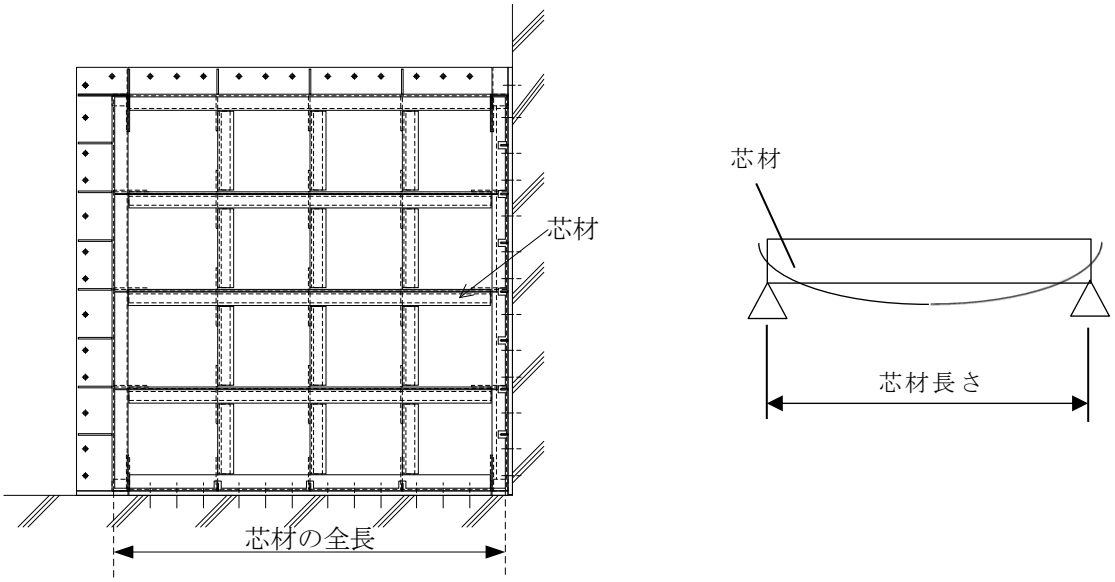


図 3－1　防水板の固有値解析モデル

3.1.2　記号の説明

防水板の固有振動数算出に用いる記号を表 3－1 に示す。

表 3－1　防水板の固有振動数算出に用いる記号

記号	単位	定義
f	Hz	防水板の 1 次固有振動数
L	mm	はり長さ
E	N/mm^2	ヤング率
I	mm^4	断面二次モーメント
m	kg/m	質量分布

3.1.3　固有振動数の算出方法

固有振動数 f を「土木学会 構造力学公式集」に基づき以下の式より算出する。

$$f = \frac{\pi^2}{2\pi L^2}\sqrt{\frac{E\,I \times 10^6}{m}}$$

3.2　固有振動数の計算条件

固有振動数の計算条件を表 3－2 に示す。

表 3－2　固有振動数の計算条件

防水板 No.	防水板名称	はり長さ L (mm)	ヤング率 E (N/mm^2)	断面二次モーメント I (mm^4)	質量分布 m (kg/m)
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板	965	2.05×10^5	2.490×10^7	214
2	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）	2230	2.05×10^5	4.180×10^7	254
3	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）	2229	2.05×10^5	4.180×10^7	250
4	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）	1770	2.05×10^5	4.180×10^7	260
5	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）	958	2.05×10^5	2.490×10^7	276
6	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）	1770	2.05×10^5	2.490×10^7	269
7	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）	958	2.05×10^5	2.490×10^7	270

3.3　固有振動数の計算結果

固有振動数の算出結果を表 3－3 に示す。各防水板の固有振動数は 20Hz 以上であり，剛構造であることを確認した。

表 3－3　固有振動数の算出結果

防水板 No.	防水板名称	固有振動数 f (Hz)
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板	260.52
2	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）	58.02
3	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）	58.53
4	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）	91.02
5	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）	232.76
6	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）	69.07
7	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）	235.33

3.4　設計用地震力

基準地震動Ｓｓによる設計用地震力は，「Ⅵ-2-2-2　原子炉建物の地震応答計算書」，「Ⅵ-2-2-7　タービン建物の地震応答計算書」及び「Ⅵ-2-2-9　廃棄物処理建物の地震応答計算書」に基づき設定する。

地震応答解析に基づいて算定された防水板設置床及びその上階の最大応答加速度から各防水板の設計震度を設定する。また，防水板は建物・構築物として評価する。

各防水板の設置床及びその上階の最大応答加速度から算出した設計震度を表3－4に示す。

表 3－4　設計震度

建物	階	設置床高さ (EL)	基準地震動Ｓｓの設計震度	
			水平震度	鉛直震度
原子炉建物	3	34.8m	1.46	1.51
タービン建物	2	12.5m	2.23	0.90
廃棄物処理建物	2	22.1m	1.21	0.96

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位

評価対象部位は，自重及び地震に伴う慣性力が，鋼板及び芯材からアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，鋼板，芯材及びアンカーボルトとする。

4.2　荷重及び荷重の組合せ

4.2.1　荷重の組合せ

防水板の評価に用いる荷重の組合せを下記に示す。

$G + S_s$ *

G　　：固定荷重(kN)

S_s　：基準地震動S_Sによる地震荷重(kN)

注記＊：耐震Ｂクラスの施設に要求される地震荷重は地震荷重（S_B）であるが，保守的な評価となるように地震荷重（S_S）を組合わせる。

4.2.2　荷重

(1)　固定荷重（Ｇ）

固定荷重として防水板の自重を考慮する。自重は「4.5　評価条件」に示す。

(2)　地震荷重（Ｓｓ）

地震荷重は，基準地震動Ｓｓによる荷重を考慮する。「3.　固有振動数及び設計用地震力」で設定した設計震度を用いて，次式により算定する。

$S_s = G \cdot k$

S_s　：地震荷重(kN)

G　　：固定荷重(kN)

k　　：設計震度

なお，水平及び鉛直地震力による組合せ応力が作用する部位の評価は，水平方向と鉛直方向の地震力が同時に作用するものとして評価する。

4.3　許容限界

許容限界は，「4.1　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに機能損傷モードを考慮し，短期許容応力度又は短期許容荷重とする。

4.3.1　使用材料

防水板を構成する鋼板，芯材及びアンカーボルトの使用材料を表 4－1 に示す。

表 4－1　使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-16 PL-22
芯材	SS400	[-200×90×8×13.5 [-250×90×9×13
アンカーボルト	SS400	M16

4.3.2　許容限界

(1)　鋼板及び芯材

鋼材の許容応力度は，「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」を踏まえて表 4－2 の値とする。

表 4－2　鋼材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度(N/mm^2)			
	引張	圧縮	曲げ*	せん断
SS400	235	235	235	135

注記＊：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

(2)　アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」を踏まえて表 4－3 の値とする。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重及び付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。また，アンカーボルトがせん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度により決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度により決まる許容荷重及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 4－3　アンカーボルトの短期許容荷重

防水板 No.	材質	短期許容荷重（kN）	
		引張	せん断
1	SS400(M16)	23.6	25.8
2	SS400(M16)	28.4	25.8
3	SS400(M16)	36.9	25.8
4	SS400(M16)	36.2	25.8
5	SS400(M16)	27.1	25.8
6	SS400(M16)	34.9	25.8
7	SS400(M16)	29.0	25.8

4.4　評価方法

Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，防水板の耐震評価は地震により生じる応力度及び荷重が，「4.3　許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

(1)　応力算定

自重及び地震荷重を受ける鋼板及び芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度，並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げ応力度及びせん断応力度を算定する。

防水板に生じる力の概念図を図 4－1～図 4－4 に示す。

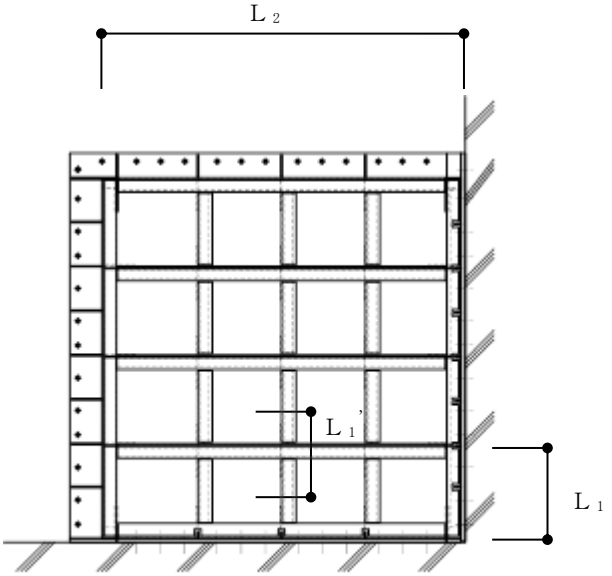


図 4－1　防水板の立面概念図

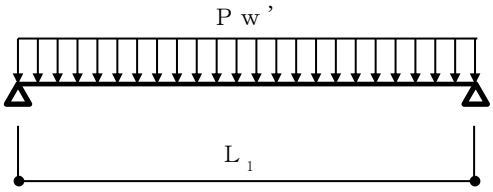


図 4－2　地震時の鋼板に作用する荷重の例

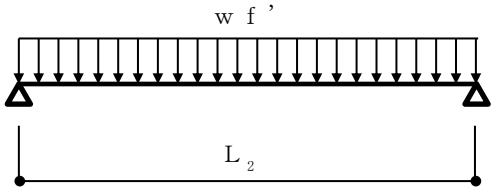


図 4－3　地震時の芯材に作用する荷重の例

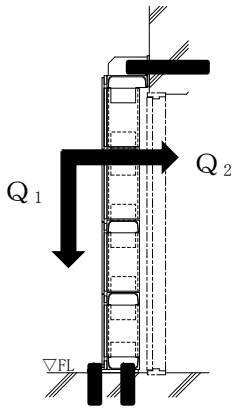


図 4－4　地震時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震荷重による分布荷重は，次式より算出する。

$$Pw' = \rho \cdot t \cdot k_H \cdot 10^{-6}$$

ここで，Pw' :地震荷重による分布荷重（N/mm^2）
ρ :鋼板の単位体積重量（kN/m^3）
t :鋼板の板厚（mm）
k_H :水平方向の設計震度

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる曲げ応力度は，鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，鋼板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_\rho = 1/8 \cdot Pw' \cdot L_1^2 / Z \cdot 10^3$$

ここで，σ_ρ :鋼板に生じる曲げ応力度（N/mm^2）
Pw' :地震荷重による分布荷重（N/mm^2）
L_1 :芯材間距離（mm）
Z :鋼板の断面係数（mm^3/m）

b. 芯材

(a) 地震荷重による分布荷重

単位長さ当たりの地震時水平荷重は鋼板及び芯材に作用する地震力を考慮して次式より算出する。

$$wf' = (\rho \cdot t \cdot L_1' \cdot 10^{-6} + w_1 \cdot g \cdot 10^{-3}) \cdot k_H$$

ここで，wf' :芯材の単位長さ当たりの水平荷重（N/mm）
ρ :鋼板の単位体積重量（kN/m^3）
t :鋼板の板厚（mm）
L_1' :芯材1本当たりが負担する鋼板の幅（mm）
w_1 :芯材の単位質量（kg/m）
g :重力加速度（m/s^2）
k_H :水平方向の設計震度

(b)　曲げ応力度に対する検定

芯材に生じる曲げ応力度は，芯材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，芯材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$\sigma_f = 1/8 \cdot w_f' \cdot L_2^2 / Z_f$

ここで，σ_f　:芯材の曲げ応力度（N/mm^2）
w_f'　:芯材の単位長さ当たりの水平荷重（N/mm）
L_2　:芯材の長さ（mm）
Z_f　:芯材の断面係数（mm^3）

(c)　せん断応力度に対する検定

芯材に生じるせん断応力度は，芯材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，芯材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$\tau_f = 1/2 \cdot w_f' \cdot L_2 / A_f$

ここで，τ_f　:芯材のせん断応力度（N/mm^2）
w_f'　:芯材の単位長さ当たりの水平荷重（N/mm）
L_2　:芯材の長さ（mm）
A_f　:芯材のせん断断面積（mm^2）

(d)　曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

芯材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」に基づく次式により算出し，芯材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$

ここで，σ_{ef}　:芯材の組合せ応力度（N/mm^2）
σ_f　:芯材の曲げ応力度（N/mm^2）
τ_f　:芯材のせん断応力度（N/mm^2）

c．　アンカーボルト

(a)　引張力に対する検定

アンカーボルト１本当たりに生じる引張力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$T = Q_1 / N$

$Q_1 = F / 2$

$F_h = G_1 \cdot k_H$

$F_v = G_1 \cdot (1 + k_V)$

ここで，

T	：	アンカーボルト1本当たりに生じる引張力（kN）
Q_1	：	アンカーボルトに生じる引張力（kN）
N	：	防水板の片側（左右若しくは上下）に取り付くアンカーボルトの本数（本）
F	：	F_h又はF_v（kN）
F_h	：	防水板に生じる水平方向の地震荷重（kN）
G_1	：	防水板の固定荷重（kN）
k_H	：	基準地震動Ｓｓの水平方向の設計震度
F_V	：	防水板に生じる鉛直方向の地震荷重（kN）
k_V	：	基準地震動Ｓｓの鉛直方向の設計震度

(b)　せん断力に対する検定

アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$q = Q_2 / N$

$Q_2 = \sqrt{(F_h^2 + F^2)} / 2$

ここで，

q	：	アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力（kN）
Q_2	：	アンカーボルトに生じるせん断力（kN）
N	：	防水板の片側（左右若しくは上下）に取り付くアンカーボルトの本数（本）
F_h	：	防水板に生じる水平方向の地震荷重（kN）
F	：	F_h又はF_v（kN）

(c) 引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$$(T/T_a)^2+(q/Q_a)^2 \leqq 1$$

ここで，　T　　：アンカーボルト1本当たりに生じる引張力（kN）

T_a　：アンカーボルトの引張に対する短期許容荷重（kN）

q　　：アンカーボルト1本当たりに生じるせん断力（kN）

Q_a　：アンカーボルトのせん断に対する短期許容荷重（kN）

4.5　評価条件

耐震評価に用いる入力値を表 4－4 に示す。

表 4－4(1)　耐震評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.		
				1	2	3
共通	k_H	－	水平震度	1.46	2.23	2.23
	k_V	－	鉛直震度	1.51	0.90	0.90
鋼板	t	mm	鋼板の板厚	22	16	16
	L_1	mm	鋼板の負担幅	532	585	545
	Z	mm^3/m	鋼板の断面係数	80670	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材負担幅	526	565	545
	w_1	kg/m	芯材の単位質量	145.3	129.7	127.2
	L_2	mm	芯材全長	965	2230	2229
	Z_f	mm^3	芯材の断面係数	249000	334000	334000
	A_f	mm^2	芯材のせん断断面積	1384	2016	2016
アンカーボルト	N	本	片側（左右若しくは上下）*のアンカーボルトの本数	8	13	9
	G_1	kN	防水板の固定荷重	8.1	23.6	23.1

注記＊：左右若しくは上下でアンカーボルトの本数が異なる場合は，検定比（組合せ）が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 4－4(2)　耐震評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				4	5
共通	k_H	－	水平震度	1.21	1.21
	k_V	－	鉛直震度	0.96	0.96
鋼板	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	L_1	mm	鋼板の負担幅	581	570
	Z	mm^3/m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材負担幅	579	570
	w_1	kg/m	芯材の単位質量	131.5	126.0
	L_2	mm	芯材全長	1770	958
	Z_f	mm^3	芯材の断面係数	334000	249000
	A_f	mm^2	芯材のせん断断面積	2016	1384
アンカーボルト	N	本	片側（左右若しくは上下）*のアンカーボルトの本数	15	19
	G_1	kN	防水板の固定荷重	24.1	10.9

注記＊：左右若しくは上下でアンカーボルトの本数が異なる場合は，検定比（組合せ）が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 4－4(3)　耐震評価に用いる条件

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				6	7
共通	k_H	－	水平震度	1.21	1.21
	k_V	－	鉛直震度	0.96	0.96
鋼板	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	L_1	mm	鋼板の負担幅	581	520
	Z	mm^3/m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材負担幅	579	520
	w_1	kg/m	芯材の単位質量	127.2	119.7
	L_2	mm	芯材全長	1770	958
	Z_f	mm^3	芯材の断面係数	249000	249000
	A_f	mm^2	芯材のせん断断面積	1384	1384
アンカーボルト	N	本	片側（左右若しくは上下）*のアンカーボルトの本数	16	14
	G_1	kN	防水板の固定荷重	25.1	10.2

注記＊：左右若しくは上下でアンカーボルトの本数が異なる場合は，検定比（組合せ）が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

5. 評価結果

防水板の耐震評価結果を表 5－1 に示す。発生値は許容限界値以下であり，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを確認した。

表 5－1(1) 耐震評価結果

防水板No.	評価対象部位		発生値（応力度又は荷重）		許容限界		検定値
1	鋼板	曲げ	2	N/mm^2	235	N/mm^2	0.01＜1.0
	芯材	曲げ	2	N/mm^2	233	N/mm^2	0.01＜1.0
		せん断	1	N/mm^2	135	N/mm^2	0.01＜1.0
		組合せ	3	N/mm^2	235	N/mm^2	0.02＜1.0
	アンカーボルト	引張	－	kN	－	kN	－
		せん断	0.8	kN	25.8	kN	0.04＜1.0
		組合せ	－		－		－
2	鋼板	曲げ	3	N/mm^2	235	N/mm^2	0.02＜1.0
	芯材	曲げ	6	N/mm^2	232	N/mm^2	0.03＜1.0
		せん断	2	N/mm^2	135	N/mm^2	0.02＜1.0
		組合せ	7	N/mm^2	235	N/mm^2	0.03＜1.0
	アンカーボルト	引張	2.1	kN	28.4	kN	0.08＜1.0
		せん断	2.1	kN	25.8	kN	0.09＜1.0
		組合せ	－		－		0.02＜1.0
3	鋼板	曲げ	3	N/mm^2	235	N/mm^2	0.02＜1.0
	芯材	曲げ	6	N/mm^2	232	N/mm^2	0.03＜1.0
		せん断	2	N/mm^2	135	N/mm^2	0.02＜1.0
		組合せ	7	N/mm^2	235	N/mm^2	0.03＜1.0
	アンカーボルト	引張	2.9	kN	36.9	kN	0.08＜1.0
		せん断	2.9	kN	25.8	kN	0.12＜1.0
		組合せ	－		－		0.02＜1.0

表 5－1(2)　耐震評価結果

防水板 No.	評価対象部位		発生値（応力度又は荷重）		許容限界		検定値
4	鋼板	曲げ	2	N/mm^2	235	N/mm^2	0.01＜1.0
	芯材	曲げ	3	N/mm^2	228	N/mm^2	0.02＜1.0
		せん断	1	N/mm^2	135	N/mm^2	0.01＜1.0
		組合せ	4	N/mm^2	235	N/mm^2	0.02＜1.0
	アンカーボルト	引張	1.0	kN	36.2	kN	0.03＜1.0
		せん断	1.9	kN	25.8	kN	0.08＜1.0
		組合せ	－		－		0.01＜1.0
5	鋼板	曲げ	2	N/mm^2	235	N/mm^2	0.01＜1.0
	芯材	曲げ	1	N/mm^2	233	N/mm^2	0.01＜1.0
		せん断	1	N/mm^2	135	N/mm^2	0.01＜1.0
		組合せ	2	N/mm^2	235	N/mm^2	0.01＜1.0
	アンカーボルト	引張	－	kN	－	kN	－
		せん断	0.4	kN	25.8	kN	0.02＜1.0
		組合せ	－		－		－

表 5－1(3)　耐震評価結果

防水板 No.	評価対象部位		発生値（応力度又は荷重）		許容限界		検定値
6	鋼板	曲げ	2	N/mm^2	235	N/mm^2	0.01＜1.0
	芯材	曲げ	3	N/mm^2	229	N/mm^2	0.02＜1.0
		せん断	2	N/mm^2	135	N/mm^2	0.02＜1.0
		組合せ	5	N/mm^2	235	N/mm^2	0.03＜1.0
	アンカーボルト	引張	1.0	kN	34.9	kN	0.03＜1.0
		せん断	1.0	kN	25.8	kN	0.04＜1.0
		組合せ	－		－		0.01＜1.0
7	鋼板	曲げ	2	N/mm^2	235	N/mm^2	0.01＜1.0
	芯材	曲げ	1	N/mm^2	233	N/mm^2	0.01＜1.0
		せん断	1	N/mm^2	135	N/mm^2	0.01＜1.0
		組合せ	2	N/mm^2	235	N/mm^2	0.01＜1.0
	アンカーボルト	引張	－	kN	－	kN	－
		せん断	0.5	kN	25.8	kN	0.02＜1.0
		組合せ	－		－		－

Ⅵ-2-10-2-15　貫通部止水処置の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 7
2.5　記号の説明 ····· 8
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 10
3.　評価部位 ····· 11
4.　固有周期 ····· 12
4.1　固有周期の計算方法 ····· 12
4.2　固有周期の計算条件 ····· 13
4.3　固有周期の計算結果 ····· 13
5.　構造強度評価 ····· 14
5.1　構造強度評価方法 ····· 14
5.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 14
5.3　許容限界 ····· 16
5.4　設計用地震力 ····· 18
5.5　計算方法 ····· 19
5.6　計算条件 ····· 20
6.　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に基づき，浸水防護施設のうち，貫通部止水処置が設計用地震力に対して，主要な構造部材が地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入，地震による溢水に加えて津波の流入を考慮した浸水又は内部溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有することを説明するものである。その耐震評価は貫通部止水処置の荷重又は応力評価により行う。

貫通部止水処置は，設計基準対象施設においてはＳクラス及びＣクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

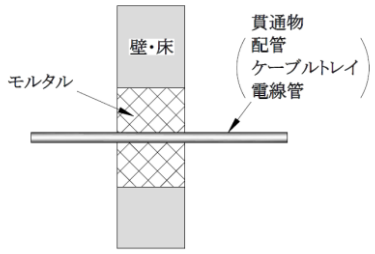
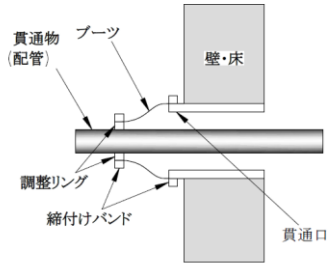
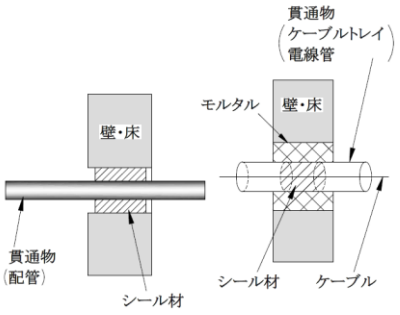
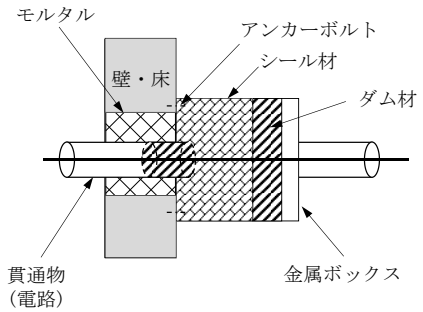
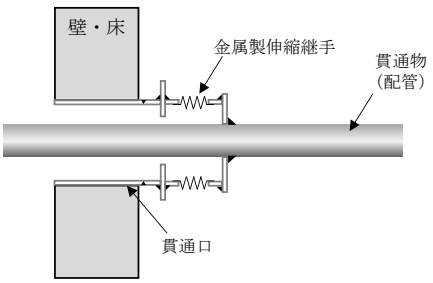
2.1 配置概要

貫通部止水処置は各建物及び区画の貫通口と貫通物とのすき間又は貫通部の周囲に施工する。

2.2 構造計画

貫通部止水処置は，貫通部の位置や条件に応じて，シール材，モルタル，ブーツ及び金属製伸縮継手を使用し，各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁又は床面の貫通口と貫通物のすき間に施工し，壁又は床面と貫通物を接合する構造とする。なお，電路貫通部の止水においては，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁，床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填する場合がある。ブーツは，伸縮性ゴムを用い，壁又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。金属製伸縮継手は，壁又は床面設置の貫通口及び配管に溶接することで固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　貫通部止水処置の構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって融合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	配管変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		電路貫通部については，シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁又は床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填する。シール材は，施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	
	金属製伸縮継手にて構成する。	配管変位を吸収できるよう金属製伸縮継手を用い，壁又は床面設置の貫通口と配管を溶接によって接合する。	

2.3　評価方針

貫通部止水処置の耐震評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2　構造計画」に示す貫通部止水処置の構造を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する評価部位において，発生する荷重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し，確認結果を「6.　評価結果」に示す。貫通部止水処置のうち，モルタル及び電路貫通部金属ボックスの耐震評価フローをそれぞれ，図 2－1 及び図 2－2 に示す。

ここで，シール材を施工する貫通部においては，貫通部近傍に支持構造物を設置することで，地震時は建物壁と貫通物が一体で動く構造であり，相対変位が軽微な箇所に設置していることから，地震時の貫通部に対する配管変位及び相対変位の影響は十分小さい。また，電線管・ケーブルトレイ内に使用する充填タイプのシール材は，柔軟性及び余長を有するケーブルすき間に充填することとしており，地震時にケーブルに発生する荷重は十分小さい。これらのことから，地震による相対変位や荷重によるシール材への影響は軽微であるため，耐震評価の対象としない。ただし，電路貫通部については，シール材が型崩れしないように金属ボックスを壁又は床面に固定し，シール材を充填する場合があることから，金属ボックスについては，耐震評価対象とする。

ブーツ及び金属製伸縮継手については，地震による相対変位に対して十分な伸縮性を有している。このため，地震による相対変位の影響は軽微であることから，耐震評価の対象としない。

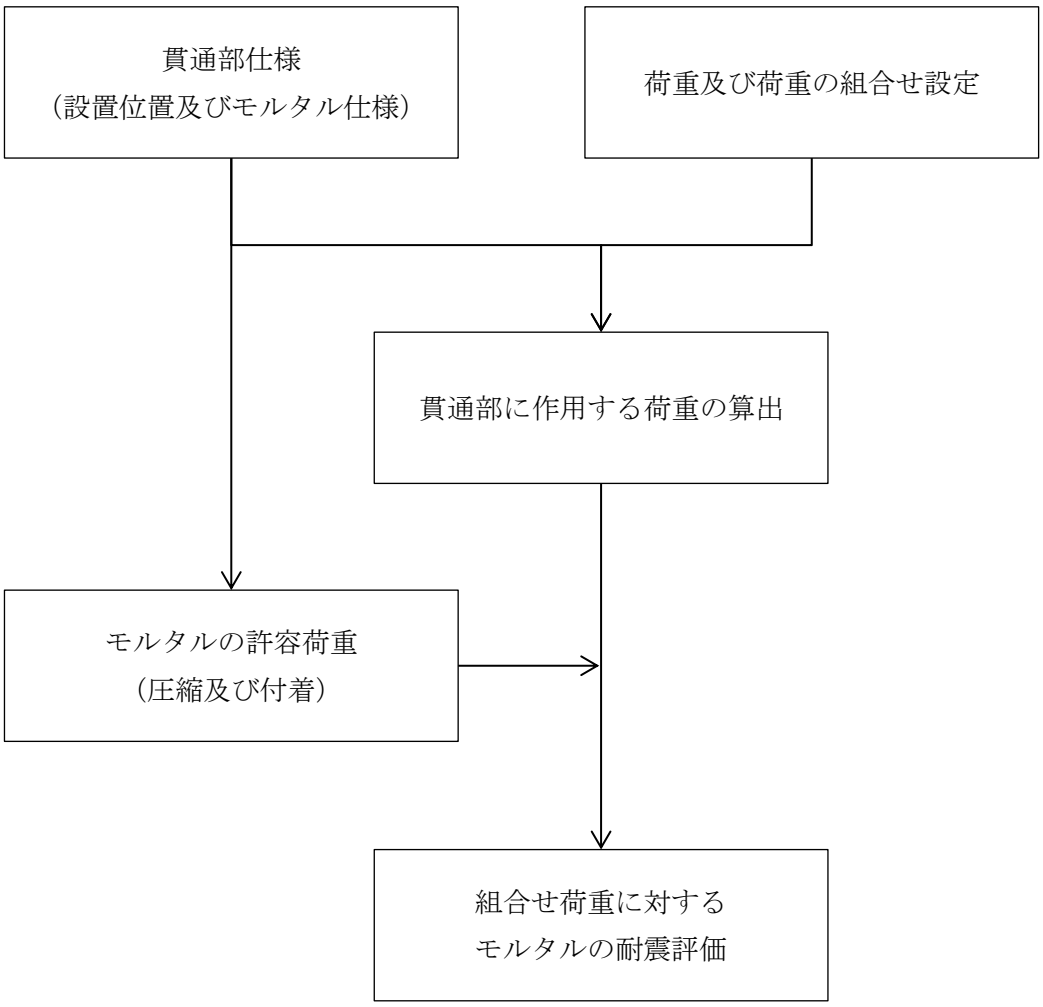


図 2－1　モルタルの耐震評価フロー

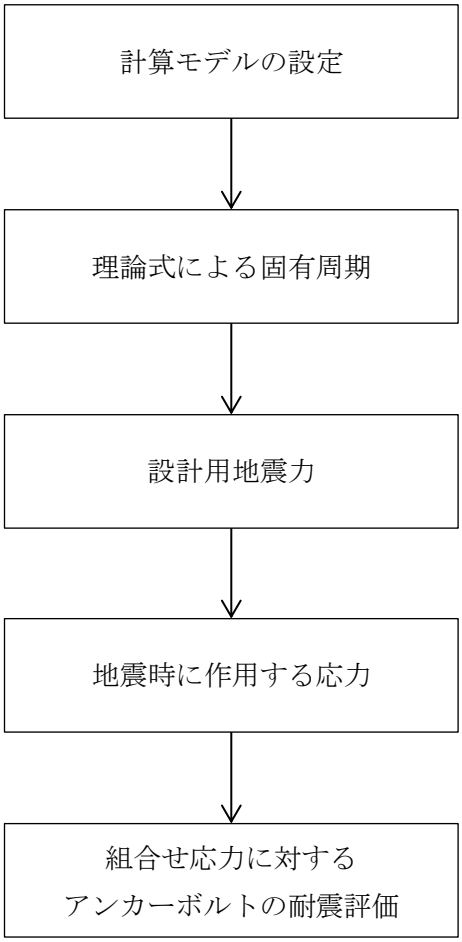


図 2－2　電路貫通部金属ボックスの耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

・コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年制定）（以下「コンクリート標準示方書」という。）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・機械工学便覧　基礎編α2　機械力学（（社）日本機械学会，2004 改訂）（以下「機械工学便覧」という。）

2.5　記号の説明

モルタル及び電路貫通部金属ボックスの耐震評価に用いる記号を，表2－2及び表2－3に示す。

表2－2　モルタルの耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_P	貫通物の投影面積	mm^2
C_1	基準地震動Ｓｓにより生じる貫通物の軸方向設計震度	―
C_2	基準地震動Ｓｓにより生じる貫通物の軸直角方向設計震度	―
d	貫通物の直径	mm
f_c	モルタルの許容圧縮荷重	N
f_s	モルタルの許容付着荷重	N
f'_{bok}	モルタルの付着強度	MPa
f'_{ck}	モルタルの圧縮強度	MPa
F_1	基準地震動Ｓｓにより生じる貫通物の軸方向に作用する荷重	N
F_2	基準地震動Ｓｓにより生じる貫通物の軸直角方向に作用する荷重	N
F_C	貫通物反力によりモルタルに生じる圧縮荷重	N
F_S	貫通物の反力によりモルタルに生じる付着荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
L	貫通物の支持間隔	mm
L_w	モルタルの充填深さ	mm
w	貫通物の単位長さ当たりの質量	kg/m
γ_c	材料定数	―

表 2－3　電路貫通部金属ボックスの耐震評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_b	アンカーボルトの軸断面積	mm^2
C_H	基準地震動Ｓｓにより生じる貫通物の水平方向設計震度	―
C_V	基準地震動Ｓｓにより生じる貫通物の鉛直方向設計震度	―
F	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F_b	アンカーボルトに作用する引張力	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し左右方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張力	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し前後方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張力	N
f_s	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度	m/s^2
h	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
ℓ_2	上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
ℓ_3	左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離	mm
m	金属ボックスの質量（充填されているシール材質量を含む）	kg
n	アンカーボルトの本数	―
n_{fH}	引張力の支持を期待するアンカーボルトの本数（正面方向）	―
n_{fV}	引張力の支持を期待するアンカーボルトの本数（側面方向）	―
Q_b	アンカーボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N
σ	アンカーボルトに作用する引張応力	MPa
τ	アンカーボルトに作用するせん断応力	MPa

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－4に示すとおりである。

表2－4　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	桁処理	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
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
モルタル圧縮強度	MPa	―	―	小数点以下第1位
材料定数	―	―	―	小数点以下第1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	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
単位長さ質量	kg/m	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
長さ	mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
床面高さ	m	―	―	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
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
発生荷重	kN	有効数字4桁目	切上げ	有効数字3桁
許容荷重	kN	有効数字4桁目	切捨て	有効数字3桁
発生応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は，小数点以下第1位表示とする。また，設計上定める値が小数点以下第2位の場合は，小数点以下第2位表示とする。

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

3.　評価部位

貫通部止水処置の評価部位は，「2.2　構造計画」にて設定している構造にしたがって，地震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し選定する。

評価対象については，貫通部止水処置の耐震重要度分類を踏まえ，津波の流入を考慮した範囲から選定する。

モルタルについては，地震時に貫通物の反力が直接作用することが考えられるため，モルタルを評価部位とする。また，モルタルに作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価する。モルタルを用いた貫通部のうち，貫通部がないため埋め戻しを行っている貫通部は貫通物の追従により生じる荷重がないため，貫通物が通っている場合の評価に包絡される。

電路貫通部金属ボックスについては，アンカーボルトで壁又は床面に固定する構造であることから，アンカーボルトを評価部位とする。アンカーボルトに作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価する。

モルタル及び電路貫通部金属ボックスの評価部位をそれぞれ，図 3－1 及び図 3－2 に示す。

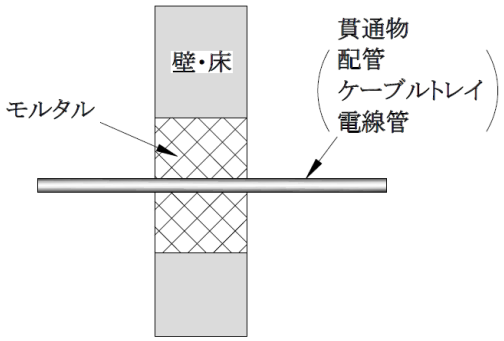


図 3－1　モルタルの評価部位

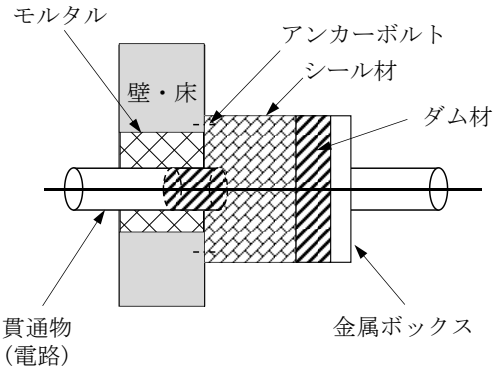


図 3－2　電路貫通部金属ボックスの評価部位

4.　固有周期

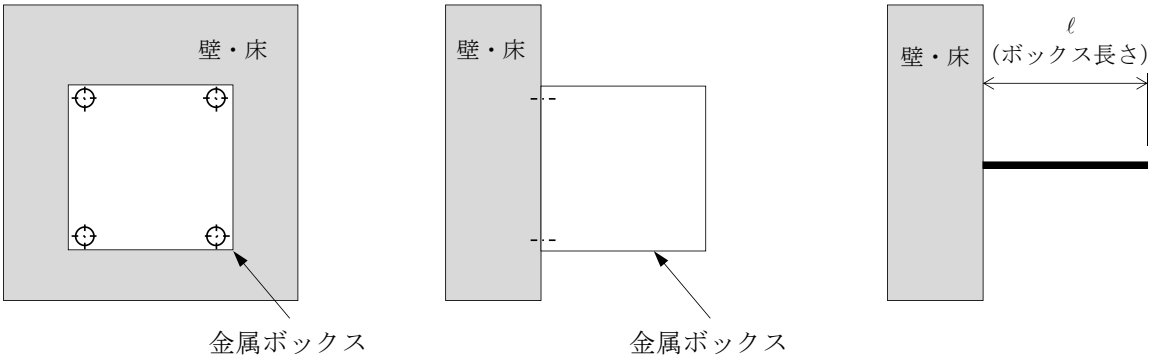
4.1　固有周期の計算方法

モルタルは，壁又は床面に埋め込まれている構造で躯体側と一体となって振動するため，固有周期の算出は不要である。

一方，電路貫通部金属ボックスは，壁に固定しているアンカーボルトの健全性を確認するため固有周期を算出する。その方法を以下に示す。

(1)　計算手法

電路貫通部金属ボックスの寸法や形状を踏まえ，図 4－1 に示す片持ちはりに単純化したモデルとして考える。



(a)概略平面図　　(b)概略側面図　　(c)モデル図

図 4－1　電路貫通部金属ボックスの評価モデル

(2)　記号の説明

電路貫通部金属ボックスの固有周期算出に用いる記号を表 4－1 に示す。

表 4－1　固有周期算出に用いる記号

記号	定義	単位
E	縦弾性係数	MPa
f	固有振動数	Hz
I	断面二次モーメント	mm^4
ℓ	ボックス長さ	mm
w	単位長さ当たりの質量	kg/m
T	固有周期	s

(3)　固有周期の算出方法

固有周期は機械工学便覧に基づき，以下の式より算出する。

$$f = \frac{1.875^2}{2 \cdot \pi \cdot \ell^2} \sqrt{\frac{E \cdot I}{w}} \cdot 10^3$$

$$T = 1 / f$$

4.2　固有周期の計算条件

電路貫通部金属ボックスの固有周期の計算条件を表 4－2 に示す。

表 4－2 電路貫通部金属ボックスの固有周期の計算条件

縦弾性係数 E (MPa)	断面二次モーメント I (mm^4)		ボックス長さ ℓ(mm)	単位長さ当たりの質量 w(kg/m)
	水平方向	鉛直方向		
				

4.3　固有周期の計算結果

電路貫通部金属ボックスの固有周期の計算結果を表 4－3 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4－3　電路貫通部金属ボックスの固有周期

方向	固有周期 (s)
水平	0.001
鉛直	0.001

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　貫通部止水処置の評価部位の荷重（応力）評価を実施し，発生荷重（応力）を算出する。

(2)　評価部位の発生荷重（応力）と許容荷重（応力）を比較し，発生荷重（応力）が許容荷重（応力）以下であることを確認する。

5.2　荷重及び荷重の組合せ

5.2.1　荷重の設定

(1)　モルタルに作用する地震荷重

構造強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

a.　固定荷重（D）

固定荷重として，貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）及びその内容物の質量を考慮する。

b.　地震荷重（Ｓｓ）

地震荷重は，基準地震動Ｓｓに伴う地震力とする。

モルタルに作用する荷重は，付着荷重及び圧縮荷重を考慮する。地震動により貫通物に地震荷重が発生し，その荷重がモルタルに作用するものとして算出する。

(a)　貫通物からモルタルに作用する地震荷重

モルタルに作用する荷重はモルタル端部とモルタルから最も近い支持構造物までの間の貫通物の固定荷重と地震荷重が作用する。評価においては，安全側の評価となるように貫通物の両側の支持構造物間の貫通物の固定荷重及び地震力がモルタルに作用し，モルタルに反力が発生するものとして荷重を算出する。貫通物からモルタルに作用する荷重作用図を図 5－1 に示す。

また，貫通物は柔構造となる場合もあることから，貫通物の設置場所における床応答スペクトル又は上層における床応答スペクトルの最大応答加速度を用いて発生荷重を算出する。ただし，貫通物の軸方向については，十分な剛性を有しており，剛領域の振動モードとなることから，基準床の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて発生荷重を算出する。

(b)　評価において考慮する貫通部

評価においては，それぞれの貫通部のうち，発生する荷重が最も大きいものを算出する。

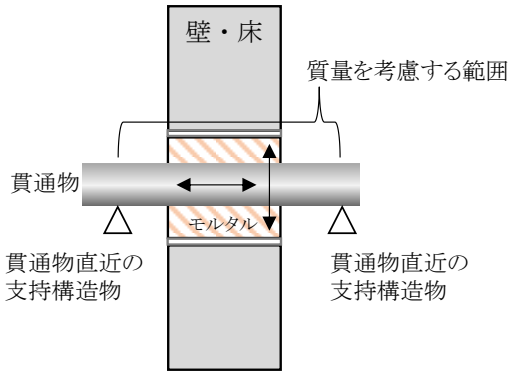


図 5－1　モルタルへの荷重作用図

(2)　電路貫通部金属ボックスに作用する地震荷重

構造強度評価に用いる荷重は，以下の荷重を用いる。

a.　固定荷重（D）

固定荷重として，電路貫通部金属ボックス及びボックスに充填しているシール材の質量を考慮する。なお，電路及び電路内構造物の質量は，外部サポートによって支持されているため考慮しない。

b.　地震荷重（Ｓｓ）

地震荷重は，基準地震動Ｓｓに伴う地震力とする。

金属ボックスはアンカーボルトによって固定されていることから，アンカーボルトには固定荷重と地震荷重が作用し，金属ボックスが水平方向及び鉛直方向へ転倒する力が働く。アンカーボルトに作用する地震荷重作用図を図 5－2 に示す。

また，4.3 項に示す固有周期の計算結果（表 4－3）から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造であるため，基準床の最大応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて発生荷重を算出する。

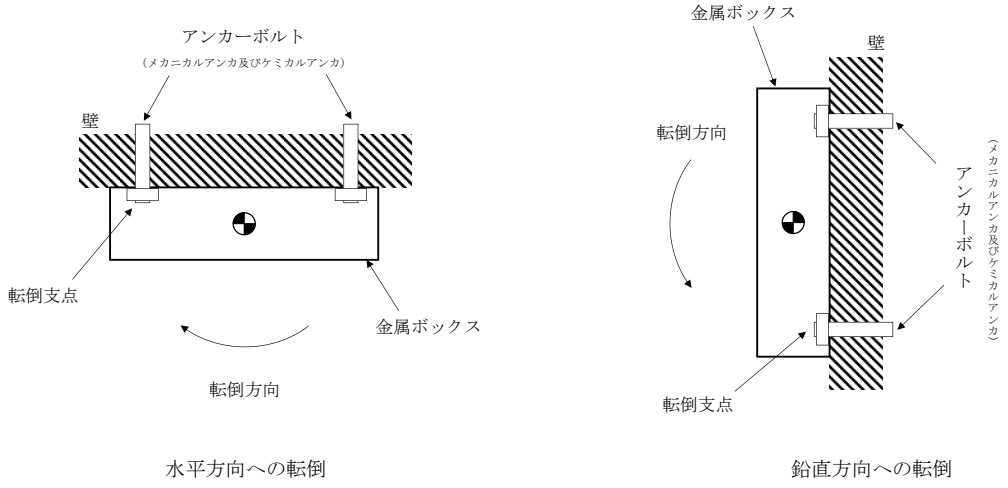


図 5－2　電路貫通部金属ボックスへの荷重作用図

5.2.2　荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 5－1 に示す。

表 5－1　荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 （浸水防止設備）	貫通部止水処置	Ｄ＋Ｓｓ

注記＊：Ｄは固定荷重，Ｓｓは基準地震動Ｓｓによる地震荷重を示す。

5.3　許容限界

(1)　モルタル

各評価部位の許容値は，コンクリート標準示方書に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界，許容限界評価条件及び許容限界算出結果をそれぞれ，表 5－2，表 5－3 及び表 5－4 に示す。

表 5－2　貫通部止水処置の許容限界

状態	許容荷重*	
	付着	圧縮
短期	f_s	f_c

注記＊：モルタルの許容限界は，コンクリート標準示方書により，モルタルの許容付着荷重 f_s，モルタル付着強度 f'_{bok} 及びモルタルの許容圧縮荷重 f_c を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。

許容付着荷重　$f_s = f'_{bok} \cdot \pi \cdot d \cdot L_w / \gamma_c$

$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'^{2/3}_{ck} \cdot 0.4$

許容圧縮荷重　$f_c = f'_{ck} \cdot A_P / \gamma_c$

$A_P = d \cdot L_w$

表 5－3　貫通部止水処置の許容限界評価条件

モルタル圧縮強度 f'_{ck} (MPa)	貫通物の直径 d (mm)	モルタル充填深さ L_w (mm)	材料定数 γ_c
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 5－4　貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価部位	許容限界	
		付着荷重 f_s (kN)	圧縮荷重 f_c (kN)
短期	モルタル	8.21×10^3	6.68×10^4

(2)　電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスのアンカーボルトの許容限界は，設計・建設規格に基づき許容引張応力 f_{ts}，許容せん断応力 f_s を算出する。

アンカーボルトの許容限界，許容限界評価条件及び許容限界算出結果をそれぞれ，表 5－5，表 5－6 及び表 5－7 に示す。

表 5－5　アンカーボルトの許容限界

許容応力状態	許容限界	
	引張応力 f_{to}*	せん断応力 f_s
ⅢAS	$\frac{F}{2}$ ・1.5	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}$ ・1.5

注記＊：せん断応力を同時に受ける場合の許容引張応力 f_{ts} は，以下のとおりとする。

$f_{ts}=\mathrm{Min}(1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau,\ f_{to})$

表 5－6　アンカーボルトの許容限界評価条件

評価部位	材料	F (MPa)
アンカーボルト	SS400 相当	215

表 5－7　アンカーボルトの許容限界算出結果

許容引張応力 f_{to} (MPa)	許容せん断応力 f_s (MPa)
129	99

5.4　設計用地震力

(1)　モルタル

モルタルの止水処置については，耐震計算に用いる設計震度をⅥ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」における設計用地震力に基づき設計する。モルタルの耐震計算に用いる設計震度を表5－8に示す。

表5－8　モルタルの耐震計算に用いる設計用震度

地震動	設置場所及び床面高さ(m)	地震による設計震度*1	
基準地震動 Ｓｓ	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5*2)	貫通物軸方向C_1*3	1.53
		貫通物軸直角方向C_2*4	15.35*5

注記＊1:設計震度は,設計用床応答スペクトルⅠ及び設計用震度Ⅰに基づき設定する。また，鉛直方向は，地震による設計震度に加え，重力加速度（1G）を考慮する。

＊2：基準床レベルを示す。

＊3：貫通物の軸方向は十分な剛性を有しており，剛領域の振動モードとなることから，基準床の最大応答加速度の1.2倍を設計震度とする。

＊4:モルタルは評価対象箇所が多いことから，設計震度の算出が合理的となるように全周期帯の最大応答加速度を用いる。また，保守的な評価となるように設計用床応答スペクトルⅠは減衰定数0.5%を適用する。

＊5：軸直角2方向のベクトル和を示す。

(2)　電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスについては，耐震計算に用いる設計震度をⅥ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」における設計用地震力に基づき設計する。電路貫通部金属ボックスの耐震計算に用いる設計震度を表5－9に示す。

表5－9　電路貫通部金属ボックスの耐震計算に用いる設計用震度

地震動	設置場所及び床面高さ(m)	地震による設計震度*2	
基準地震動 Ｓｓ	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5*1)	水平方向C_H	1.53
		鉛直方向C_V	0.72

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2:設計震度は,設計用床応答スペクトルⅠ及び設計用震度Ⅰに基づき設定する。また，電路貫通部金属ボックスは固有周期が0.05秒以下であり，剛構造であるため，基準床の最大応答加速度の1.2倍を設計震度とする。

5.5　計算方法

(1)　モルタルの耐震評価（荷重計算）

固定荷重及び基準地震動Ｓｓによりモルタルに生じる荷重を算出する。なお，鉛直方向の設計震度は，地震による設計震度に加え，重力加速度（1G）を考慮する。また，軸直角方向の設計震度は2方向のベクトル和を考慮する。

付着荷重：　$F_S = F_1 = w \cdot C_1 \cdot L \cdot g$

圧縮荷重：　$F_C = F_2 = (5/8) \cdot w \cdot C_2 \cdot L \cdot g$

(2)　電路貫通部金属ボックスの耐震評価（応力計算）

固定荷重及び基準地震動Ｓｓによる荷重は次のとおり算出する。

a.　引張応力の計算

アンカーボルトに対する引張応力は，最も厳しい条件として，図5－2で片側ボルト列を支点とする転倒を考え，これをもう片側のボルト列で受けるものとして計算する。

金属ボックスが水平方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{fH} \cdot \ell_3} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

金属ボックスが鉛直方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b2} = \frac{m \cdot C_H \cdot \ell_1 \cdot g + m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

引張力

$F_b = \mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2})$

引張応力

$\sigma = F_b / A_b$

b.　せん断応力の計算

アンカーボルトに対するせん断応力は，アンカーボルト全本数で受けるものとして計算する。

水平方向の力

$Q_{b1} = C_H \cdot m \cdot g$

鉛直方向の力

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

せん断力

$Q_b = \sqrt{Q_{b1}^2 + Q_{b2}^2}$

せん断応力

$\tau = Q_b / (n \cdot A_b)$

5.6　計算条件

(1)　モルタル

モルタルの耐震評価に関する荷重評価条件を表 5－10 に示す。

表 5－10　モルタルの耐震評価に関する荷重評価条件

貫通箇所 （貫通部仕様）	貫通物の支持間隔 L（mm）	貫通物の単位長さ 当たりの質量 w（kg/m）
タービン建物 地下 1 階壁貫通部 （モルタル）	[redacted]	[redacted]

(2)　電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスの耐震評価に関する荷重評価条件を表 5－11 に示す。

表 5－11　電路貫通部金属ボックスの耐震評価に関する荷重評価条件

貫通箇所 （貫通部仕様）	アンカーボルトの 軸断面積 A_b（mm^2）	据付面又は取付面から重心までの距離 h（mm）	重心と下側アンカーボルト間の鉛直方向距離 ℓ_1（mm）
タービン建物 地下 1 階壁貫通部 （金属ボックス）	[redacted]	[redacted]*	[redacted]*

上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離 ℓ_2（mm）	左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離 ℓ_3（mm）	金属ボックスの質量 （充填されているシール材質量を含む） m（kg）	アンカーボルトの 本数 n
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

引張力の支持を期待するアンカーボルトの本数（正面方向） n_{fH}	引張力の支持を期待するアンカーボルトの本数（側面方向） n_{fV}
[redacted]	[redacted]

注記＊：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

6. 評価結果

(1) モルタル

モルタルの耐震評価結果を表 6－1 に示す。評価部位における発生荷重は許容荷重以下であり，構造部材が設計用地震力に対して溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有し，止水性を維持できることを確認した。

表 6－1 モルタルの耐震評価結果

荷重	発生荷重(kN)	許容荷重(kN)
付着荷重	6.16×10^{3}	8.21×10^{3}
圧縮荷重	3.86×10^{4}	6.68×10^{4}

(2) 電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスの耐震評価結果を表 6－2 に示す。評価部位における発生応力は許容応力以下であり，設計用地震力に対して構造部材が津波による溢水の伝播を防止する機能を維持するための十分な構造健全性を有し，止水性を維持できることを確認した。

表 6－2 電路貫通部金属ボックスの耐震評価結果

応力分類	発生応力(MPa)	許容応力(MPa)
引張応力	36	129*
せん断応力	11	99

注記＊：次式にて計算した値を示す。

$f_{ts}=\mathrm{Min}(1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau,\ f_{to})$

Ⅵ-2-10-4　緊急時対策所の耐震性に関する説明書

Ⅵ-2-10-4-1　緊急時対策所の耐震計算結果

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　耐震評価条件整理 ····· 1

図　表　目　次

表１　耐震評価条件整理一覧表　・・　2

1. 概要

本説明書は，緊急時対策所の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

緊急時対策所の設備に対して，設計基準対象施設の耐震重要度分類，重大事故等対処施設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，重大事故等対処施設のうち，設計基準対象施設であるものについては，重大事故等対処施設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。

緊急時対策所の設備の耐震計算は，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（1/2）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処施設		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に許可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
緊急時対策所	緊急時対策所機能	緊急時対策所	C	－*2	－	常設／その他	－	VI-2-2*3
	その他の緊急時対策所機能	無線通信設備（固定型）	C	－*2	－	常設／防止 常設／緩和	－	VI-2-6-7-3-2*4
		衛星電話設備（固定型）	C	－*2	－	常設／防止 常設／緩和	－	VI-2-6-7-3-1*4
		安全パラメータ表示システム（SPDS）	C	－*2	－	常設／緩和	－	VI-2-6-7-3-4*4
		統合原子力防災ネットワークに接続する通信連絡設備	C	－*2	－	常設／その他	－	VI-2-6-7-3-3*4
		主配管	－	－*2	－	常設／緩和	－	VI-2-8-3-3-1*5
		差圧計	－	－*2	－	常設／緩和	－	VI-2-8-3-3-2*5
		緊急時対策所遮蔽	－	－*2	－	常設／緩和	－	VI-2-8-4-5*5
		緊急時対策所用燃料地下タンク	－	－*2	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	VI-2-10-1-2-4-1*6
		緊急時対策所　発電機接続プラグ盤	－	－*2	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	VI-2-10-1-4-18*6

表 1　耐震評価条件整理一覧表（2/2）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処施設		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に許可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
緊急時対策所	その他の緊急時対策所機能	緊急時対策所　低圧受電盤・低圧母線盤	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-19*6
		緊急時対策所　低圧分電盤 1	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-24*6
		緊急時対策所　低圧分電盤 2	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-25*6
		緊急時対策所　無停電交流電源装置	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-33*6
		緊急時対策所　無停電分電盤 1	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-34*6
		緊急時対策所　直流 115V 充電器	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	VI-2-10-1-4-35*6

注記　＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止施設，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／その他」は重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。
＊2：本工事計画で新規に申請する設備であることから，差異比較の対象外。
＊3：建物・構築物の耐震評価は，添付書類「VI-2-2　耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性に関する説明書」に記載する。
＊4：計測制御系統施設と兼用の設備であり，評価内容が共通であるため，耐震評価は，添付書類「VI-2-6-7 その他の計測制御設備の耐震性についての計算書」に記載する。
＊5：放射線管理施設と兼用の設備であり，評価内容が共通であるため，耐震評価は，添付書類「VI-2-8 放射線管理施設の耐震性に関する説明書」に記載する。
＊6：非常用電源設備と兼用の設備であり，評価内容が共通であるため，耐震評価は，添付資料「VI-2-10-1 非常用電源設備の耐震性に関する説明書」に記載する。

Ⅵ-2-11　波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性に関する説明書

Ⅵ-2-11-2　波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-11-2-7　機器の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-11-2-7-4　チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　配置概要 …… 1
2.2　構造計画 …… 1
2.3　評価方針 …… 3
2.4　適用規格・基準等 …… 4
2.5　記号の説明 …… 5
2.6　計算精度と数値の丸め方 …… 8
3.　評価部位 …… 9
4.　地震応答解析及び構造強度評価 …… 9
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 …… 9
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 9
4.3　解析モデル及び諸元 …… 15
4.4　固有周期 …… 17
4.5　設計用地震力 …… 20
4.6　計算方法 …… 21
4.7　計算条件 …… 24
4.8　応力の評価 …… 24
5.　評価結果 …… 26
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 26
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 26

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，チャンネル取扱ブームが基準地震動Ｓｓによる地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラス施設である燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックに対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

チャンネル取扱ブームは，上位クラス施設である燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラックの上部に設置されており，チャンネル取扱ブームの転倒又は落下により上記上位クラス施設に波及的影響を及ぼすおそれがある。

設備の位置関係図を図2－1に示す。

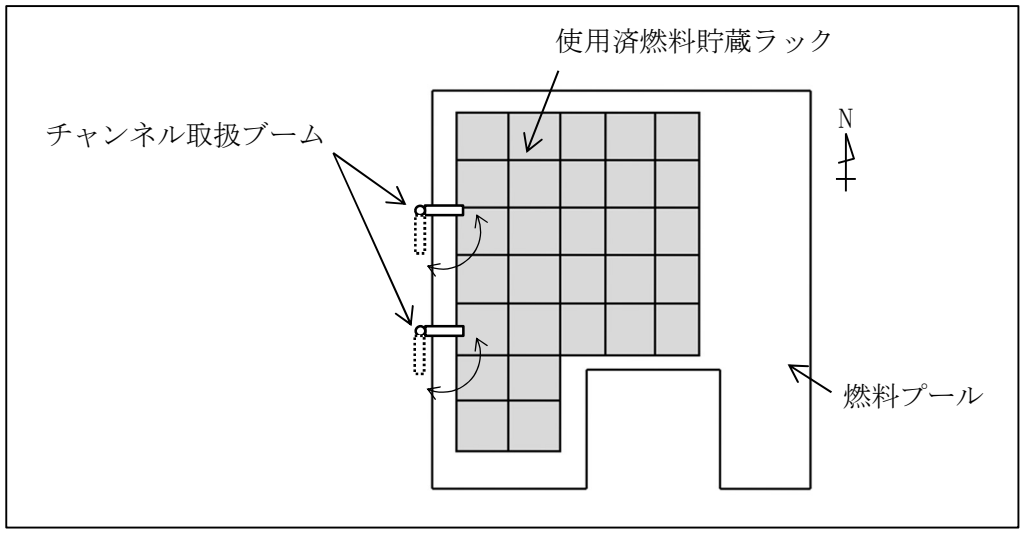
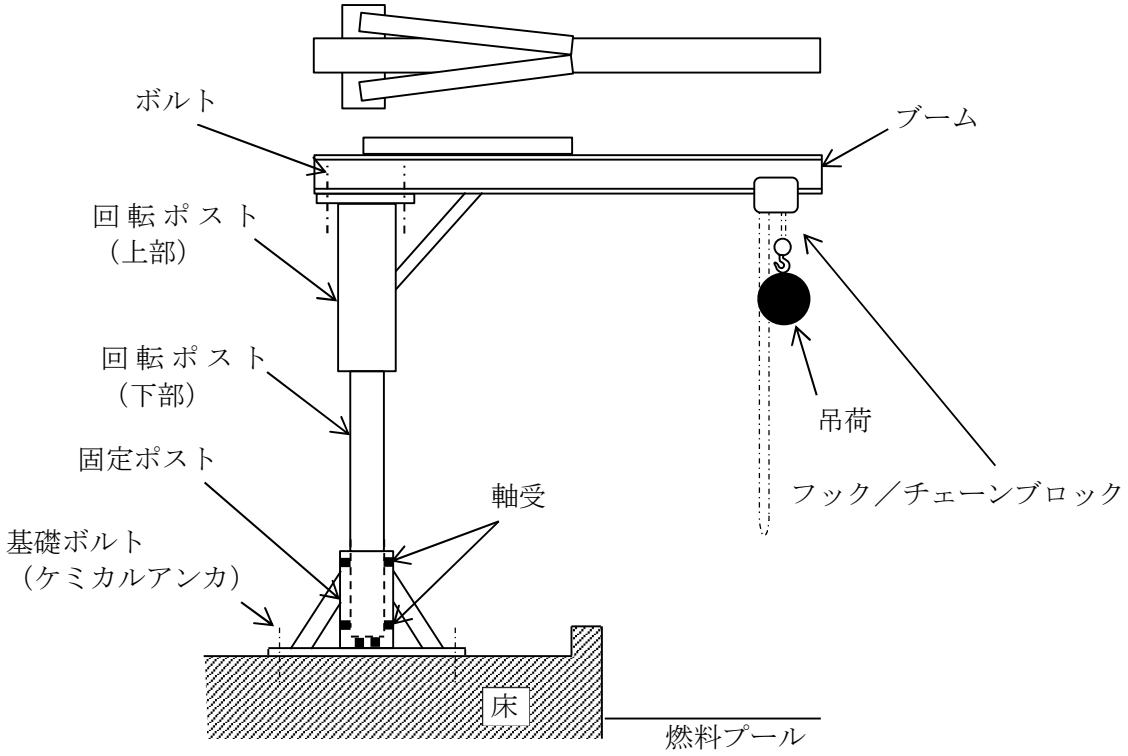


図2－1　チャンネル取扱ブームと上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

チャンネル取扱ブームの構造計画を表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	
ブームはボルトで回転ポスト（上部）に固定され，回転ポスト（上部）はねじ込み接続で回転ポスト（下部）に固定され，回転ポスト（下部）は回転ポスト（下部）の側面と底面に接する軸受により固定ポストに保持され，固定ポストは基礎ボルトにより床に固定されている。 また，吊荷はブームに設置された先端にフックを有するチェーンブロックを介して吊上げ・吊下げ・移動の作業を行う。	ブーム，回転ポスト（上部，下部），固定ポストから構成され，床に固定された構造。	

2.3　評価方針

チャンネル取扱ブームの応力評価は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2　構造計画」にて示すチャンネル取扱ブームの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

チャンネル取扱ブームの耐震評価フローを図2－2に示す。

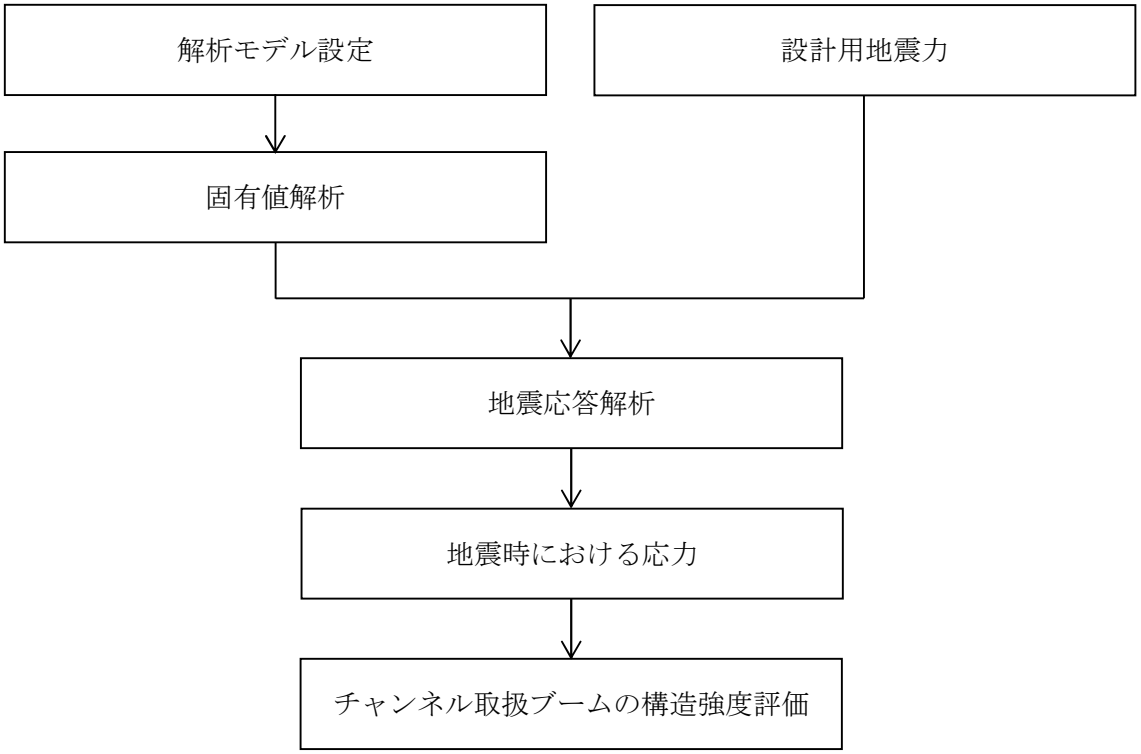


図2－2　チャンネル取扱ブームの耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	ブームの断面積	mm^2
A_{1sy}	ブームのＹ方向有効せん断断面積	mm^2
A_{1sz}	ブームのＺ方向有効せん断断面積	mm^2
A_2	回転ポスト（上部）の断面積	mm^2
A_{2sy}	回転ポスト（上部）のＹ方向有効せん断断面積	mm^2
A_{2sz}	回転ポスト（上部）のＺ方向有効せん断断面積	mm^2
A_3	回転ポスト（下部）の断面積	mm^2
A_{3s}	回転ポスト（下部）の有効せん断断面積	mm^2
A_4	固定ポストの断面積	mm^2
A_{4s}	固定ポストの有効せん断断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_{bs}	基礎ボルトの有効断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
D	死荷重	N
d_o	ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{1x}	ブームの軸力（ｘ方向）	N
F_{1y}	ブームのせん断力（ｙ方向）	N
F_{1z}	ブームのせん断力（ｚ方向）	N
F_{2x}	回転ポスト（上部）の軸力（ｘ方向）	N
F_{2y}	回転ポスト（上部）のせん断力（ｙ方向）	N
F_{2z}	回転ポスト（上部）のせん断力（ｚ方向）	N
F_{3x}	回転ポスト（下部）の軸力（ｘ方向）	N
F_{3y}	回転ポスト（下部）のせん断力（ｙ方向）	N
F_{3z}	回転ポスト（下部）のせん断力（ｚ方向）	N
F_{4x}	固定ポストの軸力（ｘ方向）	N
F_{4y}	固定ポストのせん断力（ｙ方向）	N
F_{4z}	固定ポストのせん断力（ｚ方向）	N
Fb	基礎ボルトに作用する引張力	N
Fx	床面位置でのせん断力（ｘ軸）	N
Fy	床面位置でのせん断力（ｙ軸）	N
Fz	床面位置での軸力（ｚ軸）	N

記号	記号の説明	単位
f_{bm}	許容曲げ応力	MPa
f_{sm}	許容せん断応力	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
L_1	基礎ボルト評価用寸法	mm
L_2	基礎ボルト評価用寸法	mm
L_3	基礎ボルト評価用寸法	mm
L_4	基礎ボルト評価用寸法	mm
M_1x	ブームのねじりモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_1y	ブームの曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_1z	ブームの曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_2x	回転ポスト（上部）のねじりモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_2y	回転ポスト（上部）の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_2z	回転ポスト（上部）の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_3x	回転ポスト（下部）のねじりモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_3y	回転ポスト（下部）の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_3z	回転ポスト（下部）の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_4x	固定ポストのねじりモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_4y	固定ポストの曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_4z	固定ポストの曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_D	機械的荷重（ＤＢ）	N
M_{SAD}	機械的荷重（ＳＡ）	N
Ｍｘ	床面位置での曲げモーメント（ｘ軸）	N･mm
Ｍｙ	床面位置での曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
Ｍｚ	床面位置でのねじりモーメント（ｚ軸）	N･mm
ｎ	基礎ボルトの本数	―
n_i	基礎ボルトの列数	―
P_D	最高使用圧力による荷重（ＤＢ）	N
P_{SAD}	設計圧力による荷重（ＳＡ）	N
Ｑｂ	基礎ボルトに作用するせん断力	N
ｒ	基礎ボルトの取付半径	mm
Ｓｓ	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	N
Ｓｕ	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表９に定める値	MPa
Ｓｙ	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表８に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
Z_{1p}	ブームのねじり断面係数	mm^3
Z_{1y}	ブームの断面係数（y軸）	mm^3
Z_{1z}	ブームの断面係数（z軸）	mm^3
Z_{2p}	回転ポスト（上部）のねじり断面係数	mm^3
Z_{2y}	回転ポスト（上部）の断面係数（y軸）	mm^3
Z_{2z}	回転ポスト（上部）の断面係数（z軸）	mm^3
Z_{3p}	回転ポスト（下部）のねじり断面係数	mm^3
Z_{3y}	回転ポスト（下部）の断面係数（y軸）	mm^3
Z_{3z}	回転ポスト（下部）の断面係数（z軸）	mm^3
Z_{4p}	固定ポストのねじり断面係数	mm^3
Z_{4y}	固定ポストの断面係数（y軸）	mm^3
Z_{4z}	固定ポストの断面係数（z軸）	mm^3
ν	ポアソン比	－
π	円周率	－
σ_b	部材に生じる曲げ応力	MPa
σ_f	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_t	部材に生じる垂直応力	MPa
σ_{tb}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	部材に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		－	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	－	－	整数位
質量		kg	－	－	整数位*1
長さ	下記以外の長さ	mm	－	－	整数位*1
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位*2	四捨五入	小数点以下第1位*3
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*5		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

＊2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は，小数点以下第3位表示とする。

＊3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は，小数点以下第2位表示とする。

＊4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3. 評価部位

チャンネル取扱ブームの耐震評価は，「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなるブーム，回転ポスト（上部，下部），固定ポスト及び基礎ボルトについて実施する。なお，チャンネル取扱ブームは，主構造を構成するブーム，回転ポスト（上部，下部），固定ポスト及び基礎ボルトが健全であればチャンネル取扱ブームの構造を維持できるため，これらを評価対象とする。チャンネル取扱ブームの耐震評価部位については，表 2－1 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) チャンネル取扱ブームの固定ポストは，十分剛な床に基礎ボルトにより固定されるものとする。

(2) チャンネル取扱ブームの質量には，チャンネル取扱ブームの質量のほか，吊荷の質量を考慮する。

(3) 地震力は，チャンネル取扱ブームに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出においてＳＲＳＳ法にて組み合わせるものとする。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(5) 評価ケース

表 4－1 に示す評価ケースにて評価を実施する。設計基準対象施設としての条件に対する評価条件では，チャンネル取扱ブームの使用を想定しケース 1，2 について評価する。重大事故等対処設備としての条件に対する評価条件では，待機状態を想定しケース 2 について評価する。

表 4－1 評価ケース

評価対象	チャンネル取扱ブーム	
評価ケース	1	2
吊荷位置	ブーム先端	
吊荷重	150kg（定格荷重）	0kg（無負荷）

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

チャンネル取扱ブーム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 4－2 に，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。

4.2.2 許容応力

チャンネル取扱ブームの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

チャンネル取扱ブームの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－6 に示す。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	チャンネル取扱ブーム	C	－*	$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－3　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	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	チャンネル取扱ブーム	－	－*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－4　許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等以外）			許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力			一次応力	
	引張	せん断	曲げ	引張	せん断
$\mathrm{IV_AS}$	1.5・f_t*	1.5・f_s*	1.5・f_b*	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）					

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

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

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)
ブーム	SM570 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	50	454	561
回転ポスト（上部）	SM570 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	50	454	561
回転ポスト（下部）	S25C (径≦200mm)	周囲環境温度	50	260	402
固定ポスト	STK400	周囲環境温度	50	224	394
基礎ボルト	SS400 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	50	231	394

表 4－6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)
ブーム	SM570 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	100	428	527
回転ポスト（上部）	SM570 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	100	428	527
回転ポスト（下部）	S25C (径≦200mm)	周囲環境温度	100	244	379
固定ポスト	STK400	周囲環境温度	100	188	373
基礎ボルト	SS400 (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	100	212	373

4.3　解析モデル及び諸元

チャンネル取扱ブームの解析モデルを図 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【チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　チャンネル取扱ブームの構造体をはり要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。

(2)　拘束条件は，床への取付部の完全固定とする。なお，モデル化に当たっては，チャンネル取扱ブームの使用を想定し，吊荷位置をブーム先端として150kg（定格荷重）を考慮する。

(3)　チャンネル取扱ブーム　解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

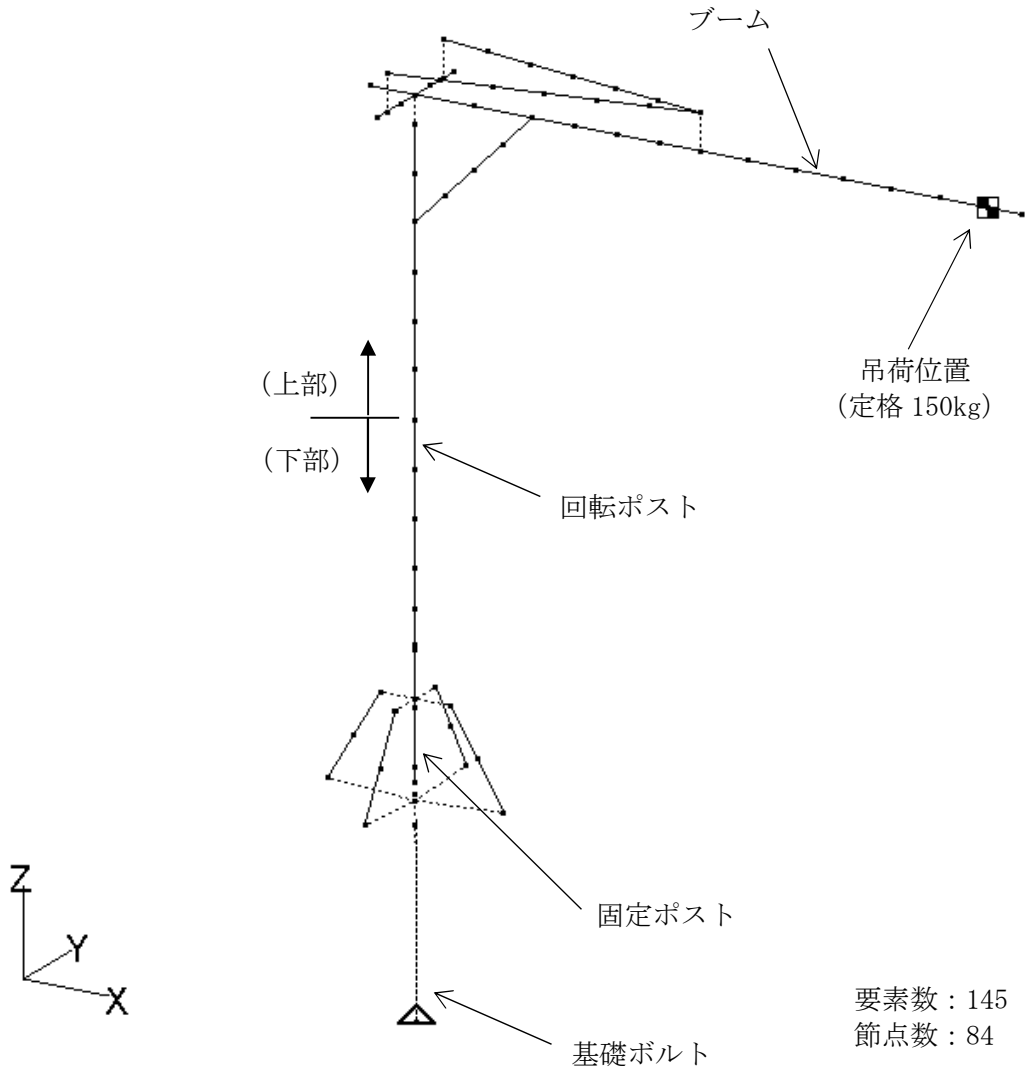


図 4－1　チャンネル取扱ブーム解析モデル

4.4　固有周期

評価ケース 1 における固有値解析の結果を表 4－7 に，評価ケース 2 における固有値解析の結果を表 4－8 に示す。また，各評価ケースの振動モード図を図 4－2，図 4－3 に示す。固有周期は，0.05 秒を超えており，柔構造であることを確認した。また，鉛直方向は 3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 4－7　固有値解析結果（評価ケース 1［吊荷重：定格荷重］）

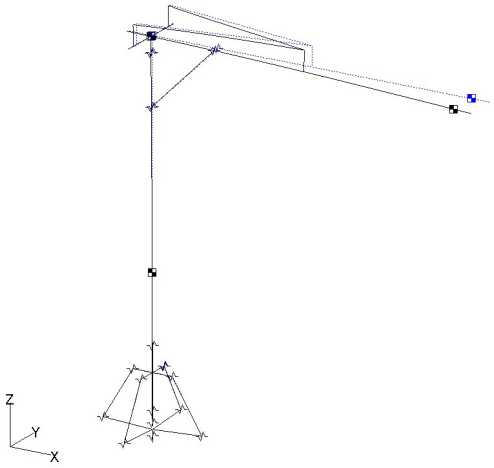
モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			X方向	Y方向	
1 次	水平	0.152	0.00	−0.40	0.00
2 次	水平	0.145	0.26	0.00	−0.47
3 次	水平	0.055	0.00	−0.44	0.00

注記＊：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

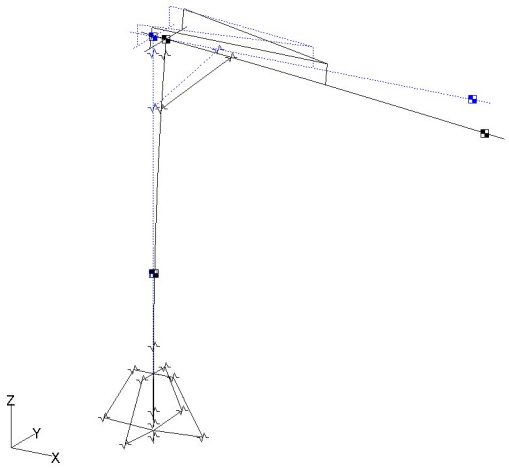
表 4－8　固有値解析結果（評価ケース 2［吊荷重：無負荷］）

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	0.152	−0.40	0.00	0.00
2 次	水平	0.099	0.00	0.42	−0.25
3 次	水平	0.055	−0.44	0.00	0.00

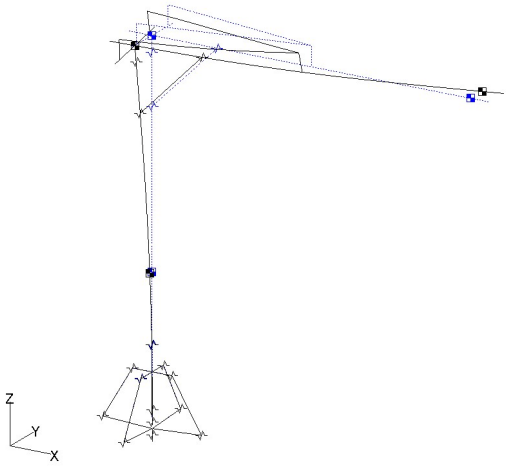
注記＊：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



評価ケース 1（モード：1 次）

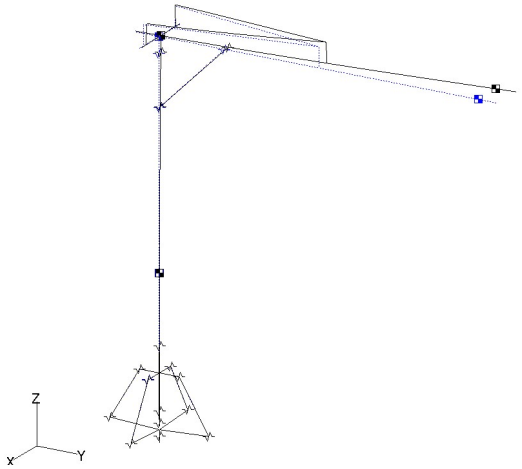


評価ケース 1（モード：2 次）

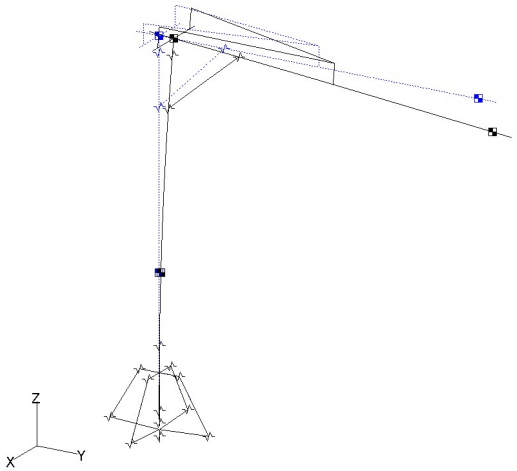


評価ケース 1（モード：3 次）

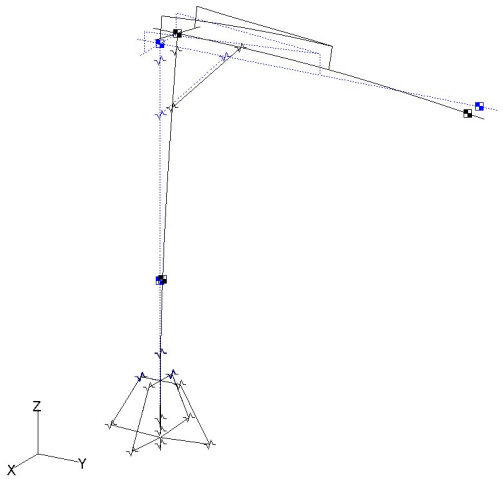
図 4－2 振動モード図（評価ケース 1［吊荷重：定格荷重］）



評価ケース 2（モード：1 次）



評価ケース 2（モード：2 次）



評価ケース 2（モード：3 次）

図 4－3 振動モード図（評価ケース 2［吊荷重：無負荷］）

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－9 及び表 4－10 に示す。

「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数はⅥ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4－9　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)			原子炉建物　EL42.800*1		
固有周期(s)			0.152*2		
減衰定数(%)			水平：1.0　鉛直：1.0		
地震力			基準地震動Ｓｓ		
評価ケース	モード*3	固有周期(s)	応答水平震度*4		応答鉛直震度*4
			ＮＳ方向	ＥＷ方向	
ケース 1［吊荷重：定格荷重］	1 次	0.152	9.92	12.26	8.56
	2 次	0.145	15.44	8.62	8.56
	3 次	0.055	11.13	17.13	12.71
ケース 2［吊荷重：無負荷］	1 次	0.152	9.92	12.26	8.56
	2 次	0.099	13.68	7.25	19.67
	3 次	0.055	11.13	17.13	12.71
動的震度*5			2.60	3.06	3.66

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：1 次固有周期について記載
＊3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお，0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。
＊4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度
＊5：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

表 4－10　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)			原子炉建物　EL42.800*1		
固有周期(s)			0.152*2		
減衰定数(%)			水平：1.0　鉛直：1.0		
地震力			基準地震動Ｓｓ		
評価ケース	モード*3	固有周期(s)	応答水平震度*4		応答鉛直震度*4
			ＮＳ方向	ＥＷ方向	
ケース 2［吊荷重：無負荷］	1 次	0.152	9.92	12.26	8.56
	2 次	0.099	13.68	7.25	19.67
	3 次	0.055	11.13	17.13	12.71
動的震度*5			2.60	3.06	3.66

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：1 次固有周期について記載
＊3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお，0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。
＊4：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度
＊5：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　構造部材*の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力Ｆｘ，せん断力Ｆｙ，Ｆｚ，ねじりモーメントＭｘ及び曲げモーメントＭｙ，Ｍｚより各応力を次のように求める。

注記＊：構造部材は，「3.評価部位」に示す部位のうち，ブーム，回転ポスト（上部，下部），固定ポストを示し，各部位を示す場合には記号に添字をつけ識別する。

(1)　垂直応力

$$\sigma_t = \frac{|Fx|}{A} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

(2)　せん断応力

$$\tau = \frac{|Fy|}{Asy} + \frac{|Fz|}{Asz} + \frac{|Mx|}{Zp} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

(3)　曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|My|}{Zy} + \frac{|Mz|}{Zz} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.3)$$

(4)　組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

4.6.1.2　基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は，解析による計算で得られる床面位置での軸力Ｆｚ，せん断力Ｆｘ，Ｆｙ，ねじりモーメントＭｚ及び曲げモーメントＭｘ，Ｍｙから手計算により，地震による引張応力とせん断応力について計算する。チャンネル取扱ブームの基礎ボルト部の概要を図4－4に示す。

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は，図 4－4 に示す床面位置での軸力Ｆｚとモーメント Ｍｘ，Ｍｙを考えて計算する。このとき，モーメントＭｘ，Ｍｙによって発生するそれぞれの引張力は基礎ボルトの配置の関係上同一の基礎ボルトで最大値は発生しないため，引張力が最大となるモーメントＭｘ，Ｍｙの組合せとなるように算出する。

a.　引張力

$$F_b = \frac{F_z}{n} + max\left\{\frac{|M_x| \cdot L_4 + |M_y| \cdot L_3}{n_i \cdot \left(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + L_4^2\right)}, \frac{|M_x| \cdot L_3 + |M_y| \cdot L_4}{n_i \cdot \left(L_1^2 + L_2^2 + L_3^2 + L_4^2\right)}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2.1)$$

b.　引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2.2)$$

ここで，ボルトの軸断面積Ａｂは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2.3)$$

(2)　せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，固定ポストを床に取付けているボルトに均等にかかるものとし，基礎ボルトの本数で受けるものとして計算する。

a.　せん断力

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{n} + \frac{|M_z|}{n \cdot r} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2.4)$$

b.　せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_{bs}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.6.1.2.5)$$

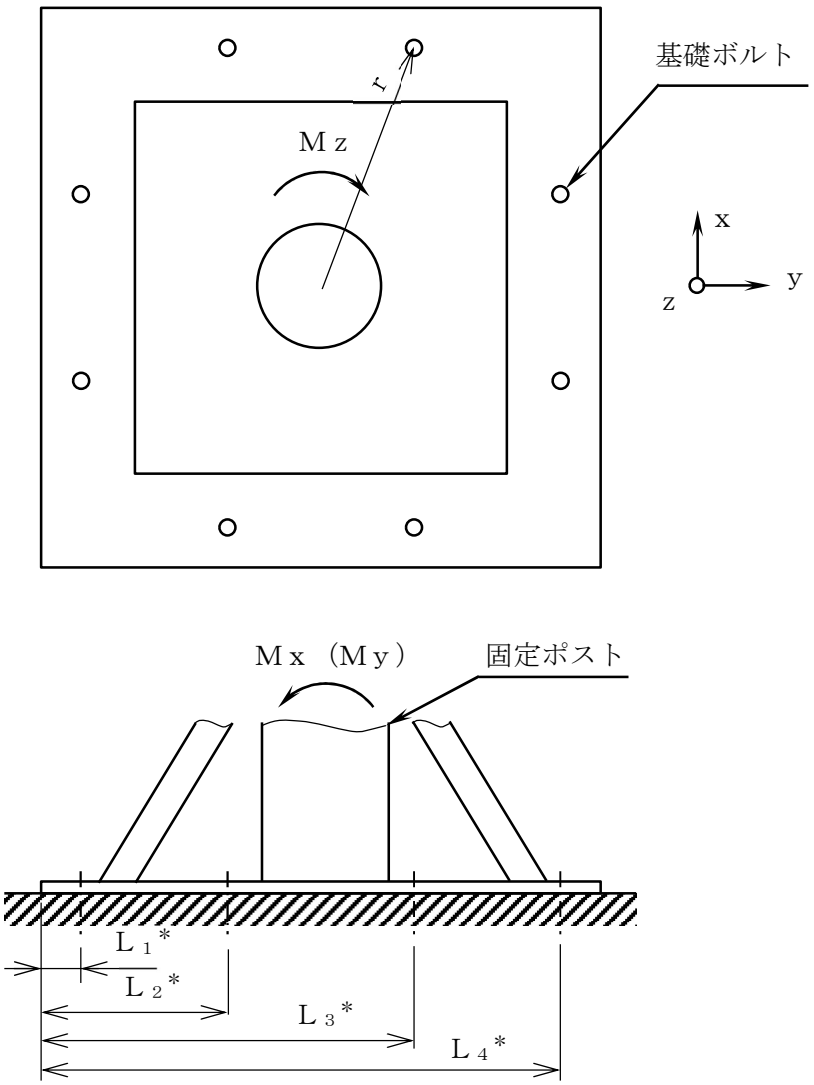


図 4－4 基礎ボルト部の概要（床固定部）

注記＊：ｘ，ｙ方向で寸法関係は同じ値となる。

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重（チャンネル取扱ブーム）及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【チャンネル取扱ブームの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　チャンネル取扱ブームの応力評価

4.6.1.1項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力が許容引張応力f_{tm}以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5}$・1.5
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}$・1.5
許容曲げ応力 f_{bm}	$\frac{F^*}{1.5}$・1.5

4.8.2　基礎ボルトの応力評価

4.6.1.2項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_{tb}は，次式より求めた許容組合せ応力f_{ts}の0.8倍以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]　･････････････････････････････ (4.8.2.1)

せん断応力τ_bはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}の0.8倍以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	基準地震動Ｓｓ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}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

S2 補 VI-2-11-2-7-4 R0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

チャンネル取扱ブーム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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

チャンネル取扱ブーム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。

【チャンネル取扱ブーム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)		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
チャンネル取扱ブーム	C	原子炉建物 EL42.800*1	0.152	0.05 以下	C_H＝3.06*2 又は＊3	C_V＝3.66*2	－	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

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

1.2 機器要目

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	r (mm)	d_o (mm)	Ａｂ (mm^2)	Ａｂｓ (mm^2)	n	n_i
75	350	700	975	482	30 (M30)	706.9	561	8	2

部材	材料	E (MPa)	ν	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｆ* (MPa)
ブーム	SM570 (厚さ≦16mm)	201000	0.3	454	561	392
回転ポスト (上部)	SM570 (厚さ≦16mm)	201000	0.3	454	561	392
回転ポスト (下部)	S25C (径≦200mm)	201000	0.3	260	402	281
固定ポスト	STK400	201000	0.3	224	394	268
基礎ボルト	SS400 (16mm＜厚さ≦40mm)	－	－	231	394	275

A_1 (mm^2)	A_{1sy} (mm^2)	A_{1sz} (mm^2)	A_2 (mm^2)	A_{2sy} (mm^2)	A_{2sz} (mm^2)	A_3 (mm^2)	A_{3s} (mm^2)	A_4 (mm^2)	A_{4s} (mm^2)
5.034×10^3	3.000×10^3	2.250×10^3	5.544×10^3	3.144×10^3	2.544×10^3	2.835×10^4	1.418×10^4	8.751×10^3	4.376×10^3

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト

Z_{1y} (mm^3)	Z_{1z} (mm^3)	Z_{1p} (mm^3)	Z_{2y} (mm^3)	Z_{2z} (mm^3)	Z_{2p} (mm^3)	Z_{3y} (mm^3)	Z_{3z} (mm^3)	Z_{3p} (mm^3)	Z_{4y} (mm^3)	Z_{4z} (mm^3)	Z_{4p} (mm^3)
4.094×10^5	6.272×10^4	1.682×10^4	3.902×10^5	3.510×10^5	5.340×10^5	6.734×10^5	6.734×10^5	1.347×10^6	6.590×10^5	6.590×10^5	1.354×10^6

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト

1.3　計算数値

1.3.1　構造部材の荷重

(単位：N)

F_1x	F_1y	F_1z	F_2x	F_2y	F_2z	F_3x	F_3y	F_3z	F_4x	F_4y	F_4z
2.161×10^4	9.045×10^3	2.897×10^4	2.206×10^4	2.904×10^4	2.889×10^4	1.761×10^4	3.388×10^4	2.065×10^4	1.925×10^4	1.735×10^5	1.632×10^5

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト
　　添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2　構造部材のモーメント

(単位：N･mm)

M_1x	M_1y	M_1z	M_2x	M_2y	M_2z	M_3x	M_3y	M_3z	M_4x	M_4y	M_4z
4.065×10^5	4.546×10^7	1.192×10^7	2.312×10^7	7.628×10^7	3.730×10^7	2.312×10^7	6.990×10^7	6.831×10^7	2.312×10^7	3.345×10^7	3.556×10^7

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト
　　添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3　基礎ボルトの荷重　　（単位：N）

Ｆｘ	Ｆｙ	Ｆｚ
1.425×10^{5}	1.326×10^{5}	4.708×10^{3}

1.3.4　基礎ボルトのモーメント　　（単位：N･mm）

Ｍｘ	Ｍｙ	Ｍｚ
9.147×10^{7}	9.813×10^{7}	2.327×10^{7}

1.3.5　基礎ボルトに作用する力　（単位：N）

Ｆｂ	Ｑｂ
5.149×10^{4}	3.037×10^{4}

1.4　結論

1.4.1　固有周期（吊荷重：定格荷重）（単位：s）

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.152
2次	水平	0.145
3次	水平	0.055

1.4.2　固有周期（吊荷重：無負荷）　（単位：s）

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平	0.152
2次	水平	0.099
3次	水平	0.055

1.4.3　応力　（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
ブーム	SM570	組合せ	σ_f ＝314	f_{tm} ＝391
回転ポスト（上部）	SM570	組合せ	σ_f ＝326	f_{tm} ＝391
回転ポスト（下部）	S25C	組合せ	σ_f ＝210	f_{tm} ＝280
固定ポスト	STK400	組合せ	σ_f ＝195	f_{tm} ＝267
基礎ボルト	SS400	引張	σ_{tb}＝73	0.8・f_{ts}＝159*
		せん断	τ_b ＝55	0.8・f_{sb}＝125

すべて許容応力以下である。

注：絶対値を記載

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

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期（s）		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
チャンネル取扱ブーム	－	原子炉建物 EL42.800*1	0.152	0.05 以下	C_H＝3.06*2 又は＊3	C_V＝3.66*2	－	100

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

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

2.2 機器要目

L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	r (mm)	d_o (mm)	Ａｂ (mm^2)	Ａｂｓ (mm^2)	n	n_i
75	350	700	975	482	30 (M30)	706.9	561	8	2

部　位	材料	E (MPa)	ν	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｆ* (MPa)
ブーム	SM570 (厚さ≦16mm)	198000	0.3	428	527	368
回転ポスト（上部）	SM570 (厚さ≦16mm)	198000	0.3	428	527	368
回転ポスト（下部）	S25C (径≦200mm)	198000	0.3	244	379	265
固定ポスト	STK400	198000	0.3	188	373	225
基礎ボルト	SS400 (16mm＜厚さ≦40mm)	－	－	212	373	254

A_1 (mm^2)	A_{1sy} (mm^2)	A_{1sz} (mm^2)	A_2 (mm^2)	A_{2sy} (mm^2)	A_{2sz} (mm^2)	A_3 (mm^2)	A_{3s} (mm^2)	A_4 (mm^2)	A_{4s} (mm^2)
5.034×10^3	3.000×10^3	2.250×10^3	5.544×10^3	3.144×10^3	2.544×10^3	2.835×10^4	1.418×10^4	8.751×10^3	4.376×10^3

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト

Z_{1y} (mm^3)	Z_{1z} (mm^3)	Z_{1p} (mm^3)	Z_{2y} (mm^3)	Z_{2z} (mm^3)	Z_{2p} (mm^3)	Z_{3y} (mm^3)	Z_{3z} (mm^3)	Z_{3p} (mm^3)	Z_{4y} (mm^3)	Z_{4z} (mm^3)	Z_{4p} (mm^3)
4.094×10^5	6.272×10^4	1.682×10^4	3.902×10^5	3.510×10^5	5.340×10^5	6.734×10^5	6.734×10^5	1.347×10^6	6.590×10^5	6.590×10^5	1.354×10^6

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト

2.3　計算数値

2.3.1　構造部材の荷重

(単位：N)

F_1x	F_1y	F_1z	F_2x	F_2y	F_2z	F_3x	F_3y	F_3z	F_4x	F_4y	F_4z
7.935×10^3	1.153×10^4	1.691×10^4	2.206×10^4	2.961×10^4	2.889×10^4	1.761×10^4	3.458×10^4	2.065×10^4	1.925×10^4	1.769×10^5	1.632×10^5

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト
　　添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2　構造部材のモーメント

(単位：N･mm)

M_1x	M_1y	M_1z	M_2x	M_2y	M_2z	M_3x	M_3y	M_3z	M_4x	M_4y	M_4z
5.084×10^5	2.242×10^7	1.496×10^7	2.313×10^7	7.628×10^7	3.801×10^7	2.313×10^7	6.990×10^7	6.966×10^7	2.313×10^7	3.345×10^7	3.627×10^7

注：添字１：ブーム，添字２：回転ポスト（上部），添字３：回転ポスト（下部），添字４：固定ポスト
　　添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.3　基礎ボルトの荷重　　（単位：N）

Ｆｘ	Ｆｙ	Ｆｚ
1.453×10^{5}	1.326×10^{5}	4.708×10^{3}

2.3.4　基礎ボルトのモーメント　　（単位：N･mm）

Ｍｘ	Ｍｙ	Ｍｚ
9.147×10^{7}	1.001×10^{8}	2.328×10^{7}

2.3.5　基礎ボルトに作用する力　（単位：N）

Ｆｂ	Ｑｂ
5.210×10^{4}	3.063×10^{4}

2.4　結論

2.4.1　固有周期（吊荷重：無負荷）　　（単位：s）

モード	卓越方向	固有周期
１次	水平	0.153
２次	水平	0.100
３次	水平	0.055

2.4.2　応力　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	算出応力	許容応力
ブーム	SM570	組合せ	σ_f ＝304	f_{tm} ＝367
回転ポスト（上部）	SM570	組合せ	σ_f ＝328	f_{tm} ＝367
回転ポスト（下部）	S25C	組合せ	σ_f ＝212	f_{tm} ＝264
固定ポスト	STK400	組合せ	σ_f ＝197	f_{tm} ＝225
基礎ボルト	SS400	引張	σ_{tb}＝74	0.8・f_{ts}＝142*
		せん断	τ_b ＝55	0.8・f_{sb}＝116

すべて許容応力以下である。

注：絶対値を記載

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

VI-2-11-2-7-5　制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 1
2.3　評価方針 ····· 3
2.4　適用規格・基準等 ····· 4
2.5　記号の説明 ····· 5
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3.　評価部位 ····· 8
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 9
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 13
4.4　固有周期 ····· 15
4.5　設計用地震力 ····· 19
4.6　計算方法 ····· 21
4.7　計算条件 ····· 26
4.8　応力の評価 ····· 26
5.　評価結果 ····· 27
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 27
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 27

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，下位クラス施設である制御棒貯蔵ハンガが基準地震動Ｓｓによる地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，上位クラス施設である燃料プール及び隣接する使用済燃料貯蔵ラック等に波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

制御棒貯蔵ハンガは，原子炉建物の燃料プール内に設置されている。

制御棒貯蔵ハンガは，図2－1の位置関係図に示すように，上位クラス施設である燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラック等に隣接しており，地震時に本機器が転倒又は落下した場合は，燃料プール及び使用済燃料貯蔵ラック等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

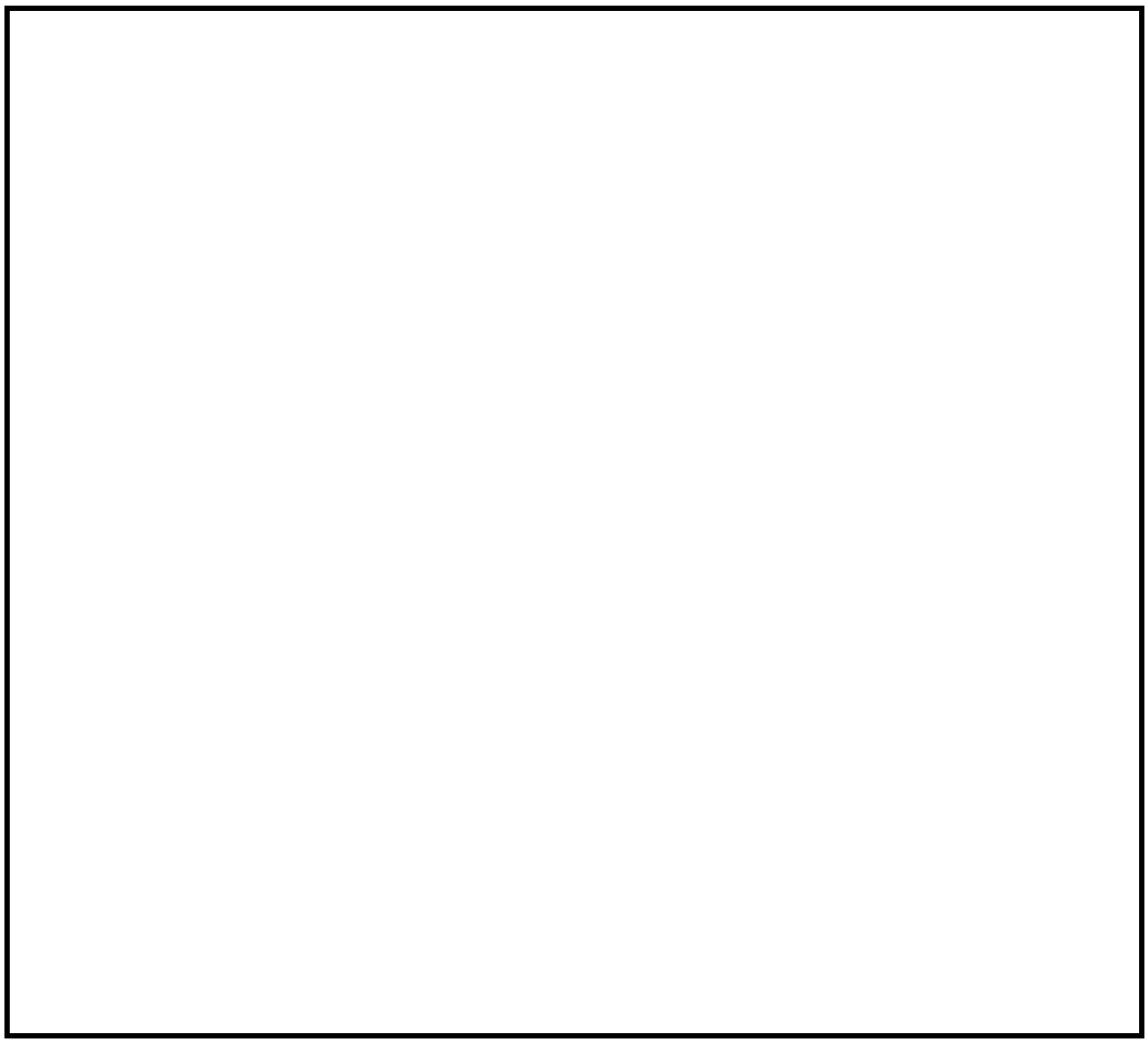
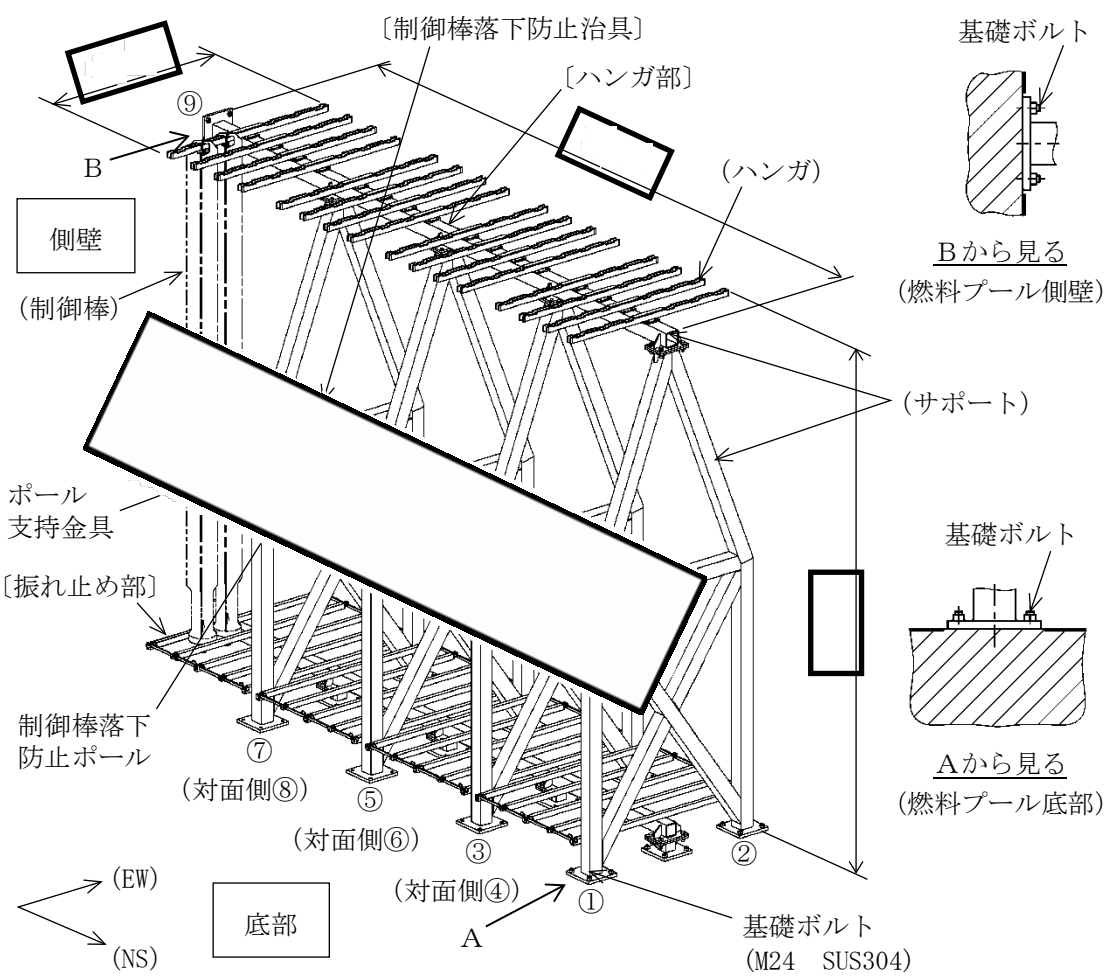


図2－1　制御棒貯蔵ハンガと上位クラス施設の位置関係図

2.2 構造計画

制御棒貯蔵ハンガの構造計画を表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	
制御棒貯蔵ハンガは，ハンガ部及び振れ止め部で構成され，原子炉建物の燃料プールの底部及び側壁に取り付けられた基礎ボルトにより固定されている。	吊り下げ式 （ハンガ部はハンガ及びサポートからなり，制御棒をハンガ部上部のハンガに吊り下げて貯蔵する。） 制御棒落下防止治具は，制御棒落下防止ポール及びポール支持金具で構成され，ハンガ部サポート4本のコーナ部に取り付けられたポール支持金具（ポール受け）に，着脱式の制御棒落下防止ポールがセットされている。	 注：○番号は基礎ボルトNo.を示す。　（単位：mm）

2.3　評価方針

制御棒貯蔵ハンガの応力評価は，Ⅵ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2　構造計画」にて示す制御棒貯蔵ハンガの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

制御棒貯蔵ハンガの耐震評価フローを図2－2に示す。

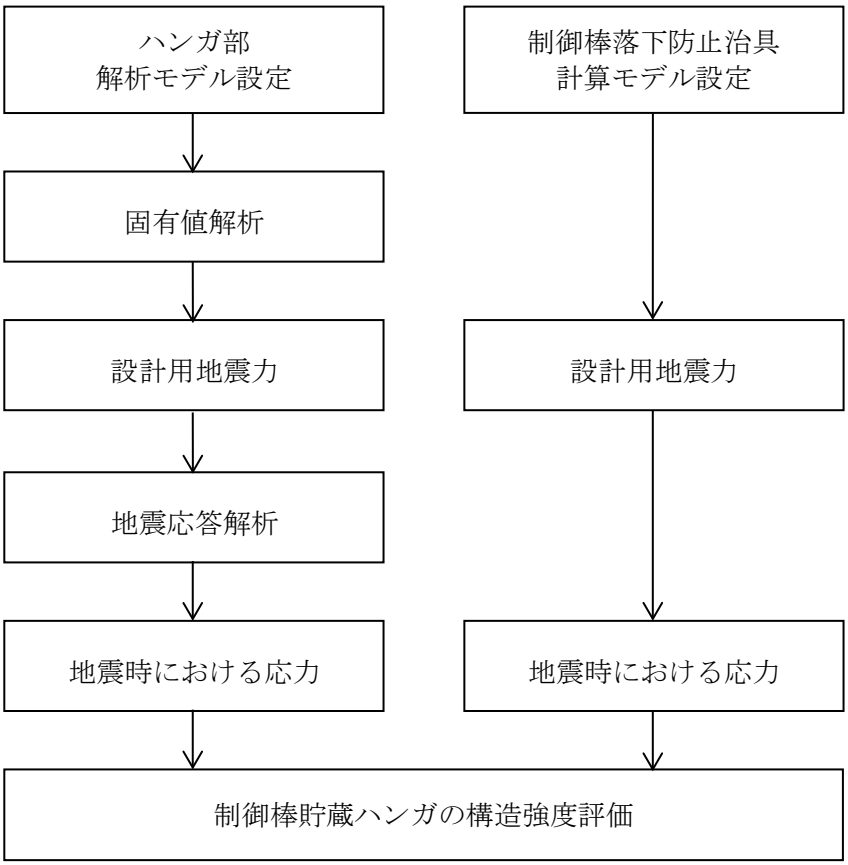


図2－2　制御棒貯蔵ハンガの耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_k	ポール支持金具部材の断面積	mm^2
A_p	制御棒落下防止ポール部材の断面積	mm^2
A_x	ハンガ部部材の断面積	mm^2
A_y，A_z	ハンガ部部材のせん断断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_x	固定部のハンガ部部材端に働く引張力	N
F_y，F_z	固定部のハンガ部部材端に働くせん断力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{sm}	部材の許容せん断応力	MPa
f_{tm}	部材の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_x，I_y，I_z	ハンガ部部材の断面二次モーメント	mm^4
L_1，L_2，L_3，L_4	ポール支持金具から制御棒吊り掛け部までの距離	mm
ℓ_1，ℓ_2	基礎ボルトの中心より板先端までの距離	mm
M_p	制御棒落下防止ポールに働く曲げモーメント	N·mm
M_y，M_z	固定部のハンガ部部材端に働く曲げモーメント	N·mm
m_{CR}	制御棒１本当たりの質量	kg
m_{JG}	制御棒落下防止治具の質量	kg
m_h	ハンガ部の質量	kg
m_{hth}	ハンガ部及び制御棒落下防止治具の排除水質量*	kg
m_w	ハンガ部部材内に含まれる水の質量	kg
N_m	M_y，M_zにより生じる基礎ボルト１本当たりの最大引張力	N
n	基礎ボルトの本数	―
n_{CR}	ハンガ１本当たりの片側の制御棒吊り掛け本数	―
P_k	ポール支持金具に働くせん断力	N
P_p	制御棒落下防止ポールに働くせん断力	N

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℃における値	MPa
Z_p	制御棒落下防止ポール部材の断面係数	mm^3
Z_y，Z_z	ハンガ部部材の断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	―
π	円周率	―
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_{fa}	部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{ft}	部材に生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_f	部材に生じるせん断応力	MPa

注記＊：排除水質量とは，機器が流体中にある場合に，機器が排除する流体の質量であり，ハンガ部自身及びハンガ部部材内に含まれる水が占める体積分の水に相当する質量を示す。

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

＊2：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊3：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の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

制御棒貯蔵ハンガの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，制御棒貯蔵ハンガのうちハンガ部の固定部である基礎ボルト及び制御棒落下防止治具（制御棒落下防止ポール及びポール支持金具）について実施する。なお，ハンガ部の固定部及び制御棒落下防止治具が健全であれば機器及び制御棒が転倒又は落下することはなく上位クラス施設への波及的影響を抑制できるため，基礎ボルト，制御棒落下防止ポール及びポール支持金具を評価対象とする。ハンガ部の耐震評価部位については，表 2－1 の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　制御棒貯蔵ハンガのハンガ部は，原子炉建物の燃料プールの底部(EL 33.9m)及び側壁(EL 38.5m)に基礎ボルトで固定されるものとする。

(2)　地震応答解析時のハンガ部の質量には，制御棒の質量，制御棒落下防止治具の質量，ハンガ部自身の質量及びハンガ部部材内に含まれる水の質量のほか，制御棒，制御棒落下防止治具及びハンガ部部材の付加質量*を考慮する。

(3)　構造強度評価時のハンガ部の質量は，制御棒の質量，制御棒落下防止治具の質量，ハンガ部自身の質量及びハンガ部部材内に含まれる水の質量とする。また，更に精緻に評価するため，排除水質量（水中に設置される機器が排除する水の質量）の減算を考慮する。

ただし，制御棒は減算を考慮しないものとする。

(4)　地震力は，ハンガ部に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出においてはＳＲＳＳ法で組み合わせるものとする。

ここで，水平方向地震力は，ハンガ部の長辺方向に作用する場合と短辺方向に作用する場合を考慮する。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

注記＊：付加質量とは，機器が流体中で加速度を受けた場合に質量が増加したような効果を模擬した，機器の形状により定まる仮想質量をいう。

4.2　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

制御棒貯蔵ハンガ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

制御棒貯蔵ハンガの許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4－3に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

制御棒貯蔵ハンガ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。

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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	制御棒貯蔵ハンガ	B	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵設備	制御棒貯蔵ハンガ	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$\mathrm{V_AS}$ （$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容限界を用いる。）

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－3　許容応力（その他の支持構造物（設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価））

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等以外）		許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力		一次応力	
	引張	せん断	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・f_t*	1.5・f_s*	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4－4　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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	周囲環境温度	66	―	188	479	205
ポール支持金具	SUS304	周囲環境温度	66	―	188	479	205
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	66	―	188	479	205

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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	周囲環境温度	100	―	171	441	205
ポール支持金具	SUS304	周囲環境温度	100	―	171	441	205
基礎ボルト	SUS304	周囲環境温度	100	―	171	441	205

4.3　解析モデル及び諸元

制御棒貯蔵ハンガのハンガ部の解析モデルを図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【制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　ハンガ部ははり要素を用いた有限要素モデルとする。

(2)　拘束条件は，燃料プール底部及び側壁の基礎ボルト部を固定とする。なお，基礎ボルト部は剛体として評価する。

(3)　ハンガ部の質量には，制御棒の質量，制御棒落下防止治具の質量，ハンガ部自身の質量，ハンガ部部材内に含まれる水の質量のほか，制御棒，制御棒落下防止治具及びハンガ部部材の付加質量を考慮する。このうち制御棒及びハンガ部部材の付加質量は，制御棒及びハンガ部部材それぞれのモデル化部節点に，制御棒落下防止治具の質量及び付加質量は，制御棒落下防止治具が取り付けられているサポートのモデル化部節点に集中質量で与える。

(4)　解析コードは「ＳＡＰ－Ⅳ」を使用し，固有値及び荷重を求める。

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

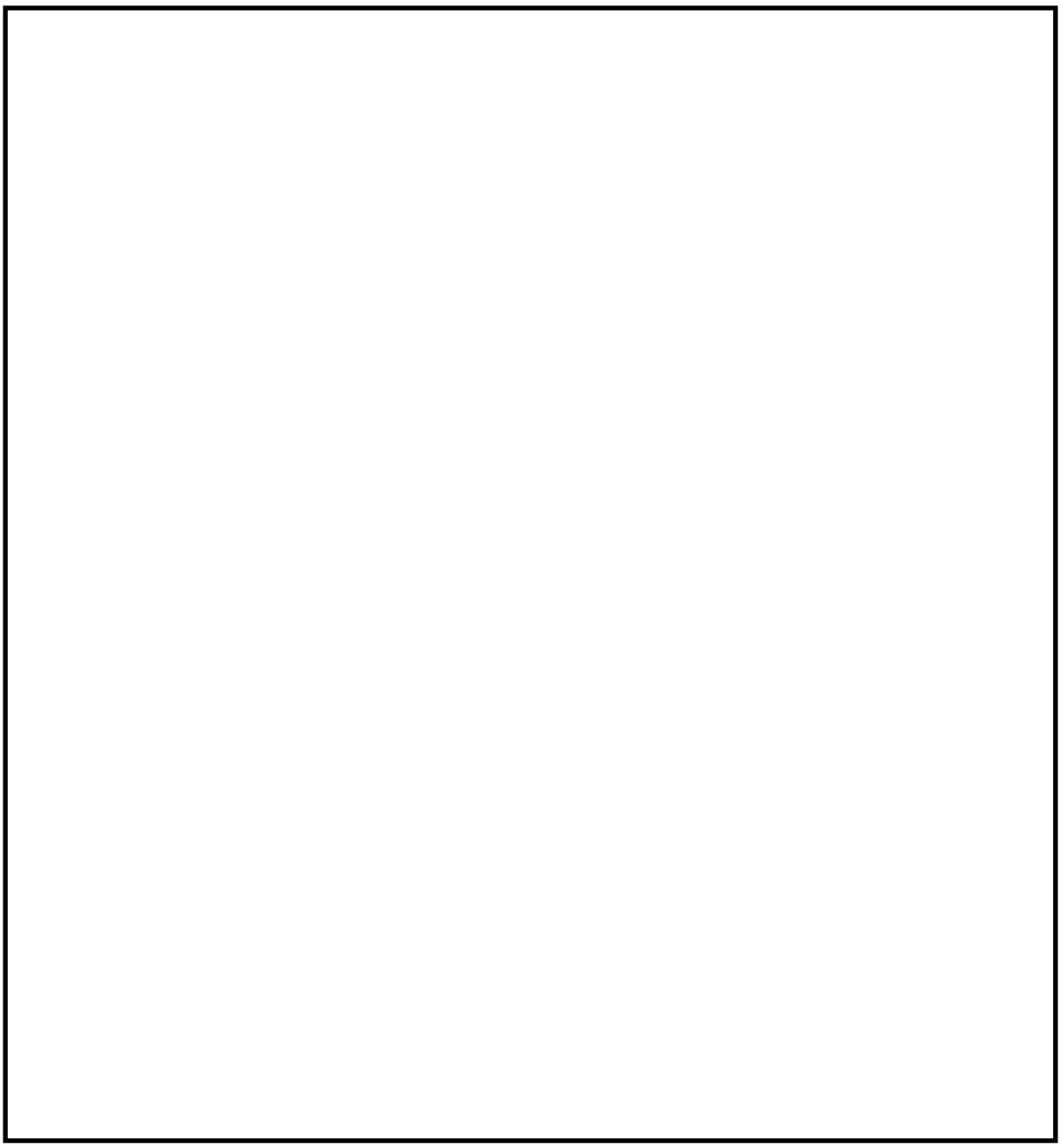


図 4－1　ハンガ部解析モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表4－6に，振動モード図を図4－2～図4－6に示す。

なお，振動モード図は，1次～3次までと[　　]の卓越モードの次数（[　　]）について記載した。[　　]は34次以降で卓越し，固有周期は0.05秒以下であり剛構造であることを確認した。

表4－6　固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			X方向(NS)	Y方向(EW)	

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			X方向(NS)	Y方向(EW)	

注記＊1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

＊2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

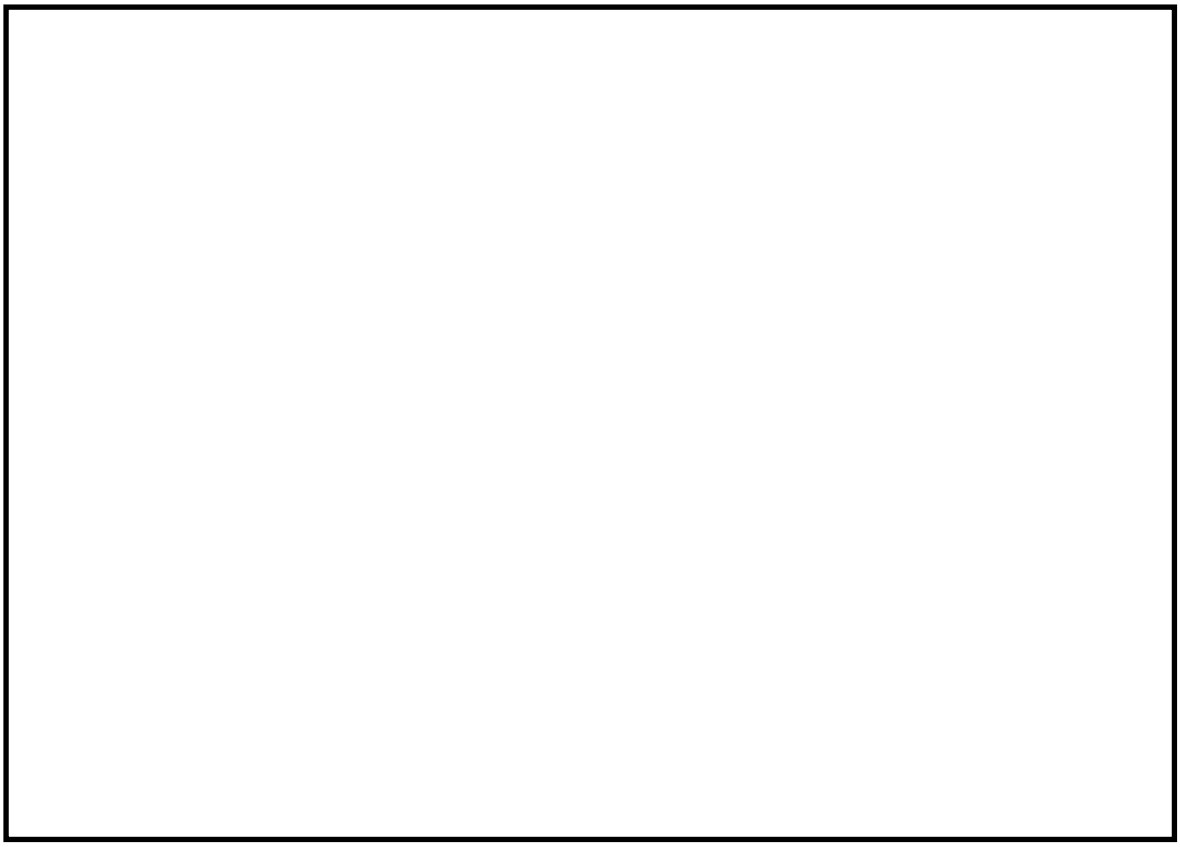


図 4－2　振動モード（1 次　　s）

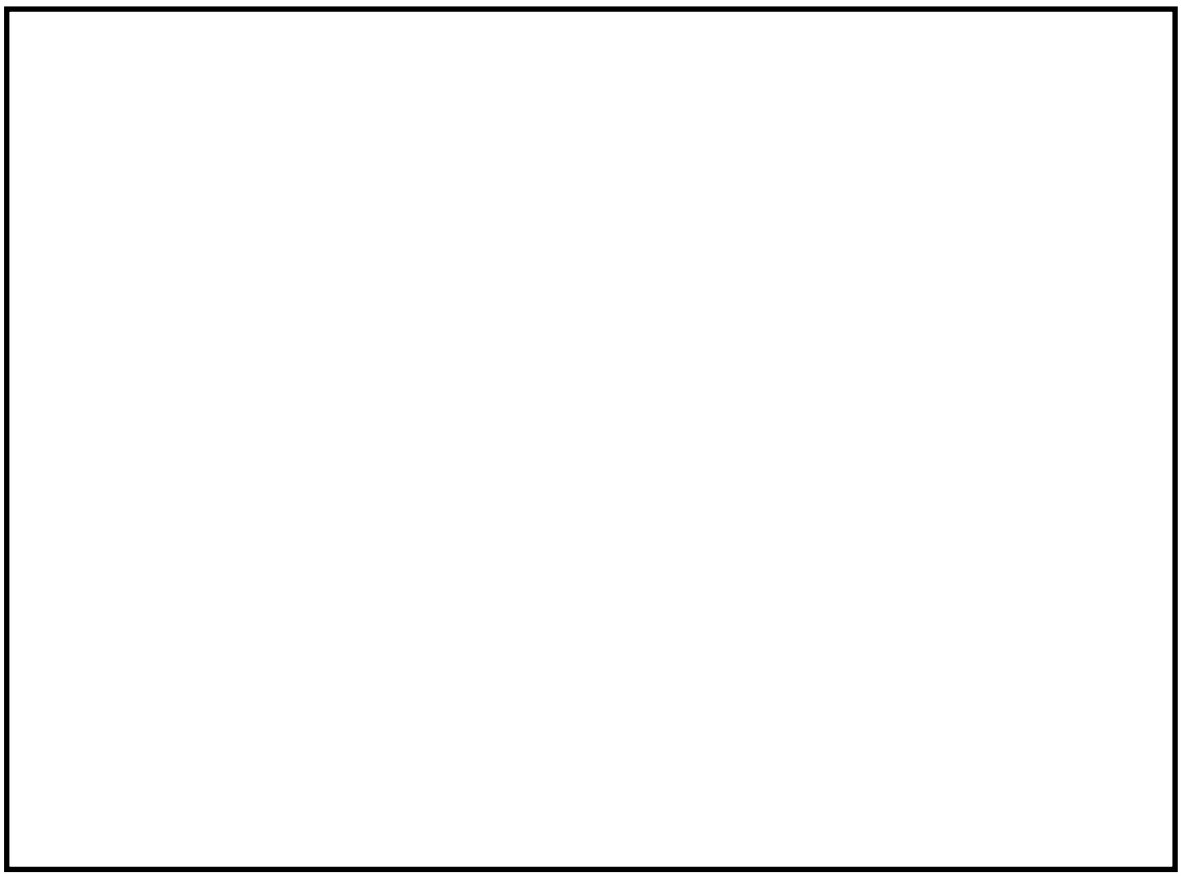


図 4－3　振動モード（2 次 [redacted] s）

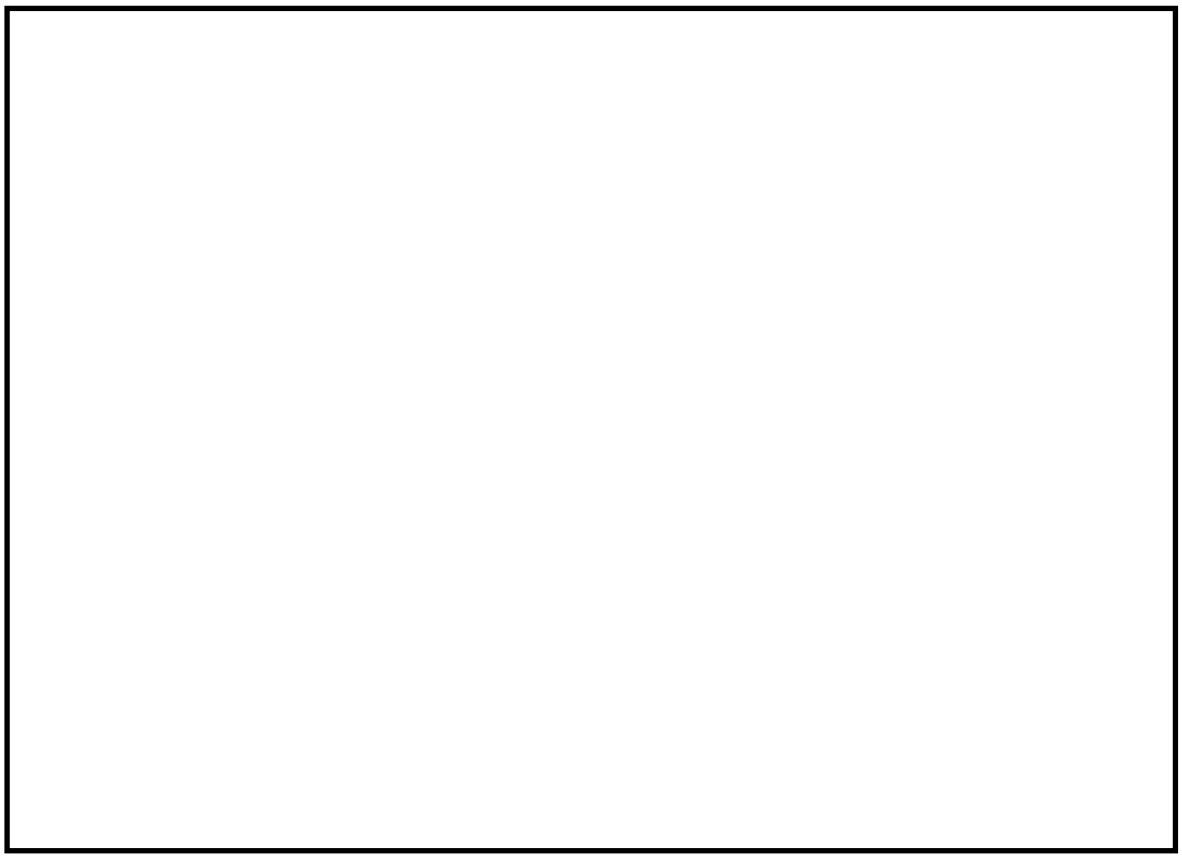


図 4－4　振動モード（3 次 [redacted] s）

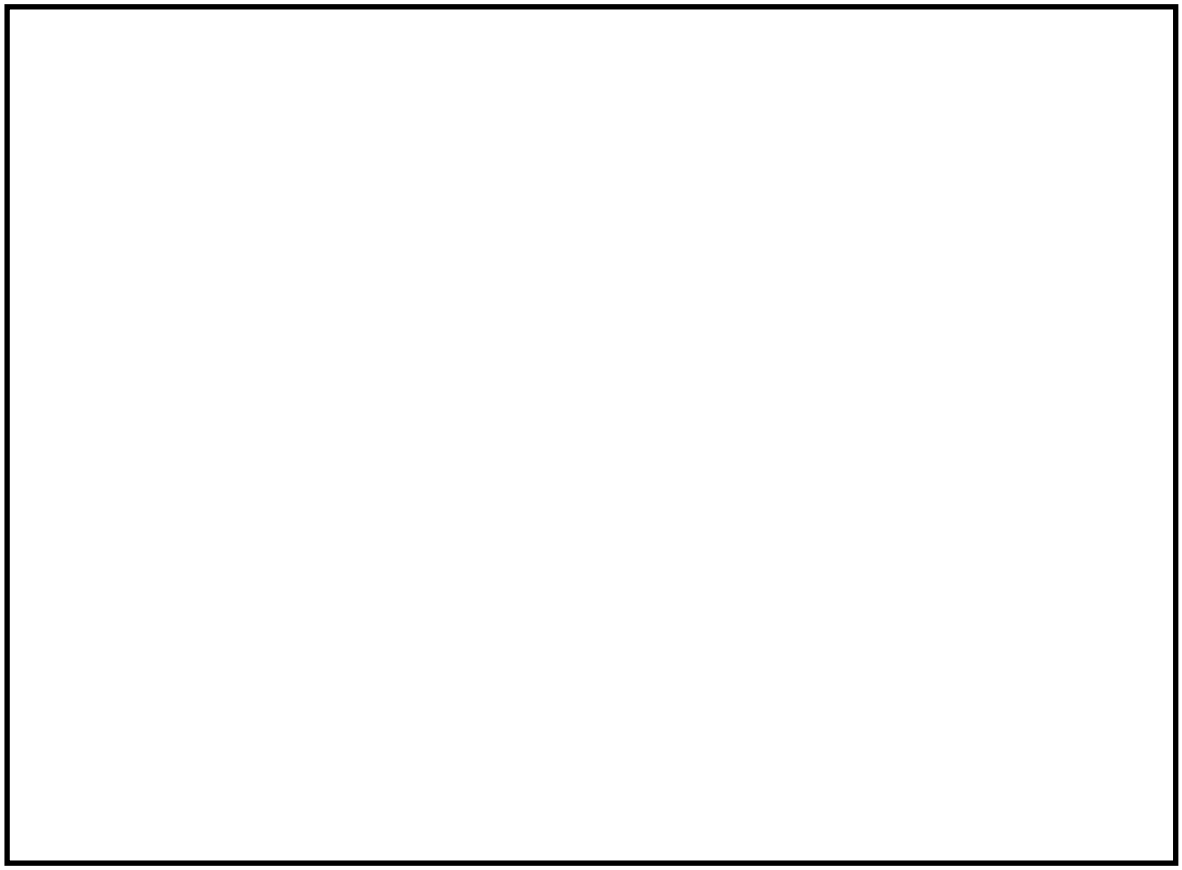


図 4－5　振動モード（　　）

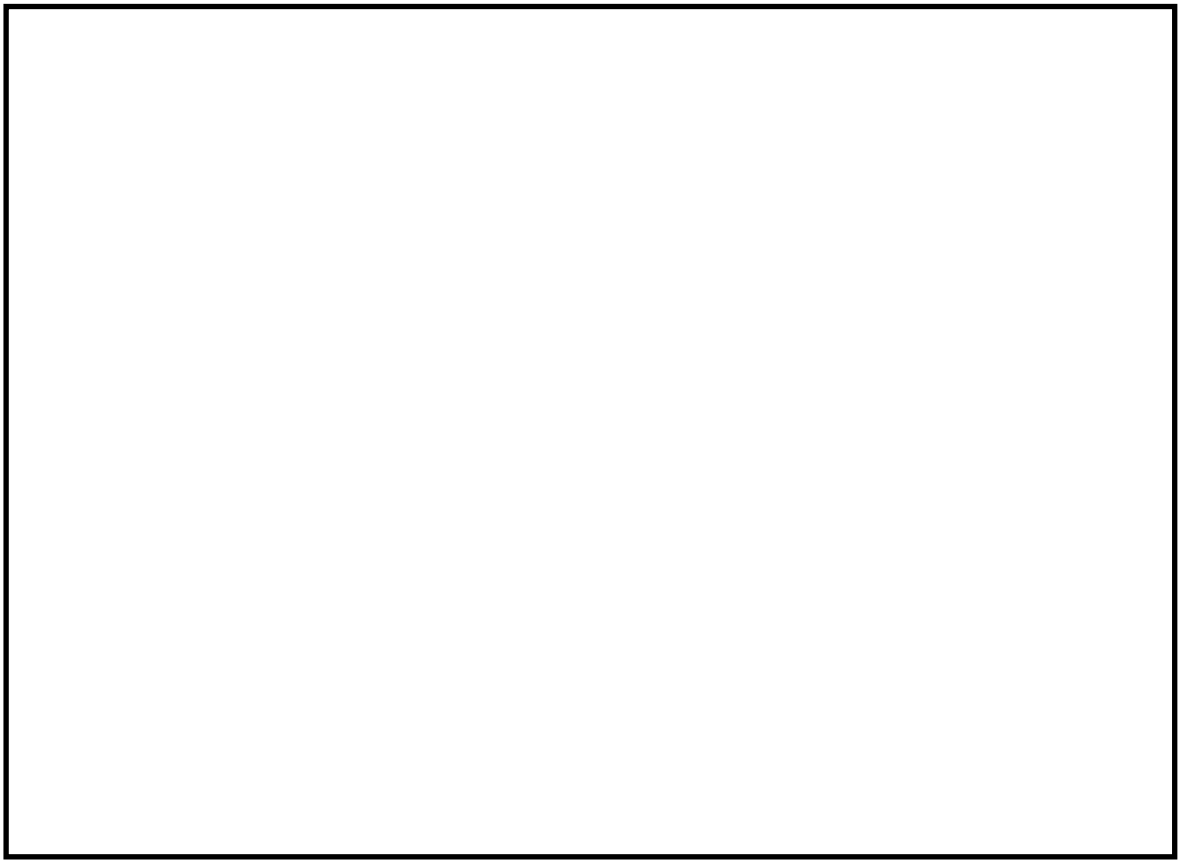


図 4－6　振動モード（　　）

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－7 及び表4－8 に示す。

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

表 4－7　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8*1)		
固有周期(s)				
減衰定数(%)		水平：2.0*3　　鉛直：2.0*3		
地震力		基準地震動Ｓｓ		
モード*4	固有周期(s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度*5
		NS 方向	EW 方向	

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：1 次固有周期について記載

＊3：ボルト締結構造であるため，ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

＊4：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお，0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

＊5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

＊6：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

表 4－8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8*1)		
固有周期(s)				
減衰定数(%)		水平：2.0*3　　鉛直：2.0*3		
地震力		基準地震動Ｓｓ		
モード*4	固有周期(s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度*5
		NS 方向	EW 方向	

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：1 次固有周期について記載

＊3：ボルト締結構造であるため，ボルト及びリベット構造物の減衰定数を使用する。

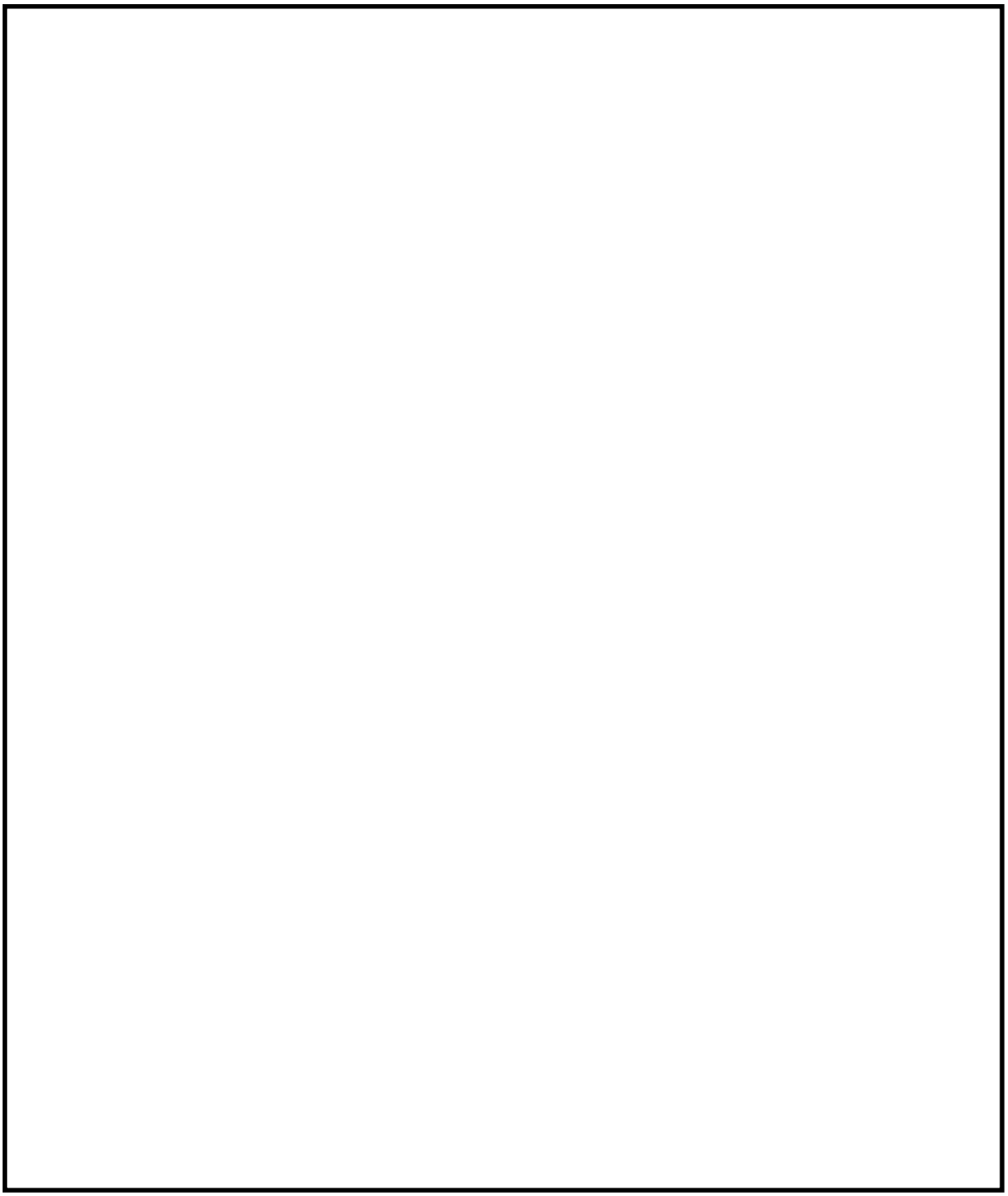
＊4：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお，0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

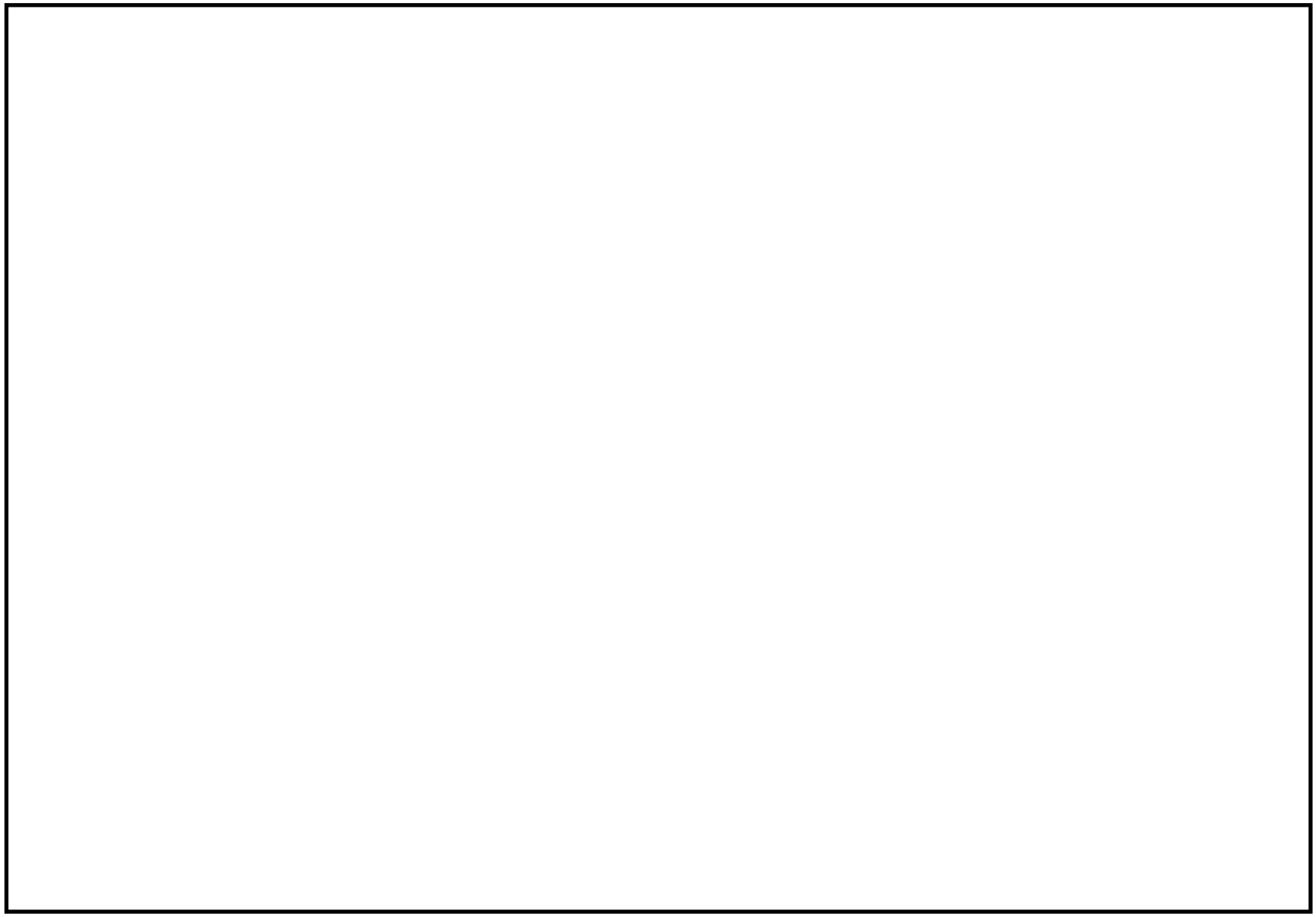
＊5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

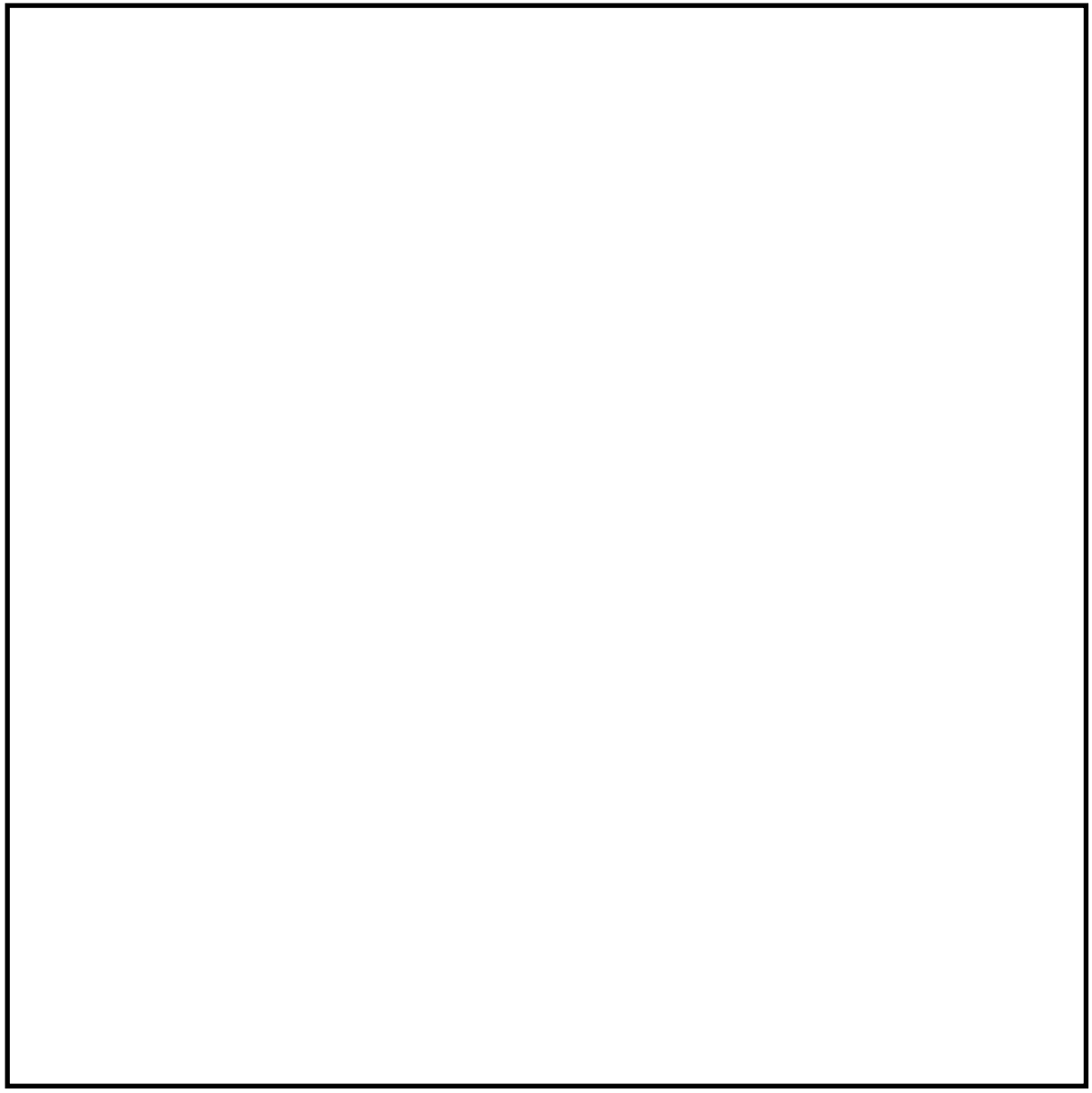
＊6：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

4.6　計算方法

4.6.1　制御棒落下防止治具の応力







4.6.2　基礎ボルトの応力

応力計算は，図 4－1 の解析モデルにより解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」を用いて，固定部の部材端に生じる引張力，せん断力，曲げモーメントを求め，本項に示す計算方法に従って計算する。

なお，引張力Ｆx，せん断力Ｆy，Ｆz 及び曲げモーメントMy，Mz は，図 4－10 及び図 4－11 の荷重状態に示す局所座標系による。

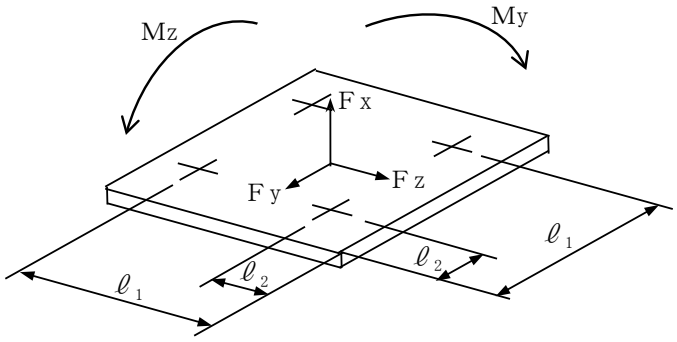


図 4－10　荷重状態（基礎ボルト No.①～⑧）

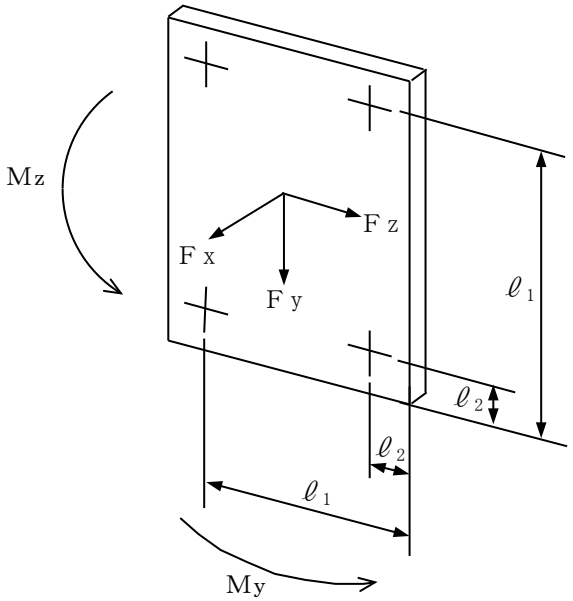


図 4－11　荷重状態（基礎ボルト No.⑨）

(1) せん断応力

せん断力Ｆy，Ｆz により基礎ボルトに生じるせん断応力τｂは，(4.6.8)式より求める。

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_y{}^2 + F_z{}^2}}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.8)$$

ここで，ボルトの軸断面積Ａｂは，(4.6.9)式より求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (4.6.9)$$

(2) 引張応力

曲げモーメントMy，Mz により生じる基礎ボルト１本当たりの最大引張力Ｎｍ及び引張力Ｆx により生じる基礎ボルトの引張応力σｂは，(4.6.10)式より求める。

$$\sigma_b = \frac{N_m}{A_b} + \frac{F_x}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.10)$$

ここで，

$$N_m = \frac{\ell_1 \cdot (M_y + M_z)}{2 \cdot (\ell_1{}^2 + \ell_2{}^2)} \quad \cdots\cdots (4.6.11)$$

4.7　計算条件

応力解析及び応力計算に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【制御棒貯蔵ハンガの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　部材の応力評価

4.6.1 項で求めた部材の引張応力σ_{ft}及び組合せ応力σ_{fa}が，許容引張応力f_{tm}以下であること。

また，4.6.1 項で求めた各部材のせん断応力τ_fが，許容せん断応力f_{sm}以下であること。

ただし，f_{tm}及びf_{sm}は下表による。

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

4.8.2　基礎ボルトの応力評価

4.6.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力σ_bは，次式より求めた許容組合せ応力f_{ts}以下であると。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot\tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1)$$

また，4.6.2 項で求めた基礎ボルトのせん断応力τ_bが，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Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

制御棒貯蔵ハンガ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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

制御棒貯蔵ハンガ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。

【制御棒貯蔵ハンガ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)			基準地震動Ｓｓ			最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			NS 方向	EW 方向	鉛直方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
制御棒貯蔵ハンガ	B	原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8*1)							—	66

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

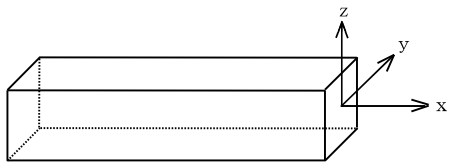
＊3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

1.2.1 ハンガ部の部材要目

計算モデル	部材	材料	主要寸法（断面） (mm)	A_x* (mm^2)	A_y* (mm^2)	A_z* (mm^2)	I_x* (mm^4)	I_y* (mm^4)	I_z* (mm^4)	Z_y* (mm^3)	Z_z* (mm^3)	E (MPa)	ポアソン比 ν
ハンガ部	ハンガ	SUS304		1.870×10^3	268.0	1.222×10^3	1.398×10^5	5.153×10^5	8.541×10^5	1.774×10^4	2.847×10^4	192000	0.3
	サポート	SUS304TP		5.544×10^3	2.476×10^3	2.476×10^3	2.200×10^7	1.478×10^7	1.478×10^7	2.158×10^5	2.158×10^5		

注記＊：A_x，A_y，A_z，I_x，I_y，I_z，Z_y及びZ_zは，部材の長手方向をｘ軸とした局所座標系に従う。



1.2.2 制御棒落下防止治具の評価に用いる要目

計算モデル	m_{CR} (kg)	A_p (mm^2)	A_k (mm^2)	Z_p (mm^3)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	n_{CR}
制御棒落下防止治具		5.544×10^3	1.200×10^3	2.158×10^5	249	559	869	1179	2

部材	材料	S_y* (MPa)	S_u* (MPa)	S_y(RT) (MPa)	F* (MPa)
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	188	479	205	205
ポール支持金具	SUS304	188	479	205	205

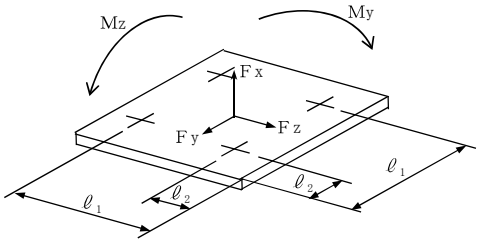
注記＊：周囲環境温度(66℃)で算出

1.2.3　基礎ボルトの応力評価に用いる要目

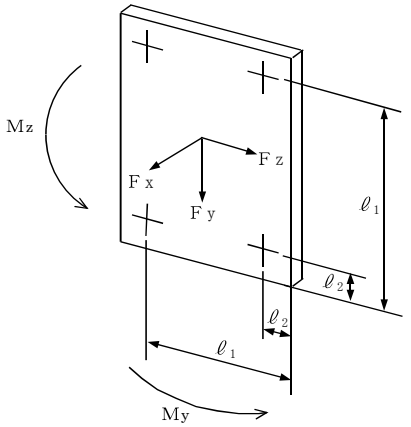
m_h (kg)	m_{CR} (kg)	m_w (kg)	m_{JG} (kg)	m_{hth} (kg)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2) 基礎ボルトNo.①～⑨	n
					265	35	24 (M24)	452.4	4

基礎ボルト材料	S_y* (MPa)	S_u* (MPa)	S_y(RT) (MPa)	F* (MPa)
SUS304	188	479	205	205

注記＊：周囲環境温度(66℃)で算出



基礎ボルトNo.①～⑧



基礎ボルトNo.⑨

	ボルトNo.	基準地震動Ss NS方向 F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_y (N·mm)	M_z (N·mm)	EW方向 F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_y (N·mm)	M_z (N·mm)
基礎ボルト	①*1	1.867×10^4	1.826×10^4	5.318×10^3	4.092×10^5	2.000×10^7	4.502×10^4	1.701×10^4	1.524×10^4	1.962×10^6	1.904×10^7
	②*1	1.602×10^4	1.144×10^4	4.805×10^3	3.551×10^5	1.420×10^7	4.414×10^4	1.001×10^4	1.522×10^4	1.960×10^6	1.322×10^7
	③*1	3.968×10^4	1.294×10^4	1.051×10^4	9.084×10^5	1.378×10^7	7.532×10^4	1.116×10^4	2.170×10^4	2.608×10^6	1.248×10^7
	④*1	3.314×10^4	8.383×10^3	9.303×10^3	7.949×10^5	9.863×10^6	7.210×10^4	6.520×10^3	2.136×10^4	2.583×10^6	8.644×10^6
	⑤*1	5.604×10^4	9.654×10^3	1.365×10^4	1.096×10^6	1.001×10^7	8.597×10^4	7.231×10^3	2.323×10^4	2.678×10^6	8.258×10^6
	⑥*1	4.666×10^4	7.045×10^3	1.182×10^4	9.061×10^5	7.729×10^6	8.017×10^4	4.673×10^3	2.240×10^4	2.619×10^6	6.134×10^6
	⑦*1	5.858×10^4	1.431×10^4	1.431×10^4	1.082×10^6	1.490×10^7	8.100×10^4	1.233×10^4	2.260×10^4	2.541×10^6	1.337×10^7
	⑧*1	5.295×10^4	7.474×10^3	1.329×10^4	9.668×10^5	8.995×10^6	7.705×10^4	5.286×10^3	2.220×10^4	2.513×10^6	7.534×10^6
	⑨*2	9.037×10^4	5.686×10^4	1.776×10^3	8.518×10^5	2.140×10^7	4.220×10^4	5.680×10^4	9.614×10^3	5.141×10^6	2.136×10^7

注記＊1：ボルトNo.①～⑧の局所座標系yはNS方向，zはEW方向を示す。

＊2：ボルトNo.⑨の局所座標系xはNS方向，zはEW方向を示す。

1.3　計算数値

(1)　制御棒落下防止治具に生じる応力

（単位：MPa）

部材	応力	基準地震動Ｓｓ
		EW 方向
制御棒落下防止ポール	引張　σ_{ft}	75
	せん断 τ_f	4
	組合せ σ_{fa}	76
ポール支持金具	せん断 τ_f	29

(2)　基礎ボルトに生じる応力

（単位：MPa）

	ボルト No.	応力	基準地震動Ｓｓ	
			NS 方向	EW 方向
基礎ボルト	①	引張　σ_b	94	111
		せん断　τ_b	11	13
	②	引張　σ_b	69	87
		せん断　τ_b	7	10
	③	引張　σ_b	83	104
		せん断　τ_b	10	14
	④	引張　σ_b	62	86
		せん断　τ_b	7	13
	⑤	引張　σ_b	77	93
		せん断　τ_b	10	14
	⑥	引張　σ_b	62	81
		せん断　τ_b	8	13
	⑦	引張　σ_b	98	110
		せん断　τ_b	12	15
	⑧	引張　σ_b	70	84
		せん断　τ_b	9	13
	⑨	引張　σ_b	142	132
		せん断　τ_b	32	32

1.4　結論

1.4.1　固有周期

（単位：s）

方向	固有周期*

注記＊：設備全体の応答が卓越する固有周期を示す。

1.4.2　応力

(1)　制御棒落下防止治具に生じる応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	引張	σ_{ft}＝75	f_{tm}＝205
		せん断	τ_{f}　＝　4	f_{sm}＝118
		組合せ	σ_{fa}＝76	f_{tm}＝205
ポール支持金具	SUS304	せん断	τ_{f}　＝29	f_{sm}＝118

すべて許容応力以下である。

(2)　基礎ボルトに生じる応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト⑨	SUS304	引張	σ_{b}＝142	f_{ts}＝153*
		せん断	τ_{b}＝ 32	f_{sb}＝118

すべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_{b}, f_{to}]

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)			基準地震動Ｓｓ			最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			NS 方向	EW 方向	鉛直方向	NS 方向 設計震度	EW 方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
制御棒貯蔵ハンガ	—	原子炉建物 EL 33.9 (EL 42.8*1)							—	100

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度

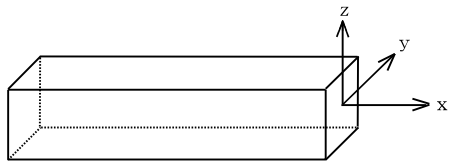
＊3：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

2.2.1 ハンガ部の部材要目

計算モデル	部材	材料	主要寸法（断面） (mm)	A_x* (mm^2)	A_y* (mm^2)	A_z* (mm^2)	I_x* (mm^4)	I_y* (mm^4)	I_z* (mm^4)	Z_y* (mm^3)	Z_z* (mm^3)	E (MPa)	ポアソン比 ν
ハンガ部	ハンガ	SUS304		1.870×10^3	268.0	1.222×10^3	1.398×10^5	5.153×10^5	8.541×10^5	1.774×10^4	2.847×10^4	192000	0.3
	サポート	SUS304TP		5.544×10^3	2.476×10^3	2.476×10^3	2.200×10^7	1.478×10^7	1.478×10^7	2.158×10^5	2.158×10^5		

注記＊：A_x，A_y，A_z，I_x，I_y，I_z，Z_y及びZ_zは，部材の長手方向をｘ軸とした局所座標系に従う。



2.2.2 制御棒落下防止治具の評価に用いる要目

計算モデル	m_{CR} (kg)	A_p (mm^2)	A_k (mm^2)	Z_p (mm^3)	L_1 (mm)	L_2 (mm)	L_3 (mm)	L_4 (mm)	n_{CR}
制御棒落下防止治具		5.544×10^3	1.200×10^3	2.158×10^5	249	559	869	1179	2

部材	材料	S_y* (MPa)	S_u* (MPa)	S_y(RT) (MPa)	F* (MPa)
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	171	441	205	205
ポール支持金具	SUS304	171	441	205	205

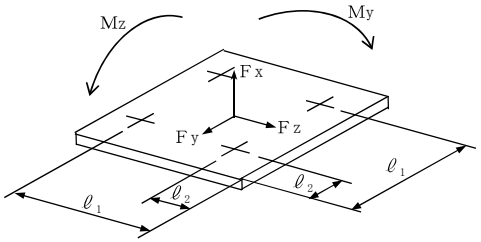
注記＊：周囲環境温度(100℃)で算出

2.2.3　基礎ボルトの応力評価に用いる要目

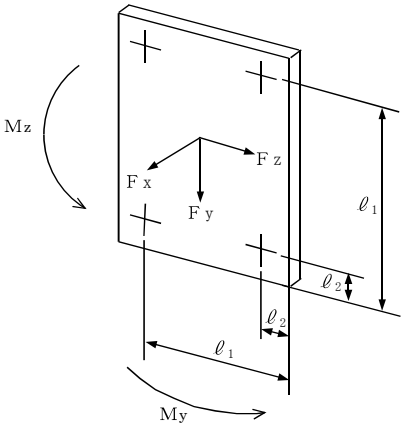
m_h (kg)	m_{CR} (kg)	m_w (kg)	m_{JG} (kg)	m_{hth} (kg)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	d (mm)	A_b (mm^2) 基礎ボルトNo.①～⑨	n
					265	35	24 (M24)	452.4	4

基礎ボルト材料	S_y* (MPa)	S_u* (MPa)	S_y(RT) (MPa)	F* (MPa)
SUS304	171	441	205	205

注記＊：周囲環境温度(100℃)で算出



基礎ボルトNo.①～⑧



基礎ボルトNo.⑨

	ボルトNo.	基準地震動Ss NS方向 F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_y (N･mm)	M_z (N･mm)	EW方向 F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_y (N･mm)	M_z (N･mm)
基礎ボルト	①*1	1.867×10^4	1.826×10^4	5.318×10^3	4.092×10^5	2.000×10^7	4.502×10^4	1.701×10^4	1.524×10^4	1.962×10^6	1.904×10^7
	②*1	1.602×10^4	1.144×10^4	4.805×10^3	3.551×10^5	1.420×10^7	4.414×10^4	1.001×10^4	1.522×10^4	1.960×10^6	1.322×10^7
	③*1	3.968×10^4	1.294×10^4	1.051×10^4	9.084×10^5	1.378×10^7	7.532×10^4	1.116×10^4	2.170×10^4	2.608×10^6	1.248×10^7
	④*1	3.314×10^4	8.383×10^3	9.303×10^3	7.949×10^5	9.863×10^6	7.210×10^4	6.520×10^3	2.136×10^4	2.583×10^6	8.644×10^6
	⑤*1	5.604×10^4	9.654×10^3	1.365×10^4	1.096×10^6	1.001×10^7	8.597×10^4	7.231×10^3	2.323×10^4	2.678×10^6	8.258×10^6
	⑥*1	4.666×10^4	7.045×10^3	1.182×10^4	9.061×10^5	7.729×10^6	8.017×10^4	4.673×10^3	2.240×10^4	2.619×10^6	6.134×10^6
	⑦*1	5.858×10^4	1.431×10^4	1.431×10^4	1.082×10^6	1.490×10^7	8.100×10^4	1.233×10^4	2.260×10^4	2.541×10^6	1.337×10^7
	⑧*1	5.295×10^4	7.474×10^3	1.329×10^4	9.668×10^5	8.995×10^6	7.705×10^4	5.286×10^3	2.220×10^4	2.513×10^6	7.534×10^6
	⑨*2	9.037×10^4	5.686×10^4	1.776×10^3	8.518×10^5	2.140×10^7	4.220×10^4	5.680×10^4	9.614×10^3	5.141×10^6	2.136×10^7

注記＊1：ボルトNo.①～⑧の局所座標系yはNS方向，zはEW方向を示す。

＊2：ボルトNo.⑨の局所座標系xはNS方向，zはEW方向を示す。

2.3　計算数値

(1)　制御棒落下防止治具に生じる応力

（単位：MPa）

部材	応力	基準地震動Ｓｓ
		EW 方向
制御棒落下防止ポール	引張　σ_{ft}	75
	せん断 τ_f	4
	組合せ σ_{fa}	76
ポール支持金具	せん断 τ_f	29

(2)　基礎ボルトに生じる応力

（単位：MPa）

	ボルト No.	応力	基準地震動Ｓｓ	
			NS 方向	EW 方向
基礎ボルト	①	引張　σ_b	94	111
		せん断　τ_b	11	13
	②	引張　σ_b	69	87
		せん断　τ_b	7	10
	③	引張　σ_b	83	104
		せん断　τ_b	10	14
	④	引張　σ_b	62	86
		せん断　τ_b	7	13
	⑤	引張　σ_b	77	93
		せん断　τ_b	10	14
	⑥	引張　σ_b	62	81
		せん断　τ_b	8	13
	⑦	引張　σ_b	98	110
		せん断　τ_b	12	15
	⑧	引張　σ_b	70	84
		せん断　τ_b	9	13
	⑨	引張　σ_b	142	132
		せん断　τ_b	32	32

2.4　結論

2.4.1　固有周期

（単位：s）

方向	固有周期*

注記＊：設備全体の応答が卓越する固有周期を示す。

2.4.2　応力

(1)　制御棒落下防止治具に生じる応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
制御棒落下防止ポール	SUS304TP	引張	σ_{ft}＝75	f_{tm}＝205
		せん断	τ_{f}　＝　4	f_{sm}＝118
		組合せ	σ_{fa}＝76	f_{tm}＝205
ポール支持金具	SUS304	せん断	τ_{f}　＝29	f_{sm}＝118

すべて許容応力以下である。

(2)　基礎ボルトに生じる応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力
基礎ボルト⑨	SUS304	引張	σ_{b}＝142	f_{ts}＝153*
		せん断	τ_{b}＝ 32	f_{sb}＝118

すべて許容応力以下である。　　注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_{b}, f_{to}]

Ⅵ-2-11-2-7-17　廃棄物処理建物排気処理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　配置概要 …… 1
2.2　構造計画 …… 2
2.3　評価方針 …… 3
2.4　適用規格・基準等 …… 4
2.5　記号の説明 …… 5
2.6　計算精度と数値の丸め方 …… 6
3.　評価部位 …… 7
4.　固有周期 …… 8
4.1　固有周期の計算方法 …… 8
4.2　固有周期の計算条件 …… 9
4.3　固有周期の計算結果 …… 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
5.3　設計用地震力 …… 13
5.4　計算方法 …… 14
5.5　計算条件 …… 17
5.6　応力の評価 …… 17
6.　評価結果 …… 18
6.1　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-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の耐震評価方針に基づき，下位クラス施設であるC-廃棄物処理建物排気処理装置（Cクラス施設）が「基準地震動Ｓｓによる地震力」に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，隣接している上位クラス施設である高圧原子炉代替注水ポンプ用電路に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

C-廃棄物処理建物排気処理装置は，廃棄物処理建物4階に設置される。C-廃棄物処理建物排気処理装置は，図2－1の位置関係図に示すように，上位クラス施設である高圧原子炉代替注水ポンプ用電路に隣接していることから，地震時に本機器が転倒した場合は，高圧原子炉代替注水ポンプ用電路に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

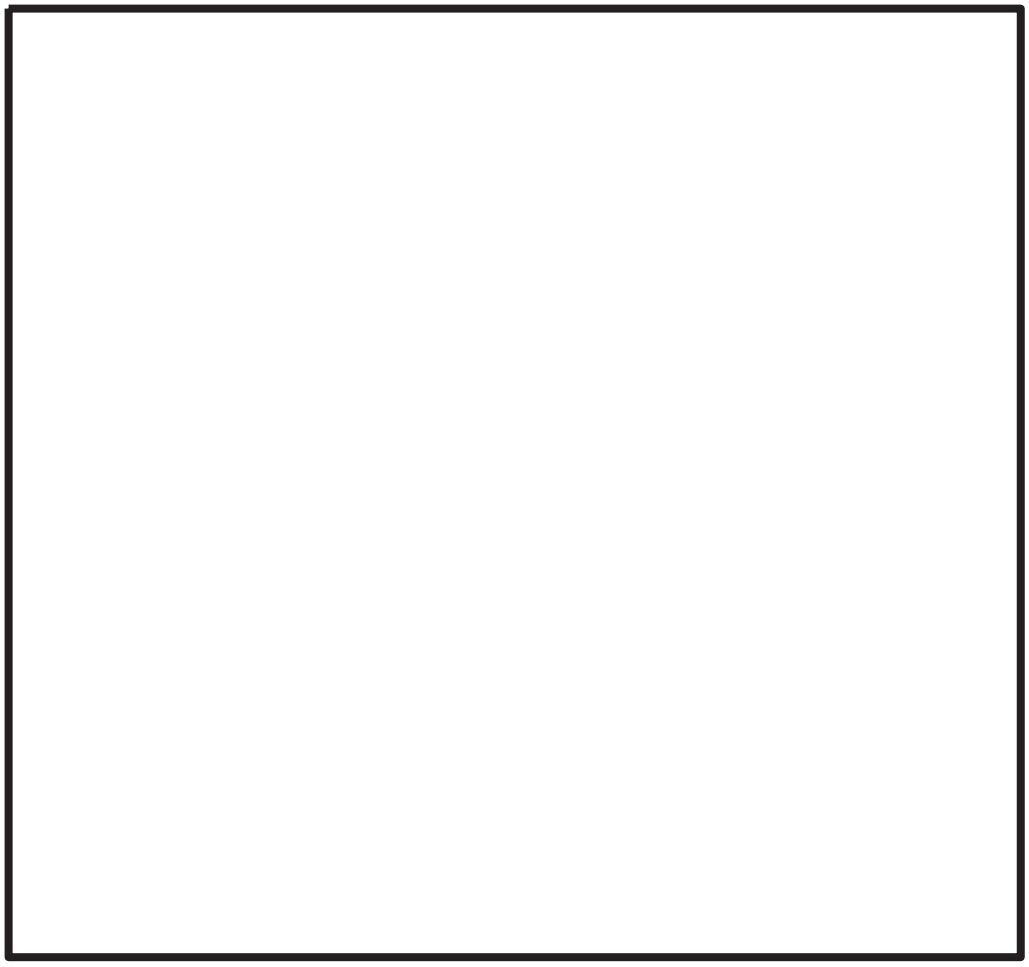
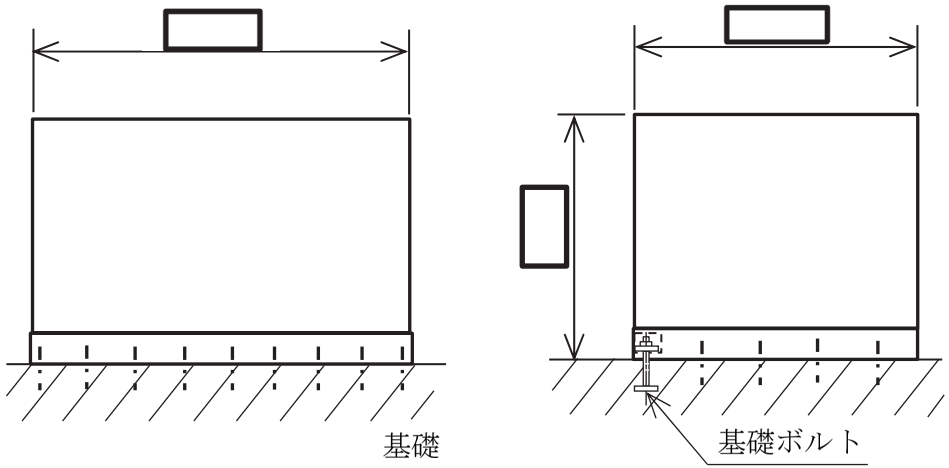


図2－1　C-廃棄物処理建物排気処理装置の位置関係図

2.2　構造計画

C-廃物処理建物排気処理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	
C-廃棄物処理建物排気処理装置は基礎ボルトで基礎に据え付ける。	粒子用高効率フィルタ（形鋼骨組及び鋼板外板による溶接構造）	

（単位：mm）

2.3　評価方針

C-廃棄物処理建物排気処理装置の応力評価は，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　構造計画」にて示すC-廃棄物処理建物排気処理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。

C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震評価フローを図2－2に示す。

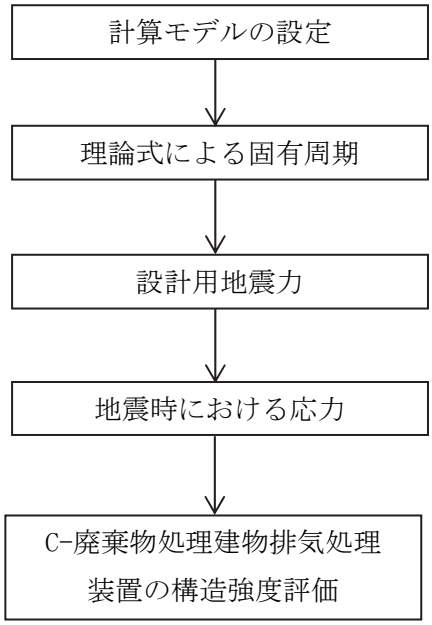


図2－2　C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	ボルトの軸断面積	mm^2
A_e	有効せん断断面積	mm^2
A_v	鉛直方向断面積	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
E	縦弾性係数	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	ボルトに作用する引張力（1 本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
G	せん断弾性係数	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
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_1	重心とボルト間の水平方向距離*1	mm
ℓ_2	重心とボルト間の水平方向距離*1	mm
ℓ_{1i}	評価上引張力を受けるとして期待する，支点からｉ番目のボルト間の距離*2	mm
M_f	各ボルトに作用する引張力と支点との距離から算出したモーメントの総和	N・m
M_s	地震力によりボルトに作用する転倒モーメント	N・m
m	運転時質量	kg
n	ボルトの本数	―
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*2	―
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℃における値	MPa

記号	記号の説明	単位
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_b	ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記＊1：$\ell_1 \leqq \ell_2$

＊2：ℓ_{1i} 及び n_{fi} の添字 i の意味は，ボルト列番号とする。

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりである。

表2－2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
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

C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震評価は,「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。C-廃棄物処理建物排気処理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

C-廃棄物処理建物排気処理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.　C-廃棄物処理建物排気処理装置の質量は重心に集中するものとする。

b.　C-廃棄物処理建物排気処理装置は据付台床上にあり，据付台床は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。

c.　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

d.　C-廃棄物処理建物排気処理装置は，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。

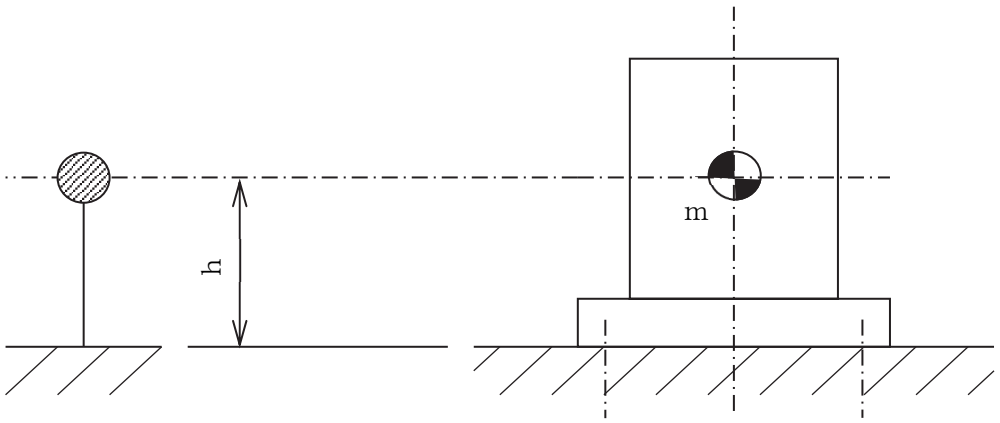


図 4－1　固有周期の計算モデル

(2)　水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数K_Hは次式で求める。

$$K_H=\frac{1000}{\frac{h^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h}{G\cdot Ae}} \qquad \cdots\cdots (4.1.1)$$

したがって，固有周期T_Hは次式で求める。

$$T_H=2\cdot\pi\cdot\sqrt{\frac{m}{K_H}} \qquad \cdots\cdots (4.1.2)$$

(3)　鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数K_Vは次式で求める。

$$K_V = \frac{1000}{\frac{h}{E \cdot A_V}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.3)$$

したがって，固有周期T_Vは次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{K_V}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.4)$$

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【C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3　固有周期の計算結果

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

表 4－1　固有周期　　（単位：s）

水平			
鉛直			

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1(1)項 a.～d.のほか，次の条件で計算する。

(1) 地震力はC-廃棄物処理建物排気処理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，図5－2における短辺方向及び長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) 水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，ＳＲＳＳ法を適用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

C-廃棄物処理建物排気処理装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5－1 に示す。

5.2.2 許容応力

C-廃棄物処理建物排気処理装置の許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5－2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

C-廃棄物処理建物排気処理装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5－3 に示す。

表５－１　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	C-廃棄物処理建物 排気処理装置	C	—*	D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S s	V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*

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 （℃）		Ｓｙ （MPa）	Ｓｕ （MPa）	Ｓｙ（ＲＴ） （MPa）
基礎ボルト	SS41* （40㎜＜径≦100㎜）	周囲環境温度	50	211	394	―

注記＊：SS400 相当

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5－4に示す。

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

表5－4　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
廃棄物処理建物 EL 32.0 (EL 37.5*1)			—	—	C_H＝2.69*2	C_V＝1.76*2

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

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

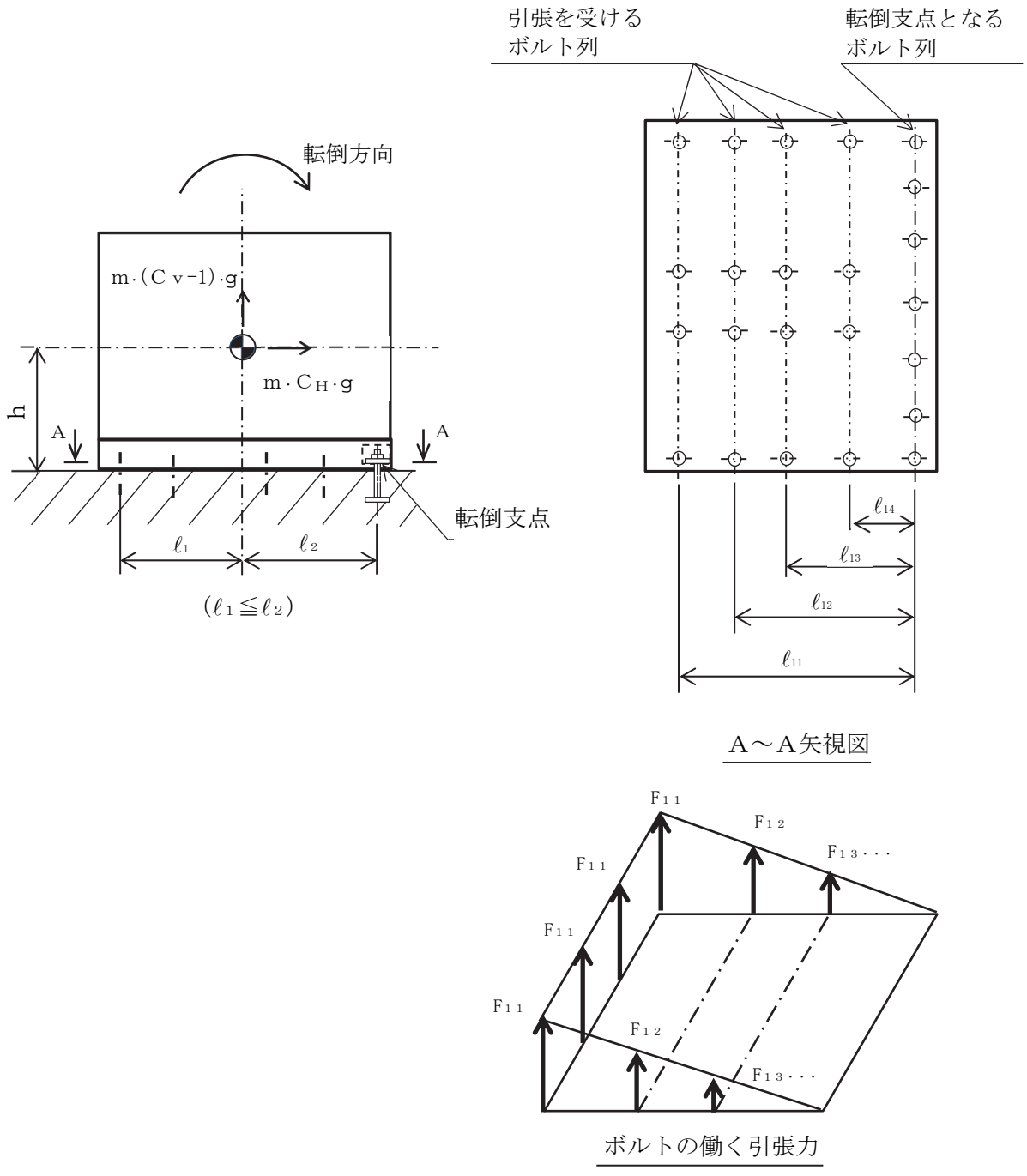


図 5－1　計算モデル（短辺方向転倒の場合）

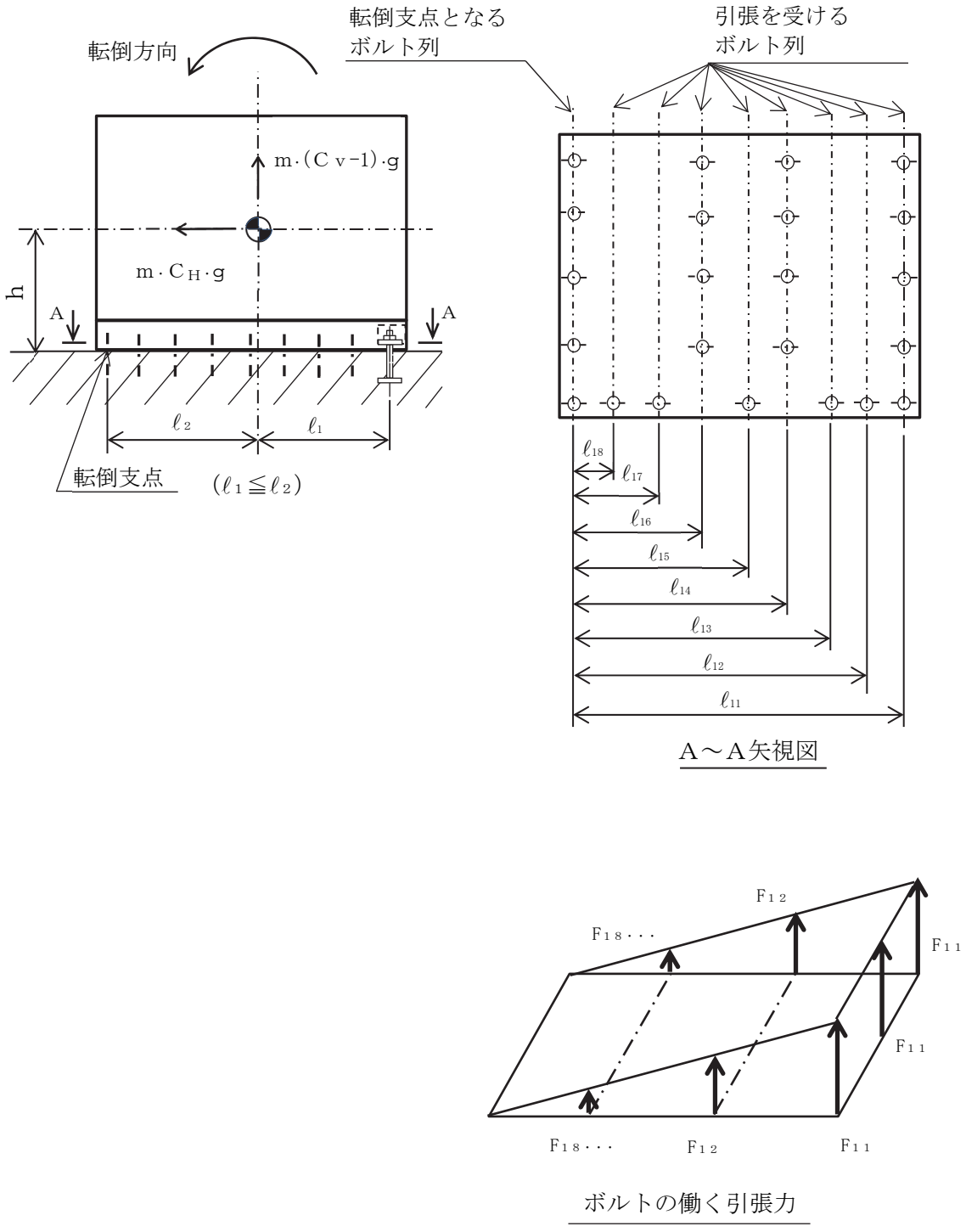


図 5－2　計算モデル（長辺方向転倒の場合）

(1) 引張応力

引張力

ボルトに対する引張力は，図5－1及び図5－2でボルト端列を支点とし，各ボルト働く力は支点からの距離に比例するものとして，モーメントの釣り合い式より求める。

各ボルトの引張力により発生するモーメントの総和は，次式により求める。

$$M_f = \sum_{i=n}^{N} F_{1i} \cdot n_{fi} \cdot \ell_{1i} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1)$$

$$= \frac{F_{11}}{\ell_{11}} \cdot \sum_{i=1}^{N} \ell_{1i}^{2} \cdot n_{fi} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2)$$

一方，図5－1及び図5－2から地震力により発生する転倒モーメントは次のようになる。

$$M_s = m \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h)^2 + (C_v \cdot \ell_2)^2} - m \cdot g \cdot \ell_2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.3)$$

ボルトに発生する引張力は，転倒支点から最も遠いボルトの引張力（F_{11}）が最大となるため，当該ボルトを評価対象とする。この時，評価対象に発生するボルト1本当たりの引張力を$F_{11} = F_b$とし，F_bは次式により求める。

$$F_b = \frac{M_s \cdot \ell_{11}}{\sum_{i=1}^{N} \ell_{1i}^{2} \cdot n_{fi}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.4)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.5)$$

ここで，ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.6)$$

ただし，F_bが負のときボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

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

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.1.7)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.1.8)$$

5.5　計算条件

5.5.1　ボルトの応力計算条件

ボルトの応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【C-廃棄物処理建物排気処理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_bは次式より求めた許容組合せ応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

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

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

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

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

C-廃棄物処理建物排気処理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。

【C-廃棄物処理建物排気処理装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
C-廃棄物処理建物排気処理装置	C	廃棄物処理建物 EL 32.0 (EL 37.5*1)			—	—	C_H=2.69*2	C_v=1.76*2	—	50

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基礎地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ_1*1 (mm)	ℓ_2*1 (mm)	n
基礎ボルト						23

部材	ℓ_{11}*1 (mm)	ℓ_{12}*1 (mm)	ℓ_{13}*1 (mm)	ℓ_{14}*1 (mm)	ℓ_{15}*1 (mm)	ℓ_{16}*1 (mm)	ℓ_{17}*1 (mm)	ℓ_{18}*1 (mm)
基礎ボルト								

部材	n_{f1}*1	n_{f2}*1	n_{f3}*1	n_{f4}*1	n_{f5}*1	n_{f6}*1	n_{f7}*1	n_{f8}*1
基礎ボルト								

部材	A_b (mm^2)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト		211*2 (40mm＜径≦100mm)	394*2 (40mm＜径≦100mm)	—	253	—	短辺

E (MPa)	G (MPa)	I (mm^4)	A_e (mm^2)	A_v (mm^2)

注記＊1：ボルトにおける上段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は短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

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Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト	－		－	

1.4 結論

1.4.1 固有周期 （単位：ｓ）

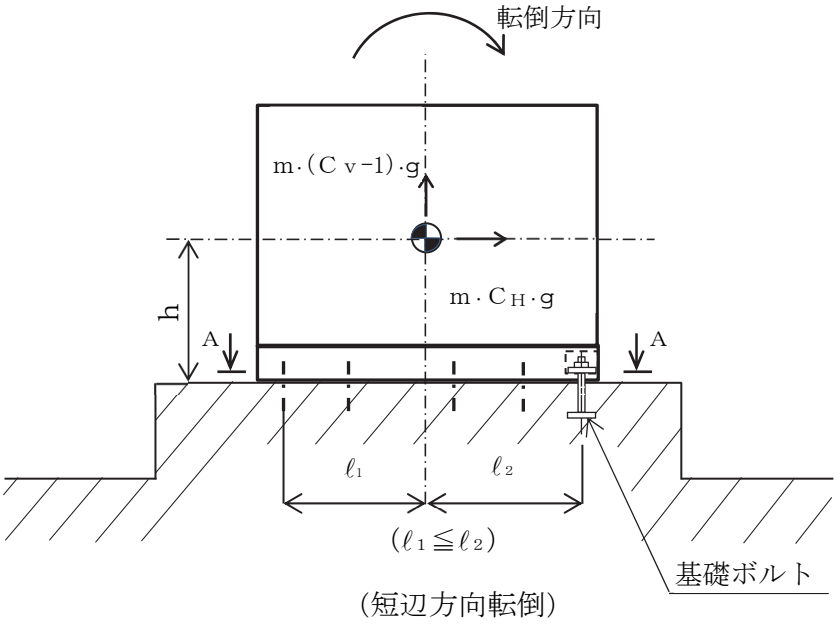
方向	固有周期
水 平 方 向	
鉛 直 方 向	

1.4.2 ボルトの応力 （単位：MPa）

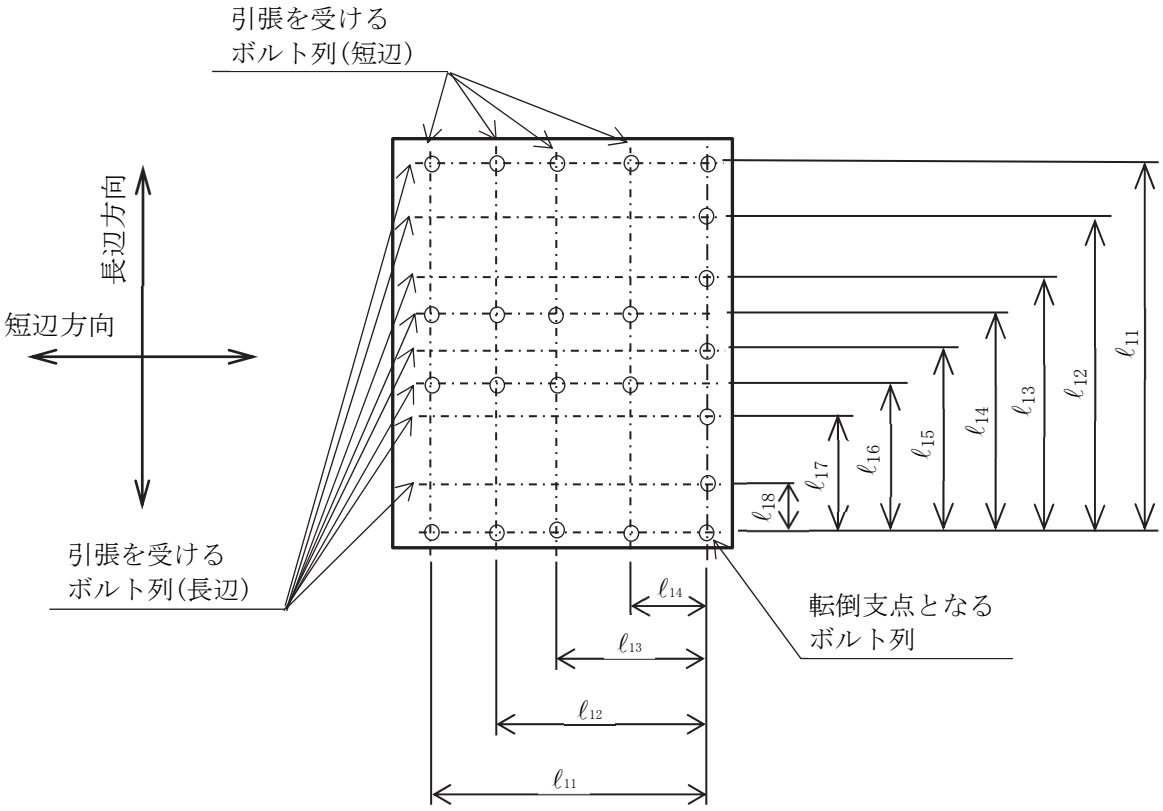
部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS41	引張	－	－	σ_b＝113	f_{ts}＝130*
		せん断	－	－	τ_b＝85	f_{sb}＝146

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}＝ Min[1.4・f_{to}－ 1.6・τ_b， f_{to}]



(短辺方向転倒)



A～A矢視図

Ⅵ-2-11-2-10　耐火障壁の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 6
2.3　評価方針 ····· 8
2.4　適用規格・基準等 ····· 9
2.5　記号の説明 ····· 10
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 12
3.　評価部位 ····· 13
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 13
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 13
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 17
4.4　固有周期 ····· 20
4.5　設計用地震力 ····· 23
4.6　計算方法 ····· 25
4.7　計算条件 ····· 28
4.8　応力の評価 ····· 28
5.　評価結果 ····· 30
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 30
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 30

1. 概要

本計算書は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，耐火障壁が基準地震動Ｓｓによる地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，上位クラス施設に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

耐火障壁は鋼製であり，原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物及び制御室建物に設置する。耐火障壁の設置位置を図 2－1～図 2－5 に示す。

本資料では，図 2－1～図 2－5 に示す耐火障壁のうち，構造強度評価の評価部位であるフレーム部材と基礎ボルトの裕度が最も厳しい耐火障壁を代表として，耐震性について示す。なお，その他の耐火障壁の評価結果については「【耐火障壁の耐震性についての計算結果】3. 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果」にて示す。

代表とした耐火障壁のうち耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）は，図 2－2 に示すように，上位クラス施設である格納容器ガスサンプリング装置冷却器の近傍に設置されており，耐火障壁（中央制御室送風機）は，図 2－3 に示すように，上位クラス施設である中央制御室送風機のＡ号機及びＢ号機の間に設置されていることから，どちらも転倒によって上位クラス施設に衝突し波及的影響を及ぼすおそれがある。

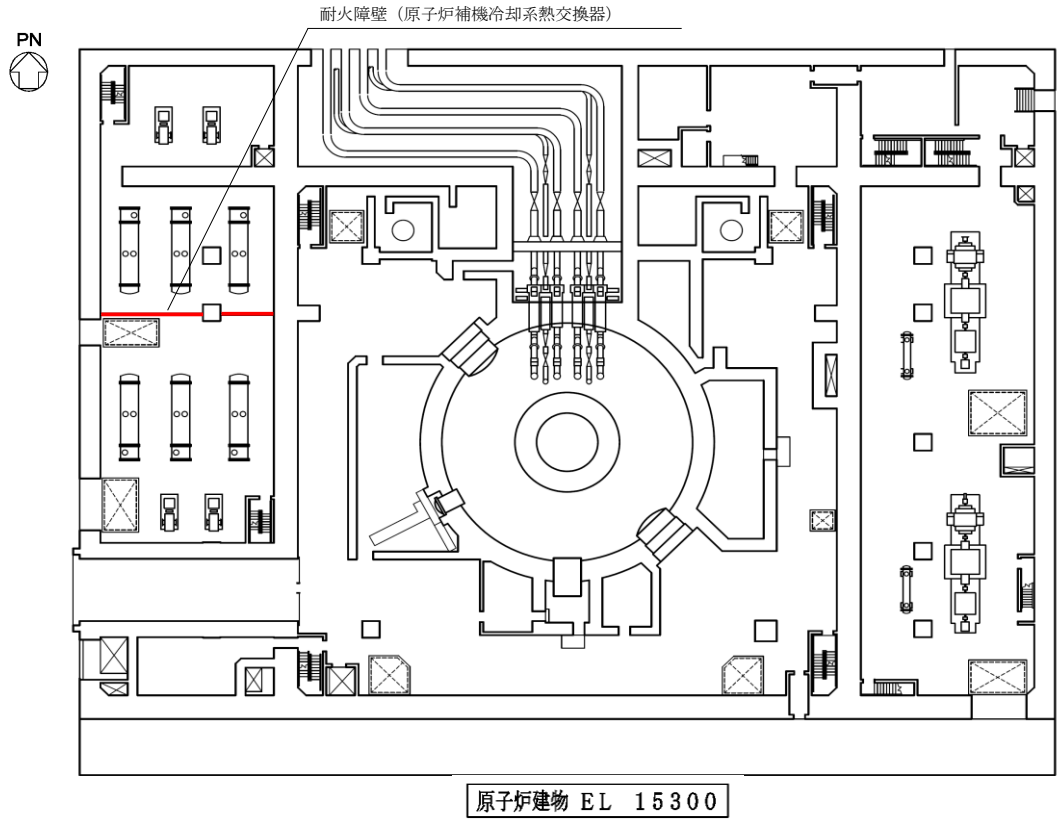


図2－1　耐火障壁（原子炉補機冷却系熱交換器）の設置位置

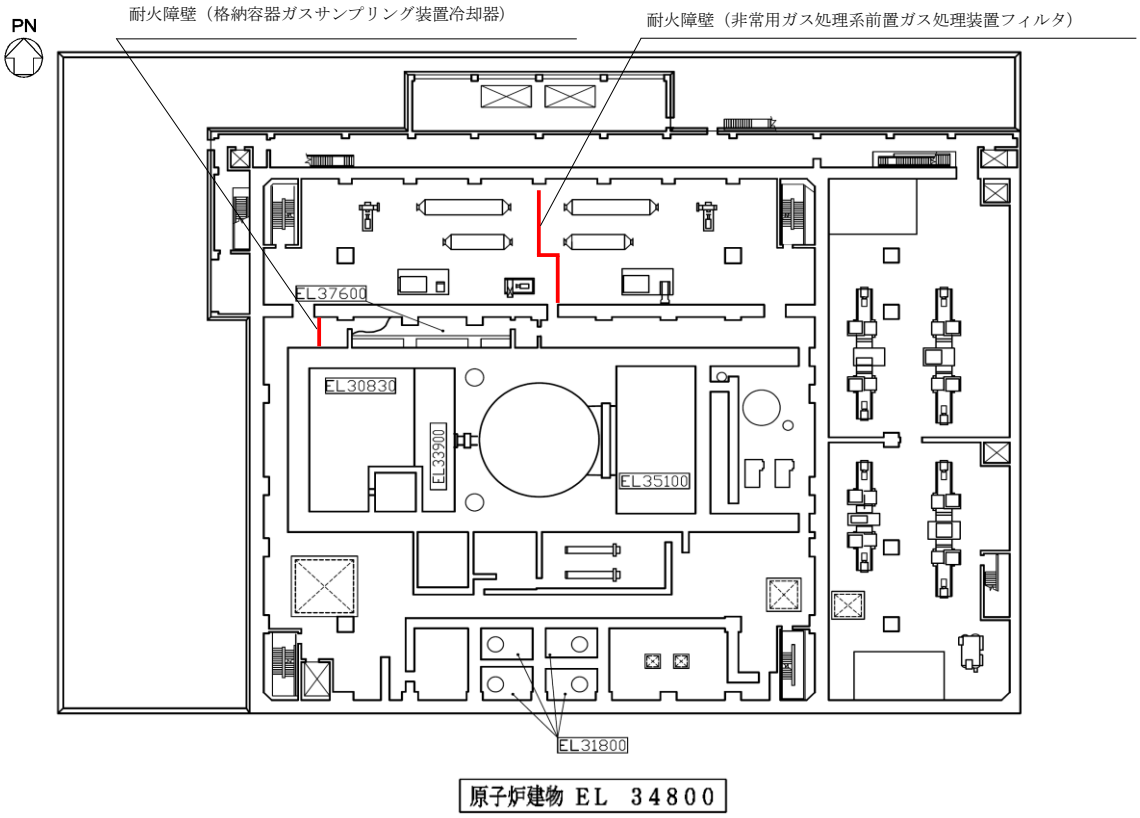


図2－2　耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器，非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ）の設置位置

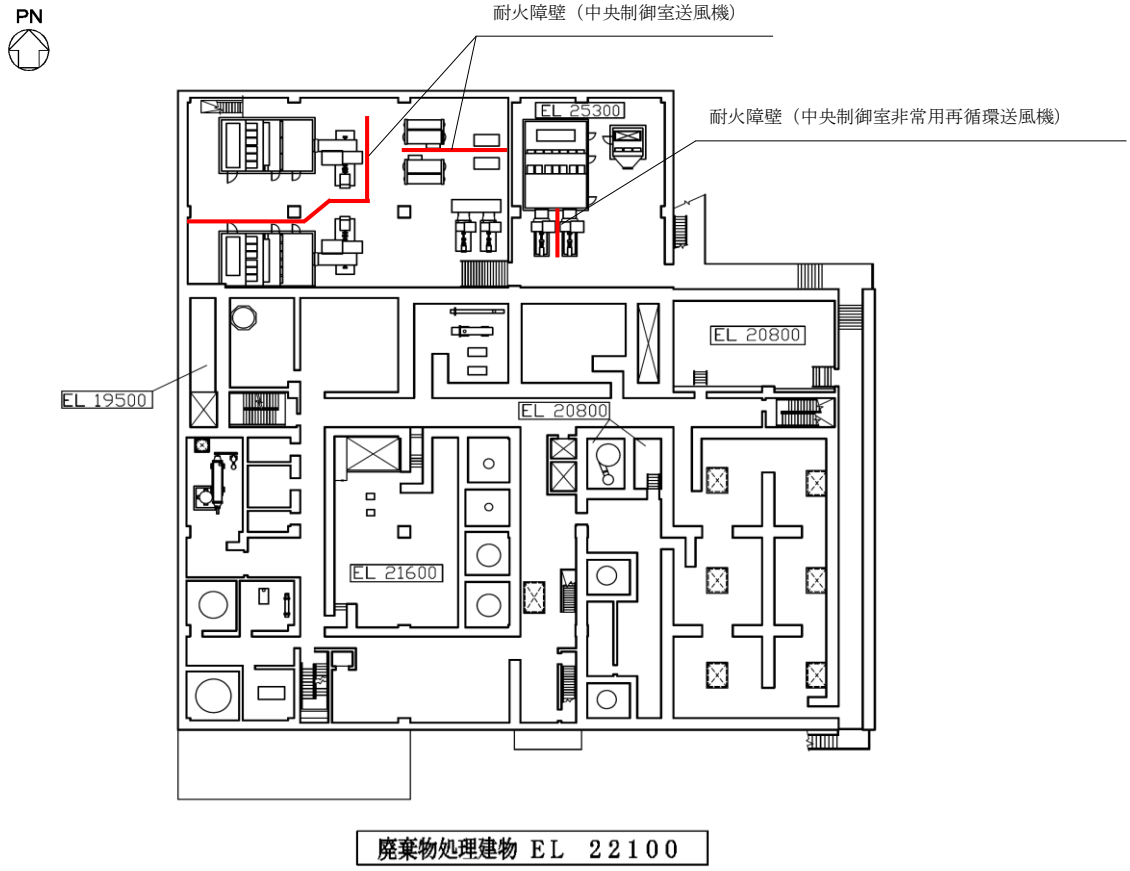


図2－3　耐火障壁（中央制御室送風機，中央制御室非常用再循環送風機）の設置位置

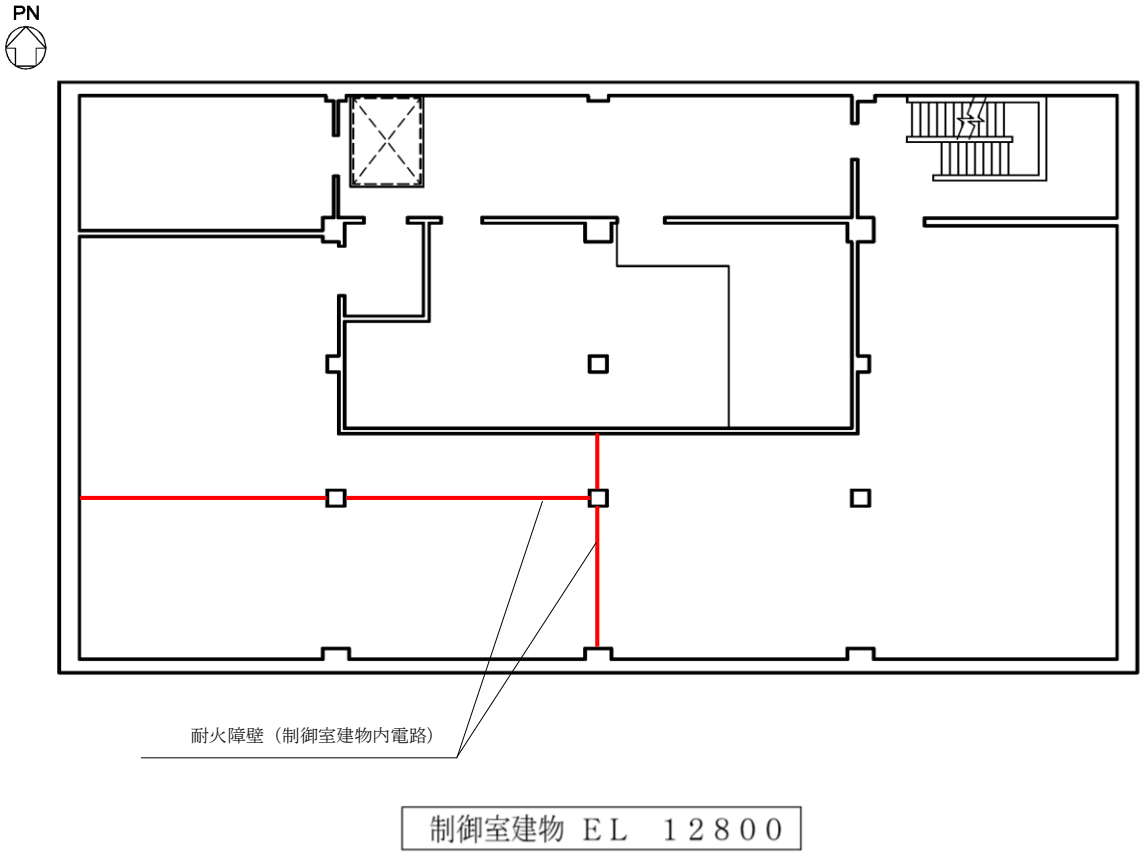


図2－4　耐火障壁（制御室建物内電路）の設置位置

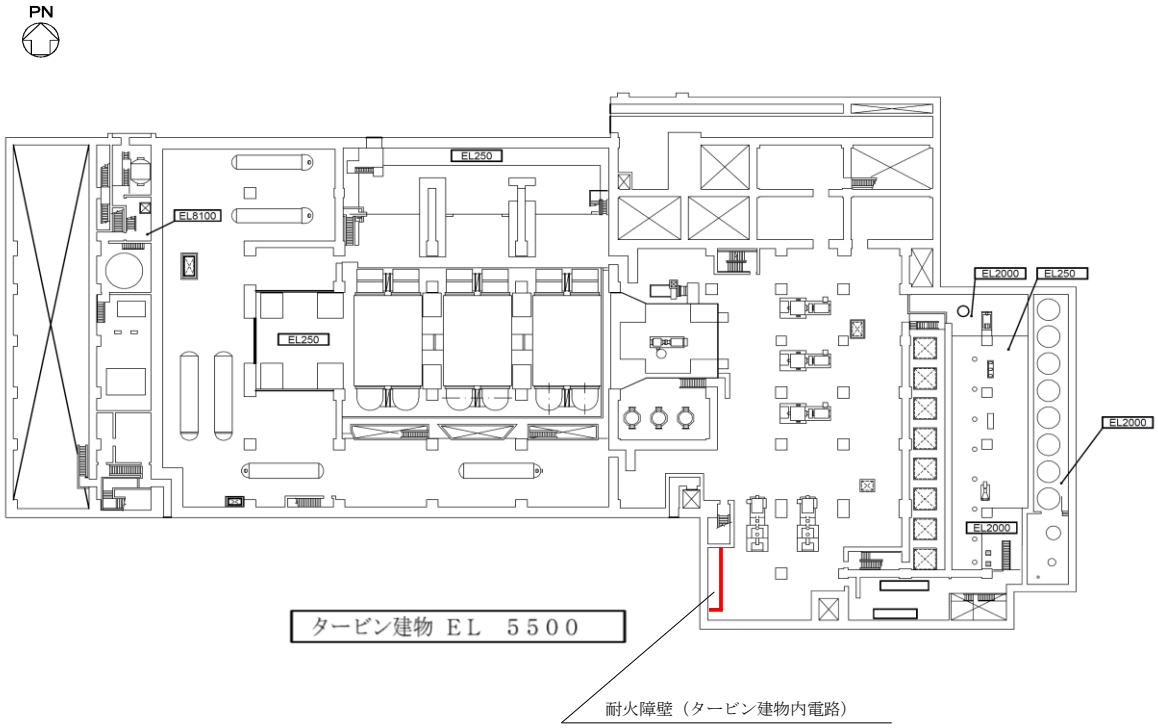


図2－5　耐火障壁（タービン建物内電路）の設置位置

2.2　構造計画

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の構造計画を表 2－1 に，耐火障壁（中央制御室送風機）の構造計画を表 2－2 にそれぞれ示す。

表 2－1　耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
耐火障壁を形成する鋼板（発泡性耐火被覆貼付）は，鋼製のフレーム部材により支持され，鋼製のフレーム部材は基礎ボルトにより建屋躯体である床，壁，及び天井に固定される。	鋼板（発泡性耐火被覆貼付）	

表 2－2　耐火障壁（中央制御室送風機）　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
耐火障壁を形成する鋼板（発泡性耐火被覆貼付）は，鋼製のフレーム部材により支持され，鋼製のフレーム部材は基礎ボルトにより建屋躯体である床に固定される。	鋼板（発泡性耐火被覆貼付）	

2.3　評価方針

耐火障壁の応力評価は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す耐火障壁の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

耐火障壁の耐震評価フローを図2－6に示す。

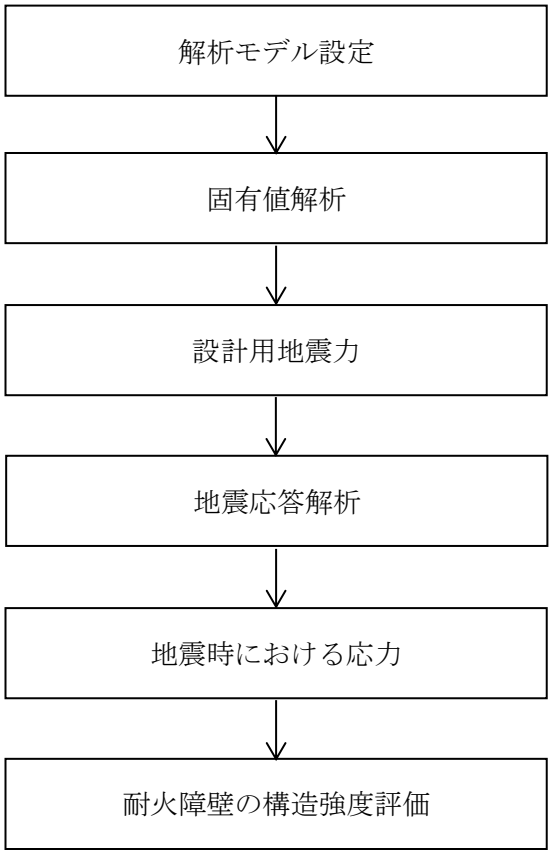


図2－6　耐火障壁の耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・日本産業規格（ＪＩＳ）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
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
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_{tm}	フレーム部材の許容引張応力	MPa
f_{cm}	フレーム部材の許容圧縮応力	MPa
f_{sm}	フレーム部材の許容せん断応力	MPa
f_{bm}	フレーム部材の許容曲げ応力	MPa
E	縦弾性係数	MPa
A_y	フレーム部材のせん断断面積（ｙ方向）	mm^2
A_z	フレーム部材のせん断断面積（ｚ方向）	mm^2
Z_y	フレーム部材の断面係数（ｙ軸）	mm^3
Z_z	フレーム部材の断面係数（ｚ軸）	mm^3
F_x	フレーム部材の軸力（ｘ方向）	N
F_y	フレーム部材のせん断力（ｙ方向）	N
F_z	フレーム部材のせん断力（ｚ方向）	N
M_y	フレーム部材の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_z	フレーム部材の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
i	断面二次半径	mm
Λ	フレーム部材の限界細長比	—
λ	フレーム部材の有効細長比	—
ν	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_t	フレーム部材に生じる引張応力	MPa
σ_c	フレーム部材に生じる圧縮応力	MPa
σ_{by}	フレーム部材に生じる曲げ応力（ｙ軸）	MPa
σ_{bz}	フレーム部材に生じる曲げ応力（ｚ軸）	MPa
τ	フレーム部材に生じるせん断応力	MPa
σ_f	フレーム部材に生じる組合せ応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{to}	基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{sb}	基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{ts}	基礎ボルトが引張力とせん断力を同時に受ける場合の許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
A_b	基礎ボルトの呼び径断面積	mm^2
d_o	基礎ボルトの呼び径	mm
ℓ	基礎ボルト間距離	mm
n_1	評価上曲げモーメントを受けるとして期待する基礎ボルトの本数	本
n_2	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	本
n_3	評価上せん断力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	本
F_{bx}	基礎ボルト部のせん断力（x方向）	N
F_{bz}	基礎ボルト部の引張力（z方向）	N
M_{by}	基礎ボルト部の曲げモーメント（y軸）	N･mm
P_1	曲げモーメントに対するアンカーボルト１本あたりの偶力	N
P_2	引抜に対するアンカーボルト１本あたりの引張荷重	N
F_b	基礎ボルトに作用する引張力	N
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
σ_{tb}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－3に示すとおりである。

表2－3　表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度		—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位*1
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位*2	四捨五入	小数点以下第1位*3
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*4
縦弾性係数		MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*5		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

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

＊2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は，小数点以下第3位表示とする。

＊3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は，小数点以下第2位表示とする。

＊4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3. 評価部位

耐火障壁の耐震評価は，「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなるフレーム部材及び基礎ボルトについて実施する。なお，耐火障壁は，構造物として十分な剛性を有しており，支持構造物であるフレーム部材及び基礎ボルトが健全であれば転倒による損傷を防止できるため，フレーム部材及び基礎ボルトを評価対象とする。耐火障壁の耐震評価部位については，表 2－1～表 2－2 の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 耐火障壁のフレーム部材は，十分剛な壁及び床に基礎ボルトにより固定されるものとする。

(2) 地震力は，耐火障壁に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，組み合わせるものとする。また，水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには，ＳＲＳＳ法を適用する。

(3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果，１次固有周期が0.05秒以下の場合は剛構造として1.2ZPAの加速度を静的に作用させた静的解析を行い，0.05秒より大きい場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

耐火障壁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

耐火障壁の許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

耐火障壁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。

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
その他	耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$
その他	耐火障壁（中央制御室送風機）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他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	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）
その他	耐火障壁（中央制御室送風機）	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）

注記＊：その他支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－3　許容応力（その他支持構造物及び重大事故等その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等以外）				許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*	1.5・ｆｃ*	1.5・ｆｂ*	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる）	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*	1.5・ｆｃ*	1.5・ｆｂ*	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*

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）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	フレーム部材		周囲環境温度	40	―	325	490	―
耐火障壁（中央制御室送風機）	基礎ボルト		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）

機器名称	評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	フレーム部材		周囲環境温度	100	―	292	441	―
耐火障壁（中央制御室送風機）	基礎ボルト		周囲環境温度	40	―	235	400	―

4.3　解析モデル及び諸元

耐火障壁の解析モデルを図 4－1～図 4－2 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【耐火障壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　耐火障壁のフレーム部材をはり要素でモデル化した 3 次元ＦＥＭモデルを用いる。

(2)　耐火障壁の全体重量については，フレーム部材のほか，鋼板，発泡性耐火被覆等の重量を考慮する。

(3)　耐火障壁の拘束条件を図 4－1～図 4－2 に示す。

(4)　解析コードは，「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ－5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

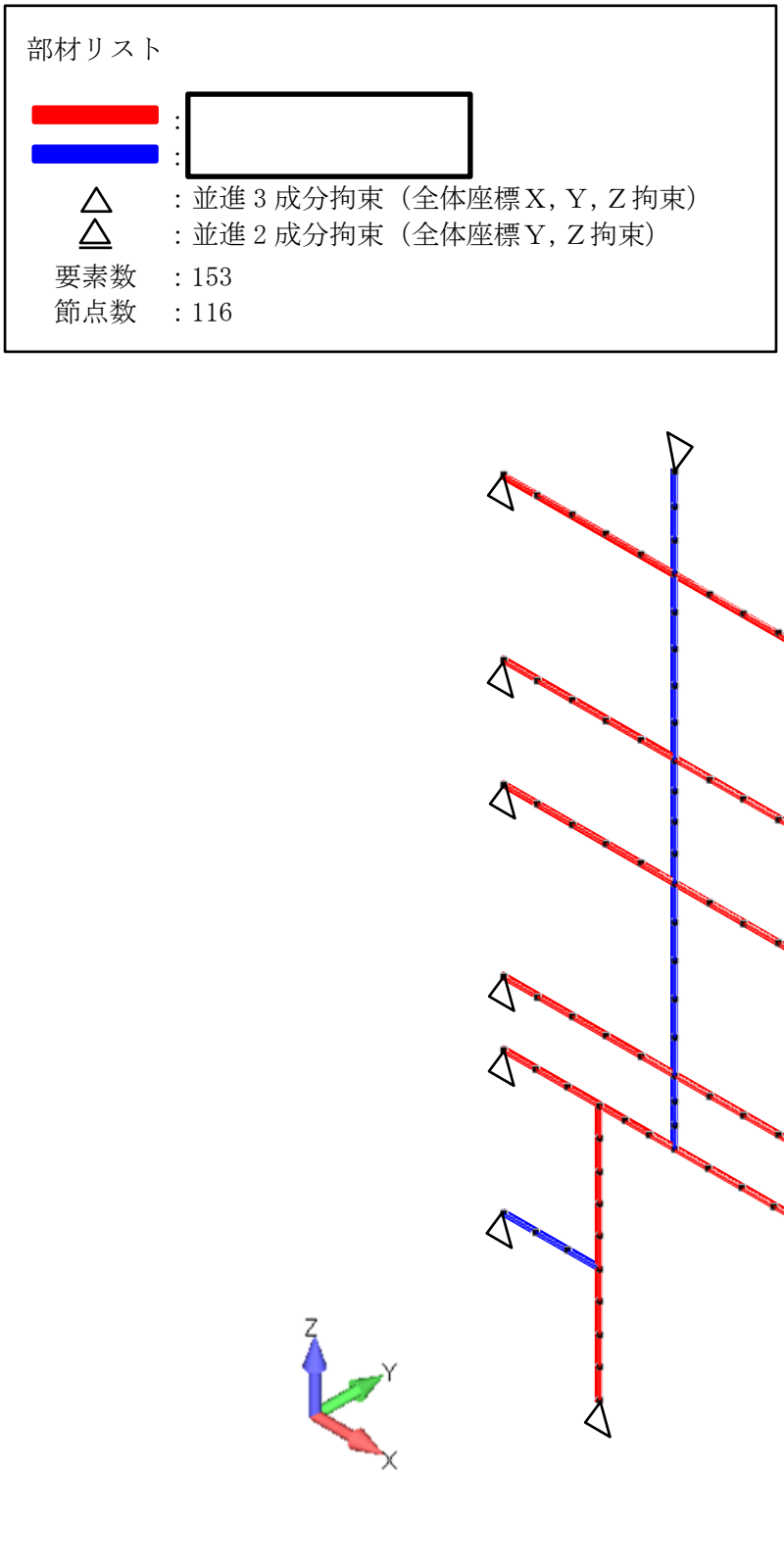
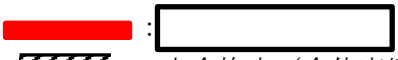


図 4－1　耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）解析モデル（単位：mm）

部材リスト



：完全拘束（全体座標Ｘ，Ｙ，Ｚ，ＲＸ，ＲＹ，ＲＺ拘束）

要素数　：28

節点数　：23

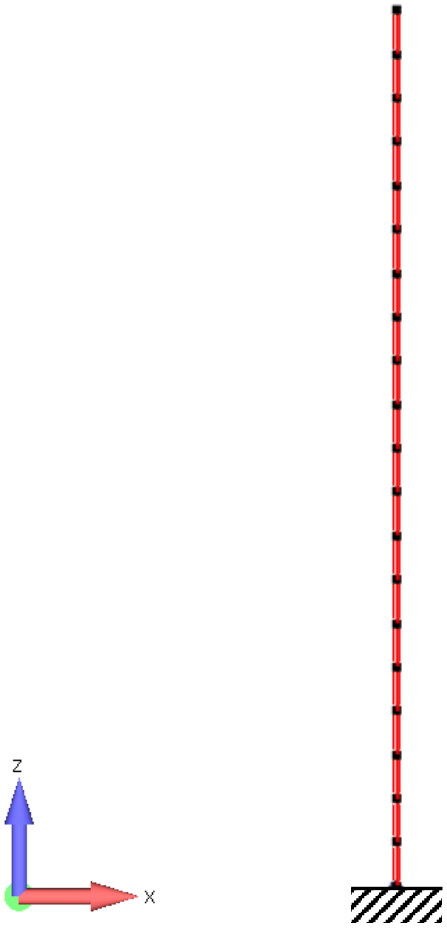


図 4－2　耐火障壁（中央制御室送風機）解析モデル（単位：mm）

4.4　固有周期

4.4.1　耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の固有値解析結果を表 4－6 に示す。

表 4－6　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				
1 次	鉛直				

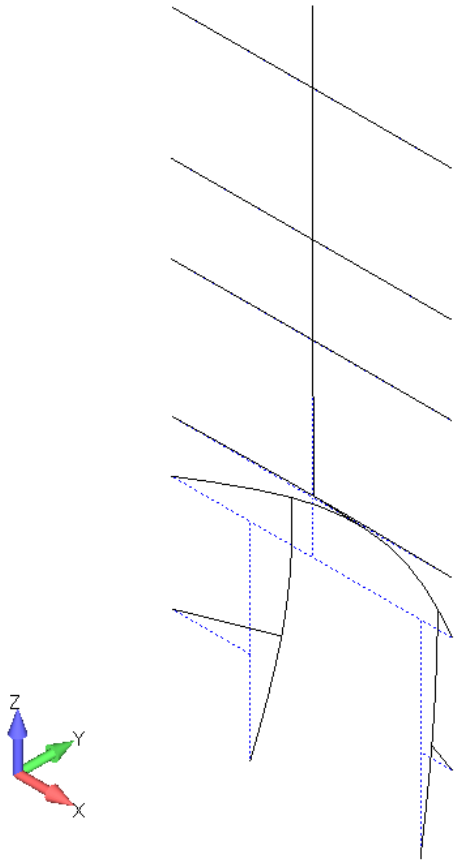


図 4－3　耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）1 次固有振動モード図

4.4.2　耐火障壁（中央制御室送風機）

耐火障壁（中央制御室送風機）の固有値解析結果を表 4－7 に示す。

表 4－7　固有値解析結果

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

注記＊：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

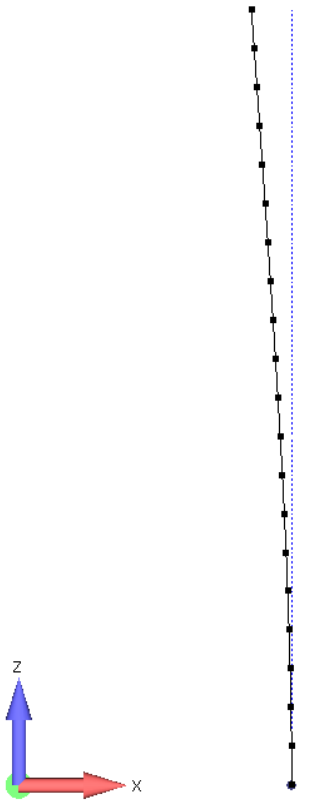


図 4－4　耐火障壁（中央制御室送風機）1 次固有振動モード図

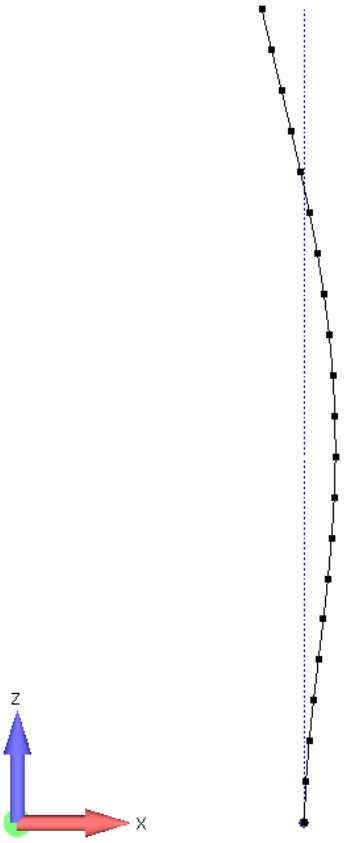


図 4－5　耐火障壁（中央制御室送風機）2 次固有振動モード図

4.5　設計用地震力

4.5.1　耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）の評価に用いる設計用地震力を表 4－8 に示す。

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

表 4－8　設計用地震力

据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
原子炉建物 EL34.80 (EL42.80*1)			—	—	C_H＝2.74*2	C_V＝2.46*3

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

4.5.2　耐火障壁（中央制御室送風機）

耐火障壁（中央制御室送風機）評価に用いる設計用地震力を表 4－9 に示す。「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数はⅥ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4－9　設計用地震力

据付場所及び床面高さ(m)		廃棄物処理建物　EL22.10[*1]			
固有周期(s)					
減衰定数(%)		水平：1.0　　鉛直：1.0			
地震力		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
モード[*3]	固有周期(s)	応答水平震度 NS(EW)方向	応答鉛直震度	応答水平震度[*4] NS(EW)方向	応答鉛直震度[*4]
1 次		—	—	8.09	—
2 次		—	—	—	—
動的震度[*5]		—	—	1.31	1.10
静的震度[*6]		—	—	—	—

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：1 次固有周期について記載

＊3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお，0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては，最大応答加速度を適用する。

＊4：各モードの固有周期に対し，設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

＊5：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）

＊6：3.6・Ｃｉ及び 1.2・Ｃｖより定めた震度

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

4.6.1.1　フレームの応力

解析による計算で得られる軸力F_x，せん断力F_y，F_z及び曲げモーメントM_y，M_zより各応力を次のように求める。

なお，部材力は各部材種類毎の最大値を用いる。

(1)　引張応力又は圧縮応力

軸応力算出時は，保守的にせん断断面積（z方向）を用いるものとする。

$$\sigma_c = \frac{|F_x|}{A_z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.1)$$

(2)　せん断応力

$$\tau = Max\left\{\left(\frac{|F_z|}{A_z}\right),\left(\frac{|F_y|}{A_y}\right)\right\} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.2)$$

(3)　曲げ応力

$$\sigma_{by} = \frac{|M_y|}{Z_y} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.3)$$

$$\sigma_{bz} = \frac{|M_z|}{Z_z} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.4)$$

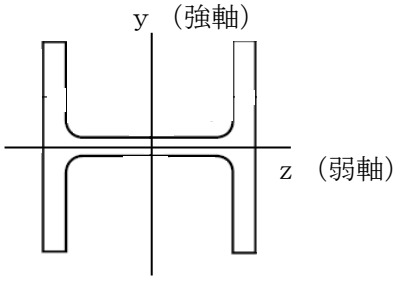


図4―6　水平はり評価断面

(4) 組合せ応力

垂直応力とせん断応力の組合せ

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_{by} + \sigma_{bz} + \sigma_c)^2 + 3 \times \tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.5)$$

圧縮力と曲げモーメントを受ける部材の組合せ応力は，以下の計算式（1），（2）を満足することを確認する。

$$\frac{\sigma_{by}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_c}{f_{cm}} \leqq 1 \quad \cdots\cdots(1) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.6)$$

かつ

$$\frac{\sigma_{by} + \sigma_{bz} - \sigma_c}{f_{tm}} \leqq 1 \quad \cdots\cdots(2) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.7)$$

式（1）について，許容圧縮応力f_{cm}は表 4―3 より 1.5 f c* となる。
曲げ応力については，図 4―5 に示すｙ軸（強軸）まわりとｚ軸（弱軸）まわりで発生値及び許容値が異なることから，以下のとおりとなる。

$$\frac{\sigma_{by}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bm}} = \frac{\left[\frac{|M_y|}{Z_y}\right]}{1.5 f_b^*} + \frac{\left[\frac{|M_z|}{Z_z}\right]}{1.5 f_t^*} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.8)$$

したがって，式（1）は以下のとおり。

$$\frac{M_y}{Z_y \times 1.5 f_b^*} + \frac{M_z}{Z_z \times 1.5 f_t^*} + \frac{\sigma_c}{1.5 f_c^*} \leqq 1 \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.9)$$

式（2）については，許容引張応力f_{tm}が式（1）の許容曲げ応力f_{bm}以上であること，σ_c / f_{tm}を減じていることから，式（1）に代表される。

また，引張応力と曲げ応力の組合せ応力については，許容引張応力が許容圧縮応力よりも大きくなることから，圧縮応力と曲げ応力の組合せ応力で代表される。

4.6.1.2　基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は，解析による計算で得られる引張力F_{bz}，せん断力F_{bx}及び曲げモーメントM_{by}から手計算により，地震による引張応力とせん断応力について計算する。耐火障壁（中央制御室送風機）の基礎ボルト部の概要を図4－6に示す。

(1)　引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は，引張力F_{bz}及び曲げモーメントM_{by}を考え，これを図4－6に示す評価対象ボルトで受けるものとして計算する。

a.　引張力

$$P_1=\frac{|M_{by}|}{n_1\times \ell} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.1)$$

$$P_2=\frac{|F_{bz}|}{n_2} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.2)$$

$$F_b=P_1+P_2 \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.3)$$

b.　引張応力

$$A_b=\frac{\pi}{4}\times d_o{}^2 \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.4)$$

$$\sigma_{tb}=\frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.5)$$

(2)　せん断応力

a.　せん断力

$$Q_b=\frac{F_{bx}}{n_3} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.6)$$

b.　せん断応力

$$\tau_b=\frac{Q_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.7)$$

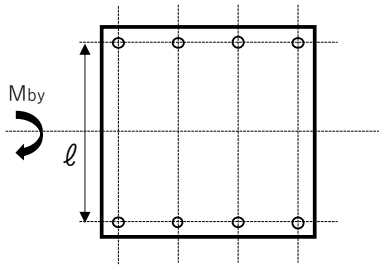


図4－7　基礎ボルト部の概要

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【耐火障壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　フレーム部材の応力評価

4.6.1.1 項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力が許容引張応力f_{tm}以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_{cm}	$\left\{1-0.4\cdot\left(\dfrac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\dfrac{F^*}{\nu}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sm}	$\dfrac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_{bm}	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.1)$$

基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E}{0.6\cdot F^*}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.2)$$

$$\nu=1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.1.3)$$

4.8.2　基礎ボルトの応力評価

4.6.1.2 項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{tb} は，次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし，f_{to} は下表による。

$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b, f_{to}]$

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

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

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器・中央制御室送風機）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器・中央制御室送風機）の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることにより波及的影響を及ぼさないことを確認した。

(1)　構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【耐火障壁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)		基準地震動Ss		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	C	原子炉建物 EL34.80 (EL42.80*1)			C_H=2.74*3	C_V=2.46*4	―	40
耐火障壁（中央制御室送風機）	C	廃棄物処理建物 EL22.10*1			C_H=1.31*2 又は*5	C_V=1.10*2	―	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ss）
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ss）を上回る設計震度
＊4：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ss）
＊5：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動Ss）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

1.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	A_y (mm^2)	A_z (mm^2)	Z_y (mm^3)	Z_z (mm^3)
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）														

1.2.2 基礎ボルト

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	ℓ (mm)	d_o (mm)	A_b (mm^2)	n_1	n_2	n_3
耐火障壁（中央制御室送風機）										

1.3　計算数値

1.3.1　フレーム部材の荷重　　(単位：N)

機器名称	F_x	F_y	F_z
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2　フレーム部材のモーメント　　(単位：N･mm)

機器名称	M_y	M_z
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）		

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3　基礎ボルトの荷重　　(単位：N)

機器名称	F_{bx}	F_{bz}
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（中央制御室送風機）		

注：添字ｘ，ｙ，ｚは全体座標系とする。

1.3.4　基礎ボルトのモーメント(単位：N･mm)

機器名称	M_{by}
	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（中央制御室送風機）	

注：添字ｘ，ｙ，ｚは全体座標系とする。

1.3.5　基礎ボルトに作用する力　　(単位：N)

機器名称	F_b	Q_b
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（中央制御室送風機）		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

機器名称	モード	卓越方向	固有周期
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	1	水平	
	1	鉛直	
耐火障壁（中央制御室送風機）	1	水平	
	2	水平	
	1	鉛直	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ		備考
				算出応力	許容応力	
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	フレーム部材		引張	σ_t ＝ 21	f_{tm} ＝ 342	
			圧縮	σ_c ＝ 21*1	f_{cm} ＝ 282	
			せん断	τ ＝ 42	f_{sm} ＝ 198	
			曲げ	σ_{by} ＝ 122	f_{bm} ＝ 342	
				σ_{bZ} ＝ 27	f_{bm} ＝ 342	
			組合せ（垂直＋せん断）	σ_f ＝ 185	f_{tm} ＝ 342	
			組合せ（圧縮＋曲げ）	0.52	1*2	単位：なし
耐火障壁（中央制御室送風機）	基礎ボルト		引張	σ_{tb} ＝ 118	f_{to} ＝ 168	
			せん断	τ_b ＝ 21	f_{sb} ＝ 129	
			組合せ	σ_{tb} ＝ 118	f_{ts} ＝ 168*3	

すべて許容応力以下である。

注記＊1：絶対値を記載

＊2：算出応力を裕度表記にしたため「1」を記載

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

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ss		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	—	原子炉建物 EL34.80 (EL42.80*1)			C_H=2.74*3	C_V=2.46*4	—	100
耐火障壁（中央制御室送風機）	—	廃棄物処理建物 EL22.10*1			C_H=1.31*2 又は*5	C_V=1.10*2	—	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）
＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度
＊4：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）
＊5：設計用床応答スペクトルⅠ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

2.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ	A_y (mm^2)	A_z (mm^2)	Z_y (mm^3)	Z_z (mm^3)
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）														

2.2.2 基礎ボルト

機器名称	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	ℓ (mm)	d_o (mm)	A_b (mm^2)	n_1	n_2	n_3
耐火障壁（中央制御室送風機）										

2.3 計算数値

2.3.1 フレーム部材の荷重 (単位：N)

機器名称	F_x	F_y	F_z
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.2 フレーム部材のモーメント (単位：N･mm)

機器名称	M_y	M_z
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）		

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸で，ｘ軸は常に要素の長手方向にとる。

2.3.3　基礎ボルトの荷重　　(単位：N)

機器名称	F_{bx}	F_{bz}
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（中央制御室送風機）		

注：添字ｘ，ｙ，ｚは全体座標系とする。

2.3.4　基礎ボルトのモーメント(単位：N･mm)

機器名称	M_{by}
	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（中央制御室送風機）	

注：添字ｘ，ｙ，ｚは全体座標系とする。

2.3.5　基礎ボルトに作用する力　　(単位：N)

機器名称	F_b	Q_b
	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
耐火障壁（中央制御室送風機）		

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

機器名称	モード	卓越方向	固有周期
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	1	水平	
	1	鉛直	
耐火障壁（中央制御室送風機）	1	水平	
	2	水平	
	1	鉛直	

2.4.2 応力

(単位：MPa)

機器名称	部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ		備考
				算出応力	許容応力	
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	フレーム部材		引張	σ_t ＝ 21	f_{tm} ＝ 307	
			圧縮	σ_c ＝ 21*1	f_{cm} ＝ 258	
			せん断	τ ＝ 42	f_{sm} ＝ 177	
			曲げ	σ_{by} ＝ 122	f_{bm} ＝ 307	
				σ_{bZ} ＝ 27	f_{bm} ＝ 307	
			組合せ（垂直＋せん断）	σ_f ＝ 185	f_{tm} ＝ 307	
			組合せ（圧縮＋曲げ）	0.58	1*2	単位：なし
耐火障壁（中央制御室送風機）	基礎ボルト		引張	σ_{tb} ＝ 118	f_{to} ＝ 168	
			せん断	τ_b ＝ 21	f_{sb} ＝ 129	
			組合せ	σ_{tb} ＝ 118	f_{ts} ＝ 168*3	

すべて許容応力以下である。

注記＊1：絶対値を記載

＊2：算出応力を裕度表記にしたため「1」を記載

＊3：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・ τ_b, f_{to}]

3. 代表機器の選定結果及び全機器の評価結果

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	評価結果（基準地震動Ｓｓ）											
		フレーム部材						基礎ボルト					
		応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	備考	応力	算出応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	備考
耐火障壁（非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ）	原子炉建物 EL34.80*	組合せ (圧縮+曲げ)	－	－	3.44		単位：なし	組合せ	92	168	1.82		
耐火障壁（原子炉補機冷却系熱交換器）	原子炉建物 EL15.30*	組合せ (圧縮+曲げ)	－	－	10.54		単位：なし	組合せ	39	141	3.61		
耐火障壁（中央制御室非常用再循環送風機）	廃棄物処理建物 EL25.30*	組合せ (圧縮+曲げ)	－	－	5.88		単位：なし	組合せ	52	168	3.23		
耐火障壁（中央制御室送風機）	廃棄物処理建物 EL22.10*	組合せ (圧縮+曲げ)	－	－	2.56		単位：なし	組合せ	118	168	1.42	○	
耐火障壁（タービン建物内電路）	タービン建物 EL5.50*	組合せ (圧縮+曲げ)	－	－	9.20		単位：なし	組合せ	40	141	3.52		
耐火障壁（制御室建物内電路）	制御室建物 EL12.80*	組合せ (垂直+せん断)	187	342	1.82			組合せ	86	168	1.95		
耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）	原子炉建物 EL34.80 (EL42.80*)	組合せ (垂直+せん断)	185	307	1.65	○		せん断	53	117	2.20		

注記＊：基準床レベルを示す。
すべて許容応力以下である。

Ⅵ-2-別添１　火災防護設備の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-別添 1-1　火災防護設備の耐震計算の基本方針

目　　次

1.　概要 1
2.　一般事項 2
2.1　評価方針 2
2.2　評価対象設備 2
2.4　記号の説明 14
2.5　計算精度と数値の丸め方 19
3.　評価部位 23
4.　固有周期 25
5.　構造強度評価 25
5.1　構造強度評価方法 25
5.2　荷重の組合せ及び許容応力 25
5.3　設計用地震力 29
5.4　計算方法 29
6.　機能維持評価 31
6.1　火災受信機盤 31
6.2　ボンベラック 32
6.3　選択弁 32
6.4　制御盤（全域ガス消火設備） 32

1. 概要

本資料は，「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」（以下「技術基準規則」という。）第 11 条，第 52 条及びそれらの「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の解釈」にて適合することを要求している「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基準（令和 2 年 3 月 31 日原子力規制委員会制定）」（以下「火災防護に係る審査基準」という。）に適合する設計とするため，Ⅵ-1-1-8「発電用原子炉施設の火災防護に関する説明書」（以下「Ⅵ-1-1-8」という。）に示す火災感知設備及び消火設備が，火災防護上重要な機器等の耐震クラス及び重大事故等対処施設の区分に応じた地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針について説明するものである。

火災防護設備の計算結果は，Ⅵ-2-別添 1-2-2「火災受信機盤の耐震性についての計算書」，Ⅵ-2-別添 1-3-1「ボンベラックの耐震性についての計算書」，Ⅵ-2-別添 1-3-2「選択弁の耐震性についての計算書」及びⅥ-2-別添 1-3-3「制御盤の耐震性についての計算書」に示すとともに，動的地震力の水平２方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果をⅥ-2-別添 1-4「火災防護設備の水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価」に示す。

2. 一般事項

2.1 評価方針

応力評価は，「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容応力に基づき，「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，機能維持評価は，地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。

耐震評価フローを図2－1 に示す。

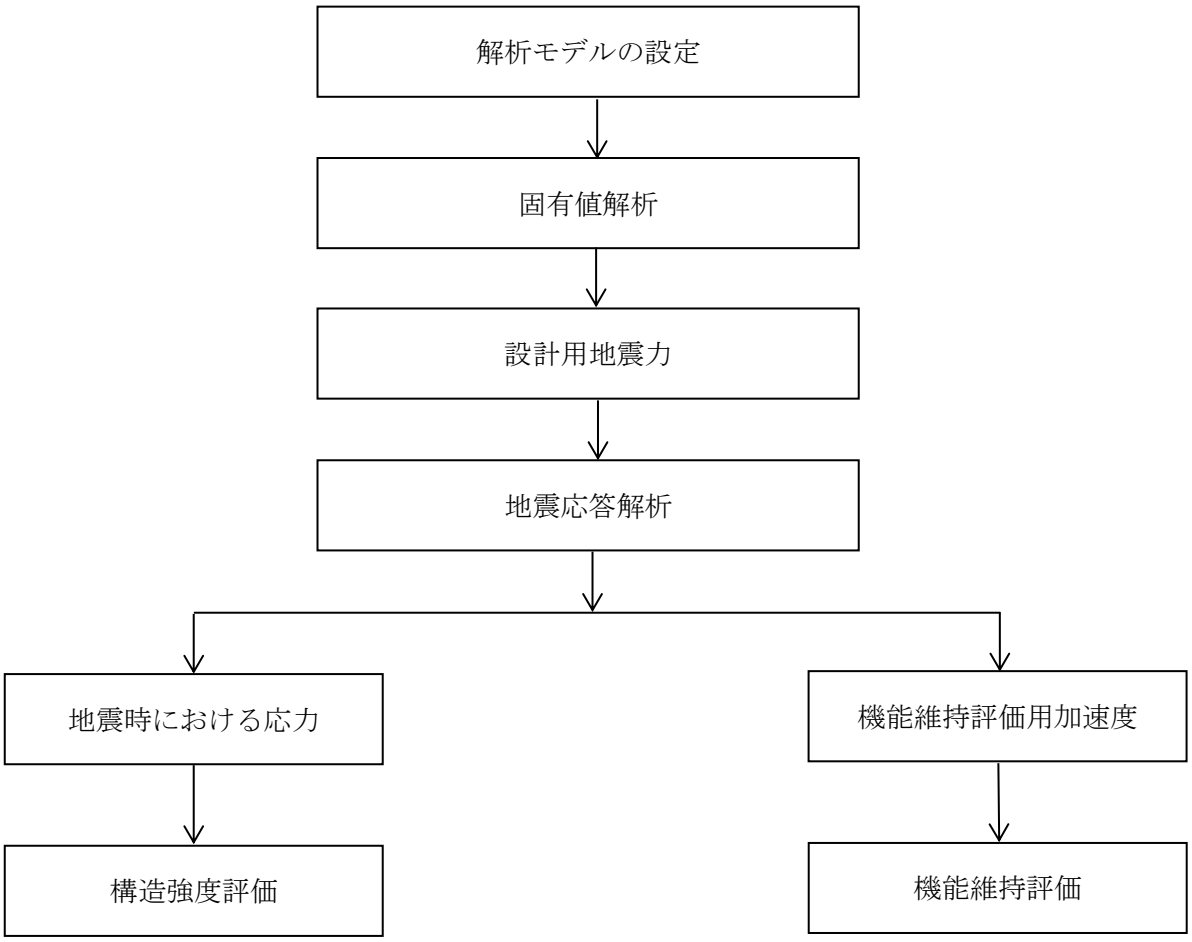


図 2－1 耐震評価フロー

2.2 評価対象設備

評価対象設備は，VI-1-1-8のうち「5.1 火災感知設備について」に示す火災感知設備のうち火災受信機盤及び「5.2 消火設備について」に示す消火設備のうちボンベラック，選択弁及び制御盤（全域ガス消火設備）を対象とする。

火災感知設備の構造計画を表2－1に，消火設備の構造計画を表2－2から表2－4に示す。

表 2－1　火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画（1/3）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤①	火災受信機盤①は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	図 2－2

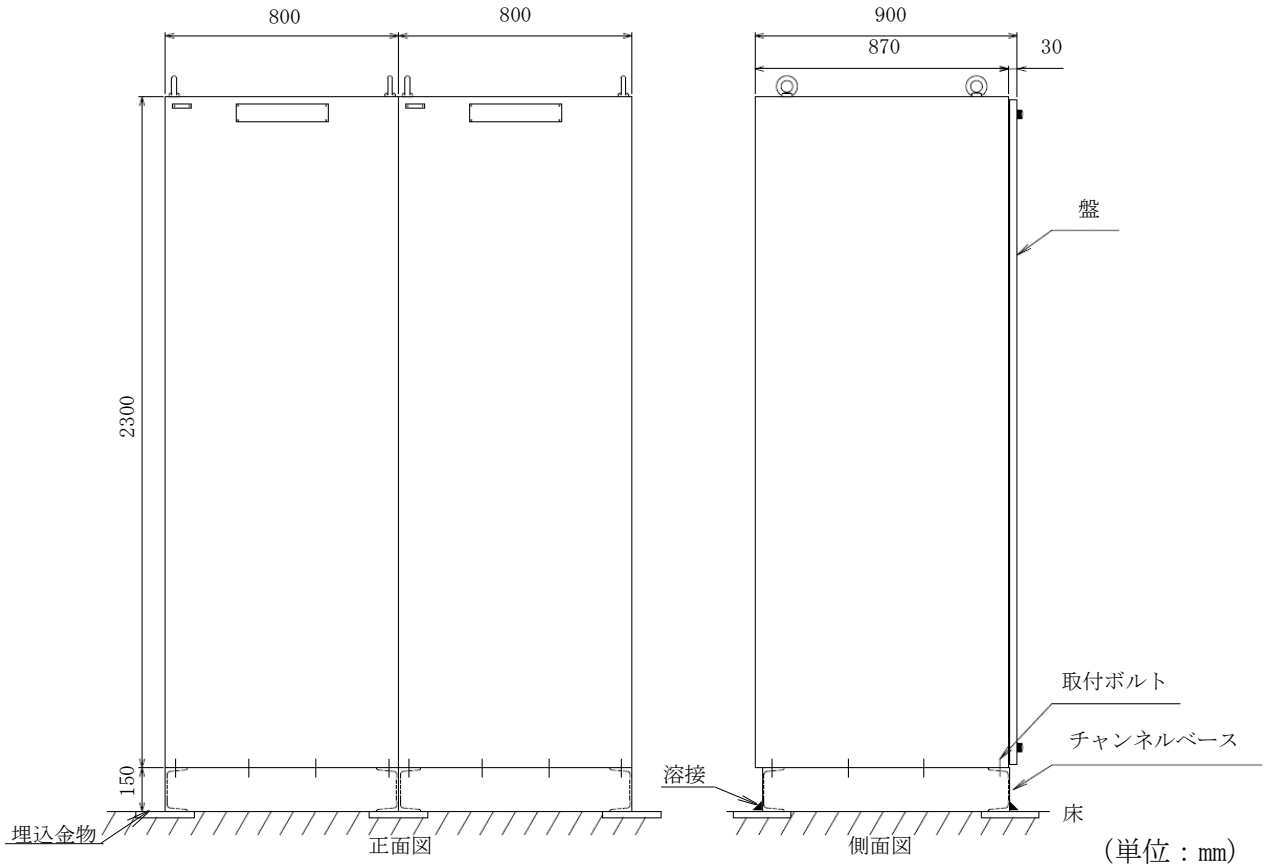


図 2－2　火災受信機盤①の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画（2/3）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤②	火災受信機盤②は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎架台に固定され，基礎架台は基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	図 2－3

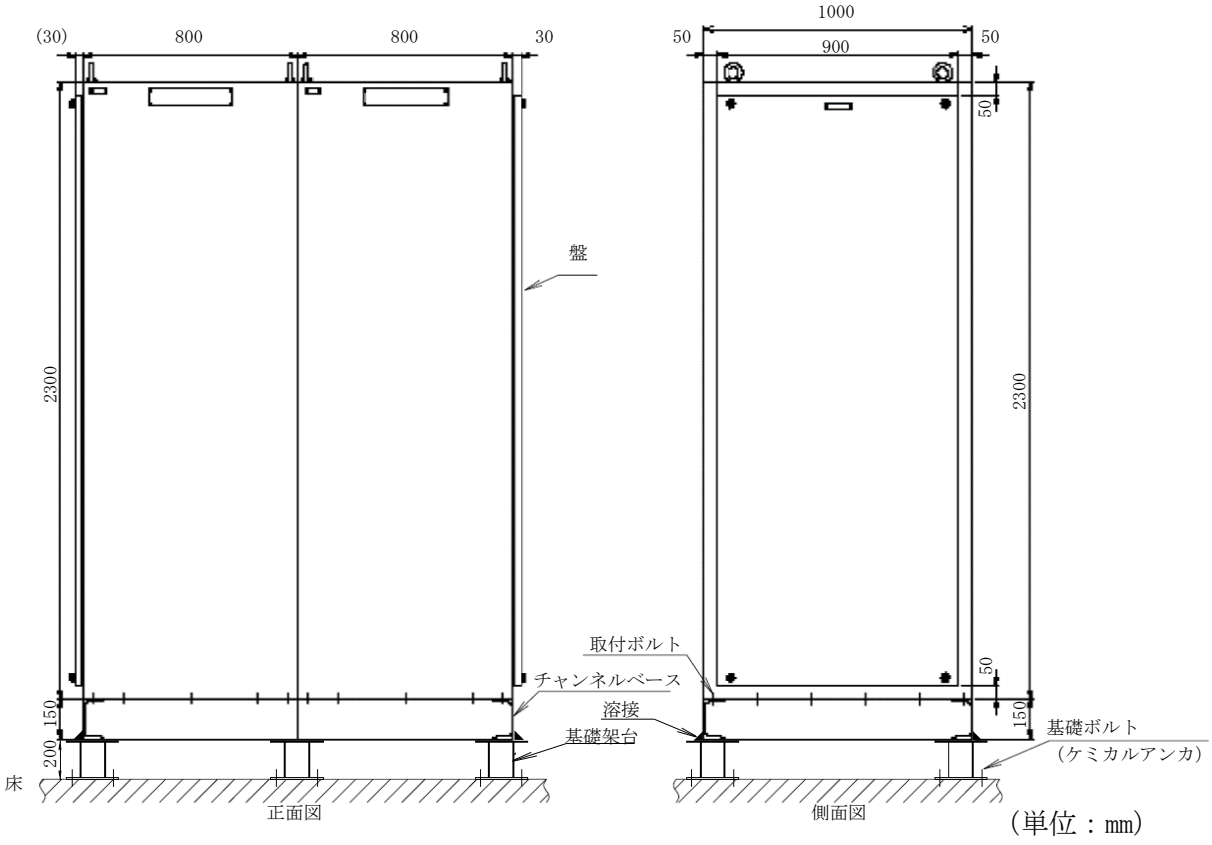
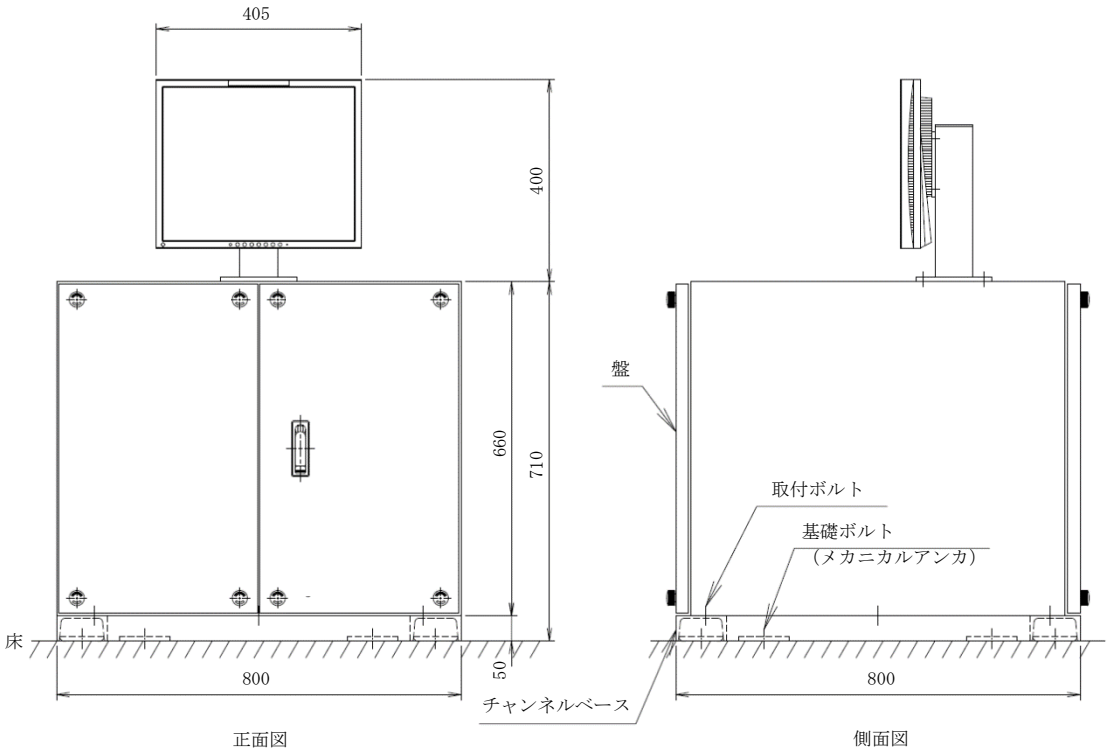


図 2－3　火災受信機盤②の概要図

表 2－1　火災防護設備のうち火災受信機盤の構造計画（3/3）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤③	火災受信機盤③は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形（鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	図 2－4

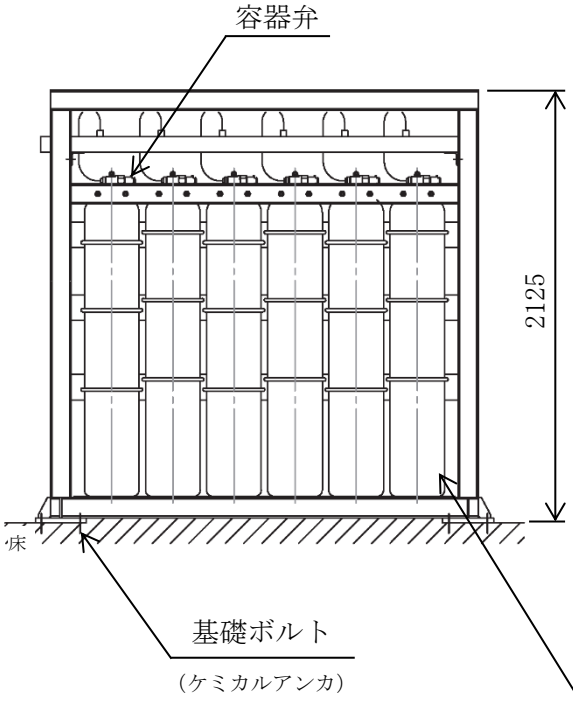


（単位：mm）

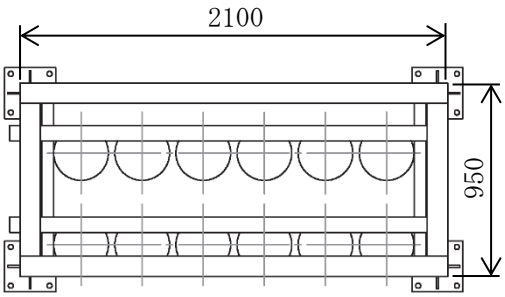
図 2－4　火災受信機盤③の概要図

表 2－2　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（1/5）

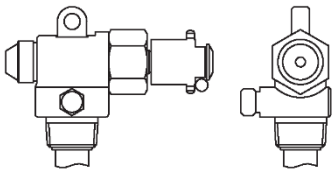
機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （68ℓ 2 列 6 本用）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。 ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	図 2－5



68ℓ 2 列 6 本用ボンベラック外観図



ボンベラック平面図



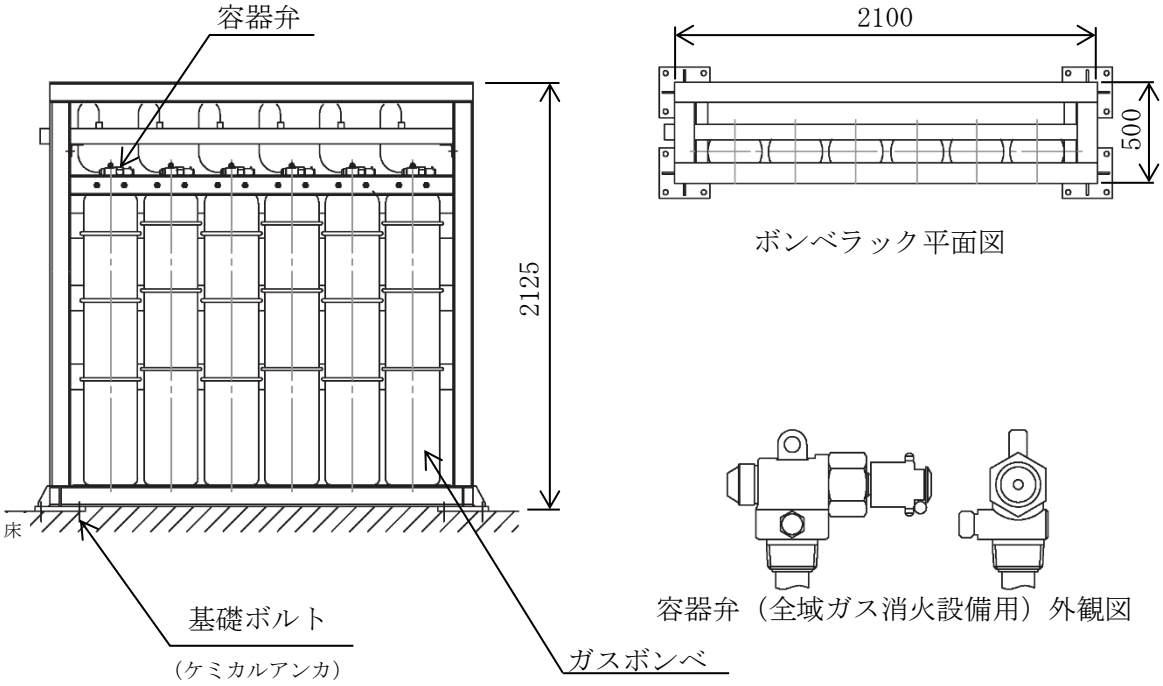
容器弁（全域ガス消火設備用）外観図

（単位：mm）

図 2－5　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の概要図

表 2－2　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（2/5）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （68ℓ 1列6本用）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	図 2－6



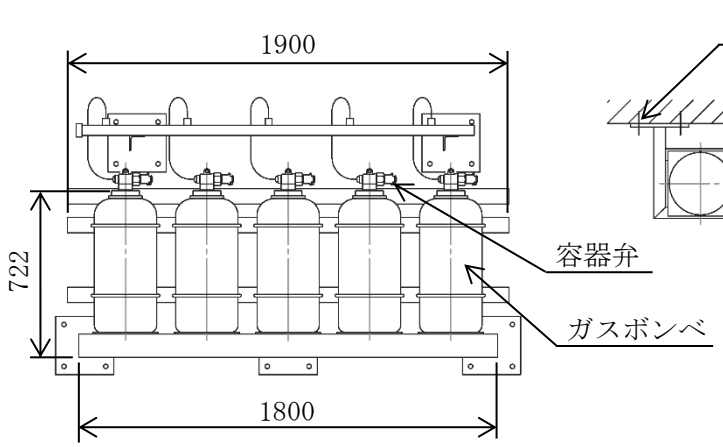
68ℓ 1列6本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

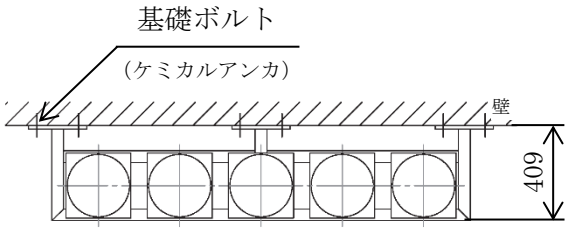
図 2－6　ボンベラック（68ℓ 1列6本用）の概要図

表 2－2　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（3/5）

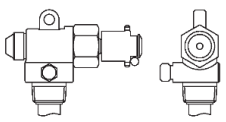
機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （24ℓ 壁掛 5 本用）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて壁に設置する。なお，容器弁の形状が全域ガス消火設備用とケーブルトレイ消火用で異なるが，ガスボンベ及びボンベラックは同じ構造である。	ガスボンベ及び容器弁（壁掛形）	図 2－7



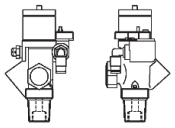
24ℓ 壁掛 5 本用ボンベラック外観図



ボンベラック平面図



容器弁（全域ガス消火設備用）外観図



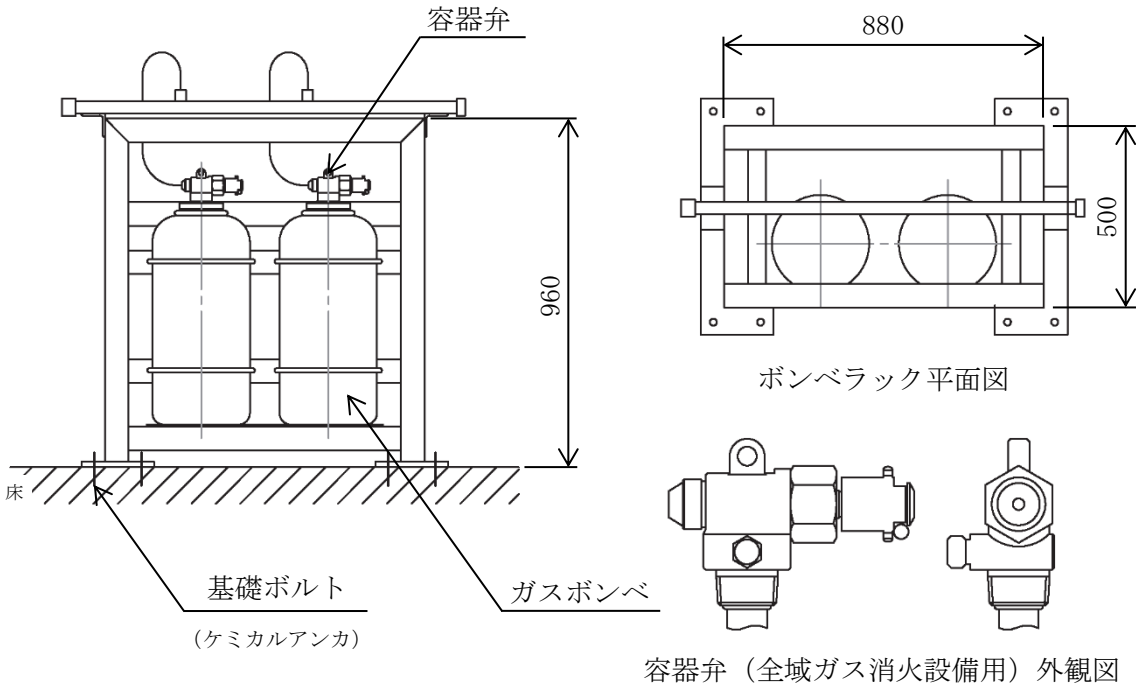
容器弁（ケーブルトレイ消火設備用）外観図

（単位：mm）

図 2－7　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の概要図

表 2－2　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（4/5）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （240ℓ 1 列 2 本用）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ及び容器弁（直立形）	図 2－8



240ℓ 1 列 2 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

図 2－8　ボンベラック（240ℓ 1 列 2 本用）の概要図

表 2－2　火災防護設備のうちボンベラックの構造計画（5/5）

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
ボンベラック （68ℓ 2 列 5 本用）	容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎及び壁に設置する。	ガスボンベ及び容器弁（壁支持を含む直立形）	図 2－9

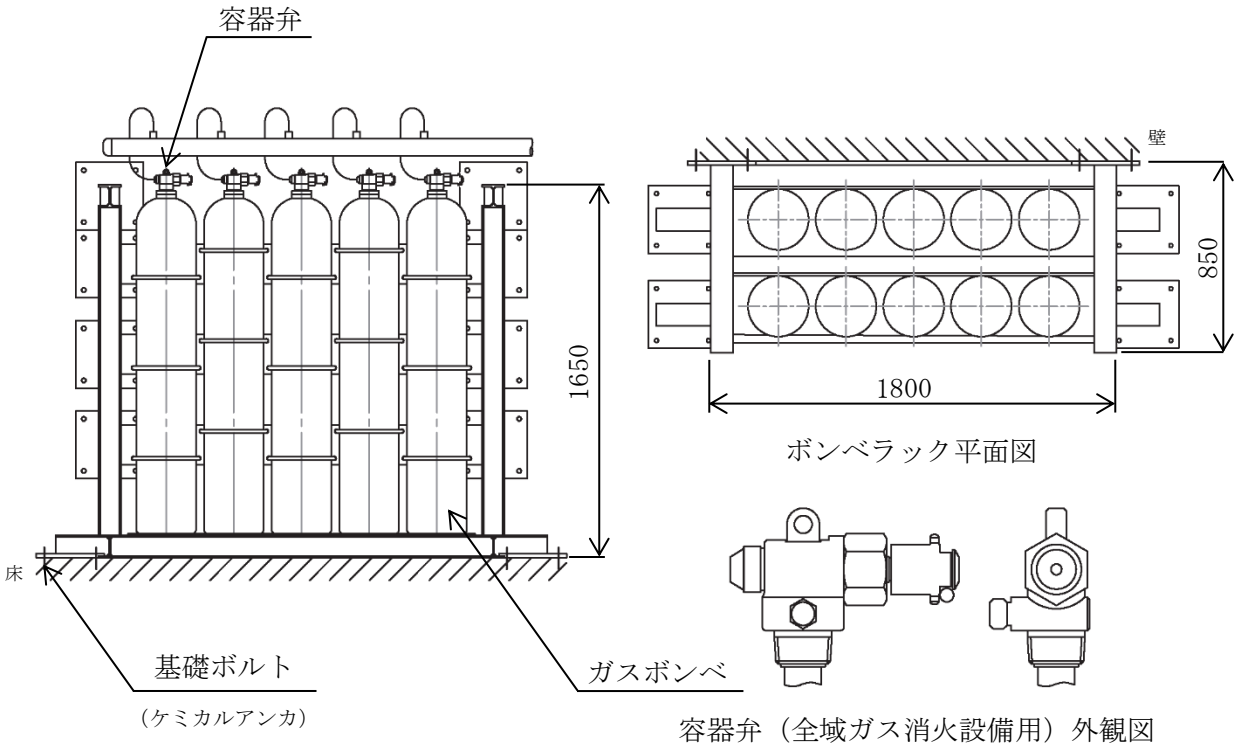


図 2－9　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の概要図

表 2－3　火災防護設備のうち選択弁の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
選択弁	選択弁は，集合管に取り付けて固定する。集合管は，選択弁ラックに固定し，選択弁ラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	選択弁，集合管及び選択弁ラック（直立形）	図 2－10

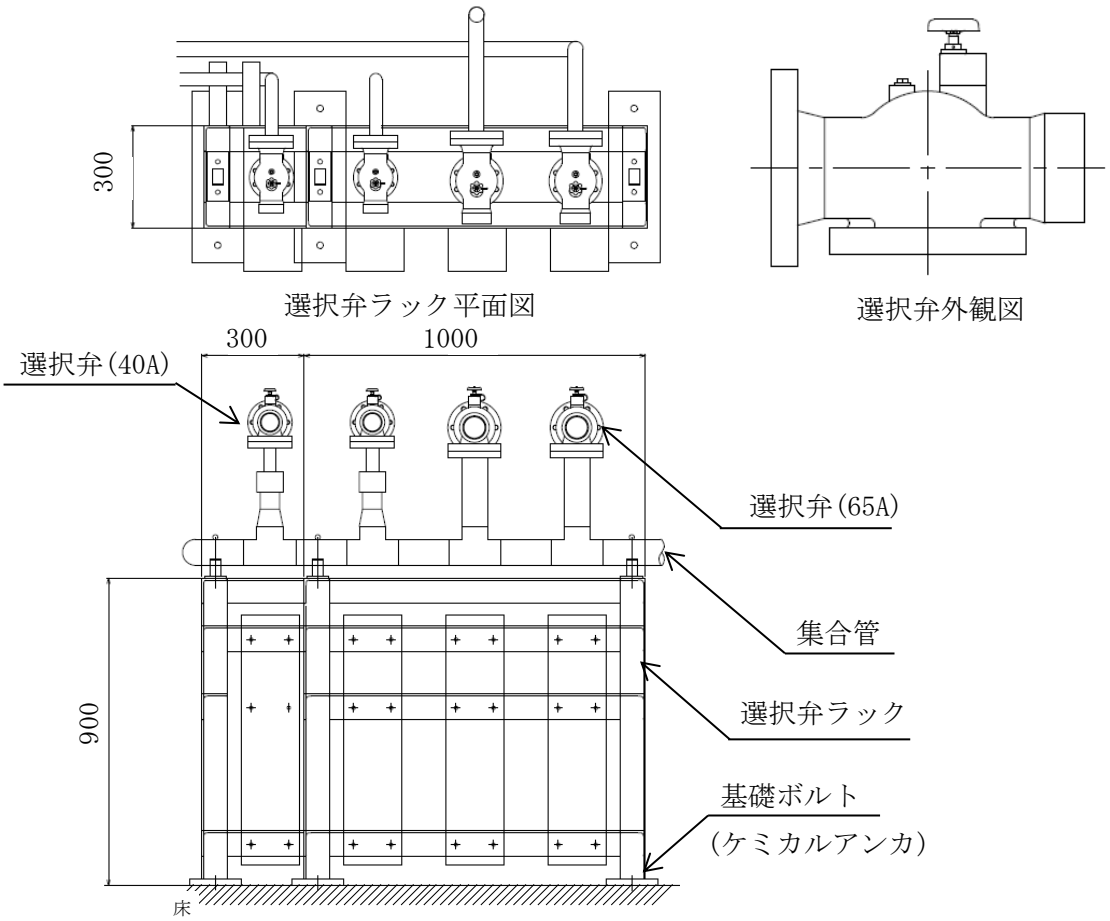
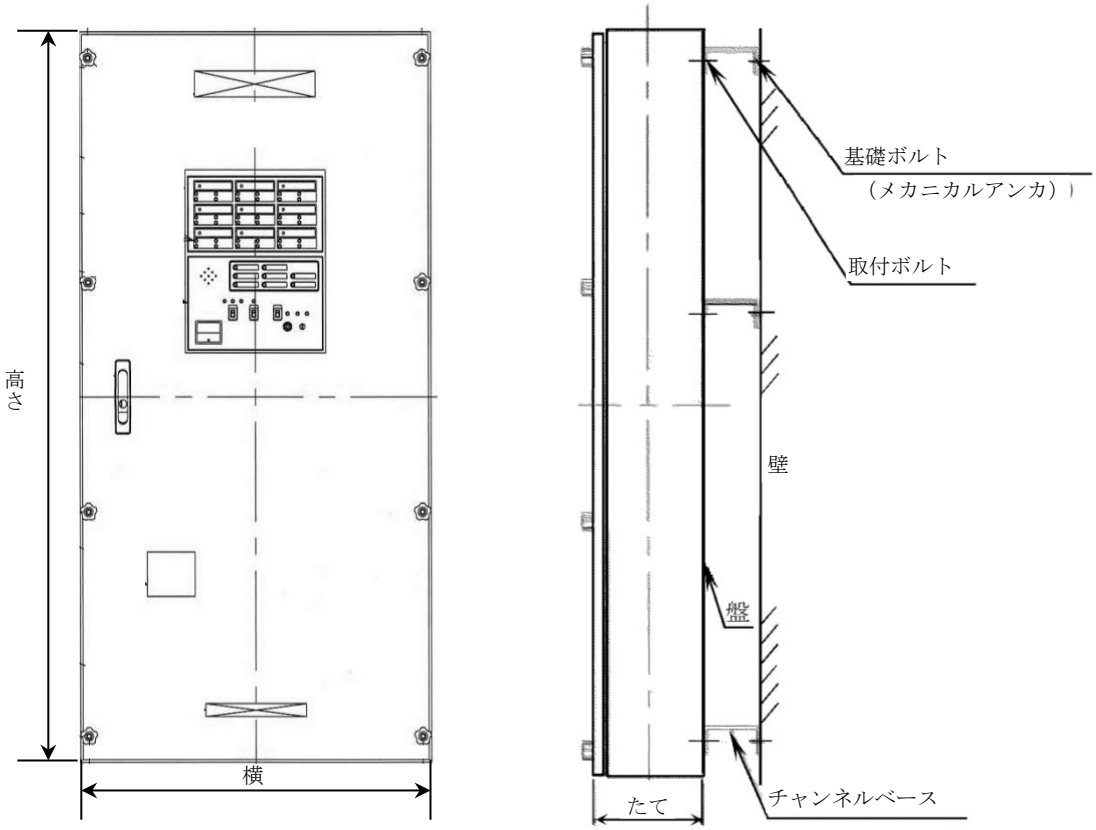


図 2－10　選択弁の概要図

表 2－4　火災防護設備のうち制御盤（全域ガス消火設備）の構造計画

機器名称	計画の概要		説明図
	基礎・支持構造	主体構造	
制御盤（全域ガス消火設備）	制御盤（全域ガス消火設備）は，チャンネルベースに取付ボルトで設置する。チャンネルベースは基礎ボルトにて壁に設置する。	壁掛形（鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）	図 2－11



（単位：mm）

機器名称	制御盤（全域ガス消火設備） 自動 3 回線	制御盤（全域ガス消火設備） 自動 9 回線
たて	200	200
横	550	700
高さ	950	1400

図 2－11　制御盤（全域ガス消火設備）の概要図*

注記＊：制御盤（全域ガス消火設備）のうち自動 9 回線の制御盤（全域ガス消火設備）を代表に記載する。

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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 年度版（2007 年追補版を含む））（以下「設計・建設規格」という。）

・鋼構造設計基準　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）

・各種合成構造設計指針・同解説（(社）日本建築学会，2010 改定）

・日本産業規格（ＪＩＳ）

2.4　記号の説明

表 2－5　火災受信機盤の応力評価に用いる記号の定義

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_{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（直立形）*1, *3	mm
ℓ_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離（直立形）*1, *3	mm
m_i	盤の質量*2	kg
n_i	ボルトの本数*1	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数（直立形）*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
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa

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

i ＝1：基礎ボルト

i ＝2：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：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

表2－6　ボンベラックの応力評価に用いる記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	ボンベラック部材の断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_{sx}	ボンベラック部材のせん断断面積（x方向）	mm^2
A_{sy}	ボンベラック部材のせん断断面積（y方向）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_o	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_x	ボンベラック部材のせん断力（x方向）	N
F_y	ボンベラック部材のせん断力（y方向）	N
F_{sb}	基礎ボルトのせん断力	N
F_t	ボンベラック部材の軸力	N
F_{tb}	基礎ボルトの引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	ボンベラック部材の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
J	ボンベラック部材のねじり定数	mm^4
M_x	ボンベラック部材の曲げモーメント（x方向）	N･mm
M_y	ボンベラック部材の曲げモーメント（y方向）	N･mm
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
T	ボンベラック部材のねじりモーメント	N･mm
t	ボンベラック部材の最大板厚	mm
Z_x	ボンベラック部材の断面係数（x方向）	mm^3
Z_y	ボンベラック部材の断面係数（y方向）	mm^3
σ_b	ボンベラック部材に生じる曲げ応力	MPa
σ_f	ボンベラック部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	ボンベラック部材に生じる軸応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	ボンベラック部材に生じる軸応力	MPa
σ_{tb}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	ボンベラック部材に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

表2－7　選択弁の応力評価に用いる記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	選択弁ラック部材の断面積	mm^2
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_{sx}	選択弁ラック部材のせん断断面積（x方向）	mm^2
A_{sy}	選択弁ラック部材のせん断断面積（y方向）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d_o	基礎ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3121.3 又は SSB-3133 に定める値	MPa
F_x	選択弁ラック部材のせん断力（x方向）	N
F_y	選択弁ラック部材のせん断力（y方向）	N
F_{sb}	基礎ボルトのせん断力	N
F_{tm}	選択弁ラック部材の軸力	N
F_{tb}	基礎ボルトの引張力	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_t	選択弁ラック部材の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
J	選択弁ラック部材のねじり定数	mm^4
M_x	選択弁ラック部材の曲げモーメント（x方向）	N･mm
M_y	選択弁ラック部材の曲げモーメント（y方向）	N･mm
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
T	選択弁ラック部材のねじりモーメント	N･mm
t	選択弁ラック部材の最大板厚	mm
Z_x	選択弁ラック部材の断面係数（x方向）	mm^3
Z_y	選択弁ラック部材の断面係数（y方向）	mm^3
σ_b	選択弁ラック部材に生じる曲げ応力	MPa
σ_f	選択弁ラック部材に生じる組合せ応力	MPa
σ_{fa}	選択弁ラック部材に生じる軸応力と曲げ応力の和	MPa
σ_t	選択弁ラック部材に生じる軸応力	MPa
σ_{tb}	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
τ	選択弁ラック部材に生じるせん断応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

表 2－8　制御盤（全域ガス消火設備）の応力評価に用いる記号の定義

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}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（壁掛形）*1	N
F_{b2i}	鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力（1 本当たり）（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	盤の質量*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（側面方向）（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（正面方向）（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_{1i}，ℓ_{2i}，ℓ_{3i}，n_i，n_{fVi}，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：据付面

i ＝2：取付面

＊3：$\ell_{1i} \leqq \ell_{2i}$

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2－9から表2－12に示すとおりである。

表2－9　火災受信機盤の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。

表 2－10　ボンベラックの表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		―	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	―	―	整数位
質量		kg	―	―	整数位*1
長さ	下記以外の長さ	mm	―	―	整数位*1
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位*2	四捨五入	小数点以下第 1 位*3
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*4
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*4
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*4
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*5		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
機能維持評価用加速度		$\times 9.8 m/s^2$	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度		$\times 9.8 m/s^2$	―	―	小数点以下第 2 位

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

＊2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は，小数点以下第 3 位表示とする。

＊3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は，小数点以下第 2 位表示とする。

＊4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

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

表 2－11　選択弁の表示する数値の丸め方

数値の種類		単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期		s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度		―	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度		℃	―	―	整数位
質量		kg	―	―	整数位*1
長さ	下記以外の長さ	mm	―	―	整数位*1
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位*2	四捨五入	小数点以下第 1 位*3
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*4
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*4
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*4
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*5		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
機能維持評価用加速度		$\times 9.8 m/s^2$	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
機能確認済加速度		$\times 9.8 m/s^2$	―	―	小数点以下第 2 位

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

＊2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は，小数点以下第 3 位表示とする。

＊3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は，小数点以下第 2 位表示とする。

＊4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

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

表 2－12　制御盤（全域ガス消火設備）の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

火災防護設備の耐震評価は，「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき，以下について評価を実施する。

(1) 火災受信機盤

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

火災受信機盤は，耐震性を有する廃棄物処理建物等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に感知する機能を保持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

火災受信機盤は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に感知する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，火災受信機盤を固定する火災受信機盤の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としている。これを踏まえ，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(2) ボンベラック

a. ボンベラック及び基礎ボルト

ボンベラックは，耐震性を有する原子炉建物等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

ボンベラックは，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，ボンベラックの構成品であるボンベラック部材及び基礎ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(3) 選択弁

a. 選択弁ラック及び基礎ボルト

選択弁ラックは，耐震性を有する原子炉建物等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

選択弁は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，選択弁の構成品である選択弁ラック及び基礎ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

(4) 制御盤（全域ガス消火設備）

a. 基礎ボルト及び取付ボルト

制御盤（全域ガス消火設備）は，耐震性を有する原子炉建物等にボルトで固定し，主要な構造部材が火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に対する火災の影響を限定し，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とすることを構造強度上の性能目標とし，具体的には以下に示す構造強度を有する設計とする。

制御盤（全域ガス消火設備）は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，主要な構造部材が，火災を早期に消火する機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。

したがって，制御盤（全域ガス消火設備）を固定する制御盤（全域ガス消火設備）の基礎ボルト及び取付ボルトの許容限界は，基準地震動Ｓｓによる地震力に対し，塑性ひずみが生じる場合であっても，その量が微小なレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有することを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に準じて許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$の許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

4.　固有周期

火災感知設備及び消火設備の固有周期は，振動試験，３次元多質点系はりモデル又は，はり・シェルモデルによる解析により求める。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

5.1.1　火災受信機盤

火災受信機盤の構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

5.1.2　ボンベラック

(1) ボンベラックについては，３次元多質点系はりモデル又は，はり・シェルモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

(2) ガスボンベは，ボンベラックに固定され，ボンベラックは，基礎ボルトにより建物躯体である壁若しくは床に固定される。

(3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果，１次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として最大応答加速度の1.2倍の加速度による静的解析を行い，20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.1.3　選択弁

(1) 選択弁ラックについては，３次元多質点系はりモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

(2) 選択弁は，集合管に固定され，選択弁ラックは，基礎ボルトにより建物躯体である床に固定される。

(3) 動的地震力による解析は固有値解析の結果，１次固有振動数が20Hz以上の場合は剛構造として最大応答加速度の1.2倍の加速度による静的解析を行い，20Hz未満の場合は柔構造としてスペクトルモーダル解析を行う。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.1.4　制御盤（全域ガス消火設備）

制御盤（全域ガス消火設備）の構造強度評価は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-９　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の種類

荷重は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す荷重を用いる。

5.2.2　荷重の組合せ

荷重の組合せは，火災起因の荷重は発生しないため，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1　構造強度上の制限」に示す，機器，配管系の荷重の組合せを用いる。

評価対象部位ごとの荷重の組合せを表5－1に示す。

5.2.3　許容応力

許容限界は，Ⅵ-1-1-8の「5.1　火災感知設備について」及び「5.2　消火設備について」に示す設備ごとの構造強度上の性能目標に従い，評価対象部位ごとに設定する。

各評価項目の許容限界を表5－2から表5－5に示す。

5.2.4　ボルト許容引張応力

ボルトの許容引張応力f_{ts}を次式に示す。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.2.4.1)$$

許容引張応力f_{to}は下表による。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$

表 5－1　設備ごとの荷重の組合せ及び許容応力状態

施設分類	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
ＤＢ	火災受信機盤	Ｃ	－*	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ⅣＡＳ
	ボンベラック	Ｃ	－*	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ⅣＡＳ
	選択弁	Ｃ	－*	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ⅣＡＳ
	制御盤（全域ガス消火設備）	Ｃ	－*	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ⅣＡＳ

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5－2　火災受信機盤の許容限界

許容応力状態	許容限界*1，*2（ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・f_t*	1.5・f_s*

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　ボンベラックの許容限界

許容応力状態	許容限界*1，*2（部材）	許容限界*1，*2（基礎ボルト）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・f_t*	1.5・f_t*	1.5・f_s*

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

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

表 5－4　選択弁の許容限界

許容応力状態	許容限界*1，*2 （部材）	許容限界*1，*2 （基礎ボルト）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・f $_t$*	1.5・f $_t$*	1.5・f $_s$*

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

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

表 5－5　制御盤（全域ガス消火設備）の許容限界

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅣＡＳ	1.5・f $_t$*	1.5・f $_s$*

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。

5.3　設計用地震力

地震力は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づく地震力又はそれを上回る地震力を設定する。

5.4　計算方法

5.4.1　火災受信機盤の計算方法

火災受信機盤の計算方法は，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

5.4.2　ボンベラックの計算方法

ボンベラックについては，３次元ＦＥＭモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また，「2.2　評価対象設備」の表2－2に示すとおり，容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定し，ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックを基礎ボルトにより据え付けるため，ボンベラック及び基礎ボルト，それぞれに対し構造強度評価を実施する。

(1) ボンベラックの構造強度評価

a. ボンベラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めたボンベラック部材の軸応力，曲げ応力及びせん断応力を用いて，以下の式によりボンベラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.2.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_y} + \frac{M_y}{Z_x} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.2.2)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{F_x}{A_{sx}} + \frac{F_y}{A_{sy}} + \frac{T \cdot t}{J} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.2.3)$$

ボンベラックの組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.2.4)$$

ここで，

$$\sigma_{fa} = \sigma_t + \sigma_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.2.5)$$

(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{tb}}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.2.6)$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.2.7)$$

5.4.3 選択弁ラックの計算方法

選択弁ラックについては，３次元ＦＥＭモデルによる地震応答解析から求めた荷重を用いて構造強度評価を実施する。

また，「2.2 評価対象設備」の表2－3に示すとおり，選択弁を取り付けた集合管を選択弁ラックに固定し，選択弁ラックを基礎ボルトにより据え付けるため，選択弁ラック及び基礎ボルト，それぞれに対し構造強度評価を実施する。

(1) 選択弁ラックの構造強度評価

a. 選択弁ラック部材に発生する組合せ応力の算出

地震応答解析結果から求めた選択弁ラック部材の軸応力，曲げ応力及びせん断応力を用いて，以下の式により選択弁ラックの組合せ応力を算出する。

軸応力

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.3.1)$$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_x}{Z_y} + \frac{M_y}{Z_x} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.3.2)$$

せん断応力

$$\tau = \frac{F_x}{A_{sx}} + \frac{F_y}{A_{sy}} + \frac{T \cdot t}{J} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.3.3)$$

選択弁ラックの組合せ応力

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_{fa}^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.3.4)$$

ここで,

$$\sigma_{fa} = \sigma_t + \sigma_b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.3.5)$$

(2) 基礎ボルトの構造強度評価

a. 基礎ボルトに発生する引張応力の算出

基礎ボルトの引張力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトの引張応力を算出する。

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{tb}}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.3.6)$$

b. 基礎ボルトに発生するせん断応力の算出

基礎ボルトのせん断力及び基礎ボルトの断面積を用いて，以下の式により基礎ボルトのせん断応力を算出する。

$$\tau_b = \frac{F_{sb}}{A_b} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.3.7)$$

5.4.4 制御盤（全域ガス消火設備）の計算方法

制御盤（全域ガス消火設備）の計算方法は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-９　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

6. 機能維持評価

火災感知設備及び消火設備は，機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能及び電気的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.1 火災受信機盤

火災受信機盤は，機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の電気的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.2　ボンベラック

ボンベラックのうち容器弁は，機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.3　選択弁

選択弁は，機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度又は配管の応答解析により定まる選択弁の応答加速度のいずれか大きい値を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6.4　制御盤（全域ガス消火設備）

制御盤（全域ガス消火設備）は，機能維持評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の電気的機能を評価する。

機能維持評価用加速度は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき，基準地震動Ｓｓにより定まる応答加速度を設定する。

機能確認済加速度は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき加振試験により確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

Ⅵ-2-別添 1-2　火災感知設備の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-別添 1-2-2　火災受信機盤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 5
3.1 固有周期の確認方法 5
3.2 固有周期の確認結果 5
3.3 設計用地震力 6
4. 構造強度評価 6
4.1 構造強度評価方法 6
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 6
4.3 計算条件 6
5. 機能維持評価 9
5.1 電気的機能維持評価方法 9
6. 評価結果 10

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の基本方針」（以下「Ⅵ-2-別添 1-1」という。）に示すとおり，火災受信機盤が基準地震動Ｓｓによる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おり，火災を早期に感知する機能を維持することを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

火災受信機盤の構造計画を表 2－1 から表 2－3 に，火災受信機盤の概要図を図 2－1 から図 2－3 に示す。

表 2－1　火災受信機盤①の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤①は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	図 2－1

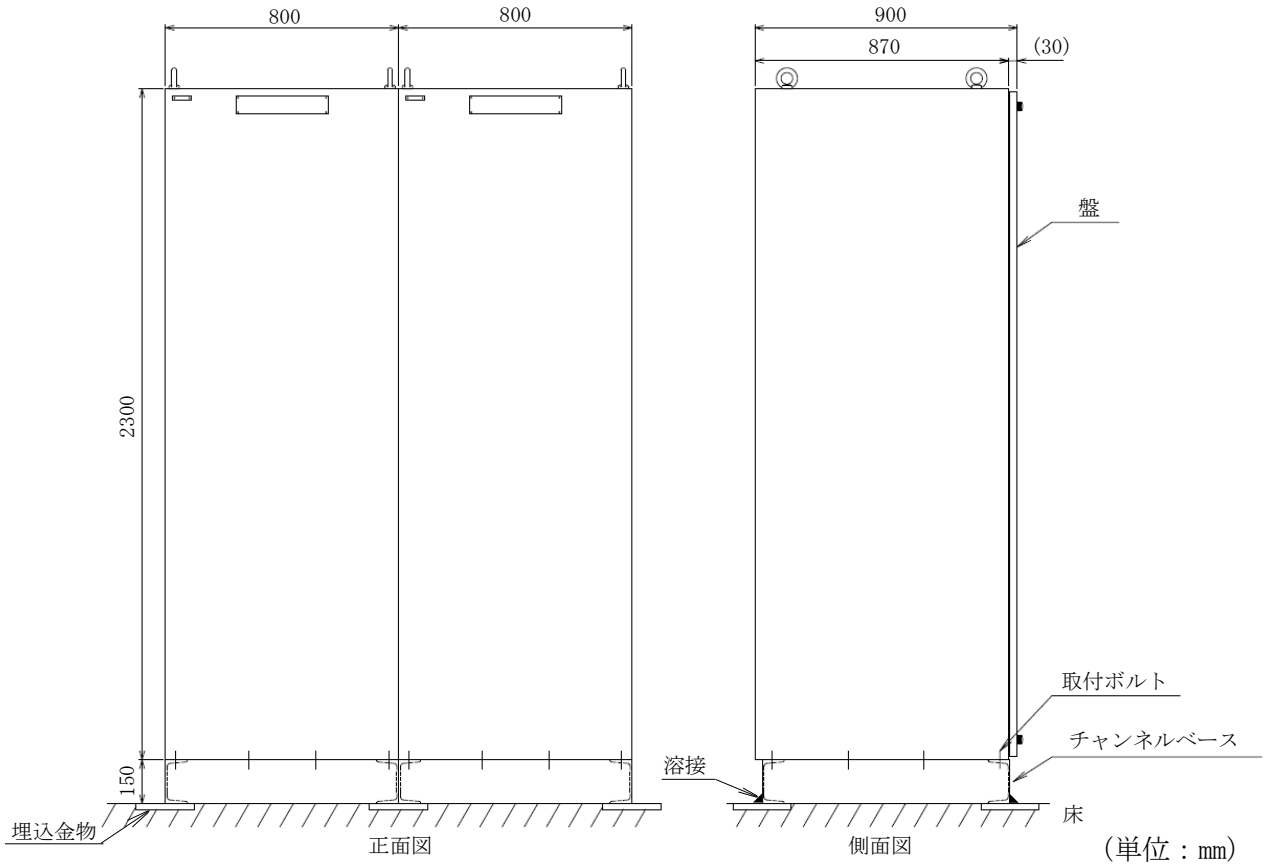


図 2－1　火災受信機盤①の概要図

表 2－2　火災受信機盤②の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤②は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは溶接にて基礎架台に固定され，基礎架台は基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	図 2－2

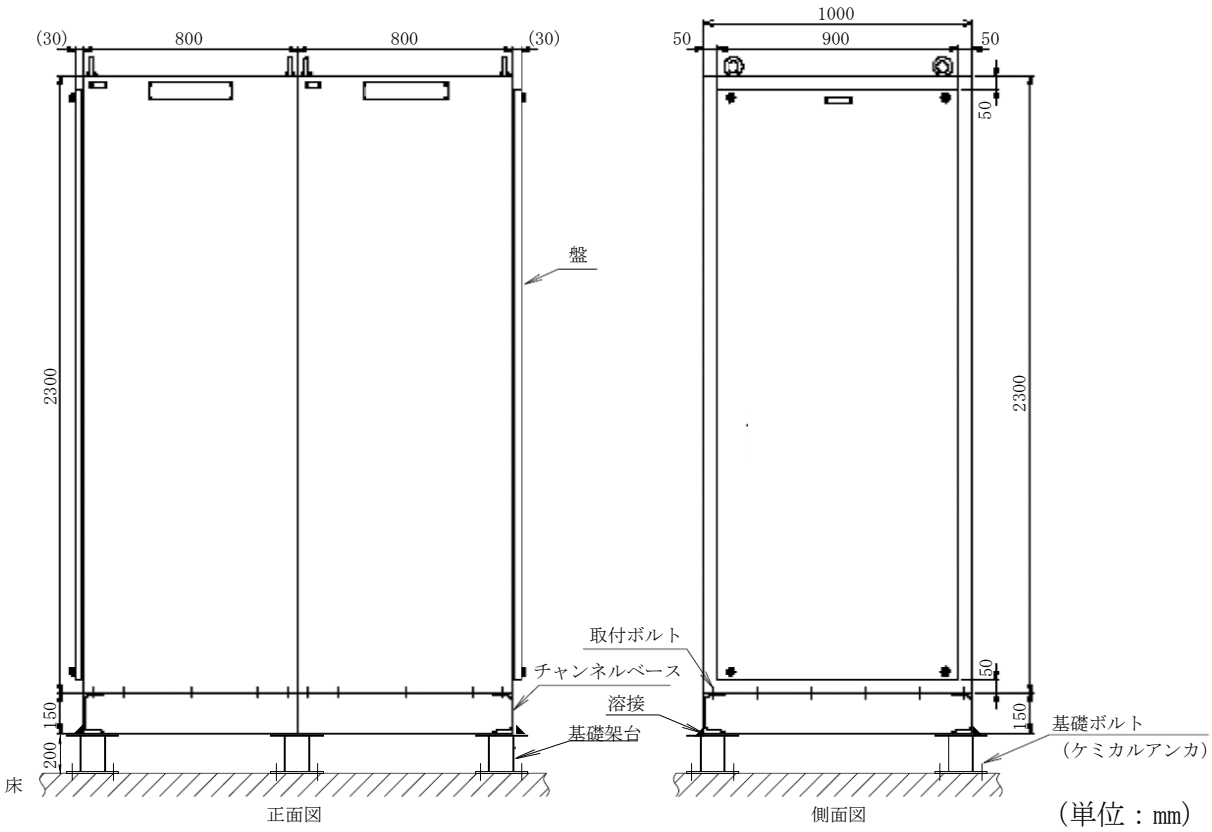
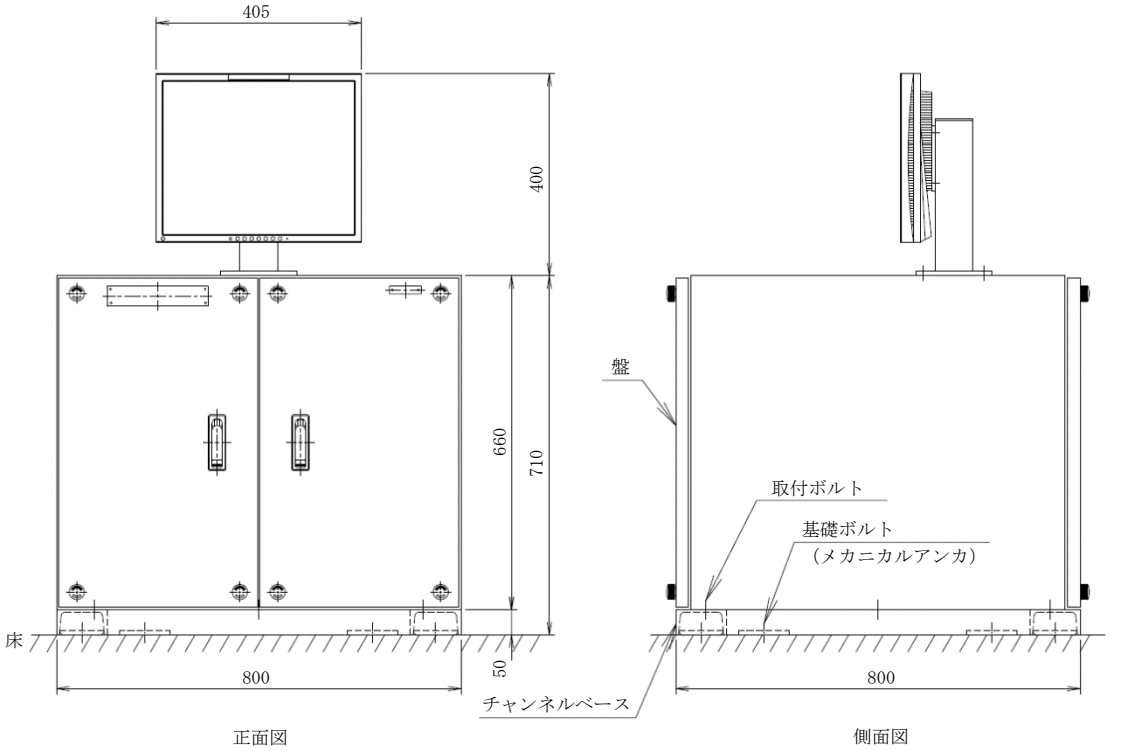


図 2－2　火災受信機盤②の概要図

表 2－3　火災受信機盤③の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
火災受信機盤③は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは基礎ボルトにて基礎に設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤）	図 2－3



（単位：mm）

図 2－3　火災受信機盤③の概要図

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認方法

火災受信機盤の固有周期は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「4.　固有周期」に示す算出方法に基づき，振動試験（加振試験）の結果算定された固有周期を使用する。

3.2　固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

火災受信機盤の固有周期は，火災受信機盤①，②，③共に 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表3－1　固有周期　（単位：s）

盤名称	方向	固有周期
火災受信機盤①	水平	0.047
	鉛直	0.030 以下
火災受信機盤②	水平	0.050
	鉛直	0.030 以下
火災受信機盤③	水平	0.020 以下
	鉛直	0.020 以下

3.3　設計用地震力

火災受信機盤の評価に用いる「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

火災受信機盤は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.1　構造強度評価方法」に示す評価方針に従い，構造強度評価を実施する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.2　荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態を火災受信機盤の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4－1 に示す。

4.2.2　許容応力及び許容応力評価条件

火災受信機盤の基礎ボルト及び取付ボルトにおける許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－2 に示す。また，基礎ボルト及び取付ボルトの許容応力評価条件を表 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【火災受信機盤①の耐震性についての計算結果】，【火災受信機盤②の耐震性についての計算結果】，【火災受信機盤③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
その他 発電用原子炉 の附属施設	火災 防護設備	火災受信機盤	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

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

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

表 4－3　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400相当 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―
取付ボルト	SS400相当 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

火災受信機盤は，VI-2-別添 1-1 の「6. 機能維持評価」に示す評価方法に従い，機能維持評価を実施する。

火災受信機の機能確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，実機の据付状態を模擬したうえで，当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1 機能確認済加速度 （×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
火災受信機盤①，②	水平	4.3
	鉛直	1.4
火災受信機盤③	水平	3.2
	鉛直	1.3

6. 評価結果

火災受信機盤の構造強度評価結果及び機能維持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，基準地震動Ｓｓによる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おり，火災を早期に感知する機能を維持することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【火災受信機盤①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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
火災受信機盤①	C	廃棄物処理建物 EL 16.9*1	0.047	0.030 以下	—	—	C_H=1.88*2	C_V=1.46*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
注記＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (ｉ=2)	1350	1540	16 (M16)	201.1	20	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト (ｉ=2)	375	405	4	—	280	—	短辺方向
	765	765	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	－	1.302×10^{4}	－	2.489×10^{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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b2}=65$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=160$

すべて許容応力以下である。

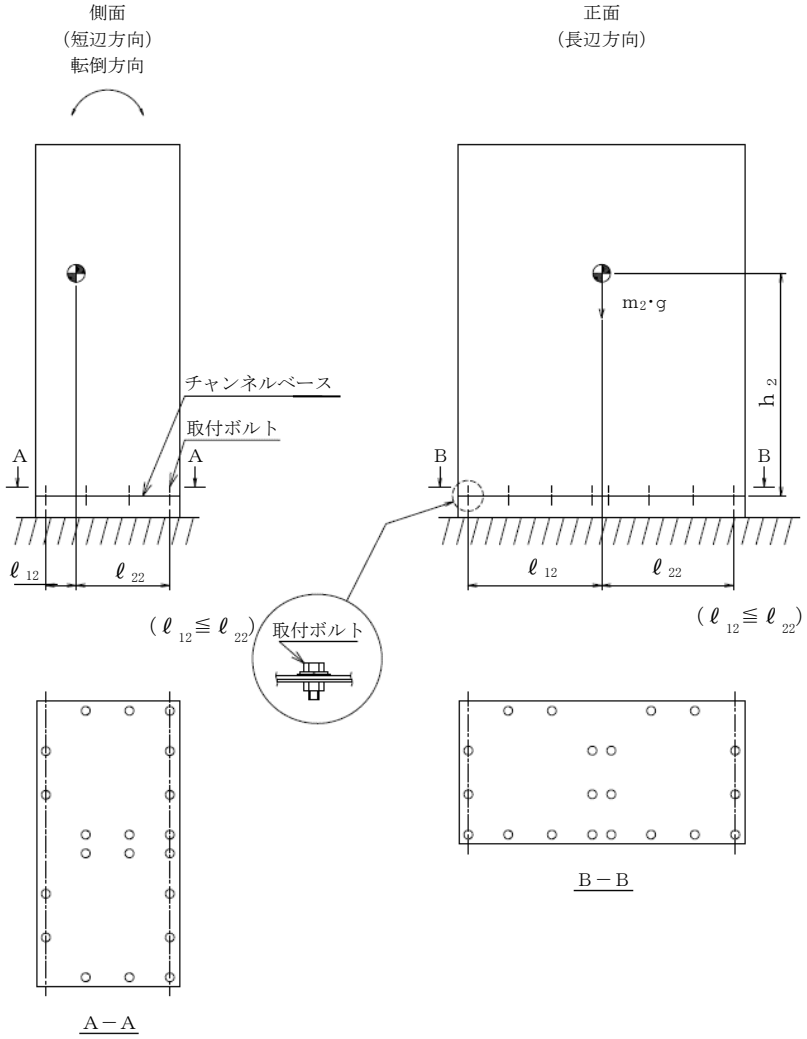
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s²）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災受信機盤①	水平方向	1.56	4.3
	鉛直方向	1.22	1.4

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


側面
(短辺方向)
転倒方向
正面
(長辺方向)
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
B
B
m2・g
h2
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
取付ボルト
(ℓ12≦ℓ22)
A－A
B－B

【火災受信機盤②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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
火災受信機盤②	C	廃棄物処理建物 EL 16.9*1	0.050	0.030以下	—	—	C_H=1.88*2	C_V=1.46*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
注記＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト（ｉ＝1）	1774	1890	16 (M16)	201.1	24	235 (16mm＜径≦40mm)	400
取付ボルト（ｉ＝2）	1540	1540	16 (M16)	201.1	28	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	552.5	552.5	6	—	280	—	長辺方向
	852.5	852.5	4				
取付ボルト（ｉ＝2）	465	465	6	—	280	—	短辺方向
	765	765	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	－	1.006×10^{4}	－	3.271×10^{4}
取付ボルト（ｉ＝2）	－	8.415×10^{3}	－	2.839×10^{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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b1}=51$	$f_{ts1}=168^{*}$
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=128$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b2}=42$	$f_{ts2}=210^{*}$
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=6$	$f_{sb2}=160$

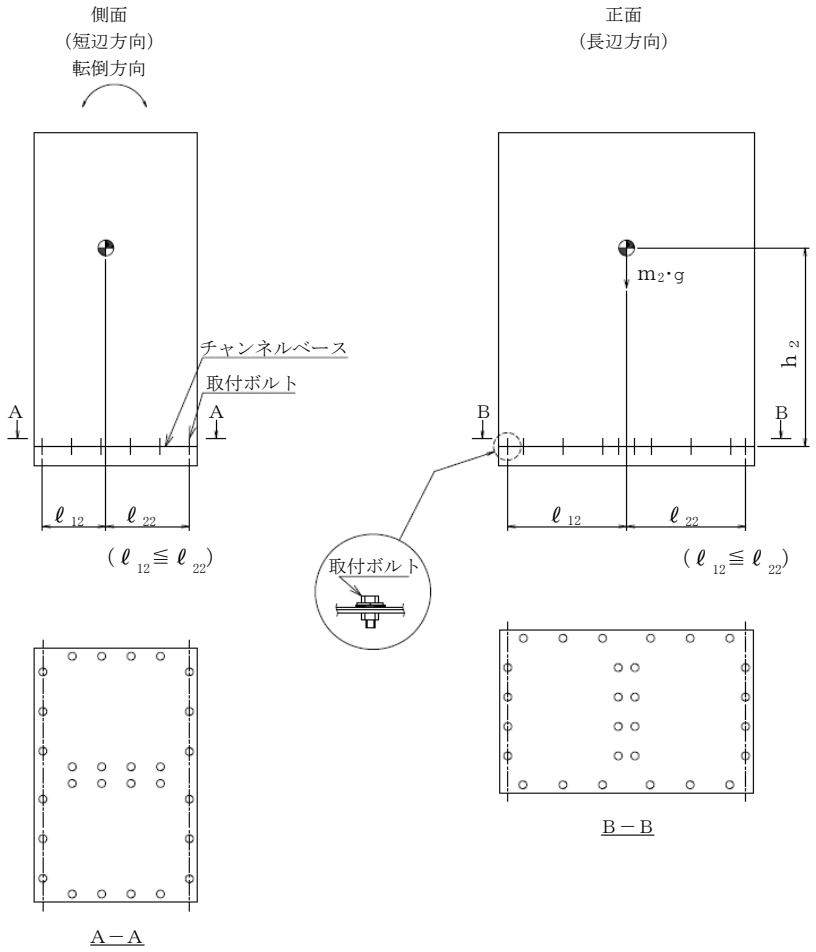
すべて許容応力以下である。　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

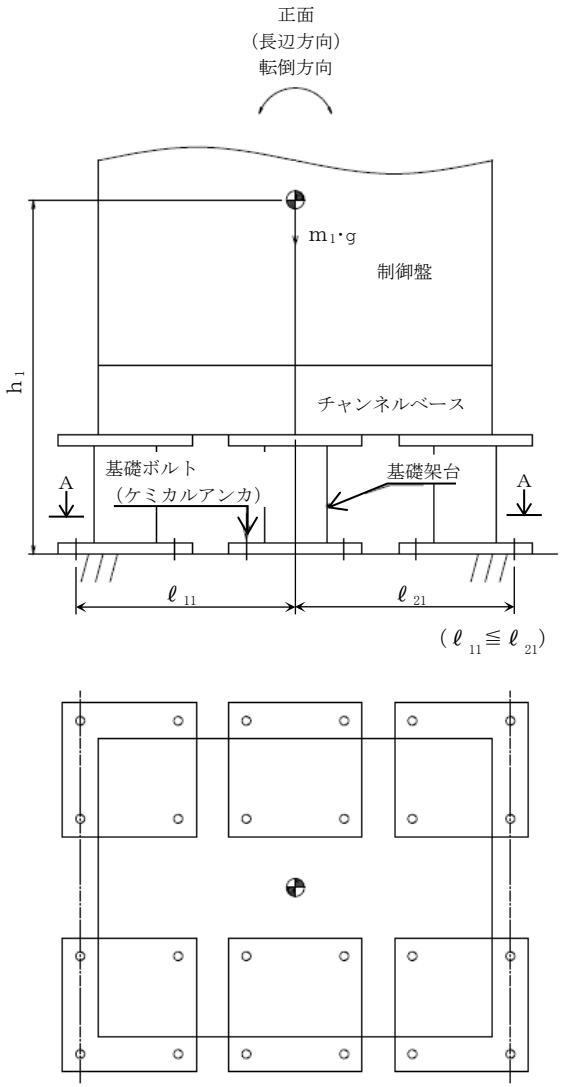
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s²）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災受信機盤②	水平方向	1.56	4.3
	鉛直方向	1.22	1.4

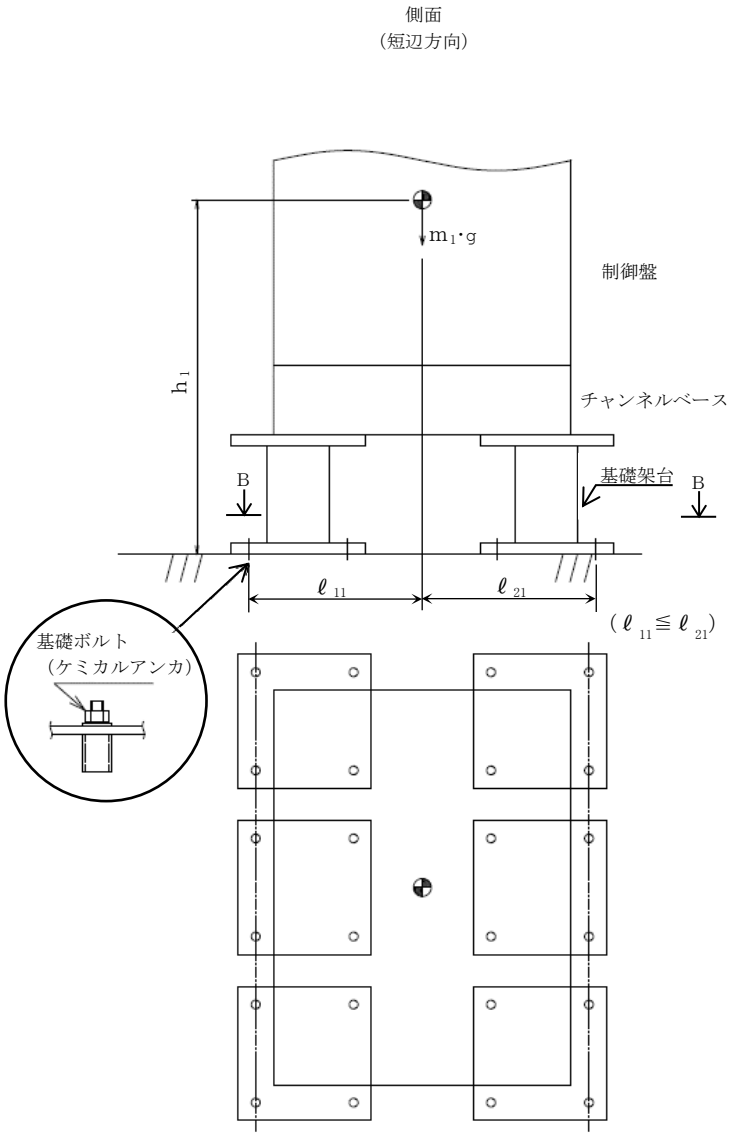
注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


側面
（短辺方向）
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
A
A
ℓ_{12}
ℓ_{22}
（$\ell_{12} \leqq \ell_{22}$）
A－A
正面
（長辺方向）
$m_2 \cdot g$
h_2
B
B
ℓ_{12}
ℓ_{22}
（$\ell_{12} \leqq \ell_{22}$）
取付ボルト
B－B


正面
（長辺方向）
転倒方向
m1・g
制御盤
h1
チャンネルベース
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）
基礎架台
A
A
ℓ11
ℓ21
（ℓ11≦ℓ21）

A－A


側面
（短辺方向）
m1・g
制御盤
h1
チャンネルベース
基礎架台
B
B
ℓ11
ℓ21
（ℓ11≦ℓ21）
基礎ボルト
（ケミカルアンカ）

B－B

【火災受信機盤③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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
火災受信機盤③	C	制御室建物 EL 16.9*1	0.020 以下	0.020 以下	—	—	C_H=3.41*2	C_V=1.58*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
注記＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト（ｉ＝1）	292	450	12 (M 12)	113.1	8	235 (16mm＜径≦40mm)	400
取付ボルト（ｉ＝2）	260	400	12 (M 12)	113.1	8	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	350	350	2	—	280	—	短辺方向
	350	350	2				
取付ボルト（ｉ＝2）	370	370	1	—	280	—	短辺方向
	340	340	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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	－	3.554×10^3	－	9.765×10^3
取付ボルト（ｉ＝2）	－	5.439×10^3	－	8.695×10^3

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b1}=32$	$f_{ts1}=168$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=11$	$f_{sb1}=128$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b2}=49$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=160$

すべて許容応力以下である。

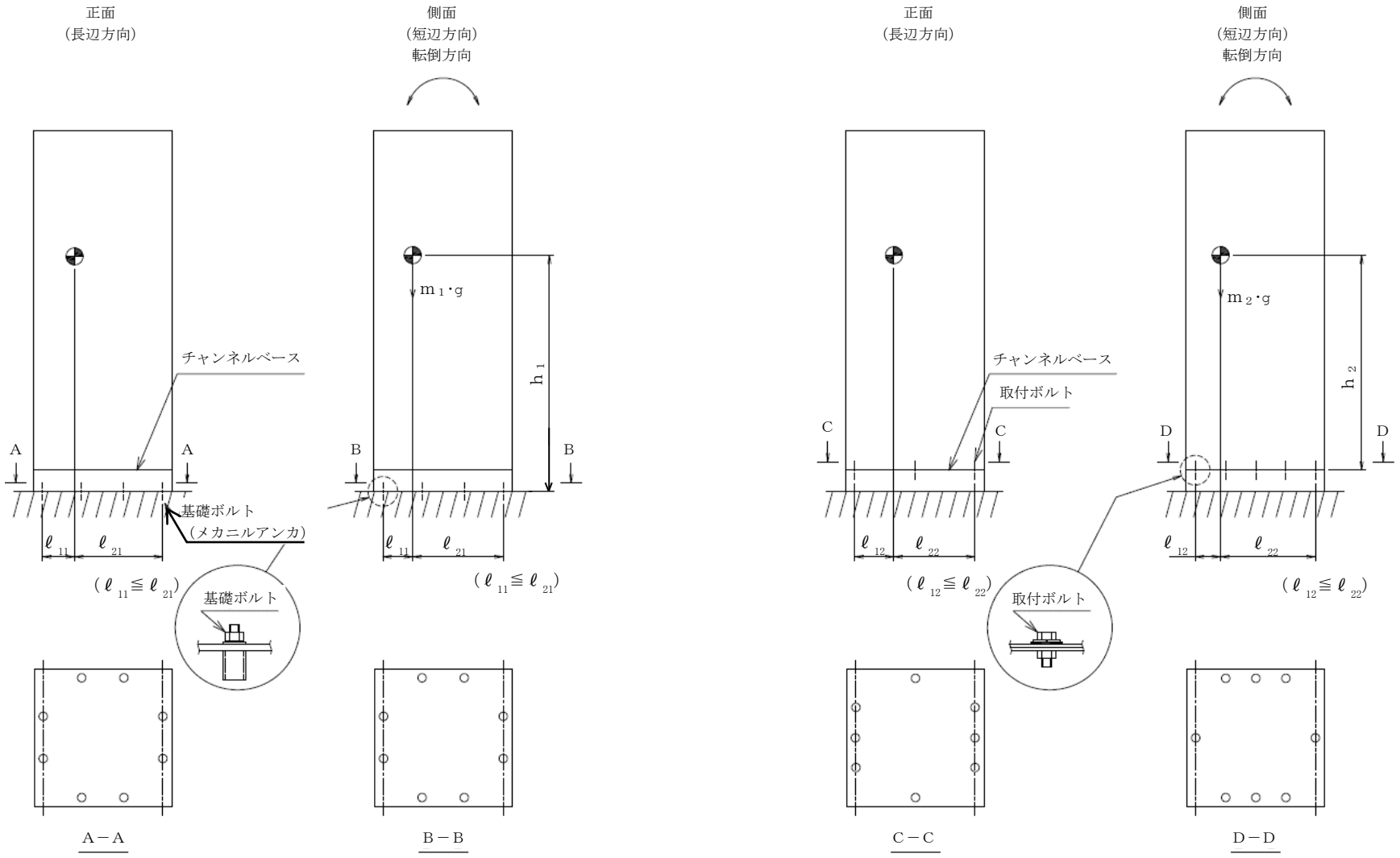
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s²）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
火災受信機盤③	水平方向	2.84	3.2
	鉛直方向	0.88	1.3

注記＊：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
側面
(短辺方向)
転倒方向
チャンネルベース
A
A
B
B
m1・g
h1
基礎ボルト
(メカニルアンカ)
ℓ11
ℓ21
(ℓ11≦ℓ21)
基礎ボルト
A－A
B－B
正面
(長辺方向)
側面
(短辺方向)
転倒方向
チャンネルベース
取付ボルト
C
C
D
D
m2・g
h2
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
取付ボルト
C－C
D－D

Ⅵ-2-別添 1-3　消火設備の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-別添1-3-1　ボンベラックの耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
3.　固有値確認及び構造強度評価 ····· 7
3.1　固有値確認及び構造強度評価方法 ····· 7
3.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 7
3.3　解析モデル及び諸元 ····· 11
3.4　固有周期 ····· 22
3.5　設計用地震力 ····· 30
4.　機能維持評価 ····· 31
4.1　動的機能維持評価方法 ····· 31
5.　評価結果 ····· 32

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-別添1-1「火災防護設備の耐震計算の基本方針」（以下「Ⅵ-2-別添1-1」という。）に示すとおり，ボンベラック及び容器弁が基準地振動Ｓｓによる地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有しており，火災を早期に消火する機能を維持していることを確認するものである。

2. 一般事項

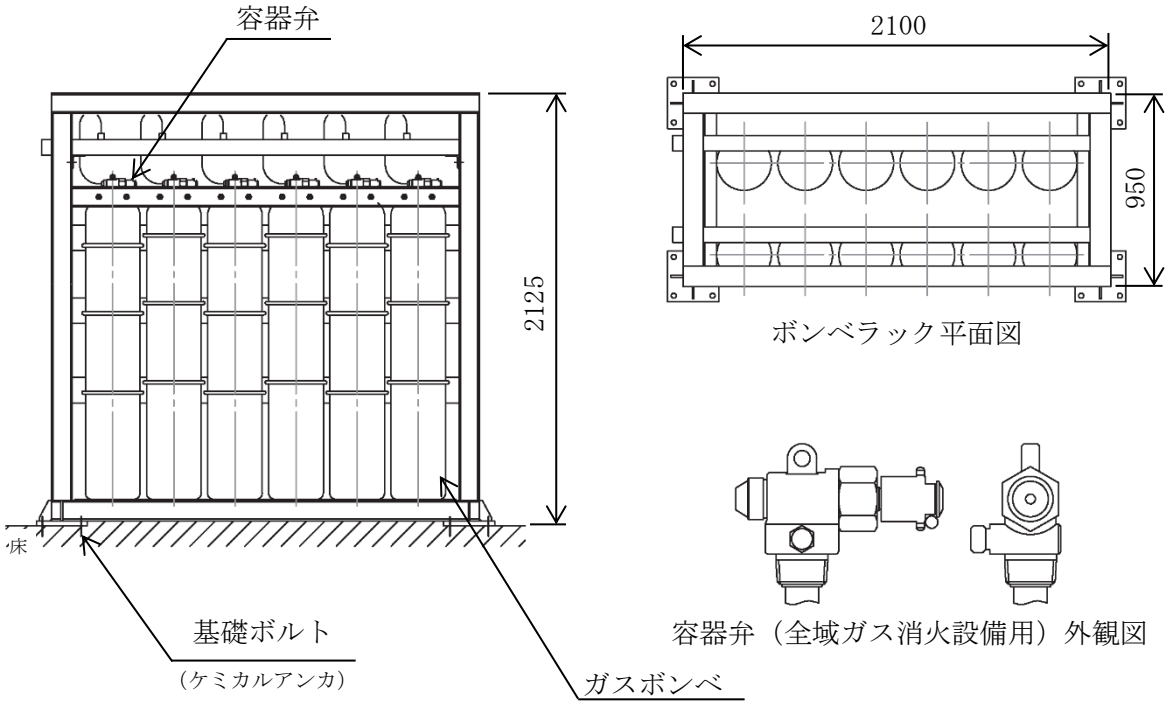
2.1 構造計画

ボンベラック及び容器弁の構造計画を表2－1から表2－5に示す。

ボンベラックは，火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず，煙，流出流体，爆発等の二次的影響を受けず，火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないように設置する。

表 2－1　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	図 2－1



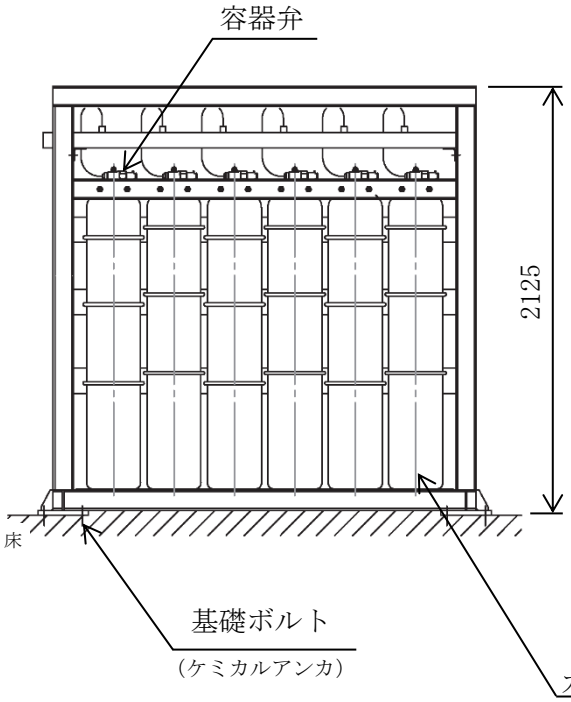
68ℓ 2 列 6 本用ボンベラック外観図

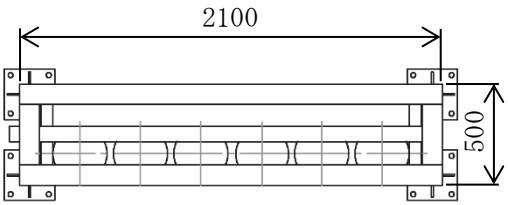
（単位：mm）

図 2－1　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の概要図

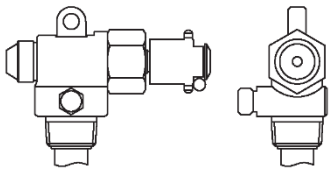
表 2－2　ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	図 2－2





ボンベラック平面図



容器弁（全域ガス消火設備用）外観図

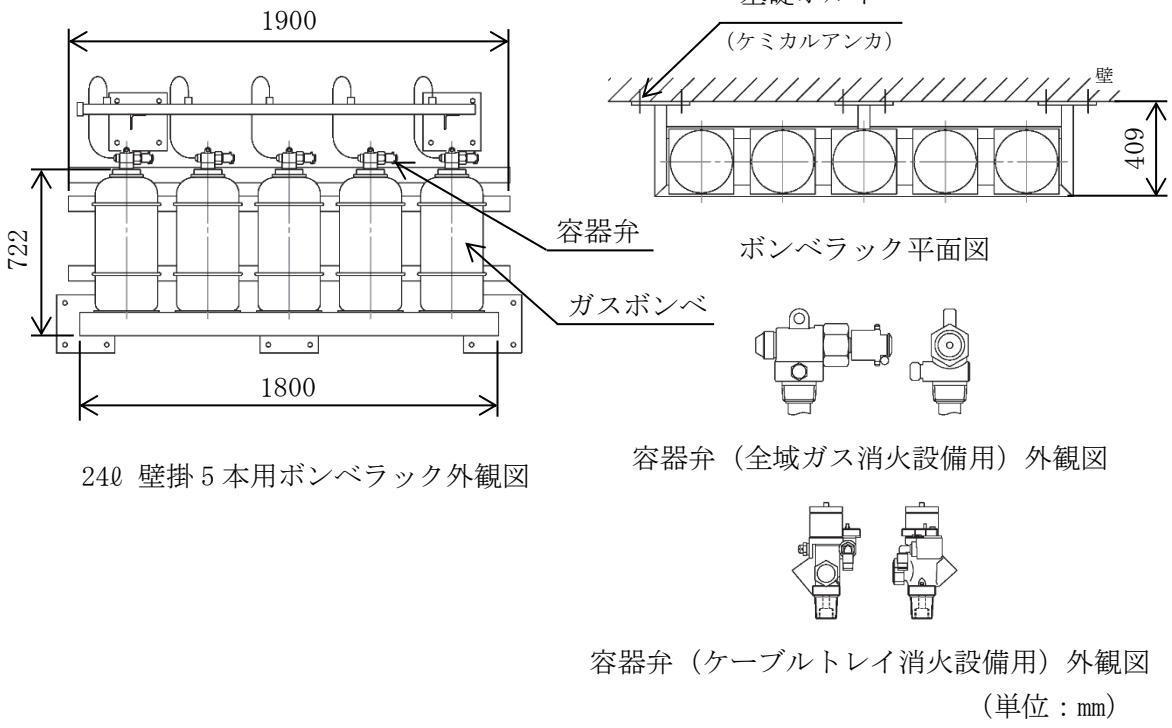
68ℓ 1 列 6 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

図 2－2　ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）の概要図

表 2－3　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて壁に設置する。なお，容器弁の形状が全域ガス消火設備用とケーブルトレイ消火用で異なるが，ガスボンベ及びボンベラックは同じ構造である。	ガスボンベ及び容器弁（壁掛形）	図 2－3



24ℓ 壁掛 5 本用ボンベラック外観図

ボンベラック平面図

容器弁（全域ガス消火設備用）外観図

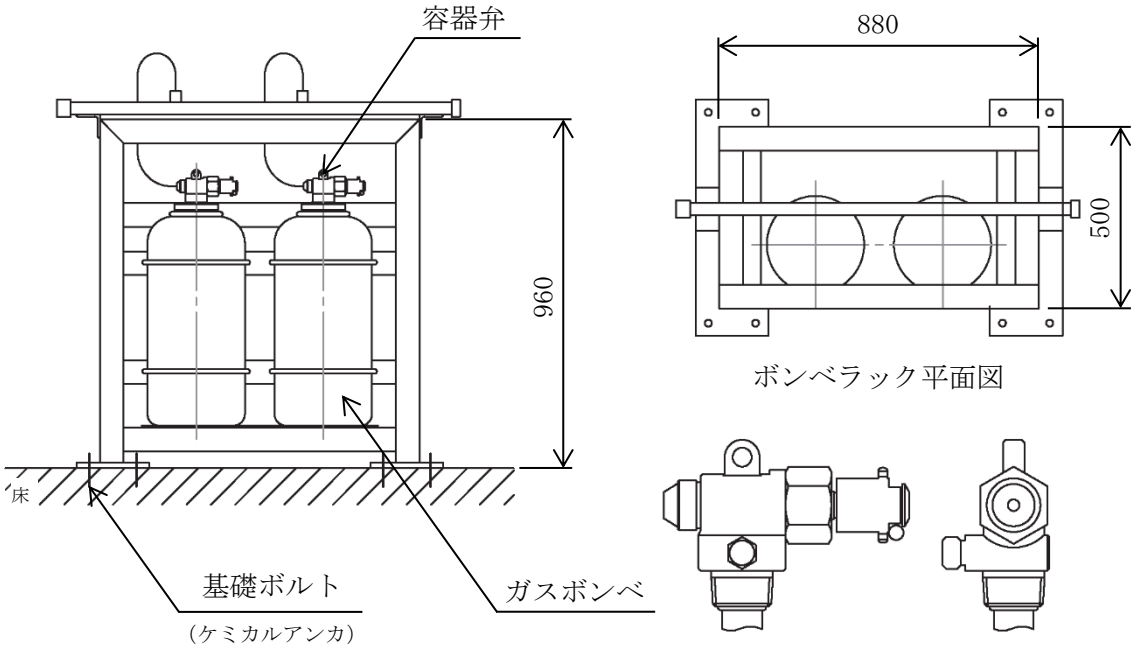
容器弁（ケーブルトレイ消火設備用）外観図

（単位：mm）

図 2－3　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の概要図

表 2－4　ボンベラック（240 ℓ 1 列 2 本用）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	ガスボンベ 及び容器弁 （直立形）	図 2－4



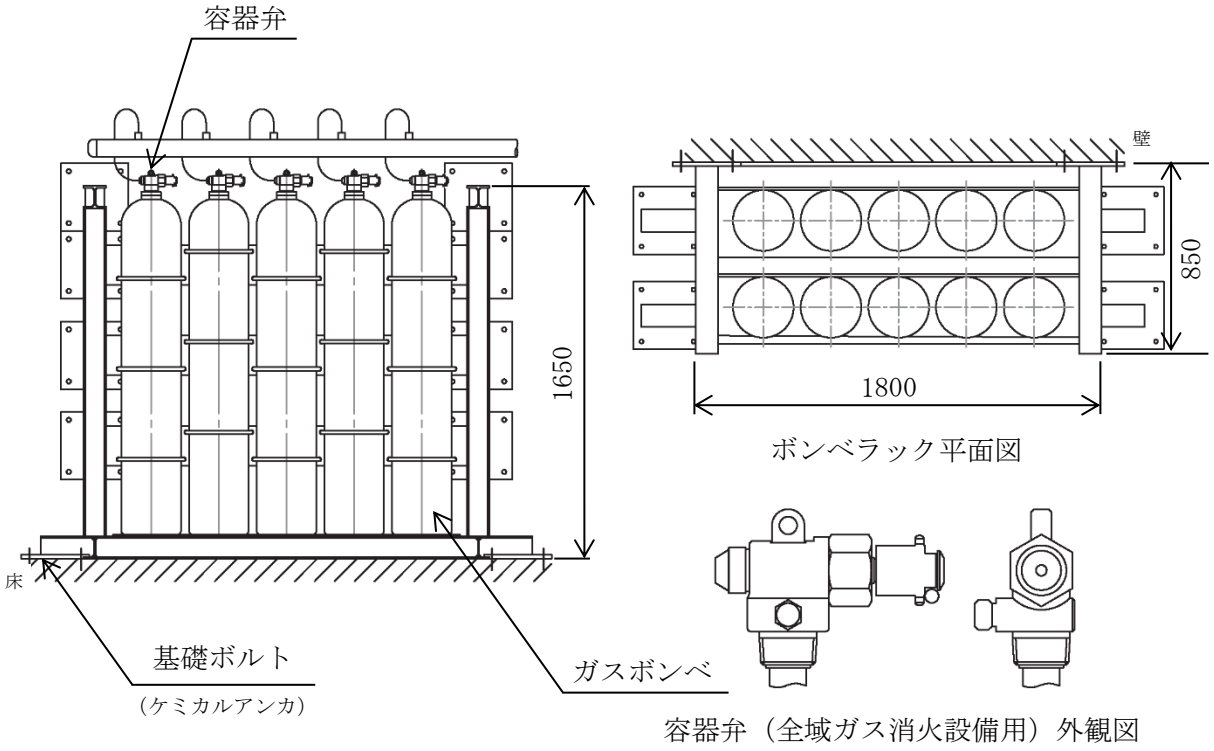
240 ℓ 1 列 2 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

図 2－4　ボンベラック（240 ℓ 1 列 2 本用）の概要図

表 2－5　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
容器弁は，ガスボンベにねじ込み固定する。ガスボンベは，ボンベラックに固定し，ボンベラックは基礎ボルトにて基礎及び壁に設置する。	ガスボンベ及び容器弁（壁支持を含む直立形）	図 2－5



68ℓ 2 列 5 本用ボンベラック外観図

（単位：mm）

図 2－5　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の概要図

3.　固有値確認及び構造強度評価

ボンベラックの固有周期及び構造強度評価は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「4.　固有周期」及び「5.1 構造強度評価方法」に示す評価方針に基づき，３次元ＦＥＭモデルによる解析又は正弦波掃引試験により固有周期及び構造強度評価を評価する。

3.1　固有値確認及び構造強度評価方法

3.1.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

(1)　ボンベラック

①　ボンベラックの確認方法

対象部位であるボンベラックについて，３次元ＦＥＭモデルによる解析を実施する。

②　容器弁の確認方法

容器弁は，正弦波掃引試験を実施する。

3.1.2　構造強度評価方法

ボンベラックの構造強度評価は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.1　構造強度評価方法」に示す評価方針に従い，構造強度評価を実施する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.2　荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は，ボンベラックの評価対象部位ごとに設定する。ボンベラックの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 3－1 に示す。

3.1.2　許容応力及び許容応力評価条件

ボンベラックにおける許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3－2 に示す。また，ボンベラック及び基礎ボルトの許容応力評価条件を表 3－3 から表 3－7 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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	ボンベラック	C	－*	$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3－2　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ボルト等以外）	許容限界*1，*2 （ボルト等）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

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

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

表 3－3　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の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（℃）		S_y (MPa)	S_u (MPa)	F＊ (MPa)
ボンベラック部材	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280
基礎ボルト	SS400 (16＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	280

表 3－4　ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）の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（℃）		S_y (MPa)	S_u (MPa)	F＊ (MPa)
ボンベラック部材	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280
基礎ボルト	SS400 (16＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	280

表 3－5　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の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（℃）		S_y (MPa)	S_u (MPa)	F＊ (MPa)
ボンベラック部材	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280

表 3－6　ボンベラック（24ℓ 1 列 2 本用）の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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
ボンベラック部材	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280

表 3－7　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)
ボンベラック部材	SS400 (厚さ≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280
基礎ボルト	SS400 (径≦16mm)	周囲環境温度	40	245	400	280

3.3　解析モデル及び諸元

「3.1.1　固有値確認方法」に示すガスボンベ設備の解析モデルを図 3－1 から図 3－5 に，解析モデルの諸元を表 3－8 から表 3－12 に，ハロンボンベラックの外観図を表 2－1 に示す。

(1) ボンベラックを構成する部材をはり要素又は板要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。

(2) 基礎ボルト部の拘束条件として，並進3方向固定又は完全固定とする。

(3) ガスボンベははり要素でモデル化し，ボンベ及び消火剤の質量を分布質量とする。

(4) ガスボンベは，ボンベ押さえにより浮上がりを固定されることから，鉛直方向は固定とする。

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

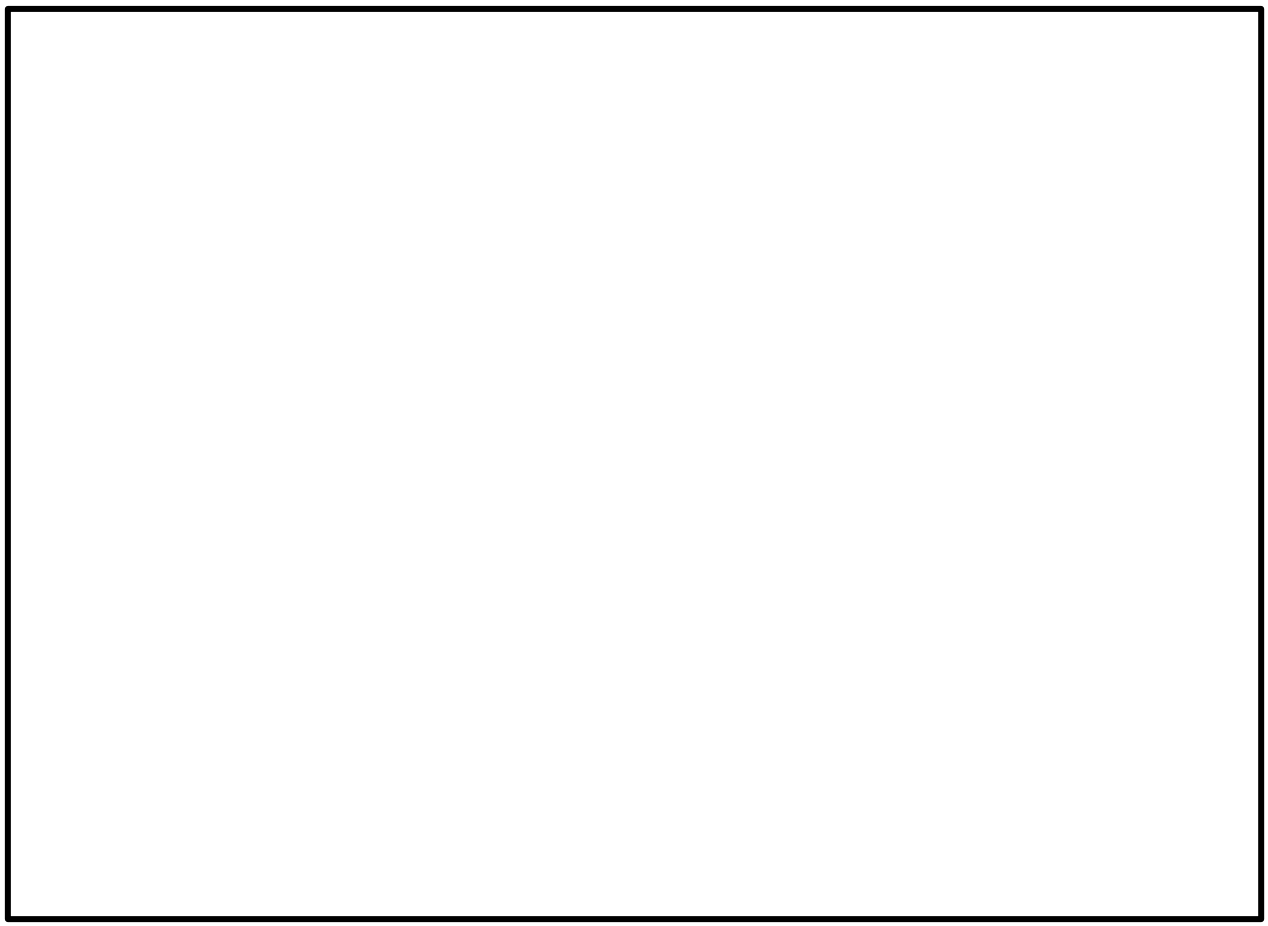


図 3－1　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の解析モデル

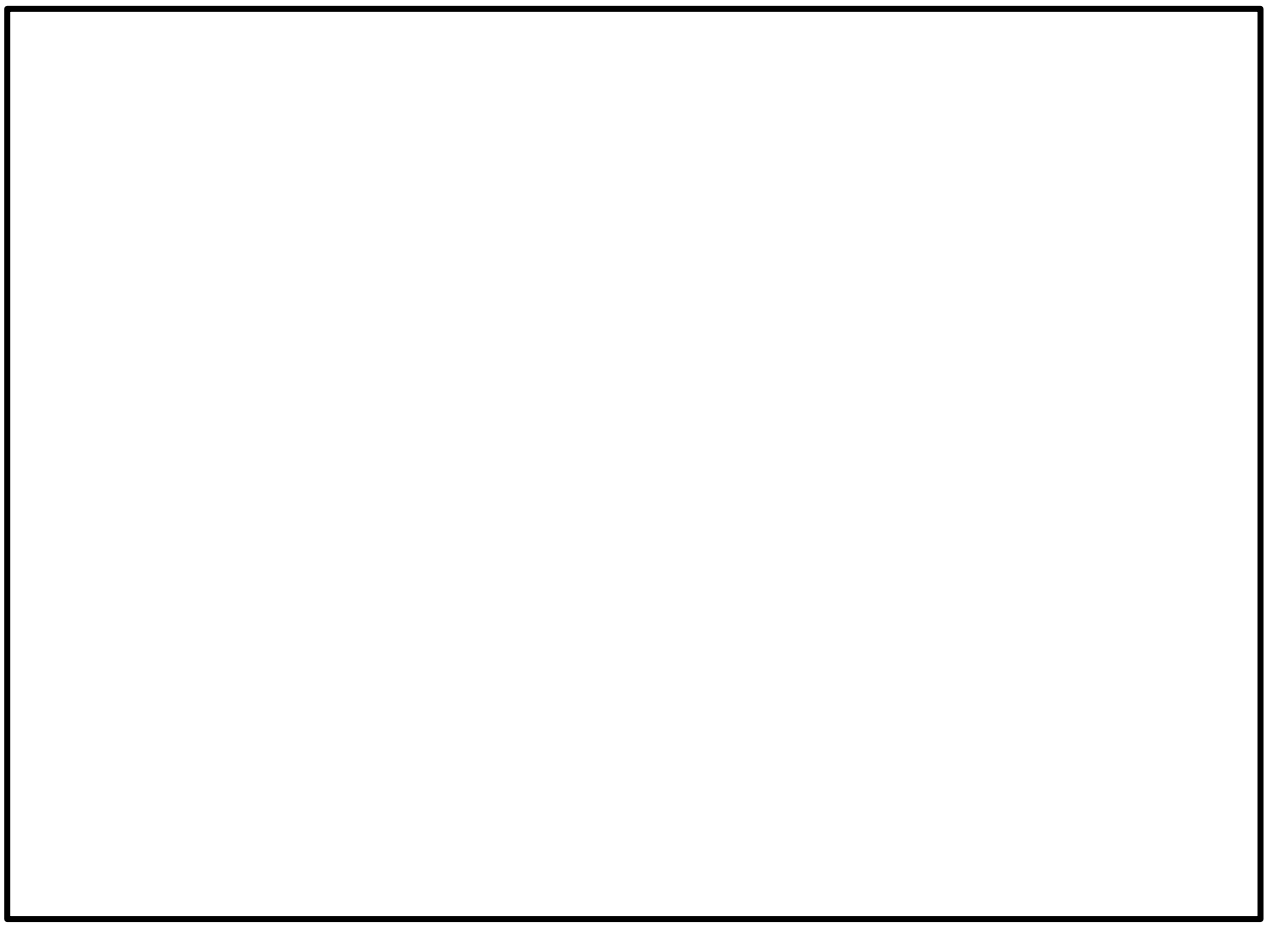


図 3－2　ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）の解析モデル

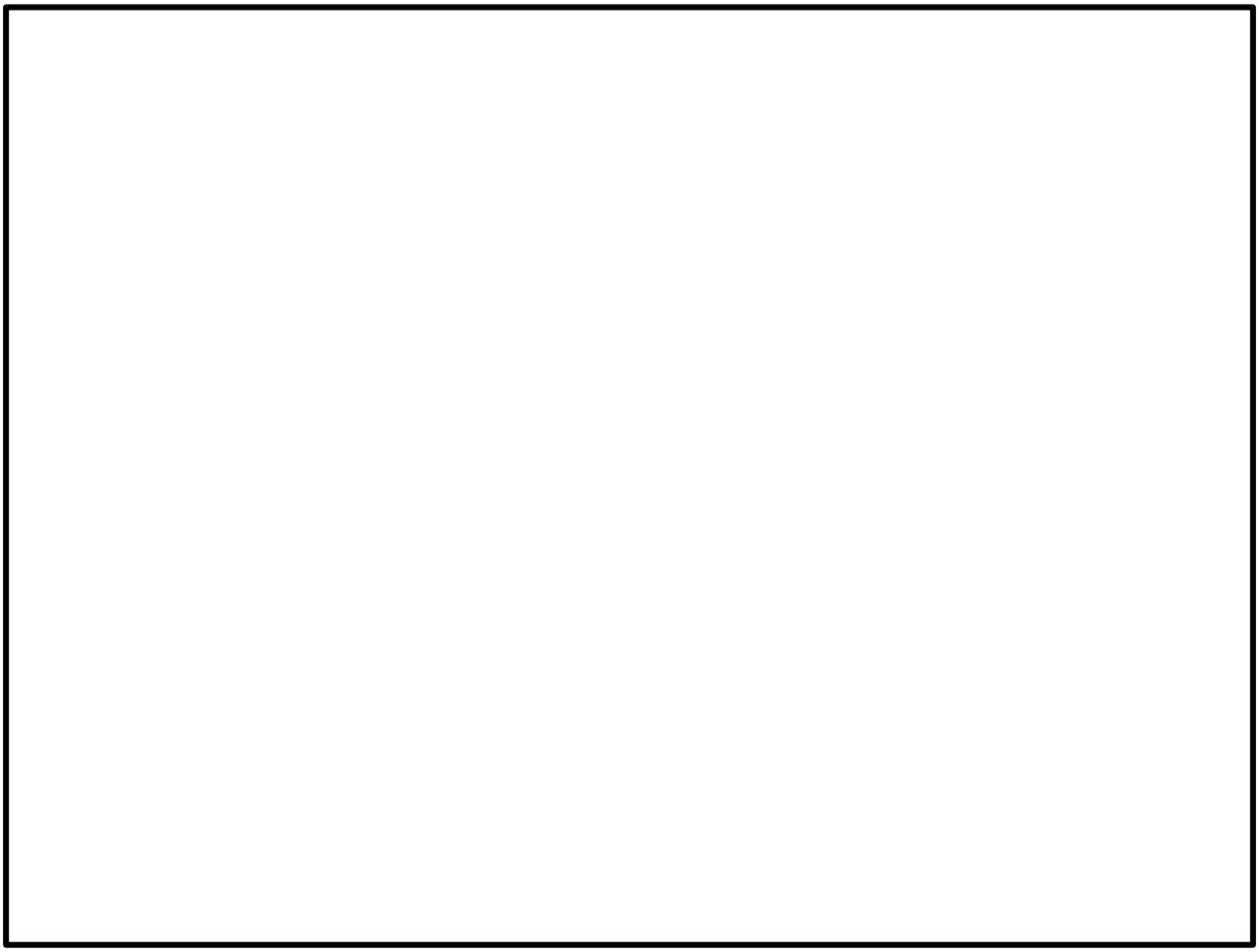


図 3－3　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の解析モデル

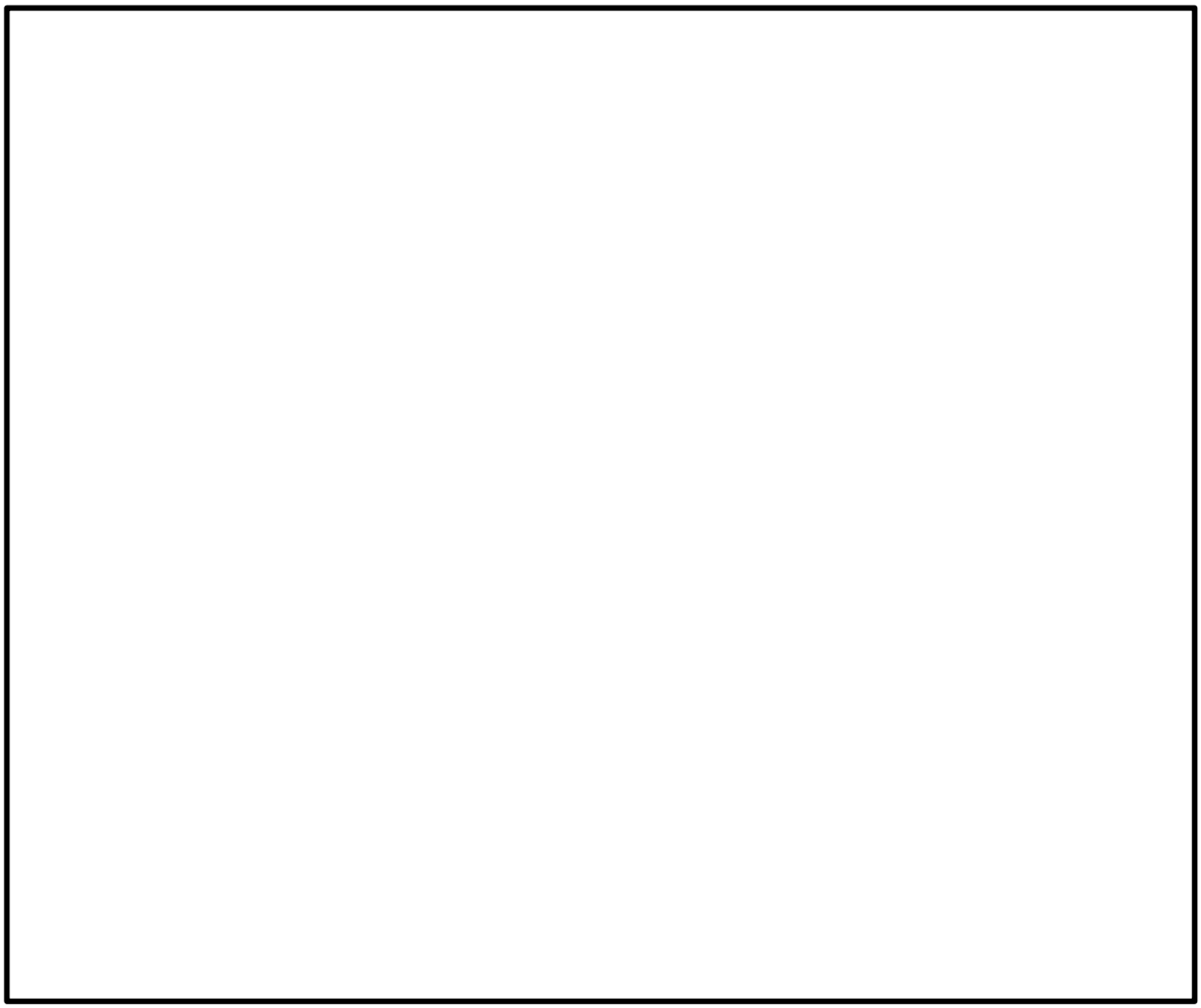


図 3－4　ボンベラック（240ℓ 1 列 2 本用）の解析モデル

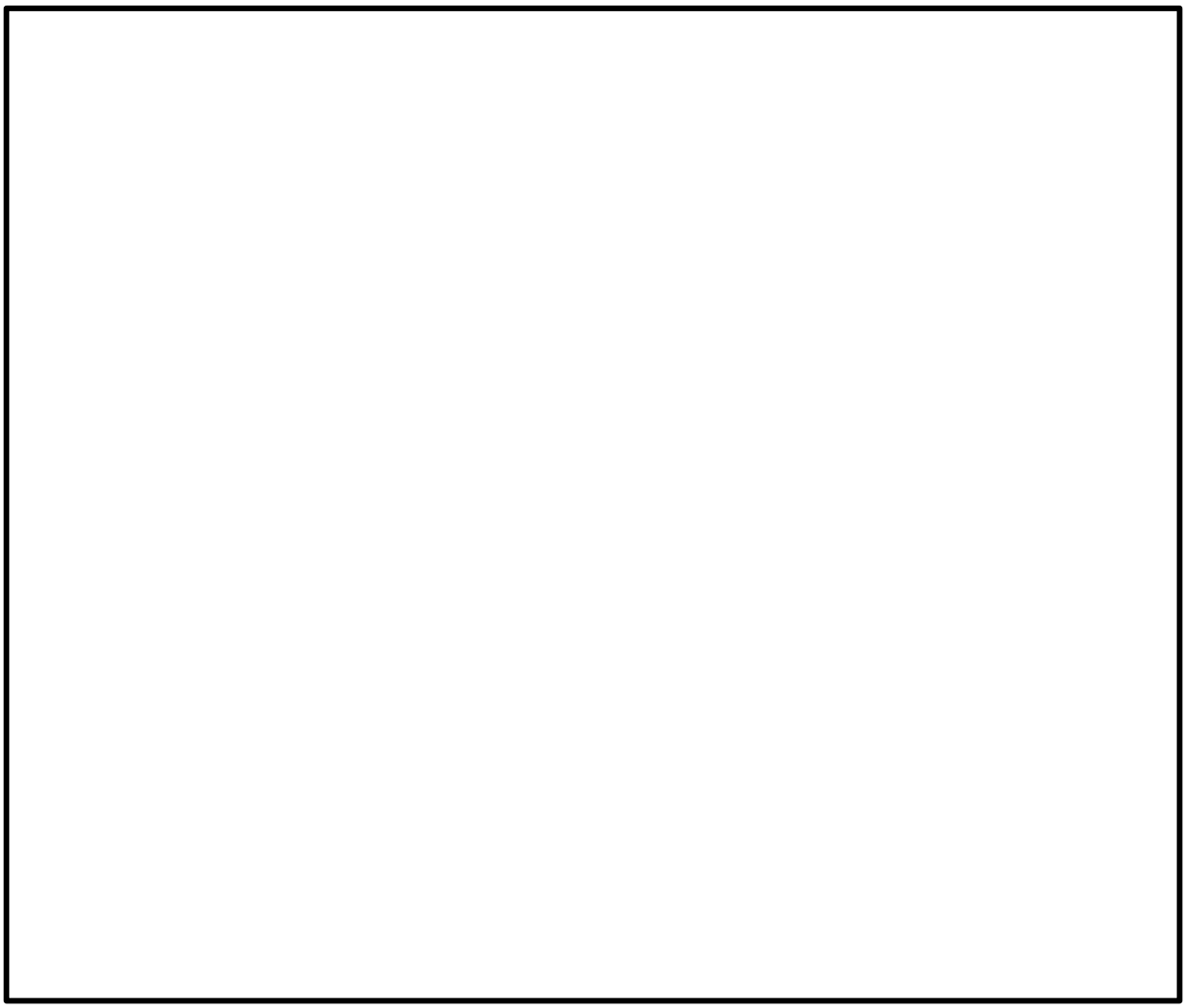


図 3－5　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の解析モデル

表 3－8　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm^3)	断面二次モーメント (mm^4)	
						強軸	弱軸
ボンベラック	①	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	2.159×10^3	3.780×10^6	1.340×10^6
	②	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	2.159×10^3	3.780×10^6	1.340×10^6
	③	SS400	C100×50×5×7.5	2.02×10^5	1.192×10^3	1.880×10^6	2.600×10^5
	④	SS400	L125×90×13	2.02×10^5	2.626×10^3	4.010×10^6	1.730×10^6
	⑤	SS400	L65×65×6	2.02×10^5	752.7	2.940×10^5	2.940×10^5
	⑥	SS400	L50×50×6	2.02×10^5	564.4	1.260×10^5	1.260×10^5
	⑦	SS400	鋼板 t6.0	2.02×10^5	—	—	—
	⑧	SS400	鋼板 t9.0	2.02×10^5	—	—	—
基礎ボルト	⑨	SS400	M20	—	—	—	—
温度条件 (℃)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—		—	—	—	—
ポアソン比	—	—	0.3	—	—	—	—

表 3－9　ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）の解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm^3)	断面二次モーメント (mm^4)	
						強軸	弱軸
ボンベラック	①	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	2.159×10^3	3.780×10^6	1.340×10^6
	②	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	2.159×10^3	3.780×10^6	1.340×10^6
	③	SS400	C100×50×5×7.5	2.02×10^5	1.192×10^3	1.880×10^6	2.600×10^5
	④	SS400	L125×90×13	2.02×10^5	2.626×10^3	4.010×10^6	1.730×10^6
	⑤	SS400	L65×65×6	2.02×10^5	752.7	2.940×10^5	2.940×10^5
	⑥	SS400	L50×50×6	2.02×10^5	564.4	1.260×10^5	1.260×10^5
	⑦	SS400	鋼板 t6.0	2.02×10^5	—	—	—
	⑧	SS400	鋼板 t9.0	2.02×10^5	—	—	—
基礎ボルト	⑨	SS400	M20	—	—	—	—
温度条件 (℃)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—		—	—	—	—
ポアソン比	—	—	0.3	—	—	—	—

表 3－10　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm^3)	断面二次モーメント (mm^4)	
						強軸	弱軸
ボンベラック	①	SS400	C125×65×6×8	2.02×10^5	1.711×10^3	4.240×10^6	6.180×10^5
	②	SS400	C100×50×5×7.5	2.02×10^5	1.192×10^3	1.880×10^6	2.600×10^5
	③	SS400	鋼板 t6.0	2.02×10^5	—	—	—
ボルト	④	SS400	M12	—	—	—	—
温度条件 (℃)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—		—	—	—	—
ポアソン比	—	—	0.3	—	—	—	—

表 3－11　ボンベラック（24ℓ 1 列 2 本用）の解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm^3)	断面二次モーメント (mm^4)	
						強軸	弱軸
ボンベラック	①	SS400	L65×65×6	2.02×10^5	752.7	2.940×10^5	2.940×10^5
	②	SS400	L65×65×6	2.02×10^5	752.7	2.940×10^5	2.940×10^5
	③	SS400	鋼板 t16.0	2.02×10^5	3.200×10^3	1.060×10^7	6.820×10^4
	④	SS400	鋼板 t6.0	2.02×10^5	—	—	—
基礎ボルト	⑤	SS400	M12	—	—	—	—
温度条件 (℃)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—		—	—	—	—
ポアソン比	—	—	0.3	—	—	—	—

表 3－12　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm^3)	断面二次モーメント (mm^4)	
						強軸	弱軸
ボンベラック	①	SS400	H175×175×7.5×11	2.02×10^5	2.717×10^3	4.910×10^6	2.070×10^6
	②	SS400	H175×175×7.5×11	2.02×10^5	2.571×10^3	4.910×10^6	1.140×10^6
	③	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	2.159×10^3	3.780×10^6	1.340×10^6
	④	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	2.159×10^3	3.780×10^6	1.340×10^6
	⑤	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	1.958×10^3	3.310×10^6	1.010×10^6
	⑥	SS400	H100×100×6×8	2.02×10^5	1.265×10^3	6.680×10^5	6.650×10^5
	⑦	SS400	鋼板 t6.0	2.02×10^5	—	—	—
基礎ボルト	⑧	SS400	M16	—	—	—	—
温度条件 (℃)	—	—	40	—	—	—	—
質量 (kg)	—	—		—	—	—	—
ポアソン比	—	—	0.3	—	—	—	—

3.4　固有周期

ボンベラックの固有値解析の結果を「3.4.1　ボンベラック」に，容器弁の固有値解析結果を「3.4.2　容器弁」に示す。

3.4.1　ボンベラック

ボンベラックの固有値確認結果を表3－13から表3－17，振動モード図を図3－6から図3－10に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。

3.4.2　容器弁

容器弁の固有値確認結果を表3－18から表3－19に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 3－13　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の固有周期

機器名称	方向	固有周期 (s)
ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）	水平	0.038
	鉛直	0.050 以下

表 3－14　ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）の固有値解析結果

機器名称	方向	固有周期 (s)
ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）	水平	0.041
	鉛直	0.050 以下

表 3－15　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の固有値解析結果

機器名称	方向	固有周期 (s)
ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）	水平	0.005
	鉛直	0.050 以下

表 3－16　ボンベラック（24ℓ 1 列 2 本用）の固有値解析結果

機器名称	方向	固有周期 (s)
ボンベラック（24ℓ 1 列 2 本用）	水平	0.034
	鉛直	0.050 以下

表 3－17　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の固有値解析結果

機器名称	方向	固有周期 (s)
ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）	水平	0.039
	鉛直	0.050 以下

表 3－18　容器弁（全域ガス消火設備用）の固有周期

機器名称	方向	固有周期※ (s)
容器弁 （全域ガス消火設備用）	水平	0.030 以下
	鉛直	0.030 以下

※正弦波掃引試験により確認

表 3－19　容器弁（ケーブルトレイ消火設備用）の固有周期

機器名称	方向	固有周期※ (s)
容器弁 （ケーブルトレイ消火設備用）	水平	0.030 以下
	鉛直	0.030 以下

※正弦波掃引試験により確認

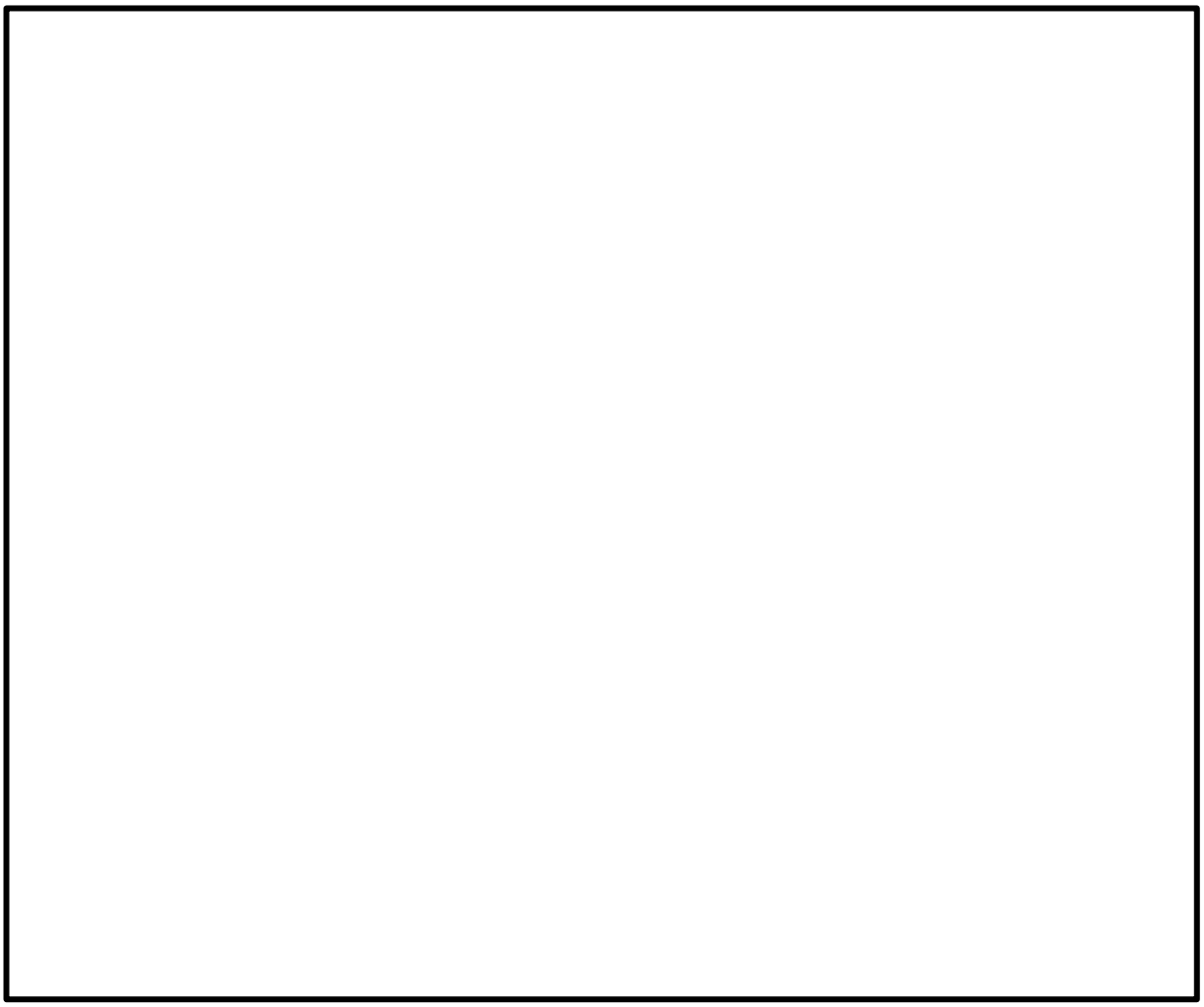


図 3－6　ボンベラック（68ℓ 2 列 6 本用）の振動モード図

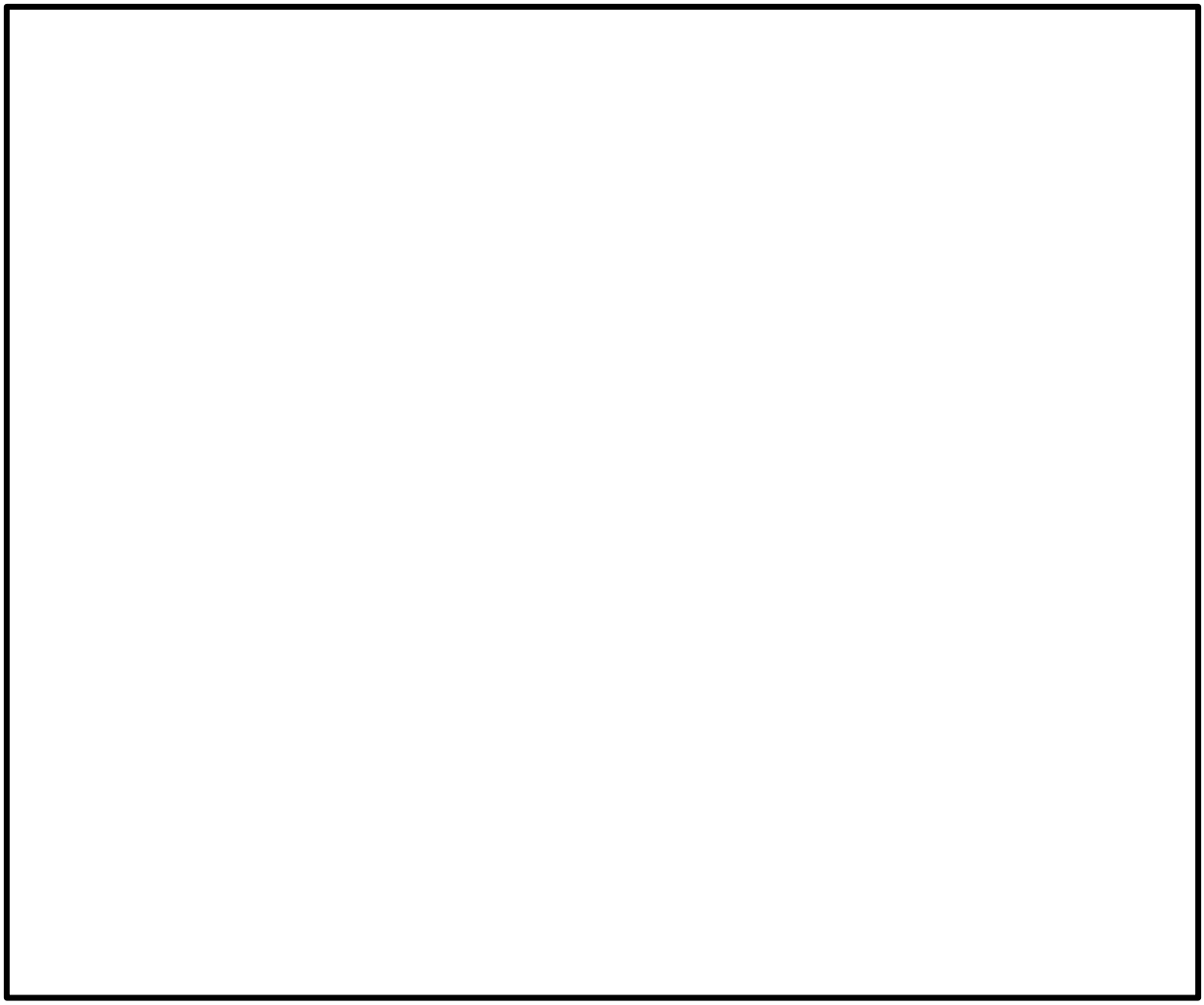


図 3－7　ボンベラック（68ℓ 1 列 6 本用）の振動モード図

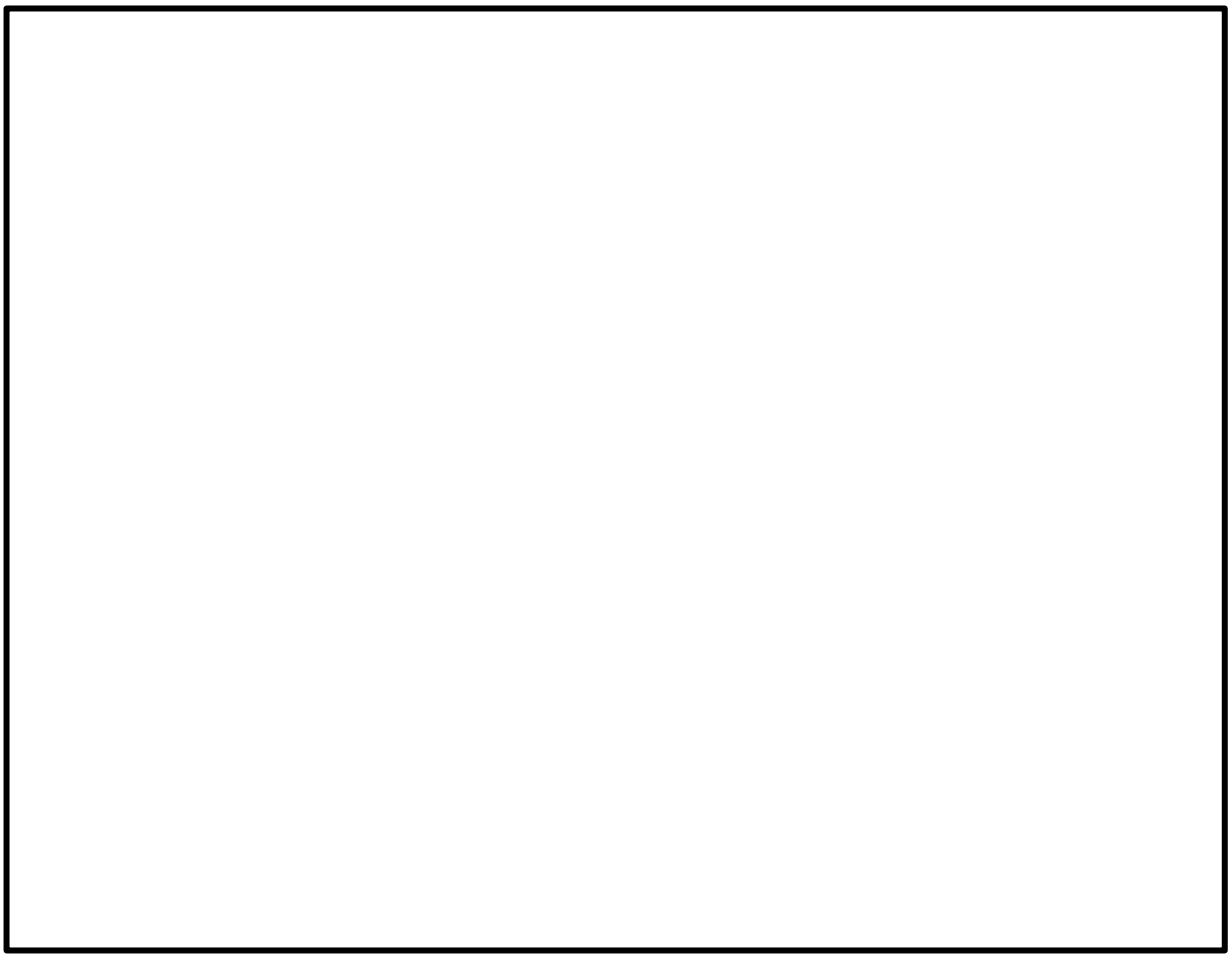


図 3－8　ボンベラック（24ℓ 壁掛 5 本用）の振動モード図

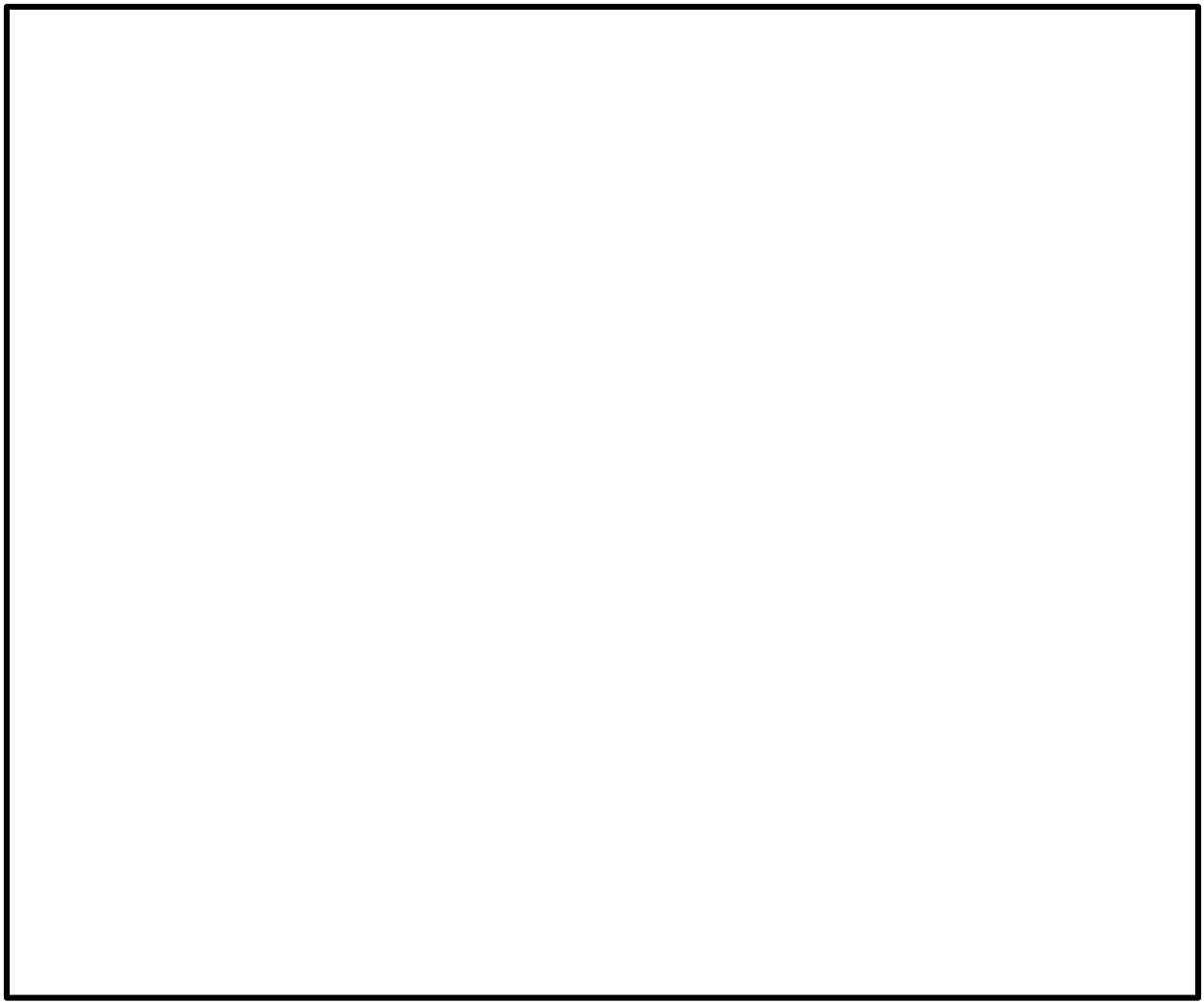


図 3－9　ボンベラック（240ℓ 1 列 2 本用）の振動モード図

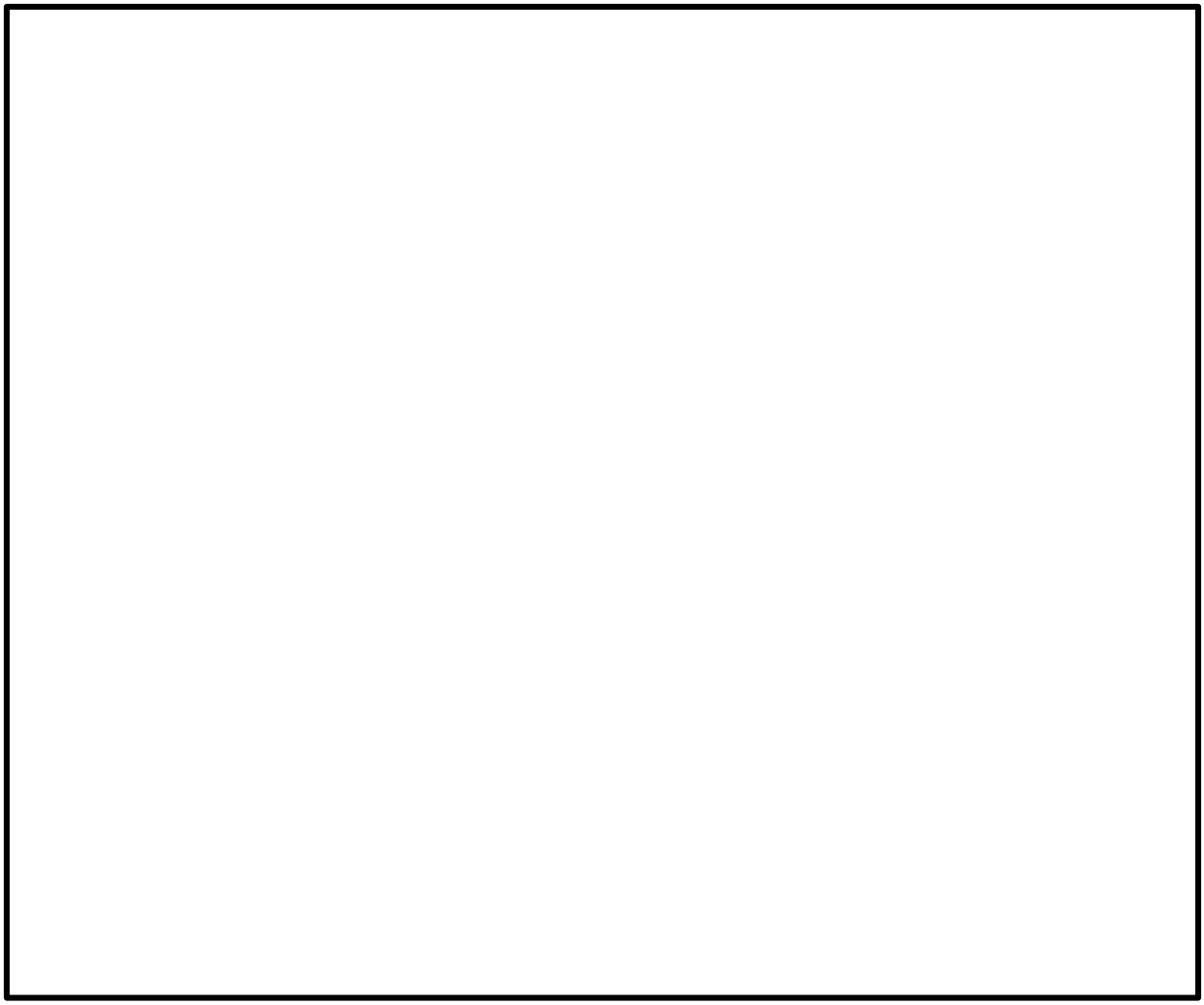


図 3－10　ボンベラック（68ℓ 2 列 5 本用）の振動モード図

3.5　設計用地震力

ボンベラックの耐震計算に用いる設計用地震力については，Ⅵ-2-1-7「設計用応答曲線の作成方針」に基づく。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

ボンベラックは，VI-2-別添1-1の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い，機能維持評価を実施する。

機能確認済加速度には，対象機器の加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

5. 評価結果

ボンベラックの構造強度評価結果及び機能維持評価を以下に示す。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維持を有しており，火災を早期に消火する機能を維持することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(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。

【ボンベラック（68ℓ 2列6本用）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)		基準地震動Ss		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ボンベラック (68ℓ 2列6本用)	C	原子炉建物 EL. 42.8*1	0.038	0.050 以下	C_H=2.52*2	C_V=2.46*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度とする。

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック部材

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A (mm^2)	A_{sx} (mm^2)	A_{sy} (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)	t (mm)	J (mm^4)
2.02×10^5	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280	2.626×10^3	1.170×10^3	1.625×10^3	4.750×10^4	2.590×10^4	13.0	1.470×10^5

1.2.2 基礎ボルト

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d_o (mm)
235 (16＜径≦40mm)	400 (16＜径≦40mm)	280	20 (M20)

1.3 計算数値

1.3.1 ボンベラック部材に作用する力

部材	F_t (N)	F_x (N)	F_y (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	T (N・mm)
ボンベラック部材	2.743×10^{3}	1.902×10^{4}	9.236×10^{2}	2.443×10^{6}	3.209×10^{5}	1.397×10^{-3}

1.3.2 ボルトに作用する力

部材	F_{tb} (N)	F_{sb} (N)	A_b (mm^2)
基礎ボルト	1.884×10^{4}	8.280×10^{3}	314.2

1.4 結論

1.4.1 固有周期 （単位： s）

水平方向	0.038
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 構造強度評価結果 （単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック (68ℓ 2列6本用)	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ_f＝107	f_{tm}＝279
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{tb}＝60	f_{ts}＝168*
			せん断応力	τ_b＝27	f_{sb}＝128

発生応力はすべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.3 動的機能維持評価結果 （単位：×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度*	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
容器弁 (全域ガス消火設備用)	原子炉建物 EL.42.8	2.10	5.0	2.06	3.0

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【ボンベラック（68ℓ 1列6本用）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)		基準地震動Ss		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ボンベラック (68ℓ 1列6本用)	C	原子炉建物 EL. 42.8*1	0.041	0.050 以下	C_H=2.52*2	C_V=2.46*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック部材

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A (mm^2)	A_{sx} (mm^2)	A_{sy} (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)	t (mm)	J (mm^4)
2.02×10^5	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280	2.626×10^3	1.170×10^3	1.625×10^3	4.750×10^4	2.590×10^4	13.0	1.470×10^5

1.2.2 基礎ボルト

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d_o (mm)
235 (16＜径≦40mm)	400 (16＜径≦40mm)	280	20 (M20)

1.3　計算数値

1.3.1　ボンベラック部材に作用する力

部材	F_t (N)	F_x (N)	F_y (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	T (N・mm)
ボンベラック部材	3.568×10^{3}	2.017×10^{4}	9.422×10^{2}	2.431×10^{6}	4.096×10^{5}	1.675×10^{-4}

1.3.2　ボルトに作用する力

部材	F_{tb} (N)	F_{sb} (N)	A_b (mm^2)
基礎ボルト	1.807×10^{4}	4.769×10^{3}	314.2

1.4 結論

1.4.1 固有周期 （単位：s）

水平方向	0.041
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 構造強度評価結果 （単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック (68ℓ 1列6本用)	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ_f＝109	f_{tm}＝279
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{tb}＝58	f_{ts}＝168*
			せん断応力	τ_b＝16	f_{sb}＝128

発生応力はすべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.3 動的機能維持評価結果 （単位：×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁 (全域ガス消火設備用)	原子炉建物 EL.42.8	2.10	5.0	2.06	3.0

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【ボンベラック（240ℓ 壁掛５本用）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)		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ボンベラック (240ℓ 壁掛５本用)	C	タービン建物 EL.2.0 (EL.5.5*1)	0.005	0.050 以下	C_H＝2.18*2	C_V＝1.05*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック部材

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A (mm^2)	A_{sx} (mm^2)	A_{sy} (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)	t (mm)	J (mm^4)
2.02×10^5	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280	1.192×10^3	750	500	3.760×10^4	7.520×10^3	7.5	1.720×10^4

1.2.2 基礎ボルト

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d_o (mm)
245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	12 (M12)

1.3　計算数値

1.3.1　ボンベラック部材に作用する力

部材	F_t (N)	F_x (N)	F_y (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	T (N・mm)
ボンベラック部材	1.572×10^{1}	7.388×10^{2}	5.175×10^{3}	6.589×10^{4}	5.263×10^{5}	2.257×10^{1}

1.3.2　ボルトに作用する力

部材	F_{tb} (N)	F_{sb} (N)	A_b (mm^2)
ボルト	3.350×10^{3}	1.847×10^{3}	113.1

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　（単位：ｓ）

水平方向	0.005
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2　構造強度評価結果　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック （24ℓ 壁掛５本用）	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	$\sigma_f=31$	$f_{tm}=279$
	ボルト	SS400	引張応力	$\sigma_{tb}=30$	$f_{ts}=168$*
			せん断応力	$\tau_b=17$	$f_{sb}=128$

発生応力はすべて許容応力以下である。

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

1.4.3　動的機能維持評価結果　　（単位：×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度*2	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度*2	機能確認済加速度
容器弁 （全域ガス消火設備用）	タービン建物 EL.2.0 (EL.5.5*1)	1.82	5.0	0.89	3.0
容器弁 （ケーブルトレイ消火設備用）	原子炉建物 EL.42.8 (EL.51.7*1)	2.93	5.0	2.04	3.0

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【ボンベラック（24ℓ 1列2本用）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)		基準地震動Ss		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ボンベラック (24ℓ 1列2本用)	C	原子炉建物 EL.8.8*1	0.034	0.050 以下	C_H=1.56*2	C_V=1.16*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック部材

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A (mm^2)	A_{sx} (mm^2)	A_{sy} (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)	t (mm)	J (mm^4)
2.02×10^5	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280	752.7	390	390	6.260×10^3	6.260×10^3	6.0	8.920×10^3

1.2.2 基礎ボルト

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d_o (mm)
245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	12 (M12)

1.3　計算数値

1.3.1　ボンベラック部材に作用する力

部材	F_t (N)	F_x (N)	F_y (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	T (N・mm)
ボンベラック部材	1.311×10^{3}	1.528×10^{3}	9.015×10^{1}	2.326×10^{5}	1.006×10^{4}	1.687×10^{3}

1.3.2　ボルトに作用する力

部材	F_{tb} (N)	F_{sb} (N)	A_b (mm^2)
基礎ボルト	9.807×10^{2}	3.384×10^{3}	113.1

1.4 結論

1.4.1 固有周期 （単位：s）

水平方向	0.034
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 構造強度評価結果 （単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック (24ℓ 1列2本用)	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ_f＝42	f_{tm}＝279
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{tb}＝9	f_{ts}＝168*
			せん断応力	τ_b＝30	f_{sb}＝128

発生応力はすべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.3 動的機能維持評価結果 （単位：×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
容器弁 (全域ガス消火設備用)	原子炉建物 EL.8.8	1.29	5.0	0.96	3.0

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

【ボンベラック（68ℓ 2列5本用）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)		基準地震動Ss		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
ボンベラック (68ℓ 2列5本用)	C	ガスタービン発電機建物 EL.47.5 (EL.54.5*1)	0.039	0.050以下	C_H=2.57*2	C_V=1.23*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

1.2.1 ボンベラック部材

E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A (mm^2)	A_{sx} (mm^2)	A_{sy} (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)	t (mm)	J (mm^4)
2.02×10^5	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280	1.958×10^3	1.400×10^3	600	6.050×10^4	1.880×10^4	8.0	3.640×10^4

1.2.2 基礎ボルト

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	d_o (mm)
245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)

1.3　計算数値

1.3.1　ボンベラック部材に作用する力

部材	F_t (N)	F_x (N)	F_y (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	T (N・mm)
ボンベラック部材	2.599×10^{2}	9.022×10^{2}	3.892×10^{3}	1.985×10^{5}	2.557×10^{5}	2.879×10^{5}

1.3.2　ボルトに作用する力

部材	F_{tb} (N)	F_{sb} (N)	A_b (mm^2)
基礎ボルト	8.029×10^{3}	2.644×10^{3}	201.1

1.4 結論

1.4.1 固有振動数 （単位：s）

水平方向	0.039
鉛直方向	0.050 以下

1.4.2 構造強度評価結果 （単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
ボンベラック (68ℓ 2列5本用)	ボンベラック部材	SS400	組合せ応力	σ_f＝123	f_{tm}＝279
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{tb}＝40	f_{ts}＝168*
			せん断応力	τ_b＝14	f_{sb}＝128

発生応力はすべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b, f_{to}]より算出

1.4.3 動的機能維持評価結果 （単位：×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ(m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度*2	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度*2	機能確認済加速度
容器弁 (全域ガス消火設備用)	ガスタービン発電機建物 EL.47.5 (EL.54.5*1)	2.15	5.0	1.02*1	3.0

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅵ-2-別添1-3-2　選択弁の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有値確認及び構造強度評価 ····· 3
3.1　固有値確認及び構造強度評価方法 ····· 3
3.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.3　解析モデル及び諸元 ····· 5
3.4　固有周期 ····· 8
3.5　設計用地震力 ····· 10
4.　機能維持評価 ····· 11
4.1　動的機能維持評価方法 ····· 11
5.　評価結果 ····· 12

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-別添1-1「火災防護設備の耐震計算の基本方針」（以下「Ⅵ-2-別添1-1」という。）に示すとおり，選択弁ラック及び選択弁が基準地振動Ｓｓによる地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有しており，火災を早期に消火する機能を維持していることを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

選択弁ラック及び選択弁の構造計画を表 2－1 に示す。

また，選択弁ラック及び選択弁は，火災が発生している火災区域又は火災区画からの火災の火炎及び熱による直接的な影響のみならず，煙，流出流体，爆発等の二次的影響を受けず，火災防護上重要な機器等及び重大事故等対処施設に悪影響を及ぼさないように設置する。

表 2－1　選択弁の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
選択弁は，集合管に取り付けて固定する。 集合管は，選択弁ラックに固定し，選択弁ラックは基礎ボルトにて基礎に設置する。	選択弁， 集合管及び 選択弁ラック (直立形)	図 2－1

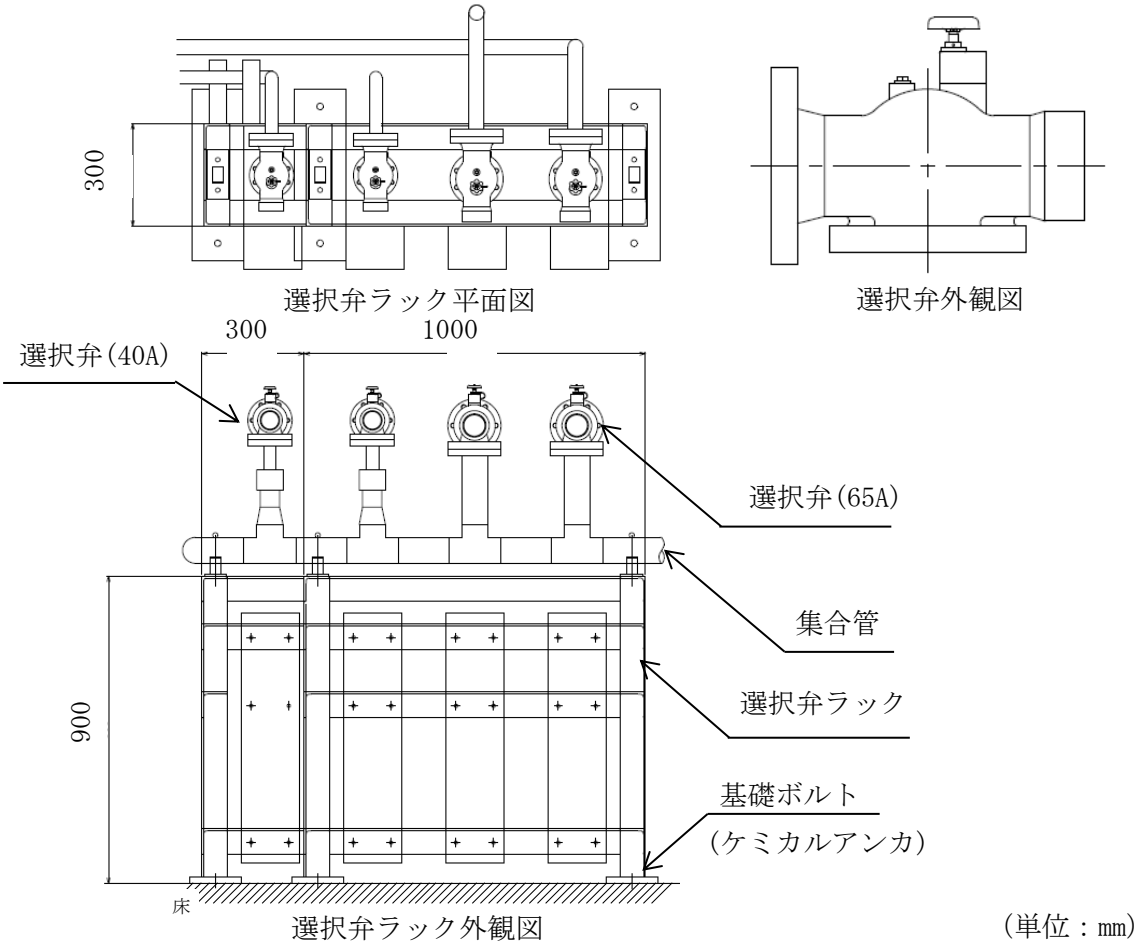


図 2－1　選択弁の概要図

3.　固有値確認及び構造強度評価

選択弁の固有周期及び構造強度評価は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「4.　固有周期」及び「5.1　構造強度評価方法」に示す評価方針に基づき，３次元ＦＥＭモデルによる解析及び正弦波掃引試験により固有周期及び構造強度を評価する。

3.1　固有値確認及び構造強度評価方法

3.1.1　固有値確認方法

①　選択弁ラックの確認方法

対象部位である選択弁ラックについて，３次元ＦＥＭモデルによる解析を実施する。

②　選択弁の確認方法

選択弁は，正弦波掃引試験を実施する。

3.1.2　構造強度評価方法

選択弁ラックの構造強度評価は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.1　構造強度評価方法」に示す評価方針に従い，構造強度評価を実施する。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.2　荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

3.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は，選択弁ラックの評価対象部位ごとに設定する。選択弁ラックの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 3－1 に示す。

3.2.2　許容応力及び許容応力評価条件

選択弁ラックにおける許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3－2 に示す。また，選択弁ラック及び基礎ボルトの許容応力評価条件を表 3－3 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
その他発電用原子炉の附属施設	火災防護設備	選択弁ラック	C	－*	D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3－2　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2（ボルト等以外）	許容限界*1, *2（ボルト等）	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_t*	1.5・f_s*

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

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

表 3－3　許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価対象部位	材料	温度条件（℃）	S y（MPa）	S u（MPa）	F*（MPa）
選択弁ラック部材	SS400（厚さ≦16mm）	40（周囲環境温度）	245	400	280
基礎ボルト	SS400（径≦16mm）	40（周囲環境温度）	245	400	280

3.3　解析モデル及び諸元

選択弁ラックの解析モデルを図 3－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 3－4 及び本計算書の【選択弁ラックの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1) 選択弁ラックを構成する部材をはり要素でモデル化したＦＥＭモデルを用いる。

(2) 拘束条件は，基礎ボルト部を並進３方向拘束とする。

(3) モデルの全体質量は，選択弁ラック部材質量，起動装置格納箱質量及び配管質量の合計とする。

(4) 解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

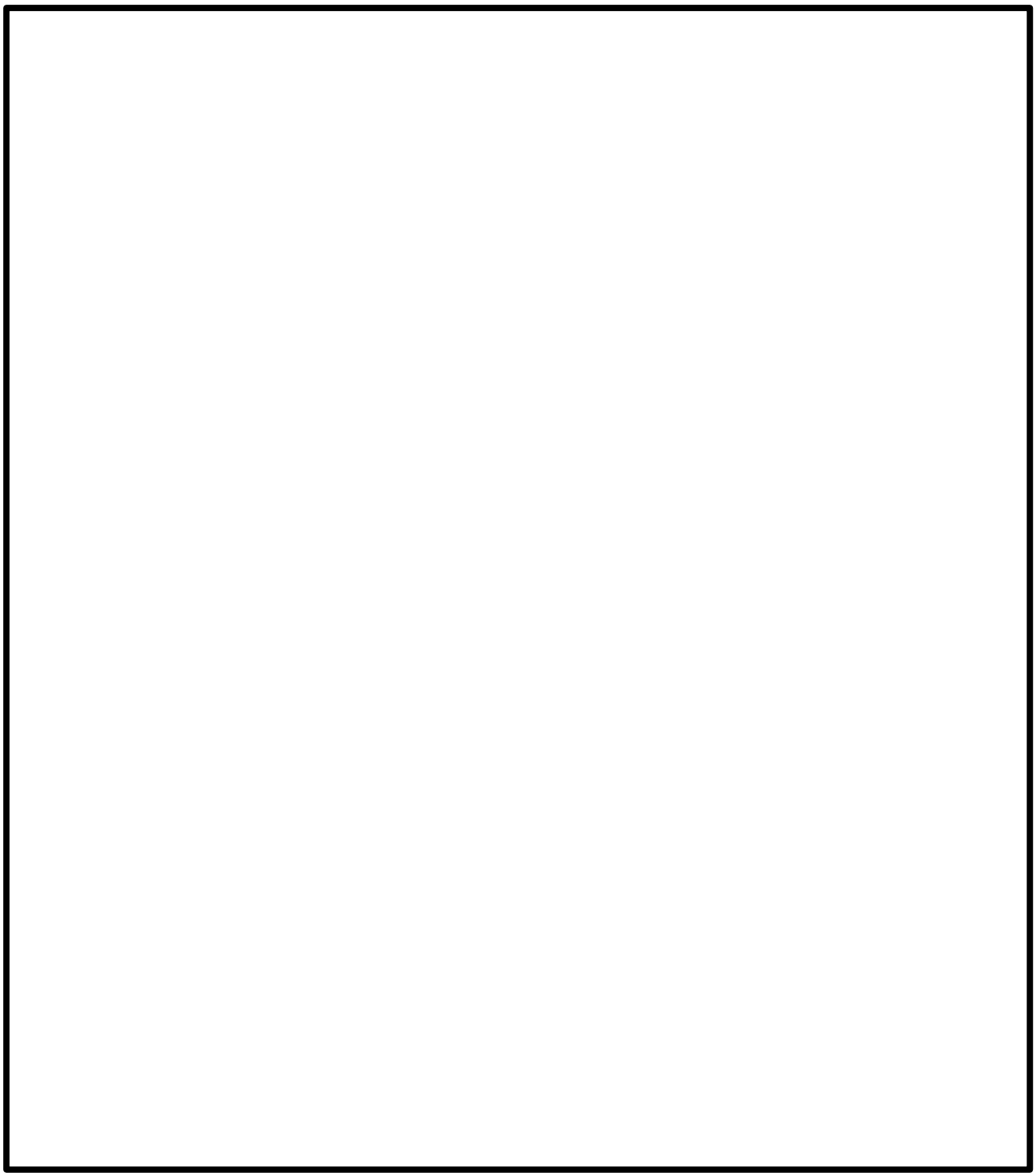


図 3－1　選択弁ラックの解析モデル

表 3－4　解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元 (数値)	縦弾性係数 (MPa)	断面積 (mm^2)	断面二次モーメント (mm^4)	
						強軸	弱軸
選択弁ラック部材	①	SS400	L75×75×6	202000	872.7	461000	461000
	②	SS400	L50×50×6	202000	564.4	126000	126000
基礎ボルト	③	SS400	M16	－	－	－	－
温度条件 (℃)	－	－	40	－	－	－	－
質量 (kg)	－	－	□	－	－	－	－
ポアソン比	－	－	0.3	－	－	－	－

3.4　固有周期

選択弁ラックの固有値解析の結果を「3.4.1　選択弁ラック」に，選択弁の加振試験結果を「3.4.2　選択弁」に示す。

3.4.1　選択弁ラック

選択弁ラックの固有値確認結果を表3－5，振動モード図を図3－2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。

3.4.2　選択弁

選択弁の加振試験結果を表3－6に示す。表3－6より，選択弁は剛であることを確認した。

表3－5　選択弁ラックの固有周期

機器名称	方向	固有周期 (s)
選択弁ラック	水平	0.025
	鉛直	0.05以下

表3－6　選択弁の固有周期

機器名称	方向	固有周期※ (s)
選択弁	水平	0.031
	鉛直	0.030

※正弦波掃引試験により確認

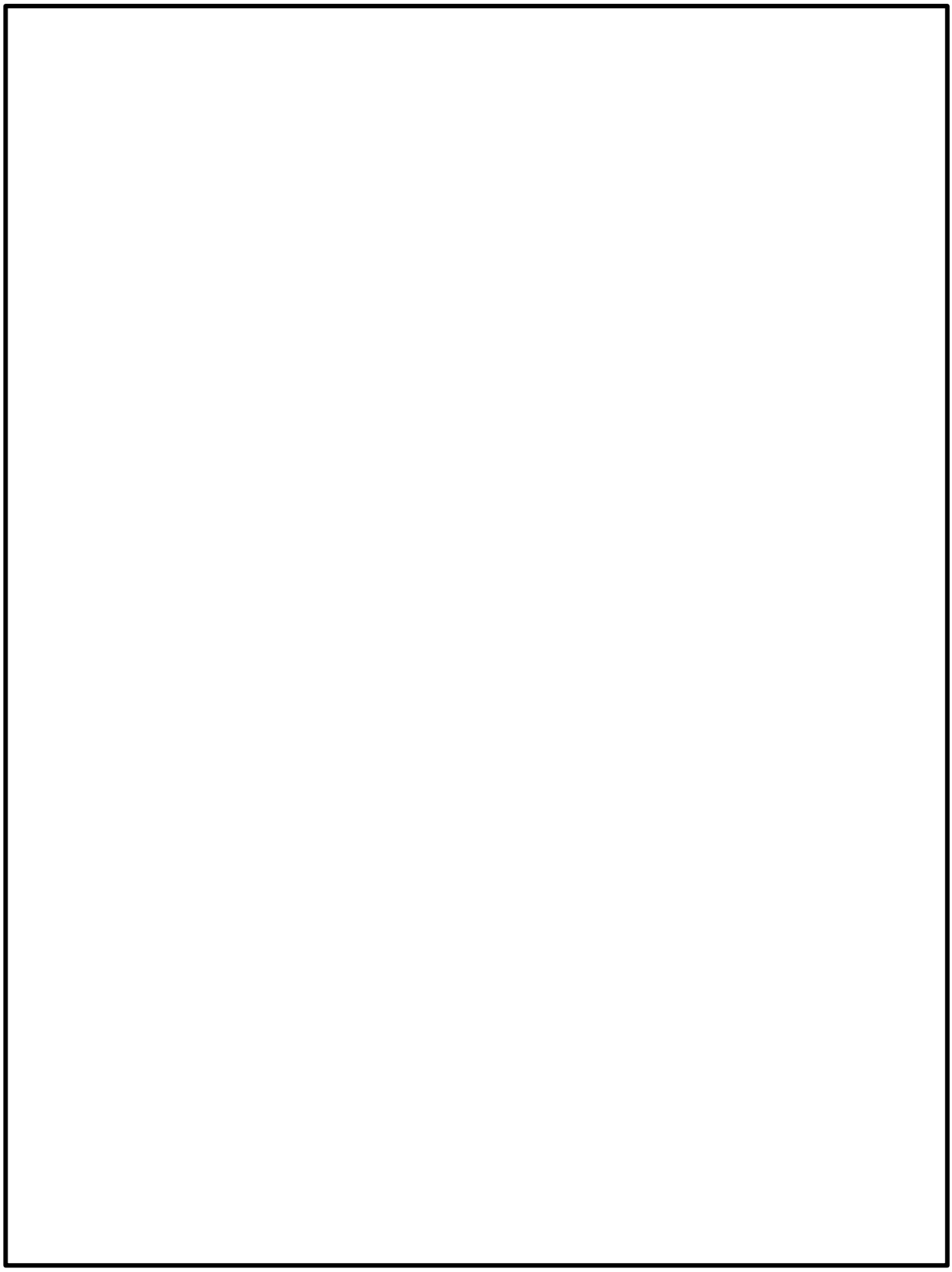


図 3－2　選択弁ラックの振動モード図

3.5　設計用地震力

選択弁ラックの耐震計算に用いる設計用地震力については，Ⅵ-2-1-7「設計用応答曲線の作成方針」に基づく。

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

選択弁は，VI-2-別添1-1の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い，機能維持評価を実施する。

機能確認済加速度には，対象機器の加振試験において動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

表4－1 機能確認済加速度 （×9.8m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
選択弁 40A	水平	5.0
	鉛直	3.0
選択弁 65A	水平	5.0
	鉛直	3.0

5. 評価結果

選択弁ラック及び選択弁の構造強度評価結果及び機能維持評価を以下に示す。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維持を有しており，火災を早期に消火する機能を維持することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(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。

【選択弁ラックの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ss		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
選択弁ラック	C	原子炉建物 EL23.80*1	0.025	0.05 以下	C_H=1.73*2	C_V=2.08*3	40

注記＊1：基準床レベルを示す。

＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度とする。

＊3：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）を上回る設計震度とする。

1.2 機器要目

1.2.1 選択弁ラック

部材	E (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	A (mm^2)	A_{sx} (mm^2)	A_{sy} (mm^2)	Z_x (mm^3)	Z_y (mm^3)
L75×75×6	202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280	872.7	450	450	8470	8470
L50×50×6	202000	245 (厚さ≦16mm)	400 (厚さ≦16mm)	280	564.4	300	300	3550	3550

1.2.2 基礎ボルト

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F* (MPa)	do (mm)	A_b (mm^2)	F_{sb} (N)	F_{tb} (N)
245 (径≦16mm)	400 (径≦16mm)	280	16 (M16)	201	3052	8692

1.3 計算数値

1.3.1 選択弁ラックに作用する部材力

部材	F_t (N)	F_x (N)	F_y (N)	T (N・mm)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)
L75×75×6	9476	3833	623	213	3350	626310

1.3.2 基礎ボルトに作用する部材力

部材	F_{sb} (N)	F_{tb} (N)
M16	3052	8692

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　（単位：s）

水平方向	0.025
鉛直方向	0.05 以下

1.4.2　応力　　（単位：MPa）

機器名称	評価部位	材料	応力分類	発生応力	許容応力
選択弁ラック	選択弁ラック部材	SS400	組合せ応力	σ_{f}＝87	f_{tm}＝279
	基礎ボルト	SS400	引張応力	σ_{tb}＝44	f_{ts}＝168*
			せん断応力	τ_{b}＝16	f_{sb}＝128

発生応力はすべて許容応力以下である。

注記＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_{b}，f_{to}]より算出

1.4.3　動的機能維持評価結果　　（単位：×9.8 m/s^2）

機器名称	据付場所及び床面高さ (m)	機能確認済加速度との比較			
		水平		鉛直	
		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
選択弁　40A	原子炉建物 EL23.80m	4.50*1	5.0	1.79*2	3.0
選択弁　65A		3.54*1	5.0	1.79*2	3.0

注記＊1：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）を上回る加速度とする。

＊2：設計用震度Ⅰ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度とする。

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅵ-2-別添 1-3-3　制御盤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 固有周期の確認方法 3
3.2 固有周期の確認結果 3
3.3 設計用地震力 4
4. 構造強度評価 4
4.1 構造強度評価方法 4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 4
4.3 計算条件 4
5. 機能維持評価 7
5.1 電気的機能維持評価方法 7
6. 評価結果 8

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の基本方針」（以下「Ⅵ-2-別添 1-1」という。）に示すとおり，制御盤（全域ガス消火設備）が基準地震動Ｓｓによる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おり，火災を早期に消火する機能を維持することを説明するものである。

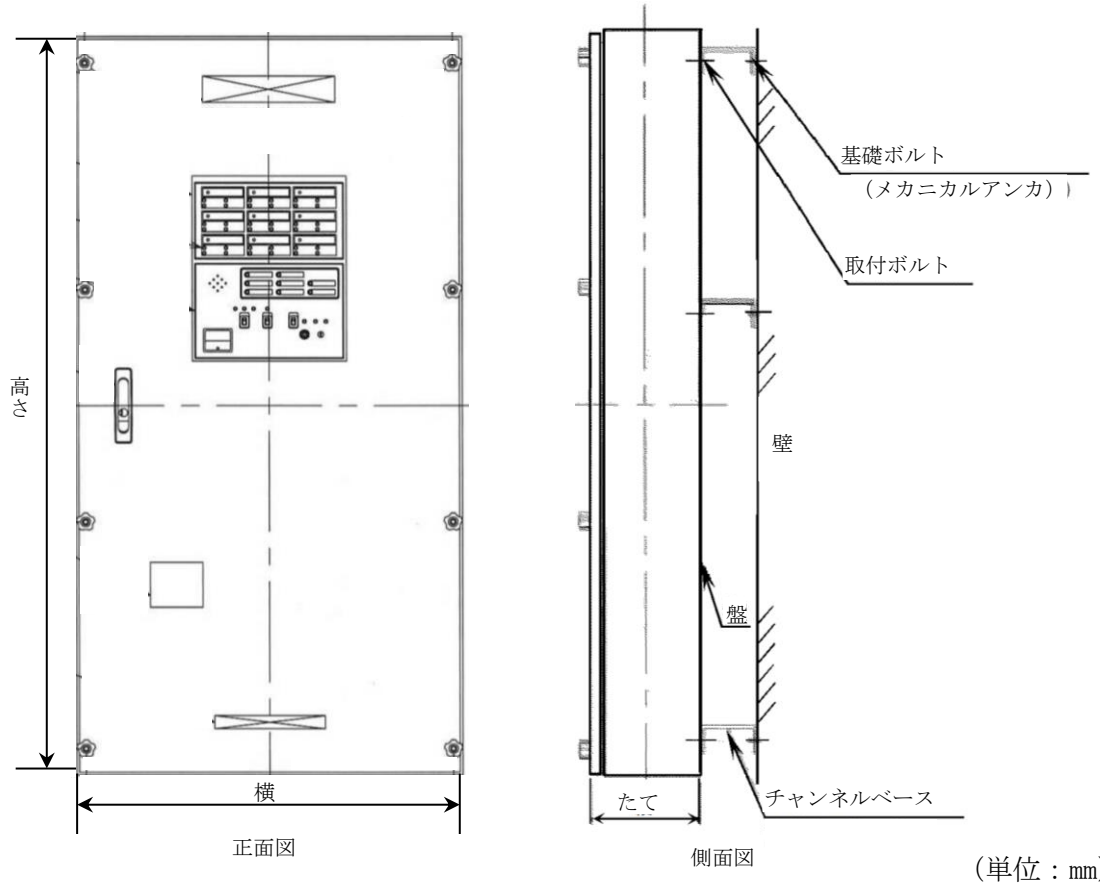
2. 一般事項

2.1 構造計画

制御盤（全域ガス消火設備）の構造計画を表 2－1 に，制御盤（全域ガス消火設備）の概要図を図 2－1 に示す。

表 2－1　火災防護設備のうち制御盤（全域ガス消火設備）の構造計画

計画の概要		説明図
基礎・支持構造	主体構造	
制御盤（全域ガス消火設備）は，取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。チャンネルベースは基礎ボルトにて壁に設置する。	壁掛形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた壁掛形の盤）	図 2－1



（単位：mm）

機器名称	制御盤（全域ガス消火設備） 自動3回線	制御盤（全域ガス消火設備） 自動9回線
たて	200	200
横	550	700
高さ	950	1400

図 2－1　制御盤（全域ガス消火設備）の概要図

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認方法

制御盤（全域ガス消火設備）の固有周期は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「4.　固有周期」に示す算出方法に基づき，振動試験(加振試験)の結果算定された固有周期を使用する。

3.2　固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

制御盤（全域ガス消火設備）の固有周期は，0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。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）

盤名称	方向	固有周期
制御盤（全域ガス消火設備） 自動3回線	水平	0.023
	鉛直	0.027
制御盤（全域ガス消火設備） 自動9回線	水平	0.030 以下
	鉛直	0.030 以下

3.3　設計用地震力

制御盤（全域ガス消火設備）の評価に用いる「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

制御盤（全域ガス消火設備）は，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.1　構造強度評価方法」に示す評価方針に従い，構造強度評価を実施する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-2-別添 1-1 の「5.2　荷重の組合せ及び許容応力」に示す荷重及び荷重の組合せを使用する。

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

構造強度評価に用いる荷重の組合せ及び許容応力状態は，制御盤（全域ガス消火設備）の評価対象部位ごとに設定する。荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4－1 に示す。

4.2.2　許容応力及び許容応力評価条件

制御盤（全域ガス消火設備）の基礎ボルト及び取付ボルトにおける許容応力は，Ⅵ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－2 に示す。また，基礎ボルト及び取付ボルトの評価条件を表 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【制御盤（全域ガス消火設備）自動3回線の耐震性についての計算結果】【制御盤（全域ガス消火設備）自動9回線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
その他 発電用原子炉 の附属施設	火災 防護設備	制御盤（全域ガス消火設備）	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4－2　許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張	せん断
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t$*	$1.5 \cdot f_s$*

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

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

表 4－3　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 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	SS400相当 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―
取付ボルト	SS400相当 (16mm＜径≦40mm)	周囲環境温度	40	235	400	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

制御盤（全域ガス消火設備）は，VI-2-別添 1-1 の「6. 機能維持評価」に示す評価方針に従い，機能維持評価を実施する。

制御盤（全域ガス消火設備）の機能維持確認済加速度は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，実機の据付状態を模擬したうえで，当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において電気的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 5－1 に示す。

表 5－1 機能確認済加速度 （×9.8m/s^2）

機器名称	方向	機能確認済加速度
制御盤（全域ガス消火設備） 自動 3 回線	水平	4.4
	鉛直	2.2
制御盤（全域ガス消火設備） 自動 9 回線	水平	4.4
	鉛直	2.2

6. 評価結果

制御盤（全域ガス消火設備）の構造強度評価結果及び機能維持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気的機能を有しており、火災を早期に消火する機能を維持することを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【制御盤（全域ガス消火設備）自動3回線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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
制御盤（全域ガス消火設備） 自動3回線	C	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 EL 14.7 (EL 18.0*1)	0.023	0.027	—	—	C_H=4.32*2	C_V=2.82*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
注記＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト (ｉ＝1)	55	164.4	16 (M 16)	201.1	4	235 (16mm＜径≦40mm)	400
取付ボルト (ｉ＝2)	45	62.8	12 (M 12)	113.1	6	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fvi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 Ｓｄ又は静的震度	基準地震動 Ｓｓ
基礎ボルト (ｉ＝1)	459.4	825	450	2	2	—	280	—	側面方向
	459.4	825	450	2	-				
取付ボルト (ｉ＝2)	459.4	825	360	3	2	—	280	—	側面方向
	459.4	825	360	3	-				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	－	854.0	－	3.110×10^{3}
取付ボルト（ｉ＝2）	－	396.6	－	2.545×10^{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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b1}=5$	$f_{ts1}=168$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=128$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=160$

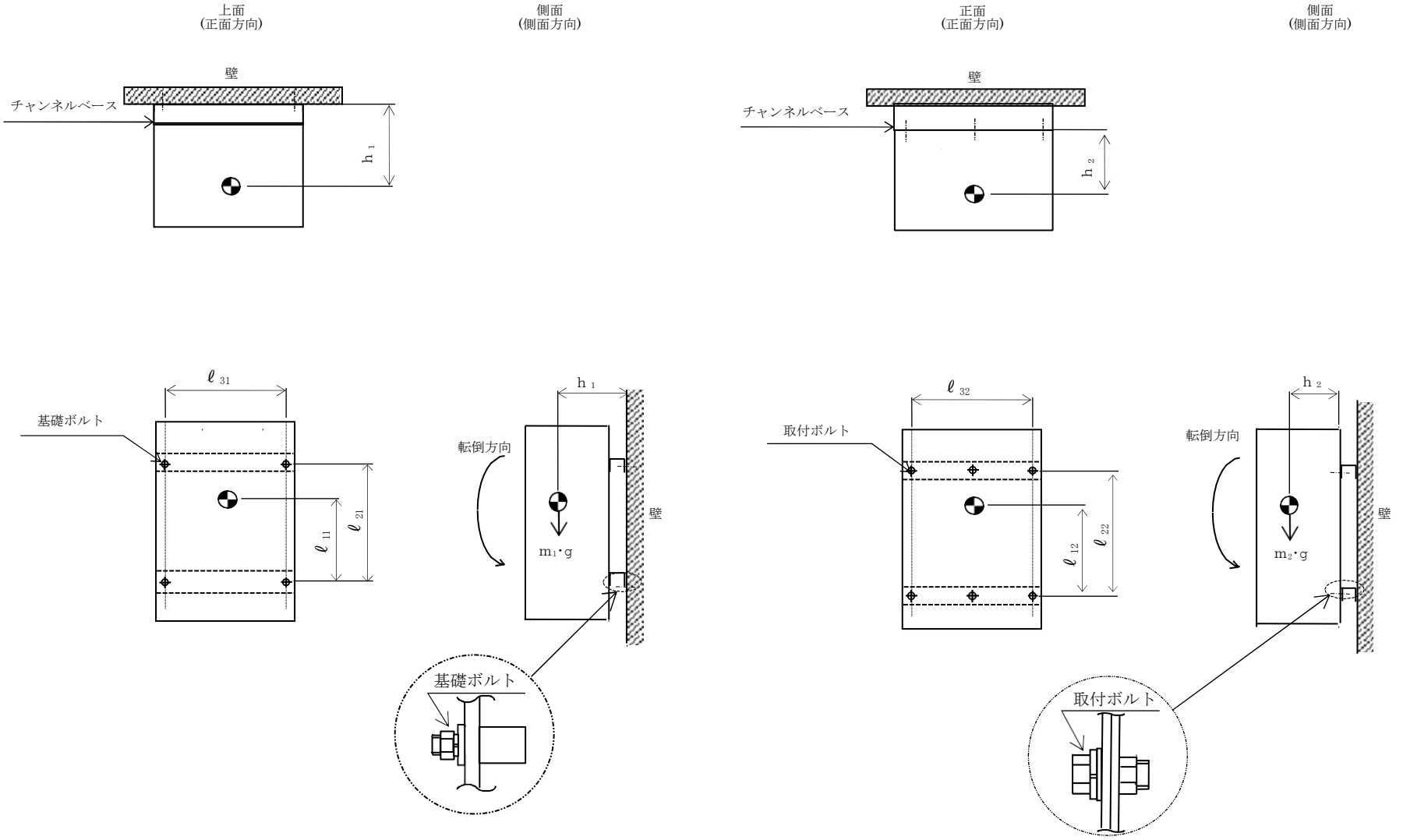
すべて許容応力以下である。　注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s²）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
制御盤（全域ガス消火設備）自動3回線	水平方向	3.60	4.4
	鉛直方向	1.89	2.2

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


上面
(正面方向)
側面
(側面方向)
壁
チャンネルベース
h 1
ℓ 31
基礎ボルト
ℓ 11
ℓ 21
h 1
転倒方向
m1・g
壁
基礎ボルト
正面
(正面方向)
側面
(側面方向)
壁
チャンネルベース
h 2
ℓ 32
取付ボルト
ℓ 12
ℓ 22
h 2
転倒方向
m2・g
壁
取付ボルト

【制御盤（全域ガス消火設備）自動9回線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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
				水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
制御盤（全域ガス消火設備）自動9回線	C	タービン建物 EL 12.5 (EL 20.6*1)	原子炉建物 EL 42.8 (EL 51.7*1)	0.030 以下	0.030 以下	—	—	C_H=3.80*2	C_V=2.46*2	40

注記＊1：基準床レベルを示す。
注記＊2：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
基礎ボルト（ｉ＝1）	150	181.8	16 (M 16)	201.1	6	235 (16mm＜径≦40mm)	400
取付ボルト（ｉ＝2）	130	80.2	12 (M 12)	113.1	9	235 (16mm＜径≦40mm)	400

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	ℓ_{3i}* (mm)	n_{fvi}*	n_{fHi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	697.4	1275	600	2	3	—	280	—	側面方向
	697.4	1275	600	2	-				
取付ボルト（ｉ＝2）	697.4	1275	510	3	3	—	280	—	側面方向
	697.4	1275	510	3	-				

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_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	－	1.892×10^3	－	7.560×10^3
取付ボルト（ｉ＝2）	－	975.8	－	6.552×10^3

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト（ｉ＝1）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b1}=10$	$f_{ts1}=168$*
		せん断	－	－	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=128$
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400相当	引張	－	－	$\sigma_{b2}=9$	$f_{ts2}=210$*
		せん断	－	－	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=160$

すべて許容応力以下である。

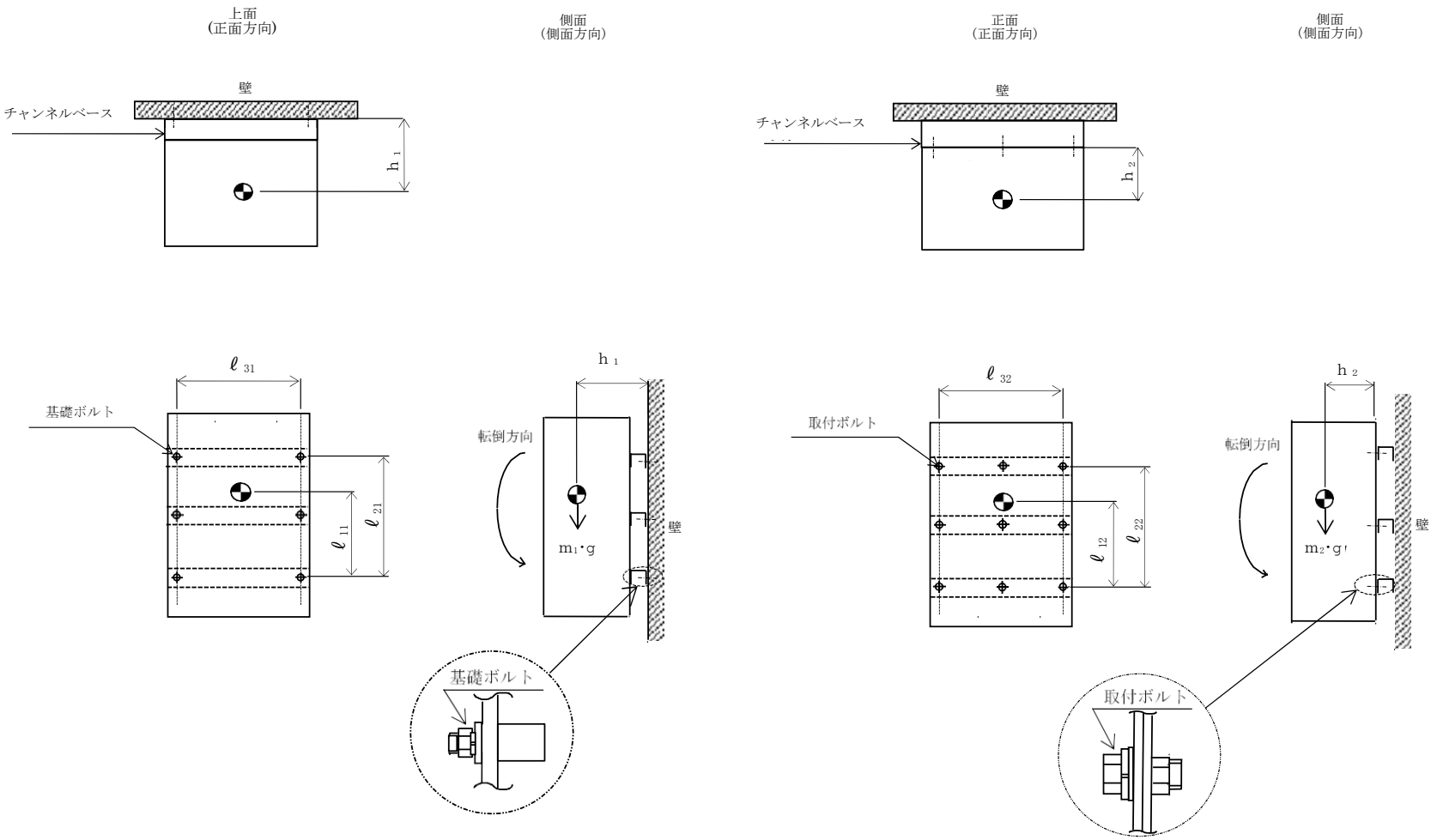
注記＊：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$

1.4.2　電気的機能維持の評価結果　（×9.8m/s²）

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
制御盤（全域ガス消火設備）自動9回線	水平方向	3.17	4.4
	鉛直方向	2.06	2.2

注記＊：設計用震度Ⅱ（基準地震動Ｓｓ）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。


上面
(正面方向)
側面
(側面方向)
壁
チャンネルベース
h 1
ℓ 31
基礎ボルト
ℓ 11
ℓ 21
h 1
転倒方向
m1・g
壁
基礎ボルト
正面
(正面方向)
側面
(側面方向)
壁
チャンネルベース
h 2
ℓ 32
取付ボルト
ℓ 12
ℓ 22
h 2
転倒方向
m2・g
壁
取付ボルト

Ⅵ-2-別添 1-4 火災防護設備の水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　影響評価 ····· 1
2.1　基本方針 ····· 1
2.2　評価条件及び評価方法 ····· 1
3.　評価結果 ····· 4
3.1　水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出 ····· 4
3.2　建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果 ····· 4
3.3　水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 ····· 4
3.4　まとめ ····· 5

1. 概要

本資料は，Ⅵ-2-別添 1-1「火災防護設備の耐震計算の方針」（以下「Ⅵ-2-別添 1-1」という。）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，火災防護設備ついて設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能及び動的機能を有することを確認するため，動的地震力の水平２方向及び鉛直方向の組合せに関する影響評価について説明するものである。

2. 影響評価

2.1 基本方針

火災防護設備に関する，水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については，Ⅵ-2-1-8「水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針及び評価方法を踏まえて，設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

2.2 評価条件及び評価方法

Ⅵ-2-1-8「水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設における水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して耐震評価を実施する設備のうち，従来の設計手法における水平１方向及び鉛直方向地震力の組み合わせた耐震計算（以下「従来の計算」という。）に対して，設備の構造特性から水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを抽出し，設備が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。影響評価フローを図2－1に示す。

（１） 評価対象となる設備の整理

火災防護設備のうち，基準地震動Ｓｓによる地震力に対してその機能が維持できることを確認する設備を評価対象とする。（図2－1①）

（２） 構造上の特徴による抽出

構造上の特徴から水平２方向の地震力が重畳する観点，若しくは応答軸方向以外の振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点にて検討を行い，水平２方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する。（図2－1②）

（３） 発生値の増分による抽出

水平２方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して，水平２方向の地震力が各方向１：１で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の水平１方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して，水平２方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また，建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討により，機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は，機器・配管系への影響を評価し，耐震性へ

の影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は，機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。（図2－1③）

（４）　水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

（３）の検討において算出された荷重や応力を用いて，設備が有する耐震性への影響を検討する。（図2－1④）

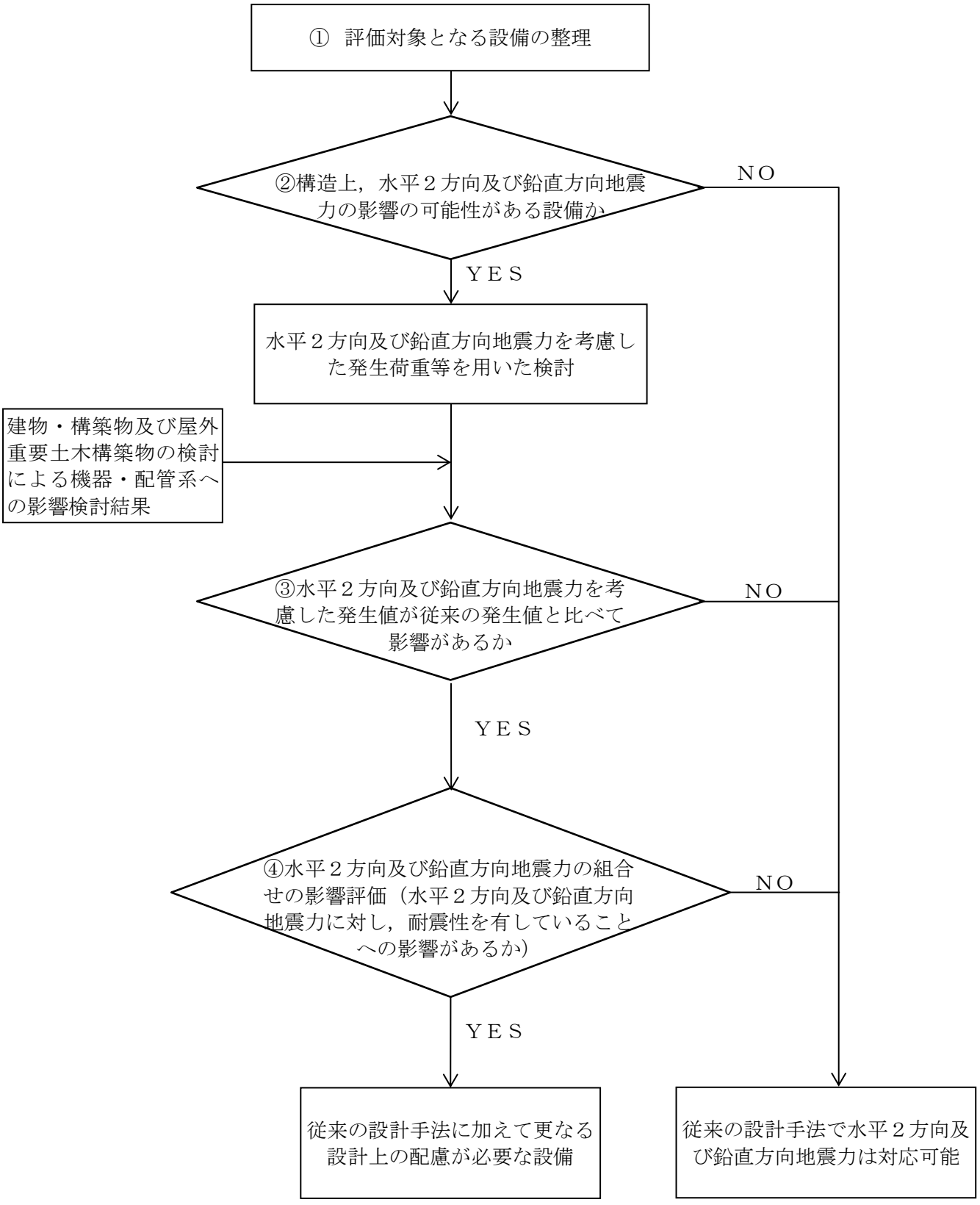


図２－１　水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せを考慮した影響評価フロー

3. 評価結果

3.1 水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

水平２方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備を表 3－1 に示す。VI-2-1-8「水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価設備（部位）の抽出方法を踏まえ，評価対象設備の各評価部位，応力分類に対し構造上の特徴から，水平２方向の地震力による影響を以下の項目により検討し，影響の可能性がある設備の抽出結果を表 3-2 に示す。

(1) 水平２方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は，水平１方向の地震に加えて，さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合，水平２方向の地震力による影響を検討し，影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものとして抽出した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで有意な影響が生じる可能性がある設備を抽出した。

(3) 水平１方向及び鉛直方向地震力に対する水平２方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1)及び(2)にて影響の可能性がある設備について，水平２方向の地震力が各方向１：１で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め，従来の計算による発生値と比較し，その増分により影響の程度を確認し，耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

3.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果

建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において，火災防護設備への影響を検討した結果，耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

3.3 水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表 3－2 にて抽出された設備について，水平２方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価に該当する設備はなかった。

3.4　まとめ

火災防護設備について，水平２方向及び鉛直方向地震力を想定した場合でも火災防護設備が有する耐震性への影響がないことを確認したため，従来の水平１方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必要な設備はない。

表 3－1　水平２方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備

設備名称	評価部位
火災受信機盤	基礎ボルト 取付ボルト
ボンベラック	ボンベラック部材 基礎ボルト
選択弁	選択弁ラック部材 基礎ボルト
制御盤（全域ガス消火設備）	基礎ボルト 取付ボルト

表 3－2　水平２方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（1/2）

(1)　構造強度評価

設備名称	水平２方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.1(1)水平２方向の地震力が重畳する観点（以下「重畳の観点」という。） ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2)水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（以下「ねじれ振動等の観点」という。） ×：発生しない ○：発生する	3.1(3)水平１方向及び鉛直方向地震力に対する水平２方向及び鉛直方向地震力の増分の観点（以下「増分の観点」という。） ○：影響あり ―：該当なし	抽出結果
火災受信機盤	△ （基礎ボルト） 一次応力（引張）＊	×	―	火災受信機盤は，従来評価にて水平２方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
ボンベラック	△ （ボンベラック部材） 一次応力（組合せ）＊	×	―	ボンベラックは，従来評価にて水平２方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
選択弁 （選択弁ラック）	△ （選択弁ラック部材） 一次応力（組合せ）＊	×	―	選択弁ラックは，従来評価にて水平２方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
制御盤（全域ガス消火設備）	△ （基礎ボルト） 一次応力（引張）＊	×	―	制御盤（全域ガス消火設備）は，従来評価にて水平２方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。

注記＊：VI-2-別添 1-2-2，VI-2-別添 1-3-1～3 の各耐震計算書のうち，評価上厳しい応力を記載する。

表３－２　水平２方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果（2/2）

(2)　機能維持評価

設備名称	水平２方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	3.1(1)重畳の観点 ○：影響あり △：影響軽微	3.1(2)ねじれ振動等の観点 ×：発生しない ○：発生する	3.1(3)増分の観点 ○：影響あり ―：該当なし	検討結果
火災受信機盤	△	×	―	盤内に取付けられている電気品は，基本的に一次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて，基本的には全て梁，扉等の強度部材に強固に固定されているため，器具の非線形応答はないと考えられる。したがって，電気品は水平１方向の地震力を負担し，他の水平方向の地震力は負担しないため，水平２方向入力の影響は軽微である。
容器弁	△	×	―	容器弁は，従来評価にて水平２方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。
選択弁	△	○	―	選択弁は，従来評価にて水平２方向及び鉛直方向地震力を考慮済みである。 選択弁は配管系の三次元モデルを用いた解析により，従来評価よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施しているため，水平方向とその直交方向が相関する振動モードによる影響は考慮済みである。
制御盤（全域ガス消火設備）	△	×	―	盤内に取付けられている電気品は，基本的に一次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて，基本的には全て梁，扉等の強度部材に強固に固定されているため，器具の非線形応答はないと考えられる。したがって，電気品は水平１方向の地震力を負担し，他の水平方向の地震力は負担しないため，水平２方向入力の影響は軽微である。

Ⅵ-2-別添 2　溢水防護に係る施設の耐震性についての計算書

Ⅵ-2-別添 2-3　通水扉の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　配置概要 ····· 1
2.2　構造計画 ····· 3
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 5
2.5　記号の説明 ····· 6
3.　固有周期 ····· 8
3.1　固有周期の計算方法 ····· 8
3.1.1　水平方向（面外） ····· 8
3.1.2　水平方向（面内）及び鉛直方向 ····· 9
3.2　固有周期の計算条件 ····· 9
3.3　固有周期の計算結果 ····· 9
4.　構造強度評価 ····· 10
4.1　評価部位 ····· 10
4.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 11
4.2.1　荷重の組合せ ····· 11
4.2.2　荷重 ····· 11
4.3　許容限界 ····· 12
4.3.1　使用材料 ····· 12
4.3.2　許容限界 ····· 12
4.4　計算方法 ····· 13
4.5　計算条件 ····· 24
5.　評価結果 ····· 26

1. 概要

本資料は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり，溢水防護に関する施設である通水扉が，基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，排水機能を維持するために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。

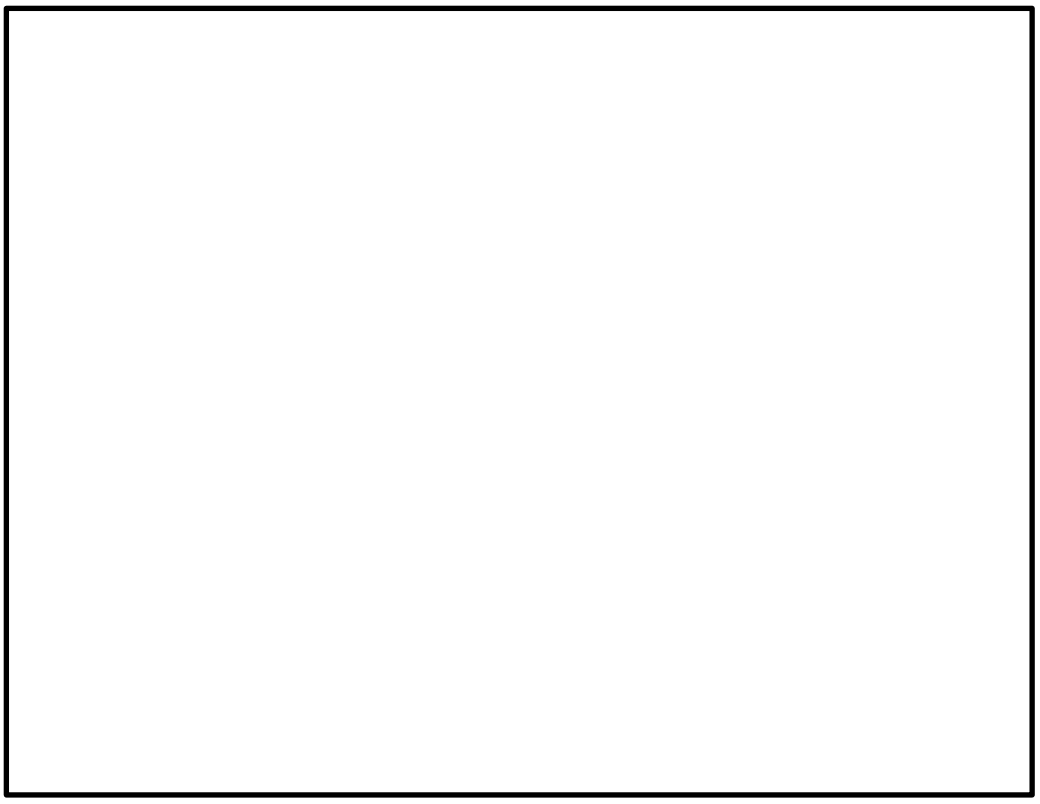
なお，評価対象は，地震起因の溢水に対して排水機能を期待する通水扉（以下「通水扉」という。）とする。

2. 一般事項

2.1 配置概要

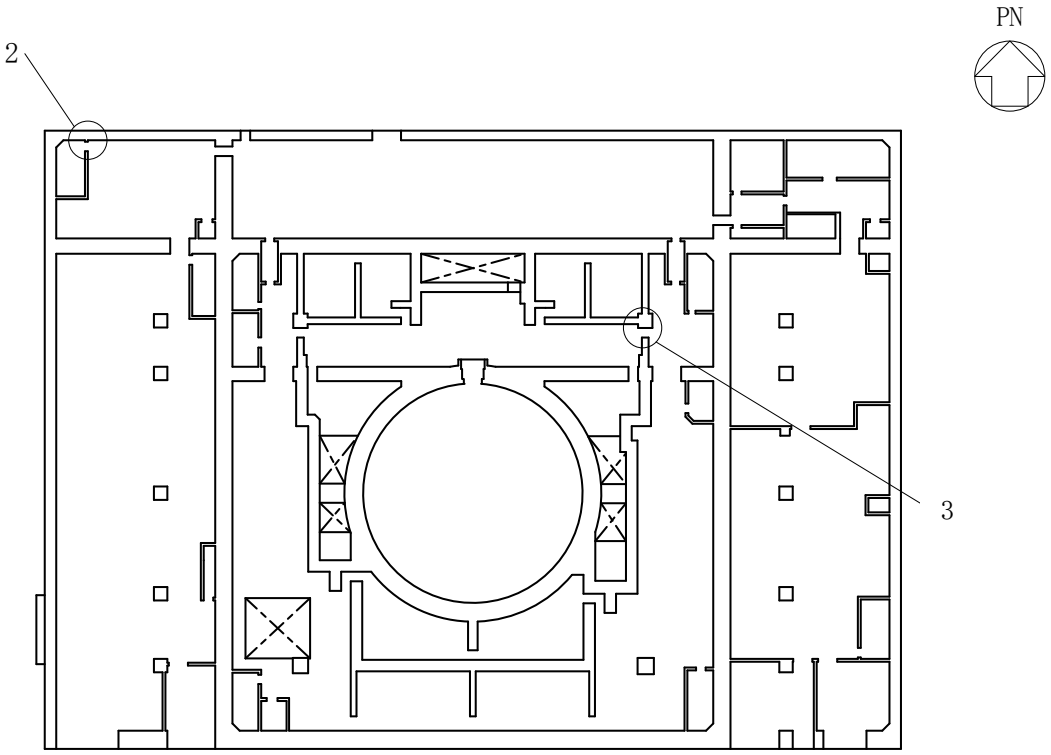
通水扉は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に示すとおり，原子炉建物に設置する。

通水扉の設置位置を図 2－1 に示す。



1	原子炉建物　1 階　Ⅰ－RCW ポンプ熱交換器室北東階段通水扉

図 2－1(1)　通水扉の設置位置図（原子炉建物地上 1 階）



2	原子炉建物　2階　RCW バルブ室西側通水扉
3	原子炉建物　2階　SRV 補修室東側通水扉

図 2－1(2)　通水扉の設置位置図（原子炉建物地上 2 階）

2.2　構造計画

通水扉の構造計画を表 2－1，概略構造図を図 2－2 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要	
支持構造	主体構造
通水扉は，丁番により扉枠に固定することで建物構造体と一体となった扉枠により支持される構造とする。内蔵する小扉フラップ（以下「小扉」という。）は，丁番により通水扉に固定することで通水扉により支持される構造とする。	通水扉は，小扉を内蔵した開き戸形式の鋼製扉とし，通水扉と支持構造である扉枠とを丁番により接合することで一体化させる構造とする。内蔵する小扉は開き戸形式の鋼製扉とし，丁番により通水扉に接合することで一体化させる構造とする。

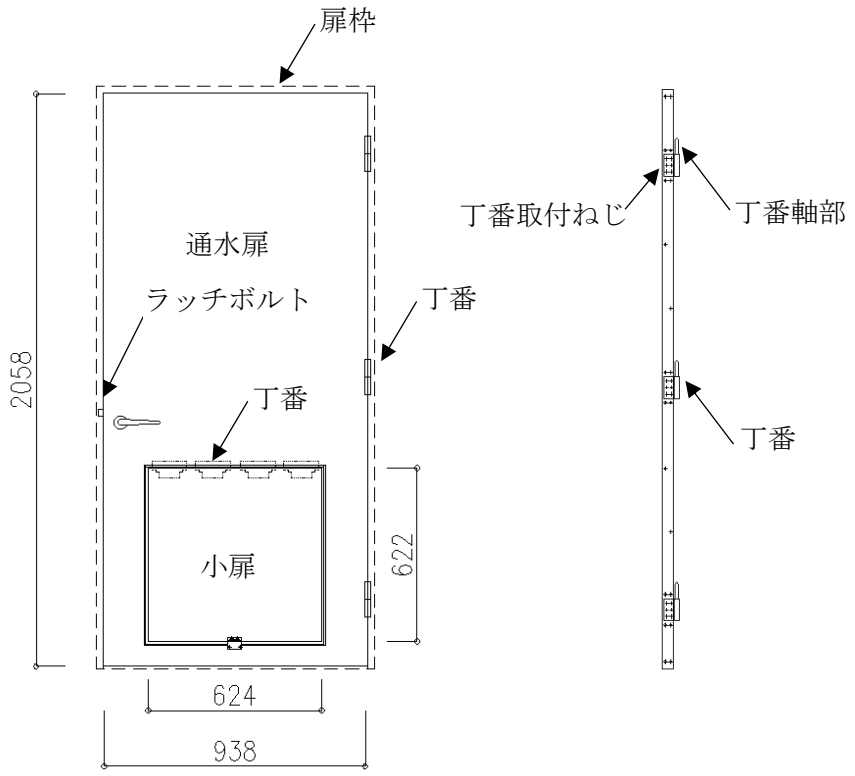


図 2－2　概略構造図

2.3　評価方針

通水扉の耐震評価は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1　構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.2　構造計画」にて示す通水扉の部位を踏まえ，「4.1　評価部位」にて設定する部位において，設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4.　構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

通水扉の耐震評価は，Ⅵ-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。

なお，図 2－1 で示すように，原子炉建物内には通水扉が 3 箇所あるが，通水扉は全て同一材料を使用した同一構造の扉であることから，地震力が最も大きい通水扉の地震力を用いて評価を実施する。

通水扉の耐震評価フローを図 2－3 に示す。

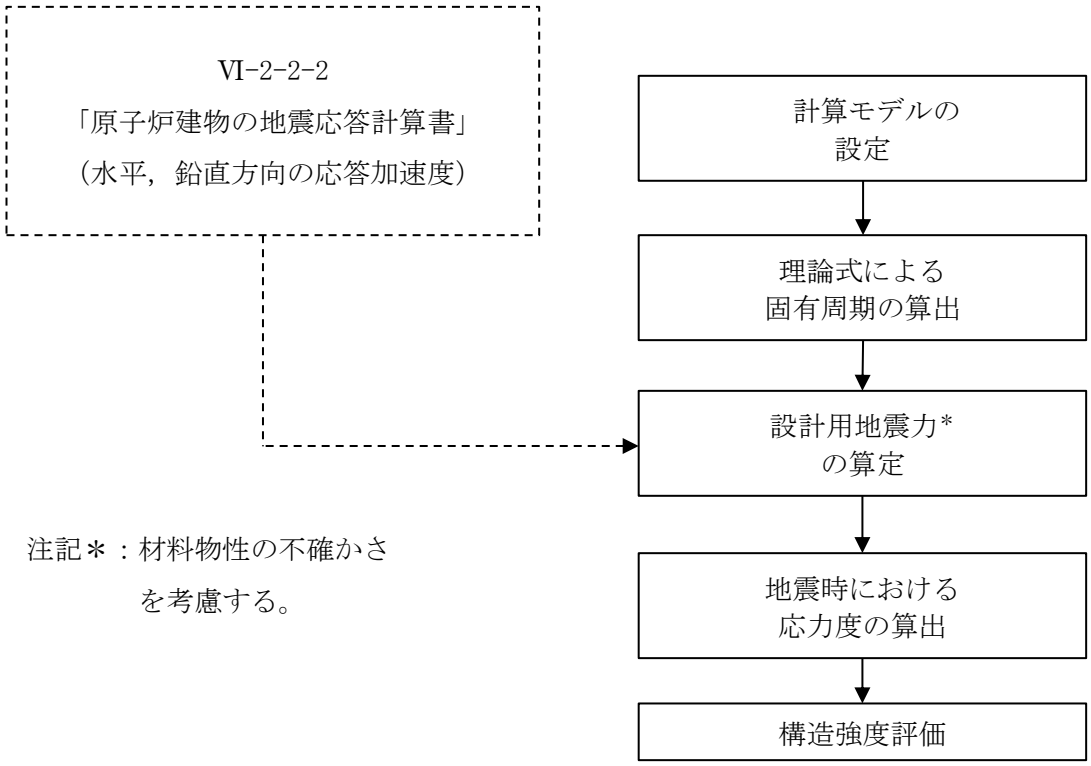


図 2－3　耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)　建築基準法・同施行令

(2)　鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，2005 改定）

(3)　ＪＩＳ　Ｇ　４３０３－2012　ステンレス鋼棒

(4)　ＪＩＳ　Ｂ　１０５４－１－2013　耐食ステンレス鋼製締結用部品の機械的性質

(5)　構造力学公式集（土木学会）

2.5　記号の説明

通水扉の耐震評価に用いる記号を表 2－2 に示す。

表 2－2(1)　通水扉の耐震評価に用いる記号

項目		記号	定義	単位
共通		E	ヤング率	N/mm^2
		F_H	水平地震力	N
		F_V	鉛直地震力	N
		T	固有周期	s
		f	通水扉及び小扉の 1 次固有振動数	Hz
		I	断面二次モーメント	m^4
		ℓ	芯材の長さ	m
		m	質量分布	kg/m
		C_H	水平震度	―
		C_V	鉛直震度	―
		Wx	扉体自重	N
丁番	共通	L_j	丁番中心間距離	mm
		L_r	扉体重心～丁番芯間距離（扉体幅方向）	mm
		R_r	扉体幅方向自重反力	N
	丁番軸部	A_1	丁番軸部の断面積	mm^2
		Q_1	丁番軸部のせん断力	N
		τ_1	丁番軸部のせん断応力度	N/mm^2
	丁番羽根	t_2	丁番羽根の厚さ	mm
		L_2	丁番羽根の長さ	mm
		A_2	丁番羽根の断面積	mm^2
		T_2	丁番羽根の引張力	N
		σ_{t2}	丁番羽根の引張応力度	N/mm^2
		Q_2	丁番羽根のせん断力	N
		τ_2	丁番羽根のせん断応力度	N/mm^2
	丁番取付ねじ	n_3	丁番取付ねじの本数	本
		A_3	丁番取付ねじの断面積	mm^2
		T_3	丁番取付ねじの引張力	N
		σ_{t3}	丁番取付ねじの引張応力度	N/mm^2
		Q_3	丁番取付ねじのせん断力	N
		τ_3	丁番取付ねじのせん断応力度	N/mm^2

表 2－2(2)　通水扉の耐震評価に用いる記号

項目	記号	定義	単位
ラッチボルト	A_4	ラッチボルトの断面積	mm^2
	Q_4	ラッチボルトのせん断力	N
	τ_4	ラッチボルトのせん断応力度	N/mm^2

表 2－2(3)　小扉の耐震評価に用いる記号

項目		記号	定義	単位
共通		F_H	水平地震力	N
		F_V	鉛直地震力	N
		C_H	水平震度	―
		C_V	鉛直震度	―
		W_x	扉体自重	N
丁番	共通	L_j	丁番中心間距離	mm
		L_r	扉体重心～丁番芯間距離（扉体高さ方向）	mm
		R_r	扉体高さ方向自重反力	N
	丁番芯棒	A_5	丁番芯棒の断面積	mm^2
		Q_5	丁番芯棒のせん断力	N
		τ_5	丁番芯棒のせん断応力度	N/mm^2
	丁番羽根	t_6	丁番羽根の厚さ	mm
		L_6	丁番羽根の長さ	mm
		A_6	丁番羽根の断面積	mm^2
		T_6	丁番羽根の引張力	N
		σ_{t6}	丁番羽根の引張応力度	N/mm^2
		Q_6	丁番羽根のせん断力	N
		τ_6	丁番羽根のせん断応力度	N/mm^2
	丁番取付ねじ	n_7	丁番取付ねじの本数	本
		A_7	丁番取付ねじの断面積	mm^2
		T_7	丁番取付ねじの引張力	N
		σ_{t7}	丁番取付ねじの引張応力度	N/mm^2
		Q_7	丁番取付ねじのせん断力	N
		τ_7	丁番取付ねじのせん断応力度	N/mm^2

3.　固有周期

3.1　固有周期の計算方法

固有周期は，扉閉止時及び扉開放時について，図 3－1 及び図 3－2 に示すはりモデルとして，「土木学会　構造力学公式集」に基づき計算する。

通水扉及び小扉は片側を丁番で，片側をラッチボルト又は小扉固定部材で固定される構造であることから，扉閉止時は，両側ヒンジのはりとしてモデル化する。扉開放時は，片側ヒンジ，片側自由端のはりとしてモデル化する。また，モデル化に用いる芯材の長さは扉幅又は扉高さとする。

3.1.1　水平方向（面外）

(1)　扉閉止時

扉閉止時の水平方向の固有周期は，図 3－1 に示す固有値計算モデルにより，扉体面外方向について算出する。

開き戸形式

$$T=\frac{1}{f}$$

$$f=\frac{\pi^2}{2\pi\ell^2}\sqrt{\frac{EI}{m}}$$

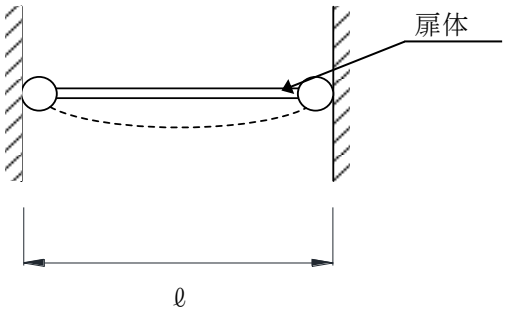


図 3－1　固有値計算モデル（扉閉止時）

(2)　扉開放時

扉開放時の水平方向の固有周期は，図 3－2 に示す固有値計算モデルにより，扉体面外方向について算出する。

開き戸形式

$$T=\frac{1}{f}$$

$$f=\frac{3.9266^2}{2\pi\ell^2}\sqrt{\frac{EI}{m}}$$

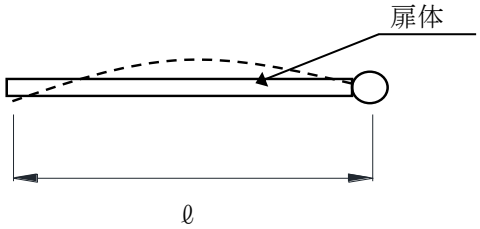


図 3－2　固有値計算モデル（扉開放時）

3.1.2　水平方向（面内）及び鉛直方向

水平方向（面内）及び鉛直方向については，扉に配された水平方向及び鉛直方向の芯材等の軸剛性が，「3.1.1　水平方向（面外）」で検討した面外方向の剛性に比べて十分に大きいことから，固有周期の計算を省略する。

3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表3－1に示す。

表3－1(1)　通水扉の固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	m	0.938
ヤング率	E	N/m^2	2.05×10^{11}
断面二次モーメント	I	m^4	2.6429×10^{-8}
質量分布	m	kg/m	32.0

表3－1(2)　小扉の固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	m	0.622
ヤング率	E	N/m^2	2.05×10^{11}
断面二次モーメント	I	m^4	0.5621×10^{-8}
質量分布	m	kg/m	5.0

3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表3－2に示す。計算結果より，剛構造であることを確認した。

表3－2　固有周期の計算結果

部位	扉の開閉状況	固有振動数(Hz)	固有周期(s)
通水扉	閉止時	23.230	0.043
	開放時	36.290	0.028
小扉	閉止時	61.636	0.016
	開放時	96.288	0.010

4.　構造強度評価

4.1　評価部位

通水扉（小扉を含む）の評価対象部位は，「2.2　構造計画」に示す通水扉の構造を踏まえ，通水扉に作用する荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し設定する。

通水扉に生じる地震力は，丁番及びラッチボルトから建物構造体と一体となった扉枠に，小扉に生じる地震力は，丁番から通水扉に伝達しているため，評価部位をそれぞれの丁番及びラッチボルトとする。なお，小扉固定部材は，固定力が小さく地震時の小扉の固定を期待しないことから構造強度の評価対象としない。

通水扉の地震荷重の作用イメージと評価部位を図 4－1 に示す。

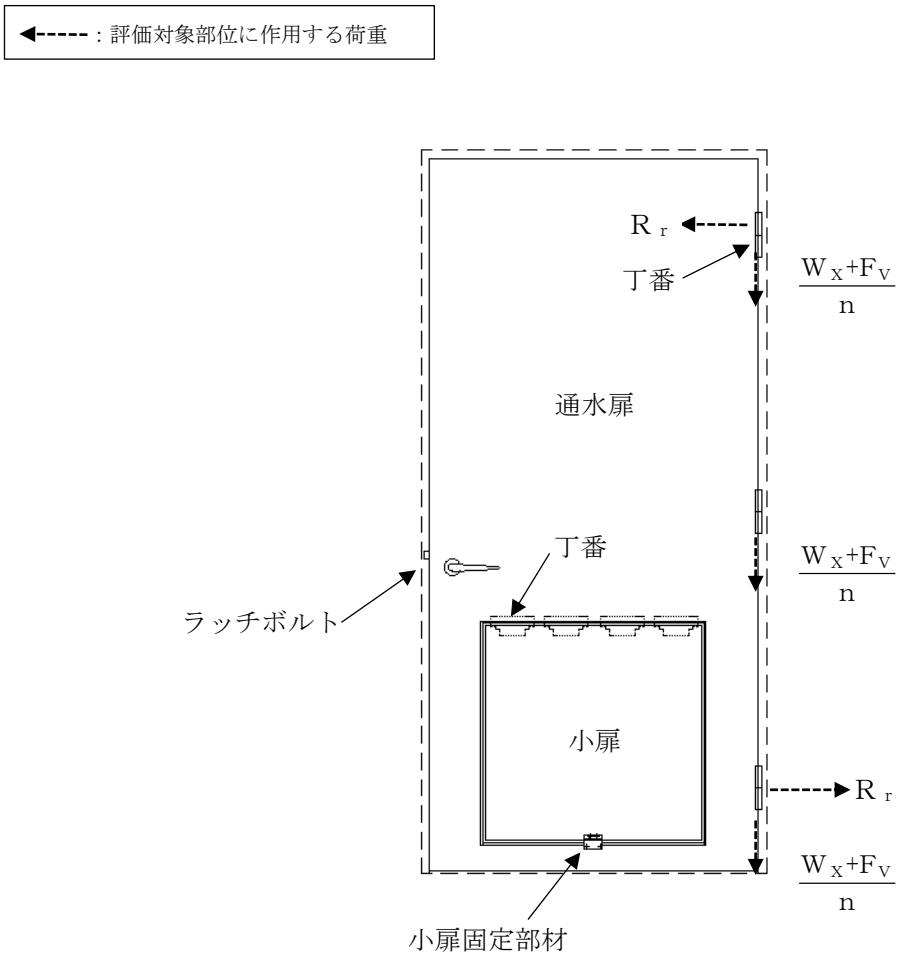


図 4－1　地震荷重の作用イメージと評価部位

4.2　荷重及び荷重の組合せ

4.2.1　荷重の組合せ

通水扉の耐震評価に用いる荷重の組合せを以下に示す。

$G + S_S$

G　　：固定荷重(kN)

S_S　　：基準地震動S_Sによる地震力(kN)

4.2.2　荷重

(1)　固定荷重（G）

通水扉の固定荷重を表 4－1 に示す。

表 4－1　固定荷重

固定荷重(kN)
0.770

注：固定荷重 0.770(kN)には小扉重量 0.115(kN)を含む。

(2)　地震荷重（S_S）

基準地震動S_Sによる荷重は，表 4－2 で示した各扉の設計震度のうち最も大きい値を用いて，次式により算定する。耐震評価に用いる震度は，材料物性の不確かさを考慮したものとしてⅥ-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」によることとし，設置階及びその上階の値のうち大きい方とする。また，水平方向はＮＳ方向とＥＷ方向のうち大きい方とする。

$S_S = G \cdot K$

ここで，S_S　：基準地震動S_Sによる地震力(kN)

G　　：固定荷重(kN)

K　　：設計震度

表 4－2　設計震度

通水扉名称	設置場所	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
Ⅰ－RCW ポンプ熱交換器室北東階段通水扉	EL 15300	1.02	1.28
RCW バルブ室西側通水扉	EL 23800	1.46*	1.44*
SRV 補修室東側通水扉			

注記＊：評価に用いる設計震度

4.3　許容限界

許容限界は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1　使用材料

通水扉を構成する丁番及びラッチボルトの使用材料を表 4－3 に示す。

表 4－3　使用材料

部位		材質	仕様
丁番	丁番軸部	SUS304	φ12
	丁番羽根	SUS304	T＝4
	丁番取付ねじ	SUSXM7	M5
ラッチボルト		SUS304	16×22
丁番（小扉）	丁番芯棒	SUS304	φ6
	丁番羽根	SUS304	T＝2
	丁番取付ねじ	SUSXM7	M4

4.3.2　許容限界

丁番及びラッチボルトを構成する部材の許容限界は，「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-（(社) 日本建築学会，2005 改定)」(以下「Ｓ規準」という。）に準じて設定する。各部材の許容限界を表 4－4 に示す。

表 4－4　丁番及びラッチボルトの許容限界

材質	許容限界(N/mm²)		
	曲げ	引張	せん断
SUS304	205	205	118
SUSXM7	175	175	101

注：許容応力度を決定する場合の基準値Ｆは日本産業規格（ＪＩＳ）に基づく。

4.4　計算方法

通水扉の耐震評価は，地震により生じる応力度が，「4.3　許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

(1)　荷重計算方法

a.　丁番（通水扉）

丁番は，丁番軸部，丁番羽根及び丁番取付ねじで構成されており，次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から，各部材に発生する応力度を算定する。丁番に生じる荷重を図 4－2 に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

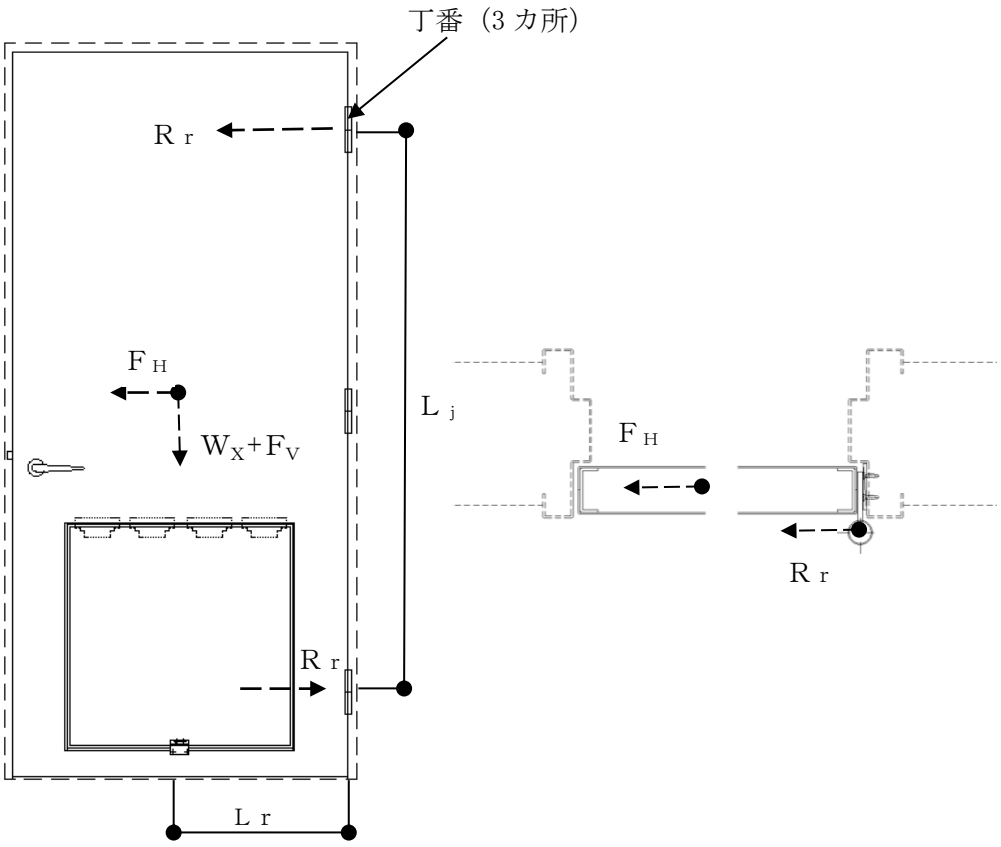


図 4－2　丁番に生じる荷重

(a)　丁番軸部

丁番軸部は，せん断応力度について評価する。図 4－3 に丁番軸部に生じる荷重を示す。丁番軸部に生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_1 = R_r + \frac{F_H}{3}$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

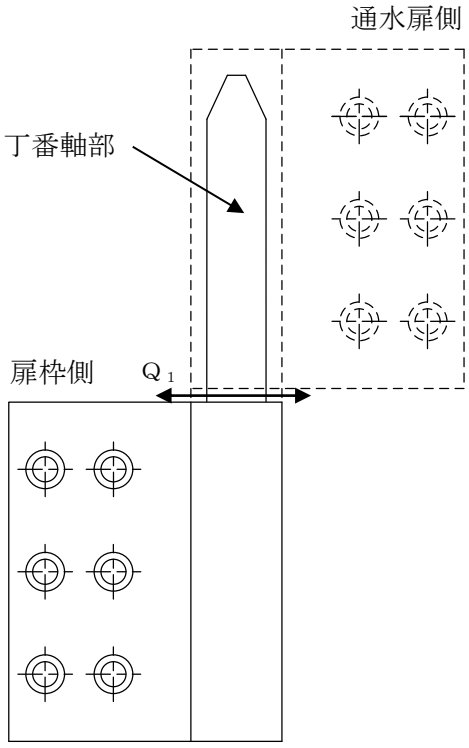


図 4－3　丁番軸部に生じる荷重

(b)　丁番羽根

丁番羽根は，引張応力度及びせん断応力度について評価する。図 4－4 に丁番羽根に生じる荷重を示す。丁番羽根に生じる引張力及び引張応力度，せん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$T_2 = R_r + \frac{F_H}{3}$$

$$\sigma_{t2} = \frac{T_2}{A_2}$$

$$Q_2 = \frac{W_X + F_V}{3}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

$$A_2 = t_2 \cdot L_2$$

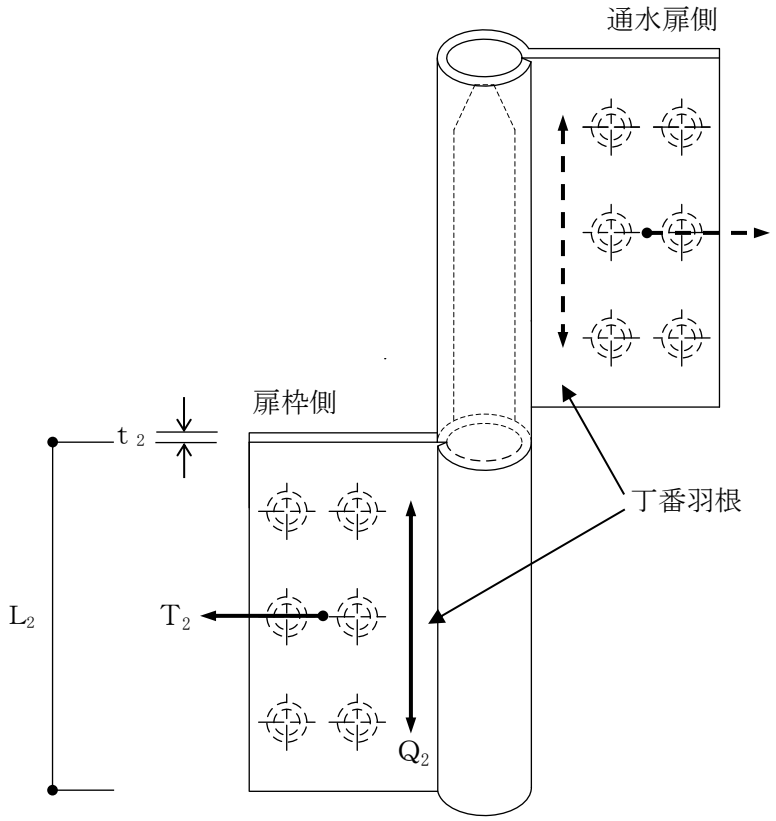


図 4－4　丁番羽根に生じる荷重

(c)　丁番取付ねじ

丁番取付ねじは，引張応力度及びせん断応力度について評価する。丁番取付ねじに生じる荷重は，扉の開閉状態や地震方向によって引張力として作用したり，せん断力として作用したりすることから次式により算定する。なお，45°や 135°等の上記以外の開放状況下においては，丁番取付ねじに生じる引張力とせん断力はそれぞれ 90°開放時の引張力，180°開放時のせん断力に包絡されるため，開放状況は 90°と 180°を想定するものとする。図 4－5 に丁番取付ねじに生じる荷重を示す。

$$T_3 = R_r + \frac{F_H}{3}$$

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_3 \cdot A_3}$$

$$Q_3 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{3}\right)^2 + \left(\frac{W_X + F_V}{3}\right)^2}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_3 \cdot A_3}$$

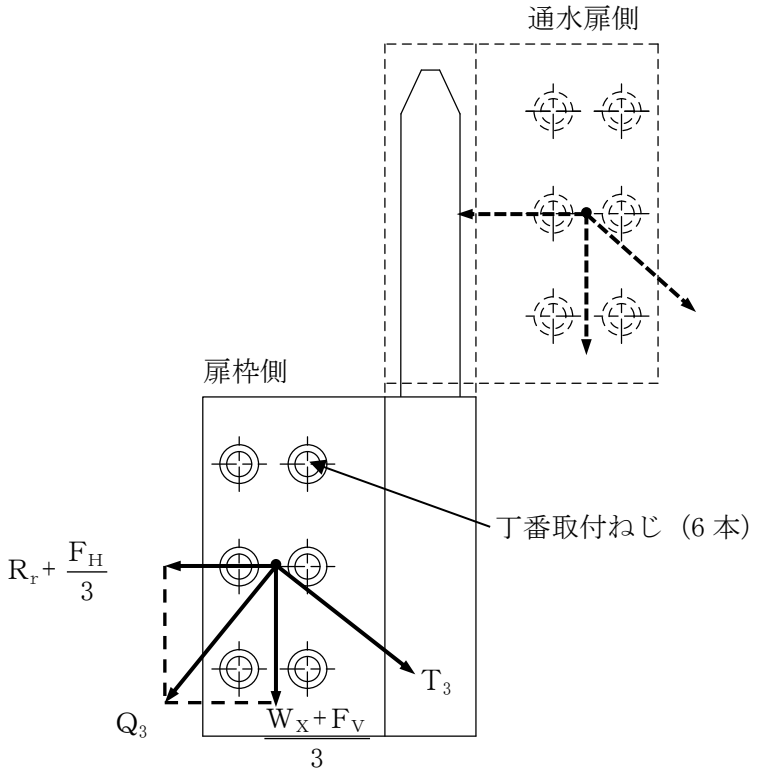


図 4－5　丁番取付ねじに生じる荷重

b.　ラッチボルト

ラッチボルトは，次式により算定する水平地震力から，部材に発生する応力度を算定する。ラッチボルトに生じる荷重を図 4－6 に示す。

$$Q_4 = F_H$$

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

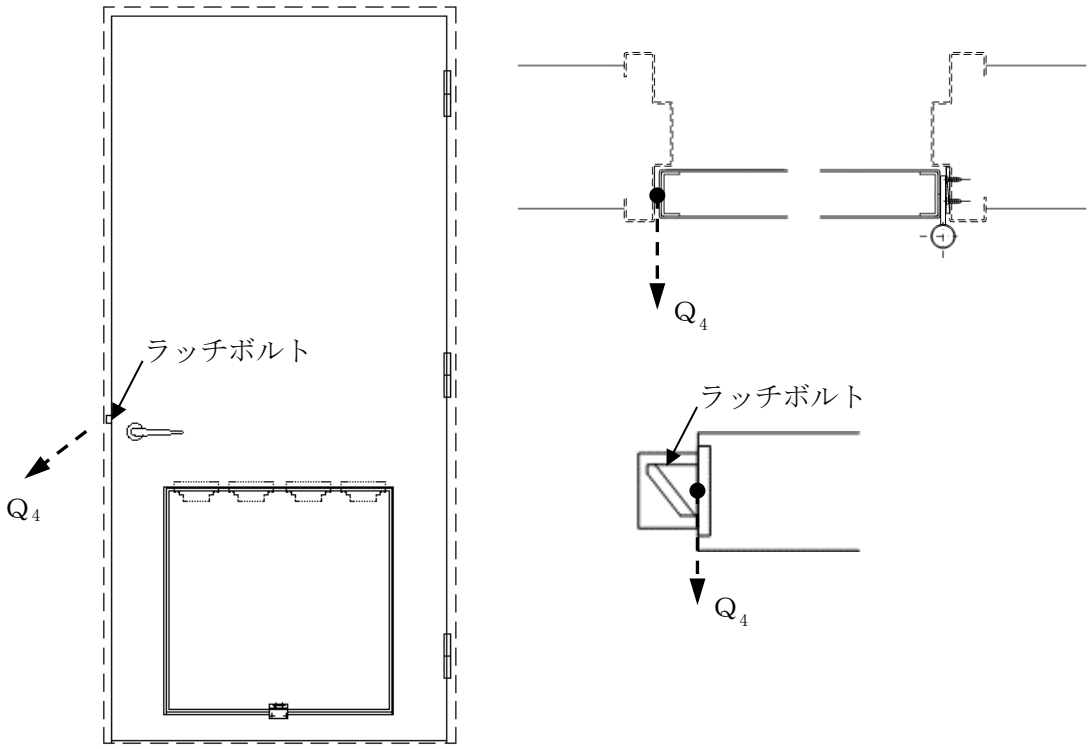


図 4－6　ラッチボルトに生じる荷重

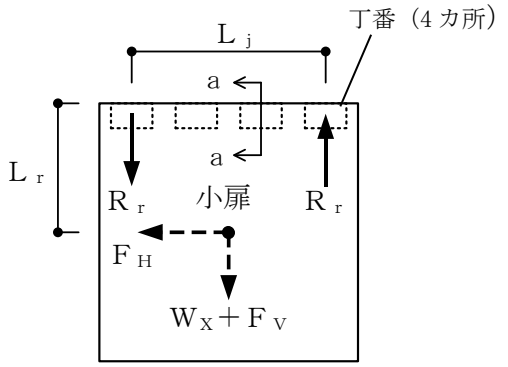
c. 丁番（小扉）

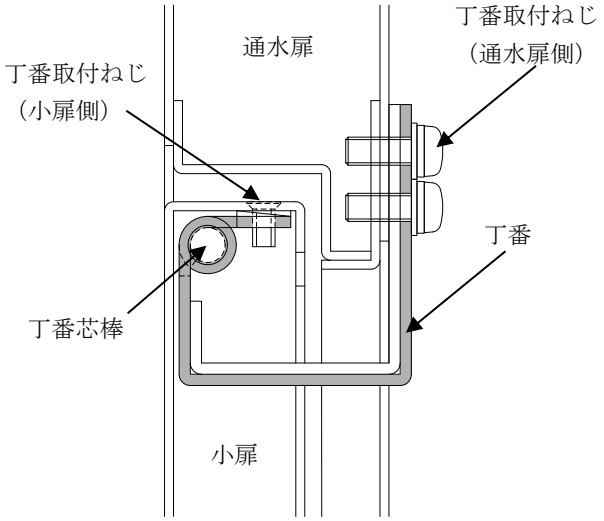
丁番は，丁番芯棒，丁番羽根及び丁番取付ねじで構成されており，次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から，各部材に発生する応力度を算定する。丁番（小扉）に生じる荷重を図 4－7 に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = F_H \cdot \frac{L_r}{L_j}$$





a-a 断面

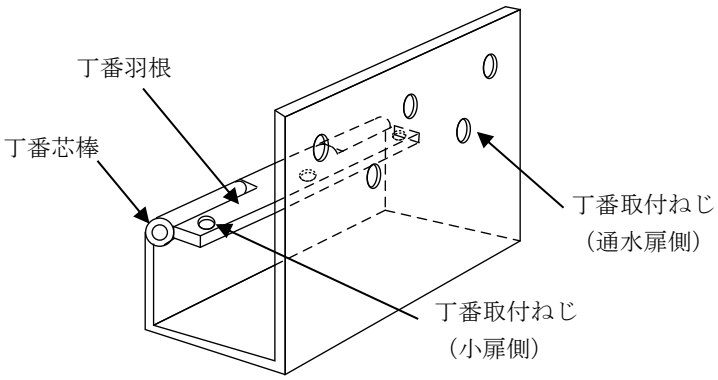


図 4－7　丁番（小扉）に生じる荷重

(a)　丁番芯棒

丁番芯棒は，せん断応力度について評価する。図 4－8 に丁番芯棒に生じる荷重を示す。丁番芯棒に生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_5 = R_r + \frac{W_X + F_V}{4}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

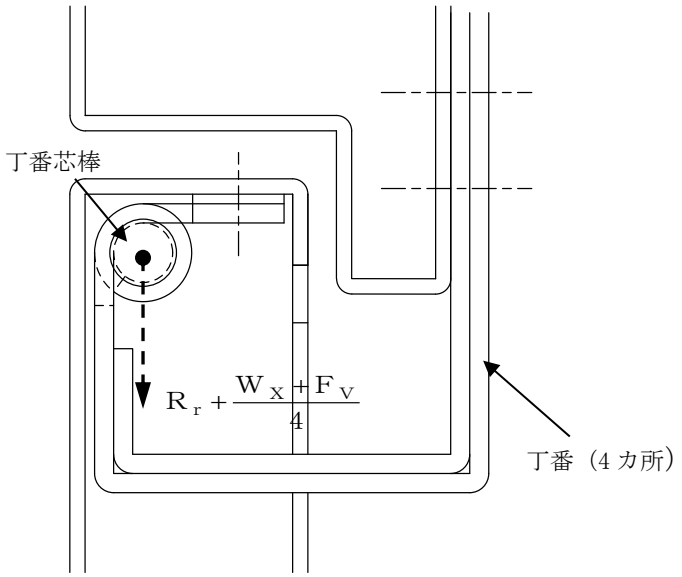


図 4－8　丁番芯棒に生じる荷重

(b)　丁番羽根

丁番羽根は断面積の小さい通水扉側を対象として，引張応力度及びせん断応力度について評価する。図 4－9 に丁番羽根に生じる荷重を示す。丁番羽根に生じる引張力及び引張応力度，せん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$T_6 = \frac{W_X + F_v}{4}$$

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{A_6}$$

$$Q_6 = \frac{F_H}{4}$$

$$\tau_6 = \frac{Q_6}{A_6}$$

$$A_6 = t_6 \cdot L_6$$

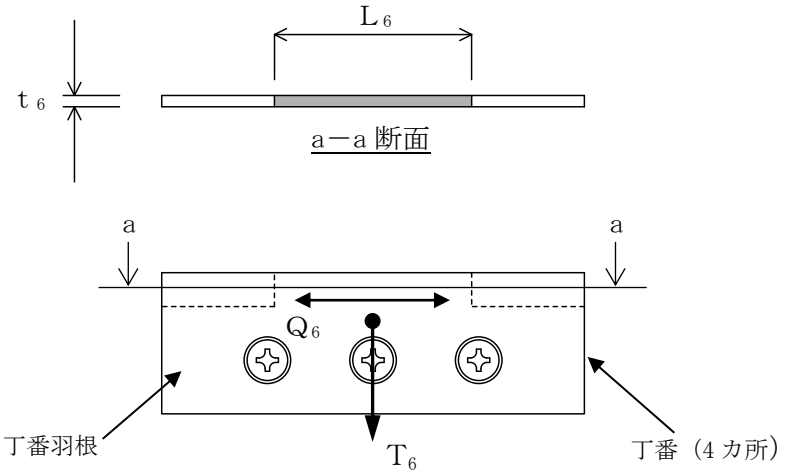


図 4－9　丁番羽根に生じる荷重

(c)　丁番取付ねじ

丁番取付ねじは，軸径が小さく本数の少ない小扉側を対象として，引張応力度及びせん断応力度について評価する。図 4－10 に丁番取付ねじに生じる荷重を示す。丁番ねじに生じる引張力及び引張応力度，せん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

丁番取付ねじに生じる引張力とせん断力は，90°開放時の引張力とせん断力に包絡されるため，開放状況は 90°を想定するものとする。

$$T_7 = R_r + \frac{F_H}{4}$$

$$\sigma_{t7} = \frac{T_7}{n_7 \cdot A_7}$$

$$Q_7 = \sqrt{\left(\frac{F_H}{4}\right)^2 + \left(\frac{W_X + F_v}{4}\right)^2}$$

$$\tau_7 = \frac{Q_7}{n_7 \cdot A_7}$$

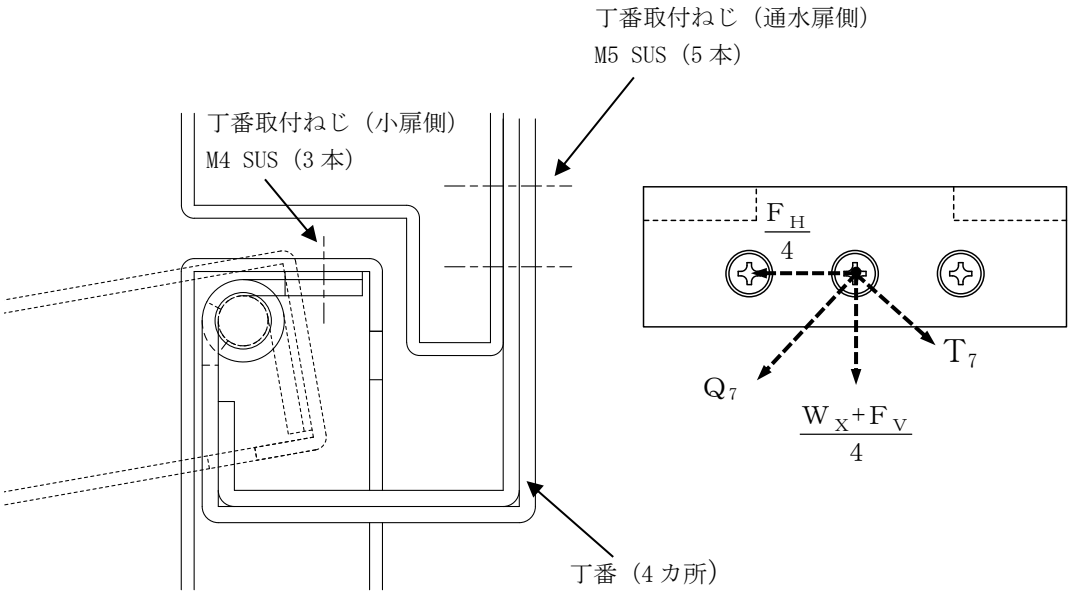


図 4－10　丁番取付ねじに生じる荷重

(2) 応力の評価

各部材に生じる応力度等が，許容限界以下であることを確認する。

a. 丁番（通水扉）

(a) 丁番軸部

丁番軸部に生じるせん断応力度を次式により算定し，丁番軸部に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

(b) 丁番羽根

丁番羽根に生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し，丁番羽根に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t2} = \frac{T_2}{A_2}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

(c) 丁番取付ねじ

丁番取付ねじに生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し，丁番取付ねじの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_3 \cdot A_3}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_3 \cdot A_3}$$

b. ラッチボルト

ラッチボルトに生じるせん断応力度を次式により算定し，ラッチボルトに生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

c. 丁番（小扉）

(a) 丁番芯棒

丁番芯棒に生じるせん断応力度を次式により算定し，丁番芯棒に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\tau_5=\frac{Q_5}{A_5}$$

(b) 丁番羽根

丁番羽根に生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し，丁番羽根に生じる応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t6}=\frac{T_6}{A_6}$$

$$\tau_6=\frac{Q_6}{A_6}$$

(c) 丁番取付ねじ

丁番取付ねじに生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し，丁番取付ねじの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t7}=\frac{T_7}{n_7\cdot A_7}$$

$$\tau_7=\frac{Q_7}{n_7\cdot A_7}$$

4.5　計算条件

「4.4　計算方法」に用いる計算条件を表 4－5 に示す。

表 4－5(1)　通水扉の耐震評価に用いる計算条件

項目		記号	単位	定義	数値
共通		F_H	N	水平地震力	1124.2
		F_V	N	鉛直地震力	1108.8
		C_H	―	水平震度	1.46
		C_V	―	鉛直震度	1.44
		Wx	N	扉体自重	770
丁番	共通	L_j	mm	丁番中心間距離	1598
		L_r	mm	扉体重心～丁番芯間距離（扉体幅方向）	469
		R_r	N	扉体幅方向自重反力	551.4
	丁番軸部	A_1	mm^2	丁番軸部の断面積	113.09
		Q_1	N	丁番軸部のせん断力	926.1
	丁番羽根	t_2	mm	丁番羽根の厚さ	4
		L_2	mm	丁番羽根の長さ	74.5
		A_2	mm^2	丁番羽根の断面積	298
		T_2	N	丁番羽根の引張力	926.1
		Q_2	N	丁番羽根のせん断力	626.3
	丁番取付ねじ	n_3	本	丁番取付ねじの本数	6
		A_3	mm^2	丁番取付ねじの断面積	14.2
		T_3	N	丁番取付ねじの引張力	926.1
		Q_3	N	丁番取付ねじのせん断力	1118.0
ラッチボルト		A_4	mm^2	ラッチボルトの断面積	352
		Q_4	N	ラッチボルトのせん断力	1124.2

表 4－5(2)　小扉の耐震評価に用いる計算条件

項目		記号	単位	定義	数値
共通		F_H	N	水平地震力	167.9
		F_V	N	鉛直地震力	165.6
		C_H	―	水平震度	1.46
		C_V	―	鉛直震度	1.44
		Wx	N	扉体自重	115
丁番	共通	L_j	mm	丁番中心間距離	474
		L_r	mm	扉体重心～丁番芯間距離（扉体高さ方向）	311
		R_r	N	扉体高さ方向自重反力	110.2
	丁番芯棒	A_5	mm^2	丁番芯棒の断面積	28.27
		Q_5	N	丁番芯棒のせん断力	180.4
	丁番羽根	t_6	mm	丁番羽根の厚さ	2
		L_6	mm	丁番羽根の長さ	35
		A_6	mm^2	丁番羽根の断面積	70
		T_6	N	丁番羽根の引張力	70.2
		Q_6	N	丁番羽根のせん断力	42.0
	丁番取付ねじ	n_7	本	丁番取付ねじの本数	3
		A_7	mm^2	丁番取付ねじの断面積	8.78
		T_7	N	丁番取付ねじの引張力	152.2
		Q_7	N	丁番取付ねじのせん断力	81.7

5. 評価結果

通水扉の評価結果を表 5－1 に示す。発生値は許容限界を下回っており，設計用地震力に対して十分な耐震性を有していることを確認した。

表 5－1(1)　通水扉の耐震評価結果

評価部位		分類	発生値	許容限界	判定
丁番	丁番軸部	せん断(N/mm^2)	9	118	OK
	丁番羽根	引張(N/mm^2)	4	205	OK
		せん断(N/mm^2)	3	118	OK
	丁番取付ねじ	引張(N/mm^2)	11	175	OK
		せん断(N/mm^2)	14	101	OK
ラッチボルト		せん断(N/mm^2)	4	118	OK

表 5－1(2)　小扉の耐震評価結果

評価部位		分類	発生値	許容限界	判定
丁番	丁番芯棒	せん断(N/mm^2)	7	118	OK
	丁番羽根	引張(N/mm^2)	2	205	OK
		せん断(N/mm^2)	1	118	OK
	丁番取付ねじ	引張(N/mm^2)	6	175	OK
		せん断(N/mm^2)	4	101	OK

Ⅵ-2-別添2-4　燃料プール冷却系弁の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
2.3　構造計画 ····· 12
3.　計算条件 ····· 14
3.1　計算方法 ····· 14
3.2　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 15
3.3　設計条件 ····· 16
3.4　材料及び許容応力 ····· 26
3.5　設計用地震力 ····· 27
4.　解析結果及び評価 ····· 28
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 28
4.2　評価結果 ····· 40
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 40
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 41
4.2.3　弁の動的機能維持の評価結果 ····· 42
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 43

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-2-別添2-1「溢水防護に係る施設の耐震計算の方針」に従い，溢水量低減を目的として，燃料プール冷却系弁が基準地震動Ｓｓに対して十分に動的機能を維持していることを確認するものである。

燃料プール冷却系弁は，設計基準対象施設においてはＢクラスの施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価および動的機能維持評価を示す。

なお，燃料プール冷却系弁は，管と合わせて耐震評価を実施することから，Ⅵ-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法　添付資料-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき評価を実施する。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

概略系統図に示す評価対象範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全2弁を全2モデルの配管系として解析モデルを作成し，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

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

(3) 弁

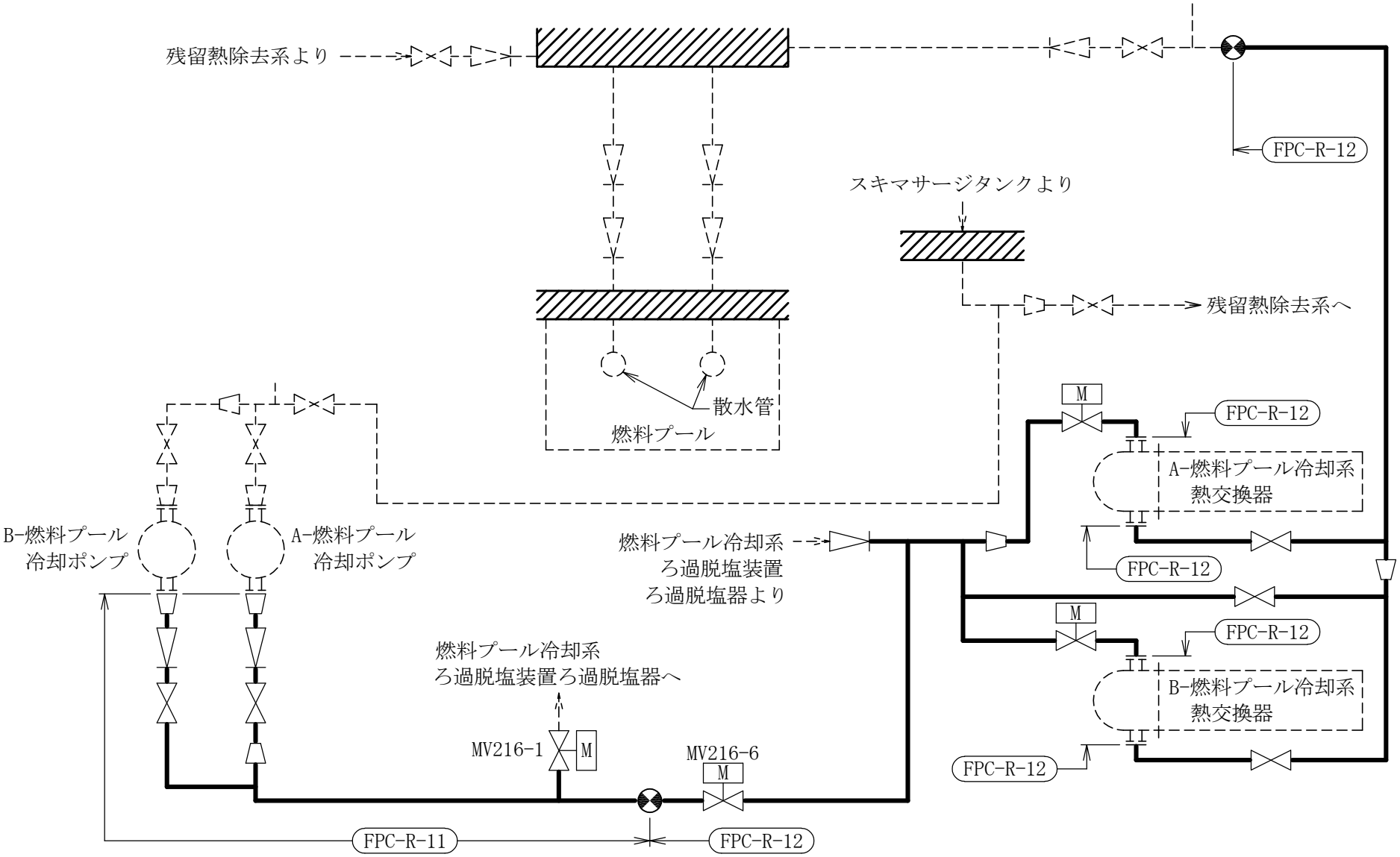
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

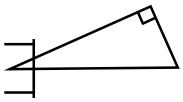
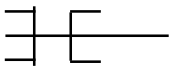
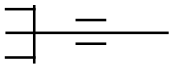
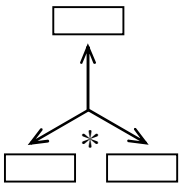
記　　号	内　　容
―――― （太線）	本計算書に評価結果を記載する管（基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲）
- - - - - - - - （破線）	本計算書に評価結果を記載しない管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（代表モデル）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（代表モデル以外）
	アンカ



燃料プール冷却系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━（太線）	本計算書に評価結果を記載する管（基準地震動Ｓｓによる地震力に対して，十分な耐震性を有することを評価する範囲）
------（破線）	本計算書に評価結果を記載しない管であって系統の概略を示すために表記する管
●	質点
⊗	アンカ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(㎜) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□ 内に変位量を記載する。） 注：鳥瞰図中の寸法の単位は㎜である。

鳥瞰図	FPC-R-11(1/3)

鳥瞰図	FPC-R-11(2/3)

鳥瞰図	FPC-R-11(3/3)

鳥瞰図	FPC-R-12(1/4)

鳥瞰図	FPC-R-12(2/4)

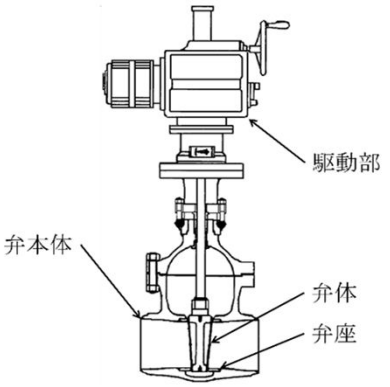
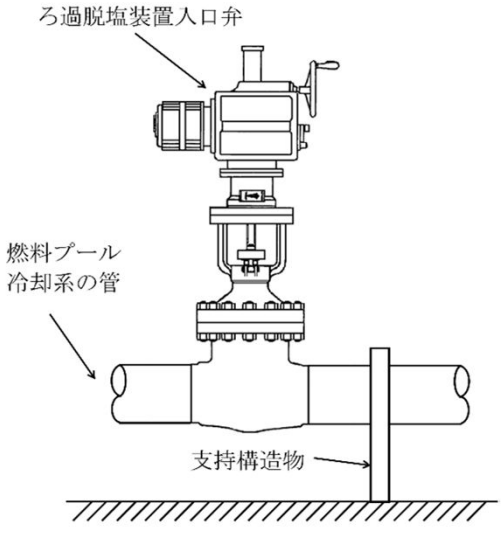
鳥瞰図	FPC-R-12(3/4)

鳥瞰図	FPC-R-12(4/4)

2.3　構造計画

ろ過脱塩装置入口弁(MV216-1)は電動ゲート弁であり，弁体を弁座に密着することで止水する。電動ゲート弁の構造計画を表2－1に示す。

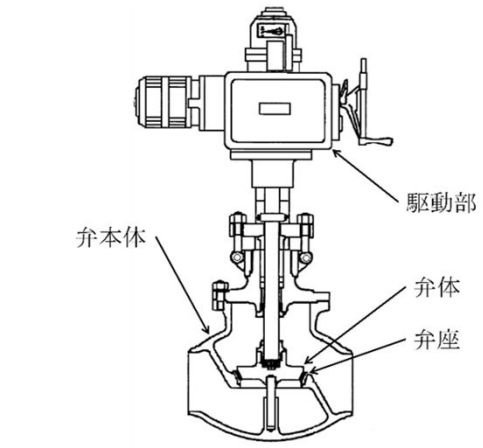
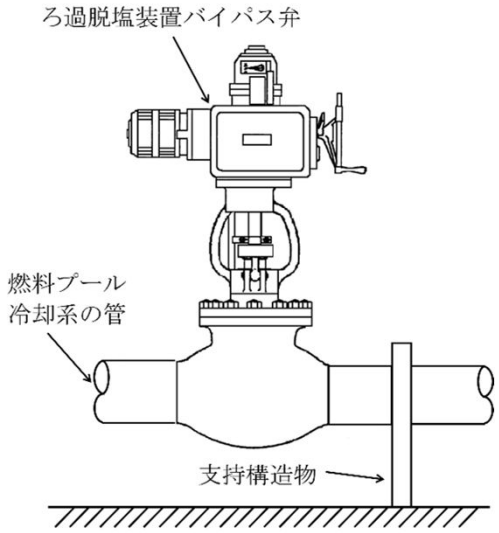
表2－1　構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
ろ過脱塩装置入口弁	電動ゲート弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	燃料プール冷却系の管に設置される。弁が設置された管は支持構造物にて支持される。	 弁断面構造図  弁設置位置

構造計画

ろ過脱塩装置バイパス弁(MV216-6)は電動グローブ弁であり，弁体を弁座に密着することで止水する。電動グローブ弁の構造計画を表2－2に示す。

表2－2　構造計画

設備名称	計画の概要			概略構造図
	型式	主体構造	支持構造	
ろ過脱塩装置バイパス弁	電動グローブ弁	弁体を含む弁本体，弁体を電動にて駆動する駆動部で構成される。	燃料プール冷却系の管に設置される。弁が設置された管は支持構造物にて支持される。	 弁断面構造図  弁設置位置

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「ＨＩＳＡＰ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2　荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
—	—	燃料プール冷却系	ＤＢ	—	クラス３管	Ｂ	I_{L}＋Ｓｓ*4	IV_{A}Ｓ
							II_{L}＋Ｓｓ*4	

注記＊1：ＤＢは設計基準対象施設を示す。
＊2：運転状態の添字Ｌは荷重を示す。
＊3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊4：溢水量低減を目的として，基準地震動Ｓｓに対する評価を実施する。

3.3　設計条件

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

鳥　瞰　図　FPC-R-11

管番号	対応する評価点	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	外径(mm)	厚さ(mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数(MPa)
1	1A～40,522～53N 622～63N,26～71	1.37	66	216.3	8.2	STPT42	B	200920
2	41～44,45～46 47～521,39～54 55～56,57～621	1.37	66	165.2	7.1	STPT42	B	200920

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　FPC-R-11

質量	対応する評価点
[redacted]	301F
[redacted]	53N,63N

弁部の質量

鳥　瞰　図　FPC-R-11

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	44～45, 54～55	[redacted]	46～47, 56～57
[redacted]	71, 72	[redacted]	710
[redacted]	711	[redacted]	712

弁部の寸法

鳥　瞰　図　FPC-R-11

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
44～45				46～47			
54～55				56～57			
71～710				710～7101			
7101～711				711～712			
710～72							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　FPC-R-11

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N･mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
2						
8						
15						
161						
19						
30						
31						
331						
42						
451						
53N						
551						
63N						
65						
66						
682						
701						
7101						

設計条件

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

鳥　瞰　図　FPC-R-12

管番号	対応する評価点	最高使用圧力(MPa)	最高使用温度(℃)	外径(mm)	厚さ(mm)	材料	耐震重要度分類	縦弾性係数(MPa)
1	14～22,17～67 71～7201	1.37	66	216.3	8.2	SUS304TP	B	192840
2	23～24,28～45N 21～86,90～107N 83～111	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	B	192840
3	7201～73	1.37	66	216.3	8.2	SF440A	B	199840
4	73～7401	1.37	66	216.3	8.2	STPT410	B	200920
5	7401～80A	1.37	66	216.3	8.2	STPT42	B	200920
6	112～116,117～127N 114～129,131～134 135～145N	1.37	66	165.2	7.1	SUS304TP	B	193400
7	130～133A	1.37	66	216.3	8.2	SUS304TP	B	193400

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　FPC-R-12

質量	対応する評価点
[redacted]	39F, 101F, 121F, 139F
[redacted]	45N, 107N, 127N, 145N

弁部の質量

鳥　瞰　図　FPC-R-12

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	13～14	[redacted]	24, 28, 86, 90
[redacted]	25, 87	[redacted]	26, 88
[redacted]	27, 89	[redacted]	67, 71
[redacted]	68	[redacted]	69
[redacted]	70	[redacted]	111～112
[redacted]	116～117, 134～135		

弁部の寸法

鳥　瞰　図　FPC-R-12

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
13～14				24～25			
25～26				26～261			
261～27				25～28			
67～68				68～69			
69～70				68～71			
86～87				87～88			
88～881				881～89			
87～90				111～112			
116～117				134～135			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　FPC-R-12

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
1901						
261						
261						
29						
** 34 **						
45N						
72						
80A						
881						
881						
91						
96						
107N						
127N						
133A						
145N						

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓ
STPT42	66	―	231	407	―
SUS304TP	66	―	188	479	―
SF440A	66	―	217	411	―
STPT410	66	―	231	407	―

3.5　設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトルを下表に示す。

なお，設計用床応答スペクトルは，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき策定したものを用いる。また，減衰定数はⅥ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数(%)	等価繰返し回数	
				Ｓｄ	Ｓｓ
FPC-R-11	原子炉建物				
FPC-R-12	原子炉建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FPC-R-11

適用する地震動等		基準地震動Ｓｓ		
モード*1	固有周期(s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向
1 次				
2 次				
3 次				
動 的 震 度*3				

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

＊2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動Ｓｓ)より得られる震度

＊3：設計用震度Ⅱ(基準地震動Ｓｓ)

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　FPC-R-11

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				

注記＊：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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図（1次）

鳥瞰図	ＦＰＣ－Ｒ－１１

代表的振動モード図（2次）

鳥瞰図	ＦＰＣ－Ｒ－１１

代表的振動モード図（3次）

鳥瞰図	ＦＰＣ－Ｒ－１１

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　FPC-R-12

適用する地震動等		基準地震動Ｓｓ		
モード*1	固有周期(s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
動 的 震 度*3				

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

＊2：設計用床応答スペクトルⅠ(基準地震動Ｓｓ)より得られる震度

＊3：設計用震度Ⅰ(基準地震動Ｓｓ)

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　FPC-R-12

モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				

注記＊：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，次頁以降に示す。

代表的振動モード図（1次）

鳥瞰図	ＦＰＣ－Ｒ－１２

代表的振動モード図（2次）

鳥瞰図	ＦＰＣ－Ｒ－１２

代表的振動モード図（3次）

鳥瞰図	ＦＰＣ－Ｒ－１２

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス２以下の管

許容応力状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図番号	最大応力評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数
ⅣＡＳ	一次応力(0.9・Ｓｕ)	FPC-R-11	39	80	366	―
	一次＋二次応力(2・Ｓｙ)	FPC-R-12	106	113	376	―

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果		
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッバ	—	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		—	—	—
—	オイルスナッバ	—			—	—	—
RE-FPC-373	ロッドレストレイント	RTS-6			29	108	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記＊1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

＊2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して，ＪＥＡＧ４６０１に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお，一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	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)
					Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz			
RE-FPC-372	レストレイント	パイプバンド	STK400	66	24	33	0	—	—	—	圧縮	33	143
AN-FPC-201	アンカ	ラグ	SUS304	66	13	16	27	3	13	10	組合せ	35	118

4.2.3　弁の動的機能維持の評価結果

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

弁番号	形式	要求機能*1	機能維持評価用加速度 (×9.8m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8m/s^2)		動作機能確認済加速度*2 (×9.8m/s^2)		構造強度評価結果*2 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
MV216-1	電動ゲート弁	β（Ｓｓ）	3.6	1.9	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—
MV216-6	電動グローブ弁	β（Ｓｓ）	3.3	1.9	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—

注記＊1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。
α（Ｓｓ）：基準地震動Ｓｓ，弾性設計用地震動Ｓｄ時に動的機能が要求されるもの
α（Ｓｄ）：弾性設計用地震動Ｓｄ時に動的機能が要求されるもの
β（Ｓｓ）：基準地震動Ｓｓ，弾性設計用地震動Ｓｄ後に動的機能が要求されるもの
β（Ｓｄ）：弾性設計用地震動Ｓｄ後に動的機能が要求されるもの
＊2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

クラス２以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IVAS										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	FPC-R-11	39	80	366	4.57	○	39	133	462	3.47	—	－
2	FPC-R-12	106	74	431	5.82	－	106	113	376	3.32	—	○

Ⅵ-3　強度に関する説明書

Ⅵ-3-3　強度計算書

Ⅵ-3-3-3　原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書

Ⅵ-3-3-3-3　残留熱除去設備の強度計算書

Ⅵ-3-3-3-3-1　残留熱除去系の強度計算書

Ⅵ-3-3-3-3-1-3　残留熱除去系ストレーナの強度計算書

まえがき

本計算書は，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」及びⅥ-3-2-9「重大事故等クラス２管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，Ⅵ-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

機器名	既設or新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか					既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	DBクラス	SAクラス	条件アップの有無	DB条件		SA条件						
								圧力(MPa)	温度(℃)	圧力(MPa)	温度(℃)					
残留熱除去系ストレーナ	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*1	104*2	— [0.853]*1	178	—	設計・建設規格*3	設計・建設規格	—	SA-2
高圧炉心スプレイ系ストレーナ*4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*5	104*2	— [0.853]*5	178	—	設計・建設規格*3	設計・建設規格	—	SA-2
低圧炉心スプレイ系ストレーナ*4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*6	104*2	— [0.853]*6	178	—	設計・建設規格*3	設計・建設規格	—	SA-2

注記＊1：残留熱除去系ストレーナは，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊2：サプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

＊3：「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について」（平成 17・10・13 原院第 4 号（平成 17 年 10 月 25 日））に従い，大型化改造工事時に大型化改造工認を提出

＊4：残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナは同形状のストレーナを使用することから，本計算書に代表して評価を実施する。

＊5：高圧炉心スプレイ系ストレーナは，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊6：低圧炉心スプレイ系ストレーナは，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

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.　構造強度評価 …… 10
4.1　構造強度評価方法 …… 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 10
4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態 …… 10
4.2.2　許容応力 …… 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 …… 10
4.2.4　設計荷重 …… 14
4.3　解析モデル及び諸元 …… 17
4.4　計算方法 …… 19
4.4.1　応力評価点 …… 19
4.4.2　応力の計算方法 …… 21
4.5　計算条件 …… 27
4.6　応力の評価 …… 27
5.　評価結果 …… 27
5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 27
6.　引用文献 …… 29

1. 概要

本計算書は，重大事故等クラス２機器として兼用される残留熱除去系ストレーナについて，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき，材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は，「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」（平成 25 年 6 月 28 日　原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条（材料及び構造）に規定されており，「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の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日　原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い，設計基準対象施設の規定を準用する。

また，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））に適合することと規定されている。

本計算書は，残留熱除去系ストレーナがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

なお，残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナは同形状のストレーナを使用することから，本計算書では残留熱除去系ストレーナの解析モデルを採用する。また，そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

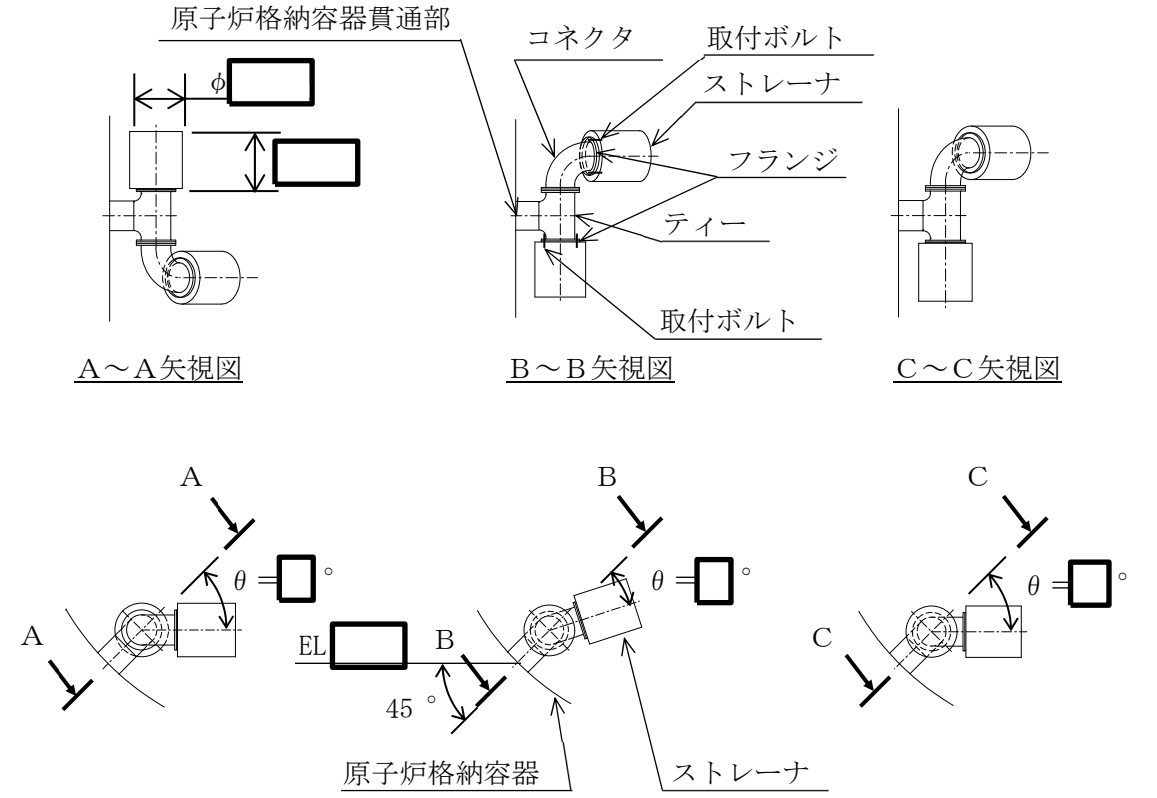
以下，重大事故等クラス２管としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナの構造計画を表 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	
ストレーナはサプレッションプール内に水没された状態で設置されており，コネクタ又は原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及び取付ボルトにより据え付けられる。	外径 □mm，長さ □mm の円錐支持ディスクで構成される鋼製構造物である。	 X-201（残留熱除去系） X-203（残留熱除去系） X-210（高圧炉心スプレイ系） X-202（残留熱除去系） X-208（低圧炉心スプレイ系） （単位：mm）

2.2　評価方針

ストレーナの応力評価は，「2.1　構造計画」にて示すストレーナの部位を踏まえ，「3. 評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて，設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

ストレーナの応力評価フローを図 2－1 に示す。

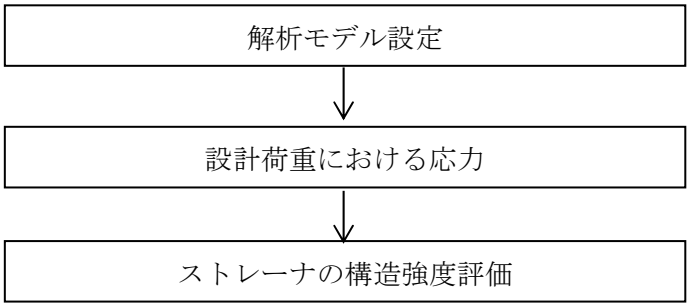


図 2－1　ストレーナの応力評価フロー

2.3　適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

(2)　非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm^2
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D_i	各部位の径*1	mm
d	孔径，ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f_t	ボルトの発生応力	MPa
L_i	各部位の長さ*2	mm
ℓ	ディスク間ギャップ，ボルトのＺ軸からの距離	mm
M	モーメント	N･mm
n	ボルトの本数	―
P	孔の間隔（中心間）	mm
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	N
X	軸直角方向（水平）	―
Y	軸方向	―
Z	軸直角方向（鉛直）	―
β	形状係数	―
σ_r	曲げ応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

注記＊1：D_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：ディスクセット外径

ｉ＝2：フランジ内径

ｉ＝3：トップフランジ外径

ｉ＝4：フランジ外径

ｉ＝5：ボルト孔中心円直径

＊2：L_iの添字ｉの意味は，以下のとおりとする。

ｉ＝1：ディスクセット全高

ｉ＝2：トップフランジ厚さ

ｉ＝3：コンプレッションプレート高さ

ｉ＝4：フランジ厚さ

ｉ＝5：ストラップ長さ

ｉ＝6：ストラップ幅

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2－2 に示すとおりとする。

表 2－2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位*1
温度	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
計算応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

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

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

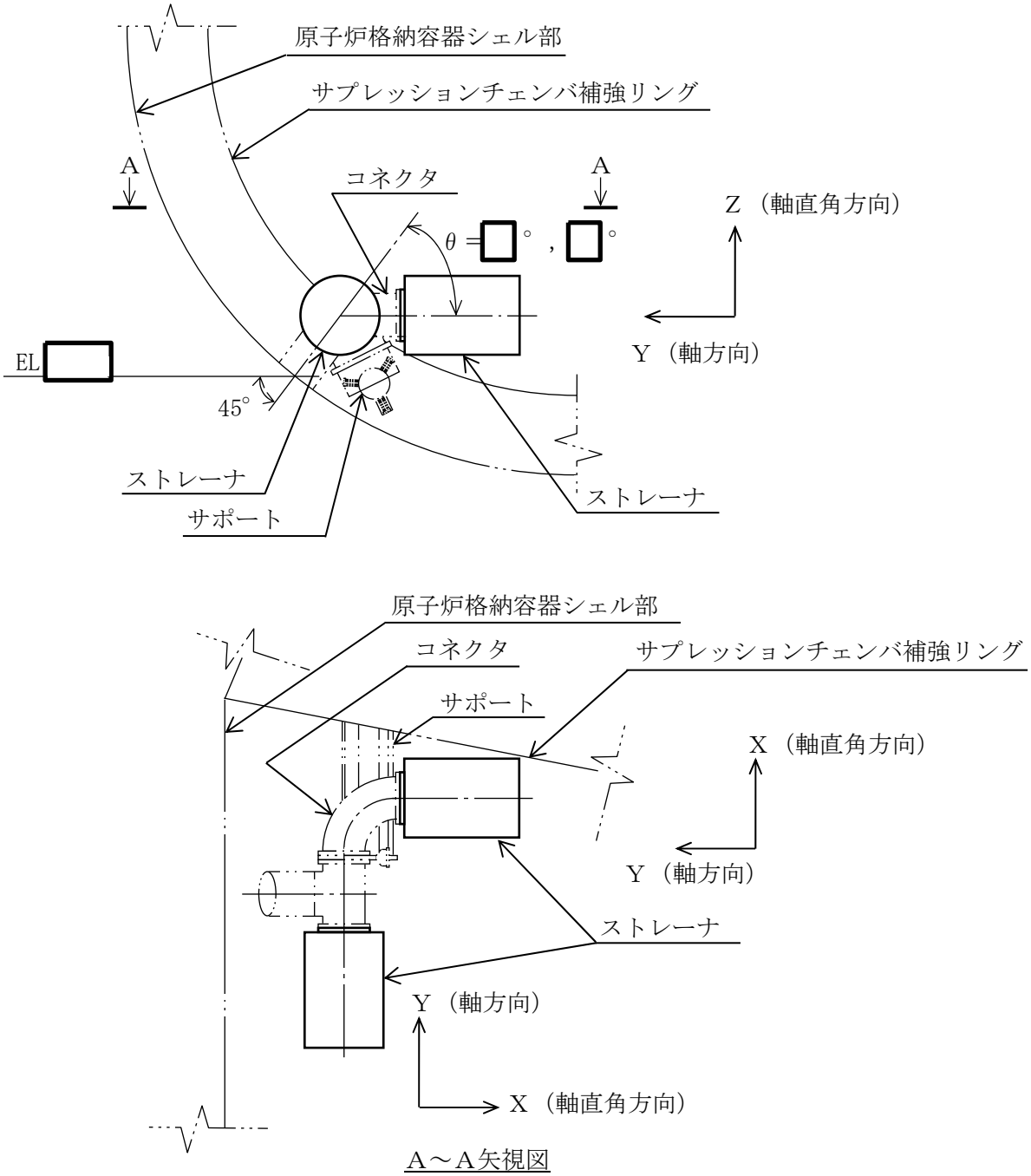
＊4：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3.　評価部位

ストレーナの応力評価は，「4.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，主要部品であるディスク，スペーサ，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

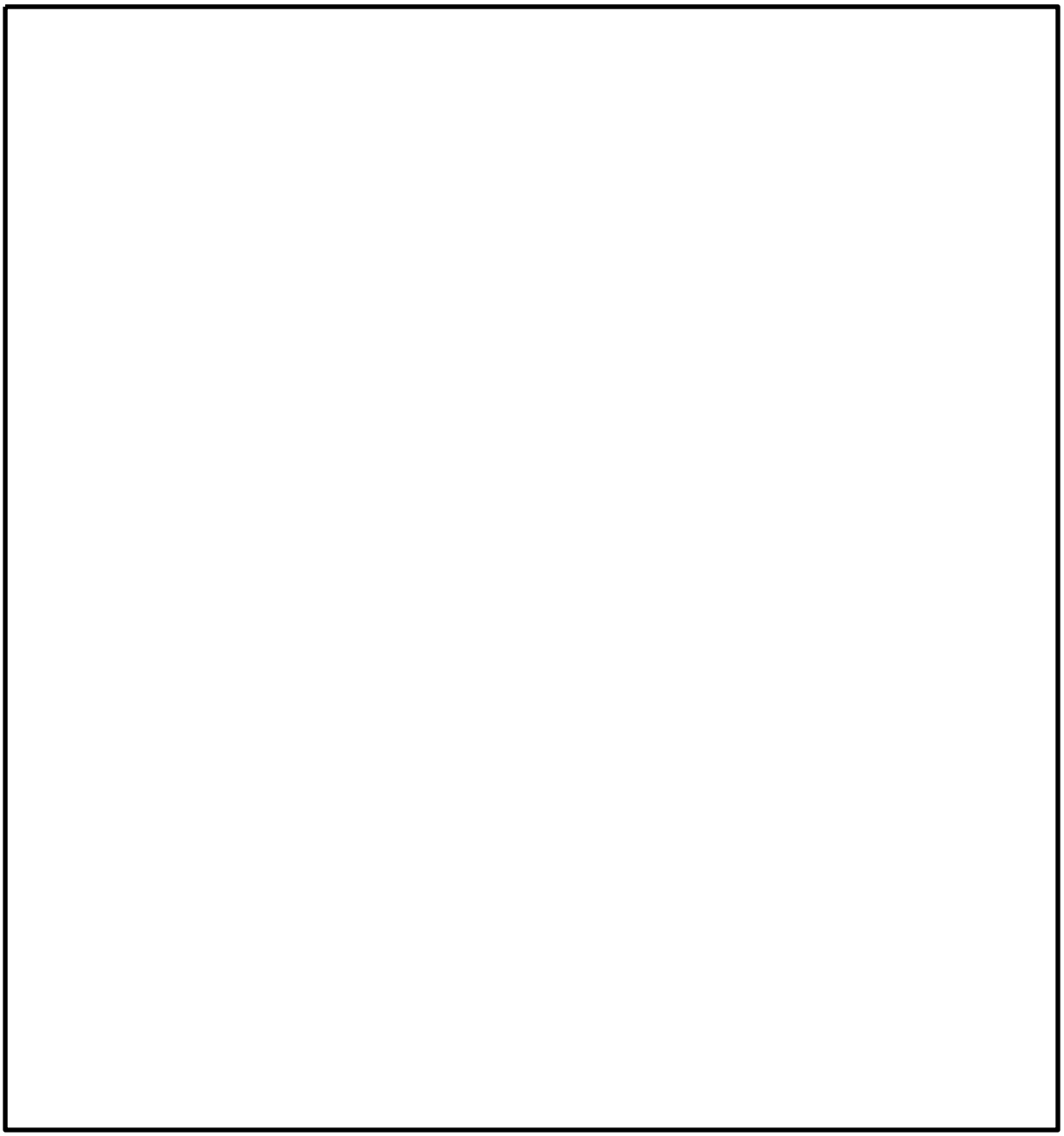
ストレーナの取付状況，形状及び主要寸法を図 3－1 及び図 3－2 に示し，ディスクセット幅及びスペーサ内径を表 3－1 に示す。

なお，ストレーナについては，サプレッションチェンバ補強リングとの干渉を回避するため，コネクタを追加している。



A～A矢視図

図 3－1　ストレーナの取付状況



A～A矢視図

D_1= D_2= D_3= D_4= L_1= L_2= L_3=
L_4= L_5= L_6= ℓ= d = P =

①ディスクセット１　②中間ディスクセット（２～１４）
③ディスクセット１５　④スペーサ（１～１４）
⑤リブ　（厚さ　mm）　⑥コンプレッションプレート　（厚さ　mm）
⑦フィンガ*　（厚さ　mm）　⑧ディスクサポートリング　（厚さ　mm）
⑨ストラップ　（厚さ　mm）　⑩ボトムスペーサ
⑪フランジ，ストレーナ取付部ボルト

（①～④及び⑩は多孔プレート形状であり，多孔プレートの厚さは　mm である。）

注記＊：ディスクセット１３～１５におけるロングフィンガの厚さは　mm である。

図 3－2　ストレーナの形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3－1　ディスクセット幅及びスペーサ内径

（単位：mm）

ディスクセット番号	ディスクセット幅	スペーサ内径

注：各部品寸法はインチから換算した値であるため，桁処理の影響で合計値が公称値と一致しない場合がある。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

(1) ストレーナの構造強度評価における応答解析及び応力計算は，はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。4.3 項に示すはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）により死荷重及び水力学的動荷重を算出し，4.4.2(1)項に示す三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）を用いてストレーナ本体，4.4.2(2)項及び 4.4.2(3)項に示す方法を用いてフランジ及びボルトの応力計算を行う。

(2) ストレーナの質量には，ストレーナに付着する異物量を考慮し，荷重の算出において組み合わせるものとする。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

ストレーナの荷重の組合せ及び供用状態を表 4－1 に，荷重の組合せ整理表を表 4－2 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナの許容応力を表 4－3 に示す。なお，評価対象は，構造又は形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分小さいため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ストレーナの許容応力評価条件を表 4－4 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

多孔プレート [redacted]

リブ [redacted]

コンプレッションプレート [redacted]

フィンガ [redacted]

ストラップ [redacted]

フランジ [redacted]

ストレーナ取付部ボルト [redacted]

表 4－1　荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系ストレーナ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系ストレーナ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系ストレーナ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系ストレーナ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－2　荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			供用状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	
SA-1	運転状態Ｖ（Ｌ）	○	○	○						重大事故等時*
SA-2	運転状態Ｖ（Ｓ）	○	○	○				○		重大事故等時*
SA-3	運転状態Ｖ（Ｓ）	○	○	○		○			○	重大事故等時*
SA-4	運転状態Ｖ（Ｓ）	○					○			重大事故等時*

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－3　許容応力

（重大事故等クラス２管）

供用状態	許容限界	
	一次一般膜応力	一次応力 （曲げ応力含む）
重大事故等時*	S	長期荷重　1.5・S 短期荷重　1.8・S

（重大事故等クラス２耐圧部テンションボルト）

供用状態	許容限界
重大事故等時*	2・S

注記＊：重大事故等時として運転状態Ⅴ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ⅴ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－4　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ(ＲＴ) (MPa)
多孔プレート	[redacted]	最高使用温度	178	[redacted]	—	—	—
リブ，フランジ等		最高使用温度	178		—	—	—
ストレーナ取付部ボルト		最高使用温度	178		—	—	—

4.2.4　設計荷重

(1)　死荷重

ストレーナの自重による荷重及びストレーナに付着する異物の自重による異物荷重の 2 つの死荷重を考慮する。

ストレーナの自重＝ [　　] N

異物荷重＝ [　　] N

(2)　差圧

差圧による荷重は，異物付着時のストレーナを通しての最大設計差圧より設定し，以下のとおりとする。

また，差圧による荷重の作用方向を図 4－1 に示す。

差圧荷重 P_{dif}＝ [　　] MPa

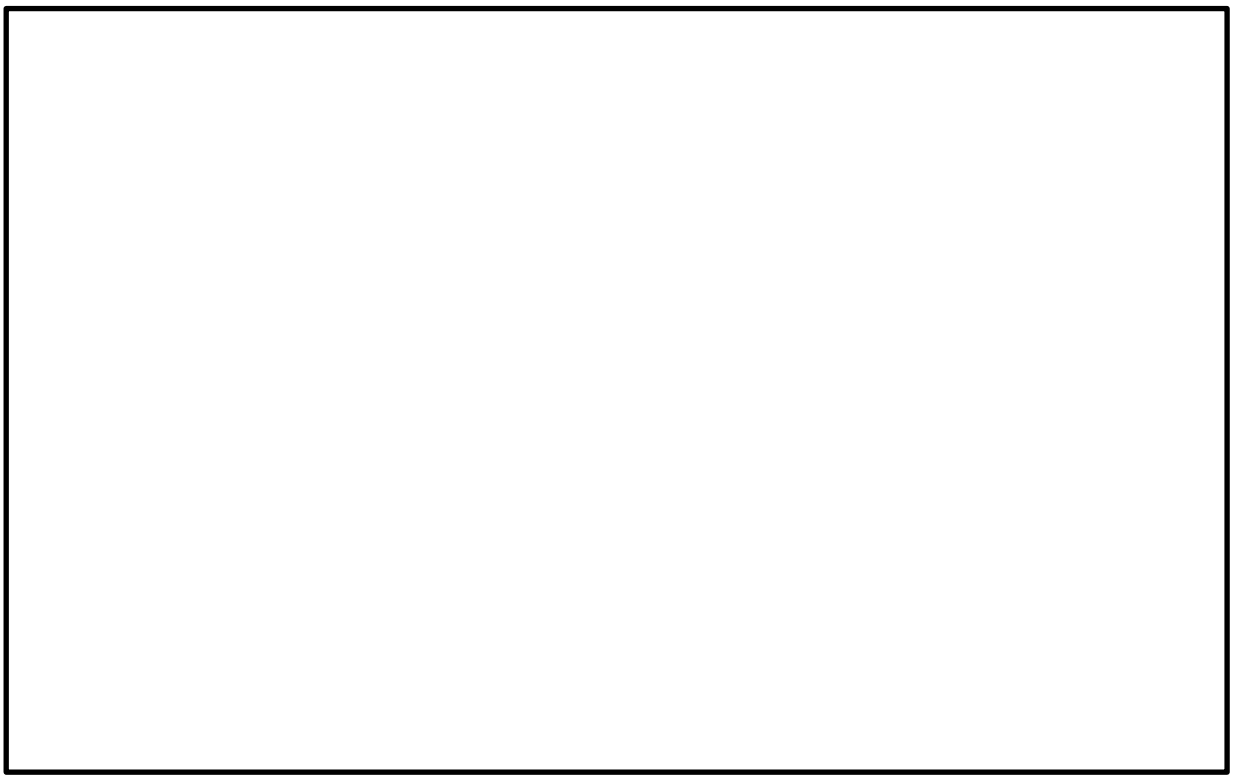


図 4－1　差圧荷重の作用方向

(3)　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重）

逃がし安全弁作動時及び原子炉冷却材喪失時には，サプレッションチェンバ内の水中構造物には様々な荷重が水力学的動荷重として作用する。これらの荷重については，原子力安全委員会が策定した評価指針（以下「ＭＡＲＫ　Ⅰ動荷重指針」という。）及び引用文献(1)～(4)に準じて荷重の評価を実施する。

ＭＡＲＫ　Ⅰ動荷重指針及び引用文献(1)～(4)に基づき，ストレーナに加わる水力学的動荷重を算出した結果を表 4－5 に示す。表 4－5 に示した荷重は，考慮すべき水力学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値である。

なお，ストレーナは，プールスウェル荷重の内のベントクリアリング，プールスウェル，ブレークスルー及びフォールバックによる荷重は十分小さいため評価対象としない。また，逃がし安全弁作動時荷重の内の蒸気凝縮過程による荷重についても十分小さいため評価対象としない。

水力学的動荷重の作用方向を図 4－2 に示す。

軸方向の荷重は，引用文献(5)の考え方に基づき，最前列のディスクと最後列のディスクで軸方向荷重の 1/2 ずつを受け持つとし，この荷重を最前列と最後列のディスクの投影面積で除算し，軸方向の圧力荷重として作用させる。

軸直角方向の荷重は，ストレーナの片面のみで荷重を受け持つとし，ストレーナの片面の投影面積で軸直角方向荷重を除算し，軸直角方向の圧力荷重として作用させる。

表4－5　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重）

（単位：N）

荷重名称		軸方向荷重	軸直角方向荷重
ＬＯＣＡ後の荷重	プールスウェル（気泡形成）		
	蒸気凝縮（ＣＯ）		
	チャギング（ＣＨ）		
ＳＲＶ荷重（中小破断時）			

注1：方向は図3－1参照。ただし，軸直角方向（水平方向Ｘ及び鉛直方向Ｚ）については，二乗和平方根としている。

注2：それぞれの荷重は，加速度ドラッグ荷重と定常ドラッグ荷重との代数和としている。

注3：ＳＲＶ荷重は，水ジェットによる荷重と気泡振動による荷重の包絡値としている。

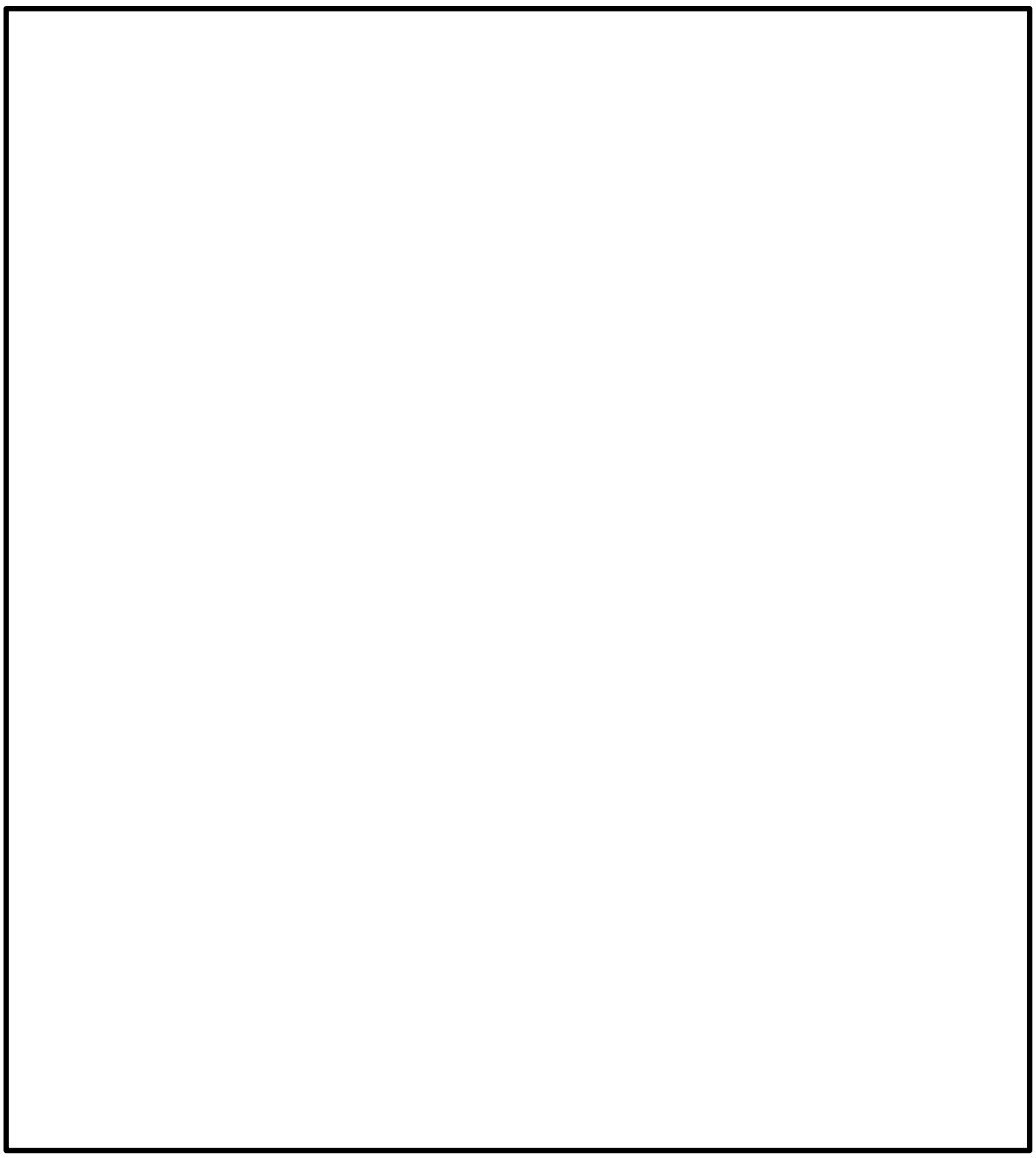


図 4－2　水力学的動荷重の作用方向

4.3　解析モデル及び諸元

本項においては，ストレーナから原子炉格納容器貫通部までをモデル化した応答解析用モデルについて説明する。なお，ストレーナ本体の応力計算に用いた応力解析用モデルについては，「4.4　計算方法」で説明する。

ストレーナの応答解析用モデルを図 4－3 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 4－6 に示す。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛性が高いため，剛体としてモデル化する。また，ストレーナ取付角度に応じた 2 種類の解析モデルを用意し，包絡した荷重を用いる。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は原子炉格納容器シェル部を模擬したばねの端点を拘束する。

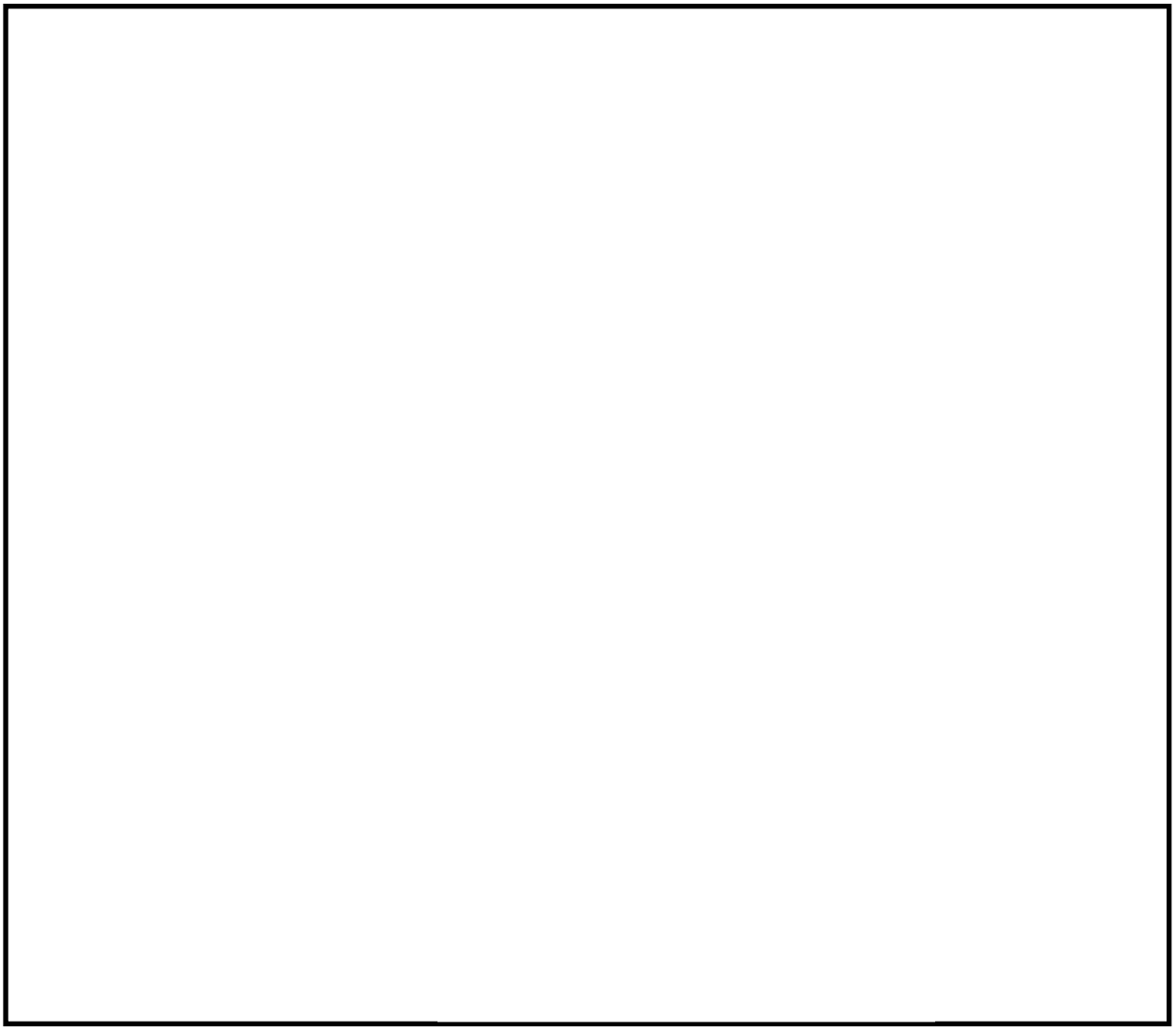
(3)　ストレーナ取付部サポートはストレーナ部ティーとストレーナ取付部コネクタの間に挟まる形で取り付けられており，サポートパイプを模擬したはり要素にサポートプレートを模擬したばねを接続し，サポートパイプの付根部を完全拘束する。

(4)　ストレーナ取付部サポートを除く各部の質量は，各部の重心位置（図 4－3 の○の節点）に集中質量を与える。また，ストレーナ取付部サポートのサポートプレート部の質量はサポートプレートを模擬したばねの両端に集中質量を与え，サポートパイプ部の質量は密度をはり要素に与える。

(5)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(6)　モデル全体に鉛直方向の重力加速度を入力し，各評価部位の死荷重を算出する。また，各部に作用する水力学的動荷重を各部の重心位置に入力し，各評価部位の水力学的動荷重を算出する。

(7)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注：ビーム要素を構成している節点及び要素のみを示す。

図 4－3　応答解析用モデル

表 4－6　機器諸元（応答解析用モデル）

項目	単位	入力値
ストレーナの材質	―	
ストレーナの質量	kg/個	
ストレーナの 内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ 1 個当たりの異物の質量	kg/個	
温度	℃	104
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	―	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　計算方法

4.4.1　応力評価点

ストレーナは，図 3－2 に示すとおり，リブ及びフィンガが主強度部材となり各ディスクを支える構造になっている。各ディスクの表面は多孔プレートとなっており，ろ過装置としての機能を果たしている。作用する荷重の大部分は，フィンガにより支えられた各ディスクの多孔プレート表面に加わり，負荷された荷重は最終的にはリブに伝達される。したがって，ここではストレーナの主要構成部材である多孔プレート，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトの構造，形状を考慮した応力評価点を選定し，評価を実施する。

応力評価点を表 4－7 及び図 4－4 に示す。

表 4－7　応力評価点

名称		応力評価点番号	応力評価点
多孔プレート	ディスク	P1	全ディスクセットの多孔プレート
	スペーサ*	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート
リブ		P3	リブ
コンプレッションプレート		P4	コンプレッションプレート
フィンガ		P5	フィンガ
ストラップ		P6	ストラップ
フランジ		P7	フランジ
ストレーナ取付部ボルト		P8	ボルト

注記＊：ボトムスペーサを含む。

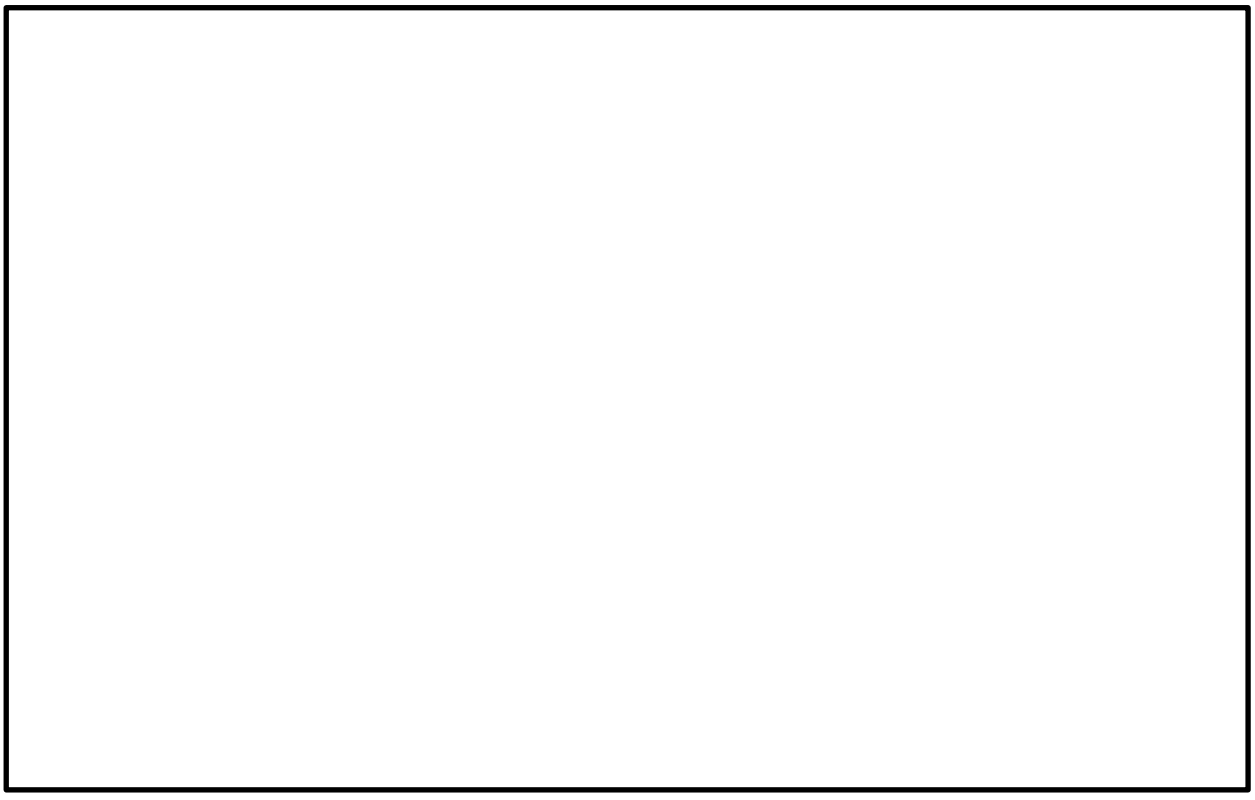


図 4－4　応力評価点

4.4.2　応力の計算方法

応力計算方法について，以下に示す。なお，フランジ及びボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1)　ストレーナ（応力評価点 P1～P6）

ストレーナの応力計算は応力解析用モデルにより行う。ストレーナの応力解析用モデルを図 4－5 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 4－8 に示す。

a.　応力解析用モデルではストレーナをシェル要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行う。

b.　計算モデルの各部材は溶接により接合されており，溶接部は健全性が確保されるよう設計する。

c.　多孔プレートの等価縦弾性係数，等価ポアソン比及び応力増倍率は，引用文献(6)の考え方に基づき設定する。

d.　各部の質量は，各シェル要素に密度を与える。

e.　ストレーナ軸方向の単位加速度，軸直方向の単位加速度，軸方向の単位荷重，軸直方向の単位荷重，及び単位差圧を個別に入力し，各部位の応力を算出する。また，得られた各入力に対する応力に，設計荷重と単位荷重との比，設計用地震力と単位加速度の比，又は設計差圧と単位差圧の比をかけた後，荷重の組み合わせを考慮した加算を行い，各評価点の応力強さを算出する。

f.　4.2.4 項で設定した設計荷重により残留熱除去系ストレーナに生じる応力は，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用して計算する。



図 4－5　ストレーナの計算モデル

表 4－8　機器諸元（応力解析用モデル）

項目	単位	入力値
ストレーナの材質	―	[redacted]
ストレーナの質量	kg/個	
温度	℃	104
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	[redacted]
多孔プレートの等価ポアソン比	―	
多孔プレートの応力増倍率	―	
要素数	個	
節点数	個	

(2)　フランジ（応力評価点 P7）

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部フランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで，フランジを以下のようにモデル化する。

フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4－9 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(7)より，図 4－6 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに，σ_r　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4－9 に示すモーメント(N･mm)

a　：ボルト穴中心円半径＝[　]÷2＝[　](mm)

b　：フランジ内半径＝[　](mm)

t　：フランジ板厚＝[　](mm)

β　：b／a （＝[　]）から決まる計算上の係数＝[　]

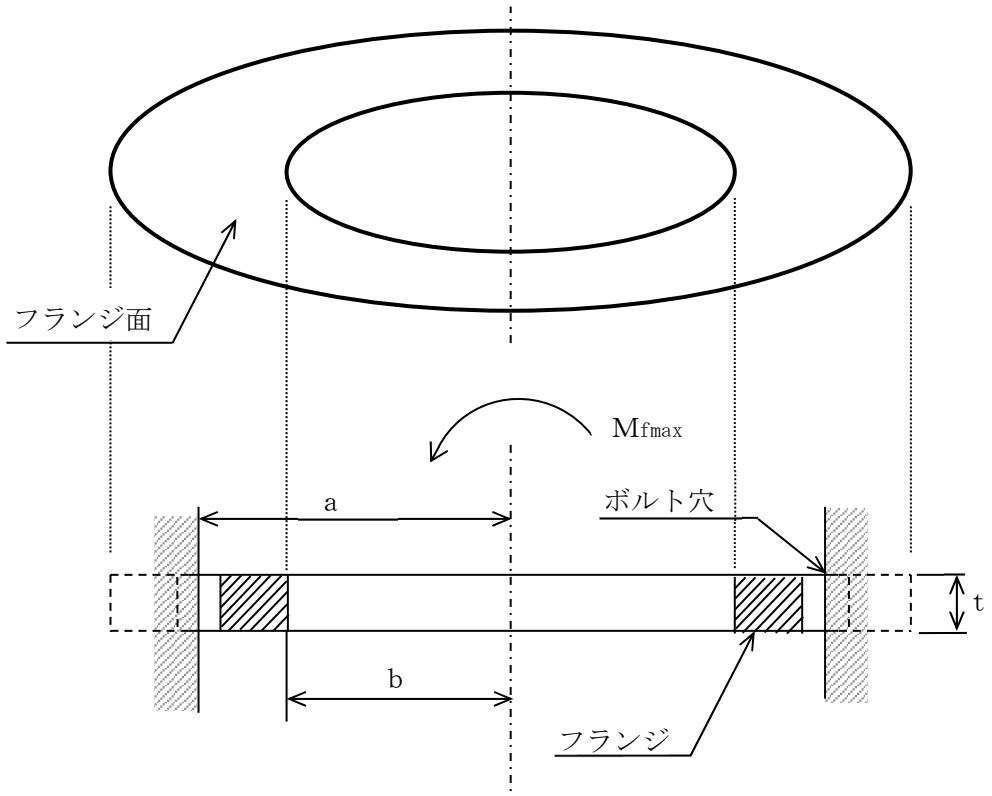


図 4－6　フランジ断面の計算モデル

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は，ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは，図 4－7 に示すように，ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり，フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。なお，応答解析より得られた，フランジに対する面外方向の曲げモーメントを用いる。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4－9 に示す。

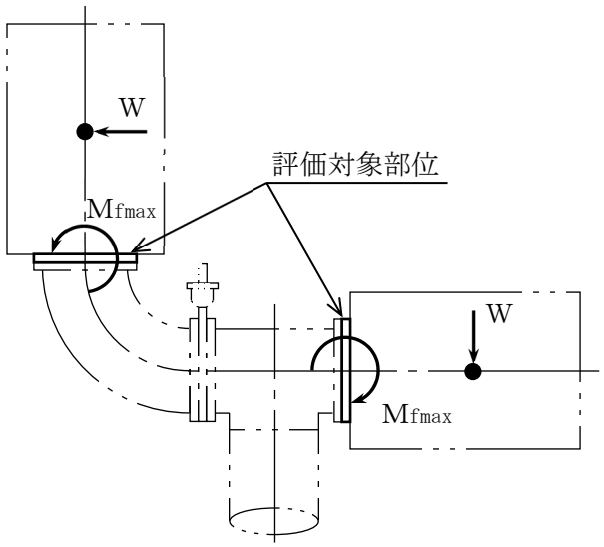


図 4－7　フランジに作用するモーメント

表 4－9　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重*	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	プールスウェル（気泡形成）	
6	蒸気凝縮（ＣＯ）	
7	チャギング（ＣＨ）	

注記＊：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

(3)　ストレーナ取付部ボルト（応力評価点 P8）

ボルトには，フランジに作用するモーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより，ボルトに生じる軸力は，以下のように算出する。

図 4−8 に示すフランジの中心を通る中立軸（Z軸）まわりのモーメントを考える。このとき，Z軸まわりのモーメントは，各ボルトに発生する軸力とボルトのZ軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで，軸方向荷重によって中立軸が移動するが，軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため，軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって，Z軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_Z = \sum_{k=1}^{n} F_{tk} \cdot \ell_k$$

ここに，M_Z　：Z軸まわりのモーメント(N･mm)

F_{tk}　：各ボルトに発生する軸力(N)

ℓ_k　：任意のボルトkにおけるZ軸からの距離(mm)

n　：ボルトの本数＝□

なお，ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

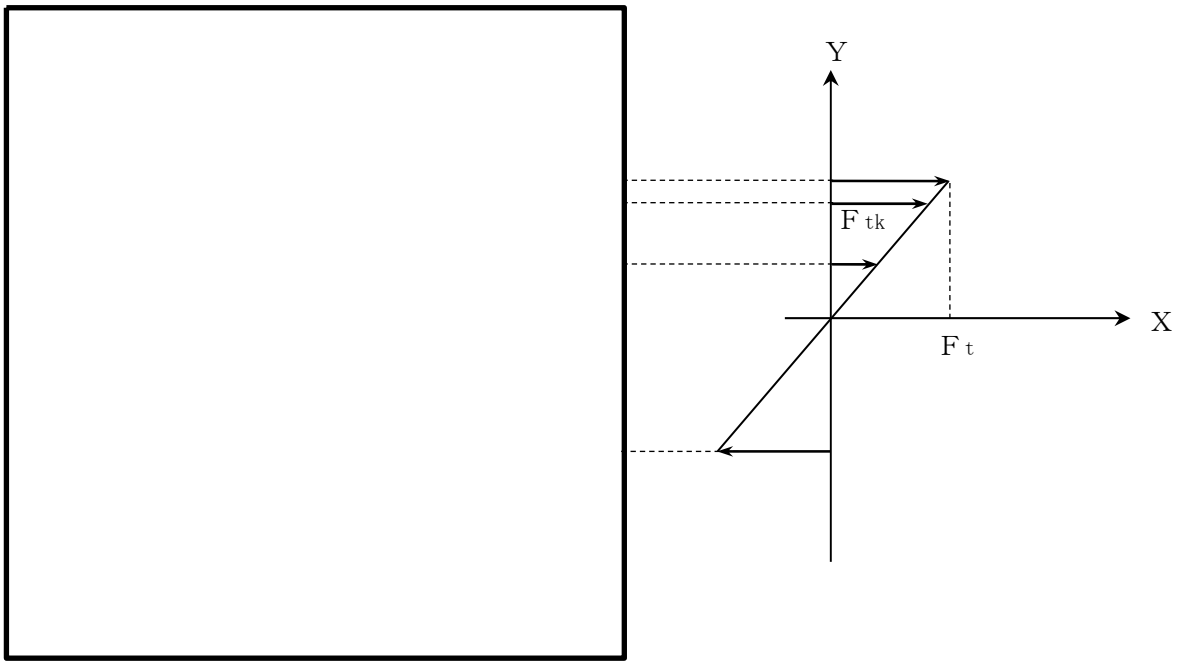


図 4−8　各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また，ボルト軸力のＺ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり，図 4－8 に示すように，曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合，ボルトに発生する最大の軸力をF_tとすると，各ボルトに発生する軸力F_{tk}は下記となる。

$$F_{tk}=F_t\cdot\frac{\ell_k}{D_5/2}$$

ここに，F_t　：最大の軸力が発生するボルトの軸力(N)

F_{tk}　：各ボルトに発生する軸力(N)

D_5　：ボルト孔中心円直径＝[redacted](mm)

以上より，ｎが偶数の場合，Ｚ軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_Z=\frac{2\cdot F_t}{D_5}\cdot\sum_{k=1}^{n}\ell_k^2=\frac{F_t\cdot D_5\cdot n}{4}$$

ただし，$\ell_k=\frac{D_5}{2}\cdot\sin\{\frac{2\cdot\pi}{n}\cdot(k-1)\}$

よって，フランジに作用するモーメントから，ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t=\frac{4\cdot M_{fmax}}{D_5\cdot n}$$

したがって，ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t=\frac{F_t}{A_S}+\frac{F_{axl}}{A_S\cdot n}$$

ここに，f_t　：ボルトの発生応力(MPa)

A_S　：ボルトの有効断面積＝$\frac{\pi\cdot d_b^2}{4}$ (mm^2)

d_b　：ボルトのねじ部谷径＝[redacted](mm)

F_{axl}　：表 4－10 に示す軸方向荷重(N)

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は，ストレーナとコネクタ間，ティーとコネクタ間，及びティーとストレーナ間で発生する荷重及びモーメントを包絡させた荷重及びモーメントを用い，フランジに作用する最大モーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため，ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。なお，これら荷重及びモーメントは，応答解析より得られた荷重及びモーメントを用いる。

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重を表 4－10 に示す。

表 4－10　ボルトの設計荷重

荷重		軸方向荷重 (N)	モーメント (N･mm)
1	死荷重		
2	異物荷重*		
3	差圧		
4	ＳＲＶ荷重		
5	プールスウェル（気泡形成）		
6	蒸気凝縮（ＣＯ）		
7	チャギング（ＣＨ）		

注記＊：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

4.5　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の「4.2　荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4　計算方法」に示す。

4.6　応力の評価

「4.4　計算方法」で求めた応力が表 4－3 及び表 4－4 を用いて算出される許容応力以下であること。

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ストレーナの重大事故等時の状態を考慮した場合の強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足している。

(1)　重大事故等時に対する評価

重大事故等時に対する応力評価結果を表 5－1 に示す。

なお，各評価点における計算応力は表 4－2 に示す荷重の組合せのうち，発生値が最も高い評価を記載している。

表5－1　重大事故等時に対する応力評価結果（D＋PSAD＋MSAD）

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
ストレーナ	P1	全ディスクセットの多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力	68	185	SA-3
	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力	78	185	SA-3
	P3	リブ	一次膜応力＋一次曲げ応力	99	202	SA-3
	P4	コンプレッションプレート	一次膜応力＋一次曲げ応力	33	202	SA-3
	P5	フィンガ	一次膜応力＋一次曲げ応力	79	202	SA-3
	P6	ストラップ	一次膜応力＋一次曲げ応力	26	202	SA-3
	P7	フランジ	曲げ応力	79	202	SA-3
	P8	ボルト	引張応力	35	184	SA-3

6. 引用文献

(1) NEDO-21888, “Mark I Containment Program Load Definition Report”, General Electric, November 1981.

(2) NEDO-21471, “Analytical Model for Estimating Drag Forces on Rigid Submerged Structures Caused by LOCA and Safety Relief Valve Ramshead Air Discharges”, General Electric, September 1977.

(3) NEDO-25070, “Analytical Model for Estimating Drag Forces on Rigid Submerged Structures Caused by Condensation Oscillations and Chugging Mark I Containments”, General Electric, April 1979.

(4) ＭＡＲＫ－Ⅰ型格納容器の動荷重評価について
ＭＡＲＫ－Ⅰ型格納容器評価検討会　昭和 59 年 9 月

(5) NEDO-32721, “Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer” Licensing Topical Report, General Electric, March 2003.

(6) ASME B&PV CODE, Section Ⅲ, Division 1, Appendices, Article A-8000, “Stresses in Perforated Flat Plates,” 1989 Edition, No Addenda.

(7) WARREN C. YOUNG
“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

Ⅵ-3-3-3-3-1-4　ストレーナ部ティーの応力計算書
（残留熱除去系）

まえがき

本計算書は，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」及びⅥ-3-2-9「重大事故等クラス２管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，Ⅵ-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

機器名	既設or新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか					既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	DBクラス	SAクラス	条件アップの有無	DB条件		SA条件						
								圧力(MPa)	温度(℃)	圧力(MPa)	温度(℃)					
残留熱除去系ストレーナ（ティー）	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*1	104*2	— [0.853]*1	178	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
高圧炉心スプレイ系ストレーナ（ティー）*3	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*4	104*2	— [0.853]*4	178	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
低圧炉心スプレイ系ストレーナ（ティー）*3	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*5	104*2	— [0.853]*5	178	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

注記＊1：残留熱除去系ストレーナ（ティー）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊2：サプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

＊3：残留熱除去系ストレーナ（ティー），高圧炉心スプレイ系ストレーナ（ティー）及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ（ティー）は同形状のティーを使用することから，本計算書に代表して評価を実施する。

＊4：高圧炉心スプレイ系ストレーナ（ティー）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊5：低圧炉心スプレイ系ストレーナ（ティー）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

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.　構造強度評価 ····· 8
4.1　構造強度評価方法 ····· 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態 ····· 8
4.2.2　許容応力 ····· 8
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 8
4.2.4　設計荷重 ····· 13
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 14
4.4　計算方法 ····· 16
4.4.1　ティーの計算方法 ····· 16
4.4.2　フランジの計算方法 ····· 18
4.5　計算条件 ····· 20
4.6　応力の評価 ····· 20
5.　評価結果 ····· 20
5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20
6.　引用文献 ····· 20

1. 概要

本計算書は，重大事故等クラス２機器として兼用される残留熱除去系ストレーナ部ティーについて，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき，材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は，「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」（平成25年6月28日　原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第55条（材料及び構造）に規定されており，「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の解釈」（平成25年6月19日原規技発第1306194号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い，設計基準対象施設の規定を準用する。

また，技術基準規則の解釈第17条4において「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号（平成20年2月27日原子力安全・保安院制定））に適合することと規定されている。

本計算書は，残留熱除去系ストレーナ部ティーがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

なお，残留熱除去系ストレーナ部ティー，高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは同形状のティーを使用することから，本計算書においては代表して残留熱除去系ストレーナ部ティーの解析モデルを採用する。また，そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナ部ティーの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

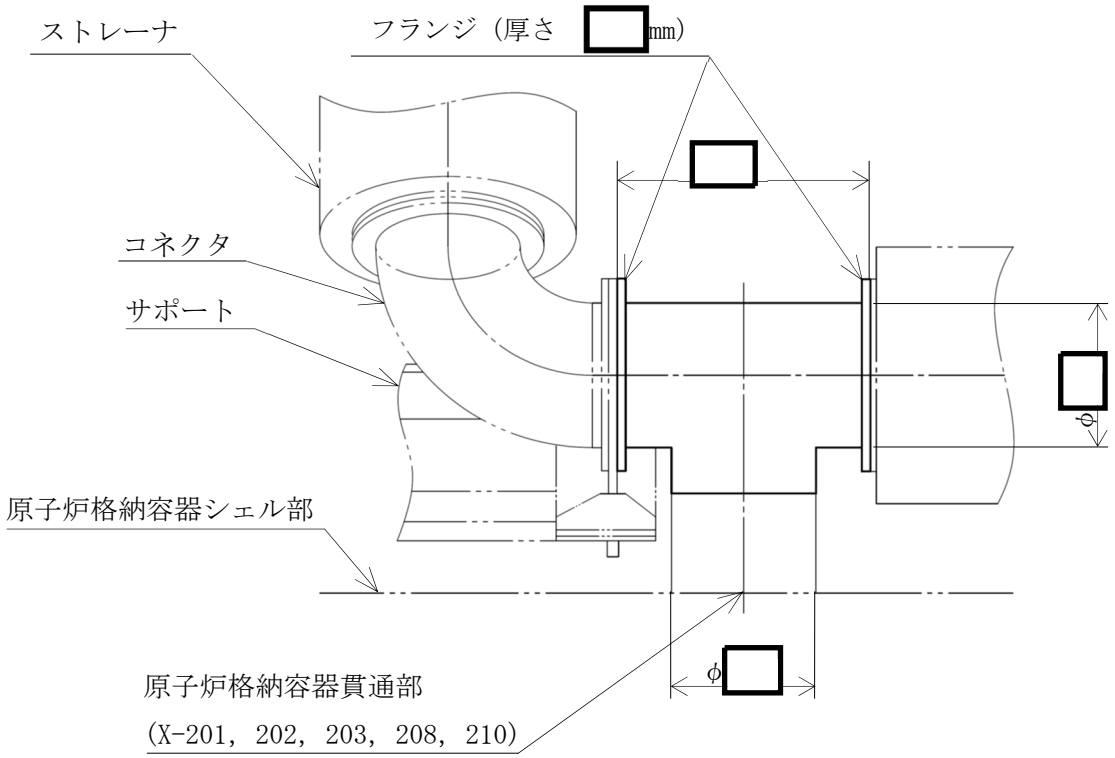
以下，重大事故等クラス２管としての応力評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ部ティー，高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの構造計画を表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	
ティーは，サプレッションプール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。	ティー形の管継手	 （単位：mm）

2.2　評価方針

ストレーナ部ティーの応力評価は，「2.1　構造計画」にて示すストレーナ部ティーの部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて，設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

ストレーナ部ティーの応力評価フローを図 2－1 に示す。

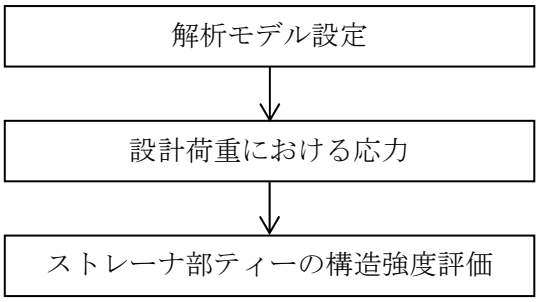


図 2－1　ストレーナ部ティーの応力評価フロー

2.3　適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

(2)　発電用原子力設備に関する構造等の技術基準（昭和 55 年通商産業省告示第５０１号）（以下「告示第５０１号」という。）

(3)　非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
S_{prm}	発生応力	MPa
P	最高使用圧力（設計圧力）	MPa
D_o	管の外径	mm
t	厚さ	mm
B_1*1	設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数（＝ ）	—
B_{2b}*1	設計・建設規格　式 PPB-4.29 により計算した分岐管の応力係数 $=0.4\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$（＝ ）	—
R_m*1	主管の平均半径	mm
T_r*1	主管の厚さ	mm
B_{2r}*1	設計・建設規格　式 PPB-4.30 により計算した主管の応力係数 $=0.5\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$（＝ ）	—
M_b*1	表 4－9 に示す分岐管に作用する最大モーメント	N･mm
M_r*1	表 4－9 に示す主管に作用する最大モーメント	N･mm
Z_b*1	分岐管の断面係数	mm^3
Z_r*1	主管の断面係数	mm^3
P_m*2	内面に受ける最高の圧力	MPa
i_1*2	告示第５０１号第 57 条に規定する応力係数又は 1.33 のいずれか大きい方の値 $=\frac{0.9}{h^{2/3}}$（＝ ）	—
h*2	i_1 算出に必要な値 $=4.4\cdot\frac{t}{r}$	—
r*2	h 算出に必要な値，管断面の平均半径 $=\frac{Do-t}{2}$	mm
Ma*2	管の機械的荷重（自重その他の長期的荷重に限る）により生じるモーメント	N･mm
Mb*2	管の機械的荷重（逃し弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限る）により生じるモーメント	N･mm
Z*2	管の断面係数＝$\pi\cdot(r)^2\,t_n$	mm^3
t_n*2	管の厚さ	mm

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

注記＊1：設計・建設規格に規定の応力計算に用いる記号

＊2：告示第５０１号に規定の応力計算に用いる記号

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2－2 に示すとおりとする。

表 2－2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位*1
温度	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
計算応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

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

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊4：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，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。また，告示第５０１号別表に記載された許容引張応力は，各温度の値を SI 単位に換算し，SI 単位に換算した値の小数点以下第 1 位を四捨五入して，整数位までの値とする。その後，設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

3. 評価部位

ストレーナ部ティーの応力評価は，「4.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ストレーナ部ティーについて実施する。なお，ストレーナ部ティーのフランジの評価もここで記載する。

ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図 3－1～図 3－3 及び表 3－1 に示す。

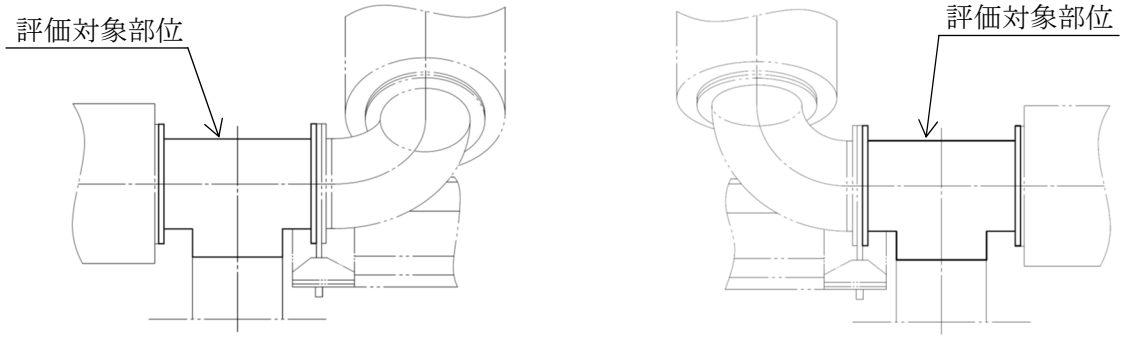


図 3－1　残留熱除去系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-201，X-202，X-203）

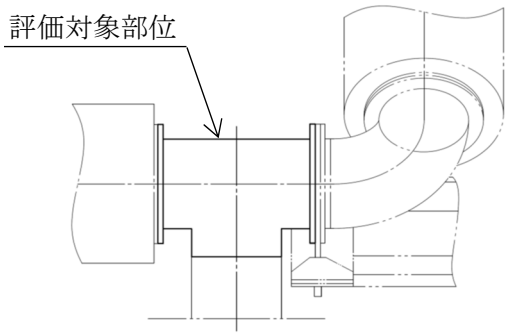


図 3－2　高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-210）

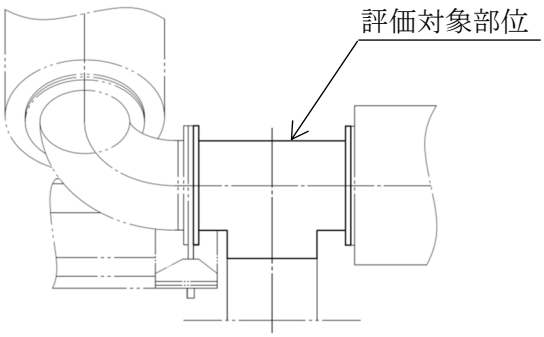


図 3－3　低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-208）

表 3－1　ストレーナ部ティーの主要寸法

（単位：mm）

貫通部番号	外径	板厚	フランジ間距離
X-201～203（残留熱除去系）			
X-210（高圧炉心スプレイ系）			
X-208（低圧炉心スプレイ系）			

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

ストレーナ部ティーは，ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナ部から作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

ストレーナ部ティーの構造強度評価における応答解析及び応力計算は，はりモデルによる有限要素解析手法を適用する。4.3 項に示すはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）により死荷重及び水力学的動荷重を算出し，4.4 項に示す方法を用いてティー及びフランジの応力計算を行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態

荷重の組合せ及び供用状態を表 4－1 に，荷重の組合せ整理表を表 4－2 に示す。

4.2.2　許容応力

ストレーナ部ティーの許容応力を表 4－3 及び表 4－4 に示す。なお，評価対象は，基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

ストレーナ部ティーの許容応力評価条件を表 4－5 及び表 4－6 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー

フランジ

表 4－1　荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態 （許容応力状態）
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却 系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉 格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*

注記＊：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態Ⅴ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ⅴ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用い，
告示第５０１号に規定の応力計算では運転状態Ⅴ（Ｌ）は許容応力状態$Ⅰ_A$，運転状態Ⅴ（Ｓ）は許容応力状態$Ⅳ_A$の許容限界を用いる。

表 4－2　荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			供用状態（許容応力状態）
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	
SA-1	運転状態Ｖ（Ｌ）	○	○	○						重大事故等時*
SA-2	運転状態Ｖ（Ｓ）	○	○	○				○		重大事故等時*
SA-3	運転状態Ｖ（Ｓ）	○	○	○		○			○	重大事故等時*
SA-4	運転状態Ｖ（Ｓ）	○					○			重大事故等時*

注記＊：重大事故等時として設計・建設規格に規定の応力計算では運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用い，告示第５０１号に規定の応力計算では運転状態Ｖ（Ｌ）は許容応力状態ⅠA，運転状態Ｖ（Ｓ）は許容応力状態ⅣAの許容限界を用いる。

表 4－3　設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力（重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

供用状態	一次一般膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）
重大事故等時*	S	長期荷重　1.5・S 短期荷重　1.8・S

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－4　告示第５０１号に規定の応力計算に用いる許容応力（重大事故等クラス２管（第３種管））

供用状態	一次一般膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）
重大事故等時*	S	長期荷重　S 短期荷重　1.2・S

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は許容応力状態ⅠA，運転状態Ｖ（Ｓ）は許容応力状態ⅣAの許容限界を用いる。

表 4－5　使用材料の設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)
ティー	[redacted]	最高使用温度	178	[redacted]
フランジ	[redacted]	最高使用温度	178	[redacted]

表 4－6　使用材料の告示第５０１号に規定の応力計算に用いる許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)
ティー	[redacted]	最高使用温度	178	[redacted]
フランジ	[redacted]	最高使用温度	178	[redacted]

4.2.4　設計荷重

ストレーナ部に作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重等）はフランジを介してティーに伝達される。

(1)　死荷重

ティーの死荷重を表 4－7 に示す。

表 4－7　死荷重

(単位：N)

部位	残留熱除去系	高圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイ系
ティー			

(2)　差圧

ティーの設計圧力は　　MPa を考慮する。

4.3　解析モデル及び諸元

ストレーナ部ティーの応答解析用モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはⅥ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また，機器の諸元を表 4－8 に示す。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛性が高いため，剛体としてモデル化する。また，ストレーナ取付角度に応じた 2 種類の解析モデルを用意し，包絡した荷重を用いる。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は原子炉格納容器シェル部を模擬したばねの端点を拘束する。

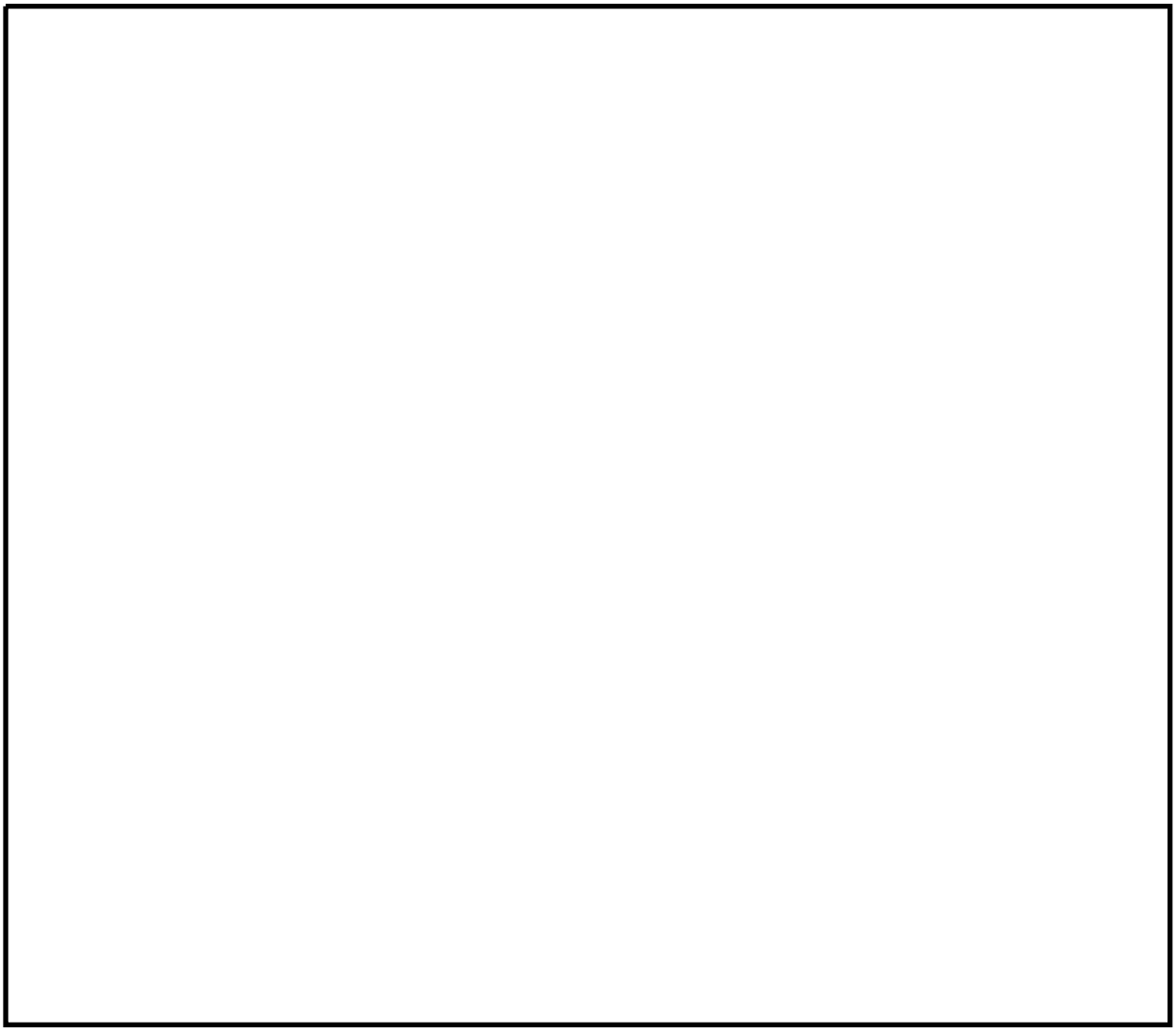
(3)　ストレーナ取付部サポートはストレーナ部ティーとストレーナ取付部コネクタの間に挟まる形で取り付けられており，サポートパイプを模擬したはり要素にサポートプレートを模擬したばねを接続し，サポートパイプの付根部を完全拘束する。

(4)　ストレーナ取付部サポートを除く各部の質量は，各部の重心位置（図 4－1 の○の節点）に集中質量を与える。また，ストレーナ取付部サポートのサポートプレート部の質量はサポートプレートを模擬したばねの両端に集中質量を与え，サポートパイプ部の質量は密度をはり要素に与える。

(5)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(6)　モデル全体に鉛直方向の重力加速度を入力し，各評価部位の死荷重を算出する。また，各部に作用する水力学的動荷重を各部の重心位置に入力し，各評価部位の水力学的動荷重を算出する。

(7)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注：ビーム要素を構成している節点及び要素のみを示す。

図 4－1　応答解析用モデル

表 4－8　機器諸元

項目	単位	入力値
ストレーナ部ティーの材質	—	
ストレーナ部ティーの質量	kg	
ストレーナ部ティーの 内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ 1 個当たりの異物の質量	kg/個	
温度	℃	104
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　計算方法

4.4.1　ティーの計算方法

(1)　応力の計算方法

ティーに発生する応力は，設計・建設規格　PPC-3520 及び告示第５０１号第 56 条に従い算出する。なお，ティーの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計しているため，ここでは管について評価を行う。

設計・建設規格　PPC-3520 に基づく応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prm} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b} \cdot M_b}{Z_b} + \frac{B_{2r} \cdot M_r}{Z_r}$$

また，告示第５０１号第 56 条に基づく応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prm} = \frac{P_m \cdot D_o}{4 \cdot t} + \frac{0.75 \cdot i_1 \cdot \left(M_a + M_b\right)}{Z}$$

(2)　応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは，図 4－2 に示す主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管と分岐管のモーメントは「4.2.4　設計荷重」に示したようにストレーナ部からの伝達荷重を考慮する。

算出したモーメントを表 4－9 に示す。ここでのモーメントとは，設計・建設規格解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものであり，応答解析により得られたモーメントを用いる。

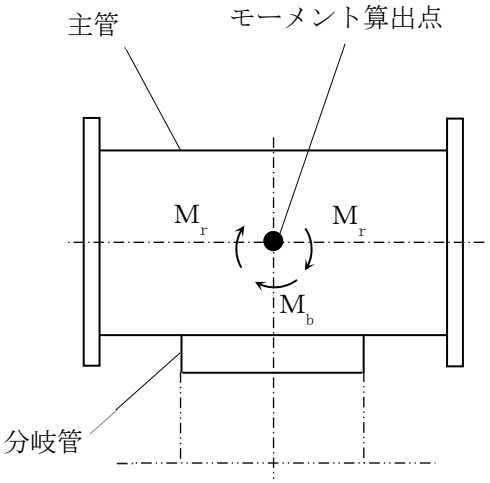


図 4－2　ティーのモーメント算出点

表 4－9　ティーの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重*		
3	差圧		
4	ＳＲＶ荷重		
5	プールスウェル（気泡形成）		
6	蒸気凝縮（ＣＯ）		
7	チャギング（ＣＨ）		

注記＊：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

4.4.2　フランジの計算方法

(1)　応力の計算方法

ストレーナ部ティーのストレーナやストレーナ取付部コネクタと取り付けるフランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで取付フランジを以下のようにモデル化し，応力評価を行う。

取付フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4－10 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(1)より，図 4－3 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに，σ_r　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4－10 に示す最大モーメント(N･mm)

a　：ボルト穴中心円半径＝[　]÷2＝[　](mm)

b　：フランジ内半径＝[　](mm)

t　：フランジ板厚＝[　](mm)

β　：b／a （＝[　]）から決まる計算上の係数＝[　]

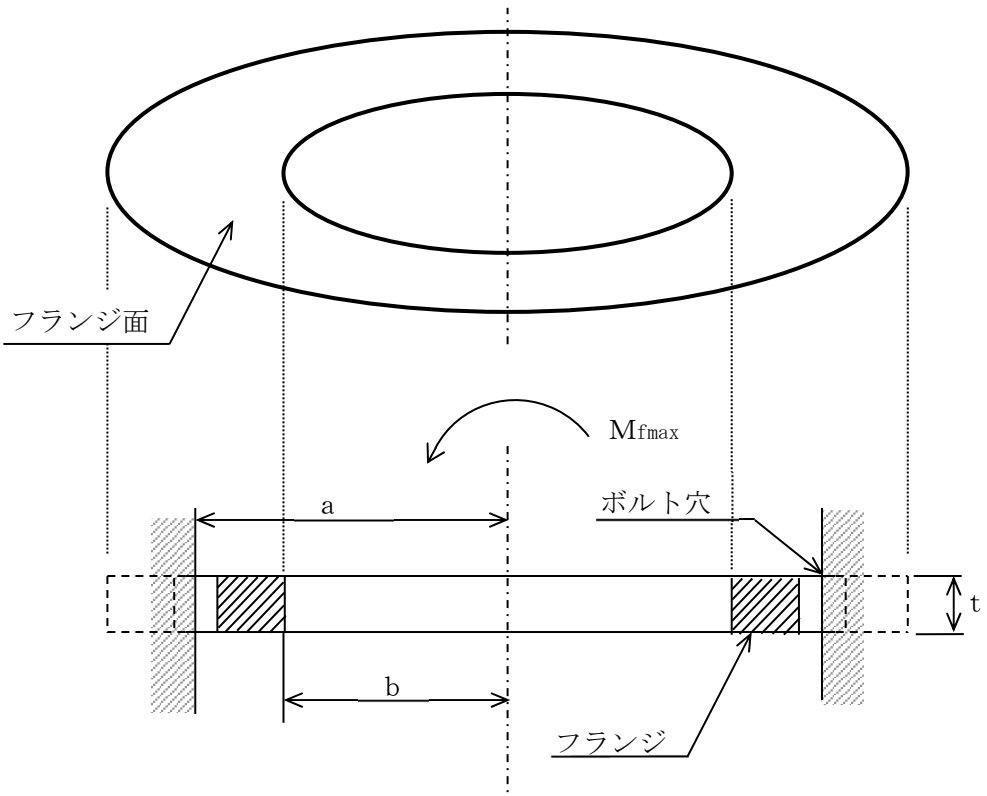


図 4－3　フランジ断面の計算モデル

(2)　応力解析に用いるモーメント

フランジの設計荷重は，ティーのストレーナ及びコネクタとの取合い部における最大モーメントを用いる。算出した最大モーメントを表 4－10 に示す。ここでの最大モーメントとは，ティーのストレーナ及びコネクタとの取合い部におけるフランジに対して面外方向の曲げモーメントとし，応答解析により得られたモーメントを用いる。フランジの面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は，フランジの面内剛性が大きいため，ここでは評価対象としない。

表 4－10　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重*	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	プールスウェル（気泡形成）	
6	蒸気凝縮（ＣＯ）	
7	チャギング（ＣＨ）	

注記＊：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

4.5　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の「4.2　荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4　計算方法」に示す。

4.6　応力の評価

「4.5　計算条件」で求めた応力が表4－3，表4－4，表4－5及び表4－6を用いて算出される許容応力以下であること。

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ティーの重大事故等時の状態を考慮した場合の評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足していることを確認した。

(1)　重大事故等時に対する評価

重大事故等時に対する応力評価結果を表5－1，表5－2に示す。

なお，各評価点における計算応力は表 4－2 に示す荷重の組合せのうち，発生値が最も高い評価を記載している。

表5－1　設計・建設規格に基づく重大事故等時に対する評価結果（D＋P_{SAD}＋M_{SAD}）

評価対象設備	評価部位	運転状態	応力分類	重大事故等時		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
ストレーナ部ティー	ティー	Ⅴ（Ｓ）	一次応力	S_{prm} ＝102	185	SA-3
	フランジ	Ⅴ（Ｓ）	一次応力	σ_r ＝ 70	216	SA-3

表5－2　告示第５０１号に基づく重大事故等時に対する評価結果（D＋P_{SAD}＋M_{SAD}）

評価対象設備	評価部位	運転状態	応力分類	許容応力状態Ⅴ		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
ストレーナ部ティー	ティー	Ⅴ（Ｓ）	一次応力	S_{prm} ＝ 43	123	SA-3
	フランジ	Ⅴ（Ｓ）	一次応力	σ_r ＝ 70	144	SA-3

6.　引用文献

(1)　WARREN C. YOUNG

“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

Ⅵ-3-3-3-3-1-5　残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書

まえがき

本計算書は，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」及びⅥ-3-2-9「重大事故等クラス２管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，Ⅵ-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

機器名	既設or新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか					既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	DBクラス	SAクラス	条件アップの有無	DB条件		SA条件						
								圧力(MPa)	温度(℃)	圧力(MPa)	温度(℃)					
残留熱除去系ストレーナ（コネクタ）	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*1	104*2	— [0.853]*1	178	—	設計・建設規格*3	設計・建設規格	—	SA-2
高圧炉心スプレイ系ストレーナ（コネクタ）*4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*5	104*2	— [0.853]*5	178	—	設計・建設規格*3	設計・建設規格	—	SA-2
低圧炉心スプレイ系ストレーナ（コネクタ）*4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	— [0.427]*6	104*2	— [0.853]*6	178	—	設計・建設規格*3	設計・建設規格	—	SA-2

注記＊1：残留熱除去系ストレーナ（コネクタ）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊2：サプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

＊3：「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について」（平成 17・10・13 原院第 4 号（平成 17 年 10 月 25 日））に従い，大型化改造工事時に大型化改造工認を提出

＊4：残留熱除去系ストレーナ（コネクタ），高圧炉心スプレイ系ストレーナ（コネクタ）及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ（コネクタ）は同形状のコネクタを使用することから，本計算書に代表して評価を実施する。

＊5：高圧炉心スプレイ系ストレーナ（コネクタ）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊6：低圧炉心スプレイ系ストレーナ（コネクタ）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

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.　構造強度評価 …… 8
4.1　構造強度評価方法 …… 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 8
4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態 …… 8
4.2.2　許容応力 …… 8
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 …… 8
4.2.4　設計荷重 …… 12
4.3　解析モデル及び諸元 …… 13
4.4　計算方法 …… 15
4.4.1　コネクタの計算方法 …… 15
4.4.2　フランジの計算方法 …… 17
4.5　計算条件 …… 18
4.6　応力の評価 …… 18
5.　評価結果 …… 19
5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 19
6.　引用文献 …… 19

1. 概要

本計算書は，重大事故等クラス２機器として兼用される残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタについて，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき，材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は，「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」（平成 25 年 6 月 28 日　原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条（材料及び構造）に規定されており，「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の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い，設計基準対象施設の規定を準用する。

また，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））に適合することと規定されている。

本計算書は，残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

なお，残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタは同形状のコネクタを使用することから，本計算書においては代表して残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの解析モデルを採用する。また，そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナ取付部コネクタの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

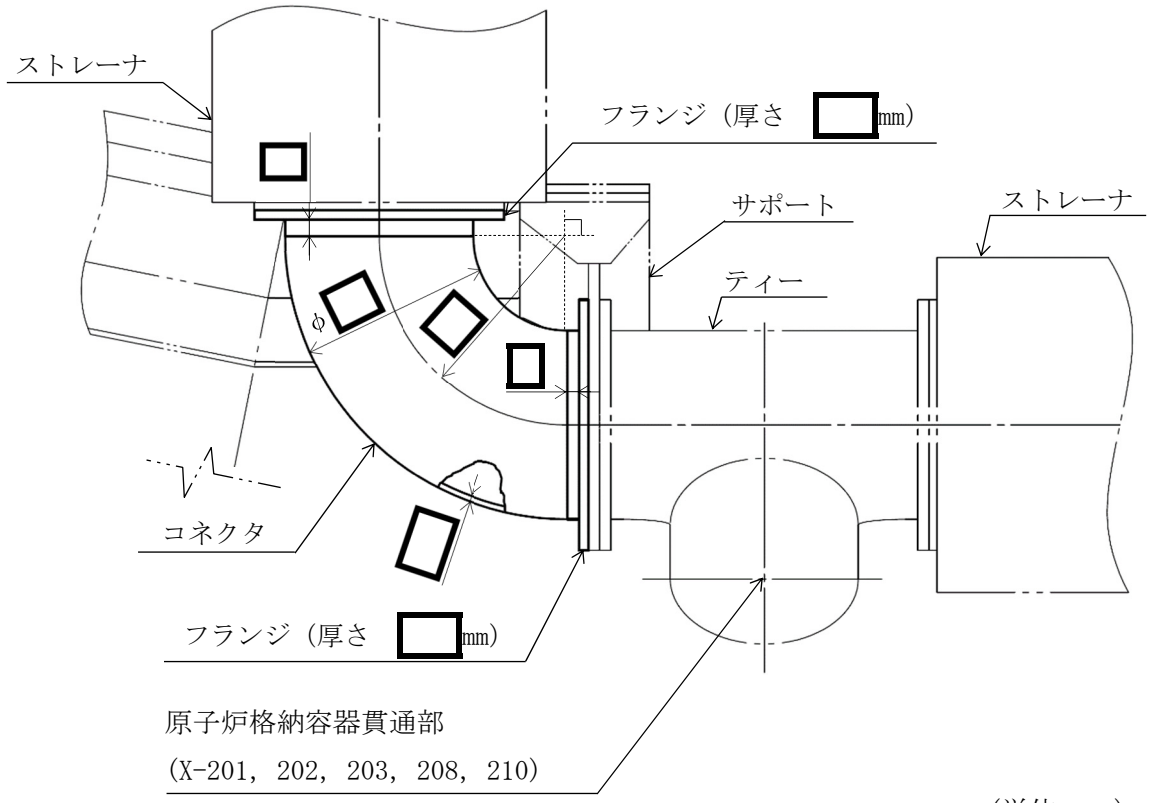
以下，重大事故等クラス２管としての応力評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
コネクタは，サプレッションプール内に水没された状態で設置されており，ティー及びストレーナの間に取り付けられる。	コネクタ	

2.2　評価方針

ストレーナ取付部コネクタの応力評価は，「2.1　構造計画」にて示すストレーナ取付部コネクタの部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて，設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

ストレーナ取付部コネクタの応力評価フローを図2－1に示す。

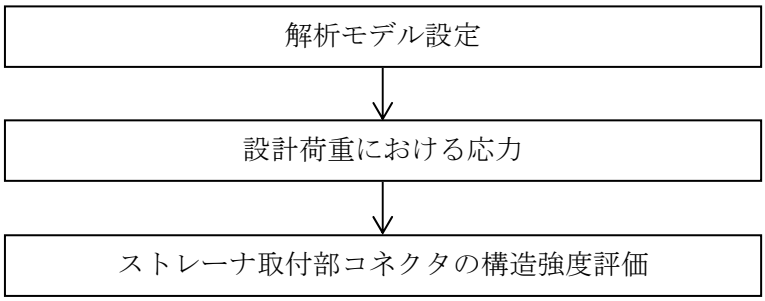


図2－1　ストレーナ取付部コネクタの応力評価フロー

2.3　適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

(2)　非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
B_1	設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数	―
B_2	設計・建設規格　式 PPB-4.20 により算出した応力係数	―
D	外径	mm
L	長さ	mm
M	モーメント	N･mm
P	圧力	MPa
t	厚さ	mm
Z	断面係数	mm^3
σ	応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2－2 に示すとおりとする。

表 2－2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位*1
温度	℃	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第 1 位	四捨五入	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
モーメント	N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*3
計算応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第 3 位表示とする。

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

＊3：絶対値が 1000 以上のときは，べき数表示とする。

＊4：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，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。

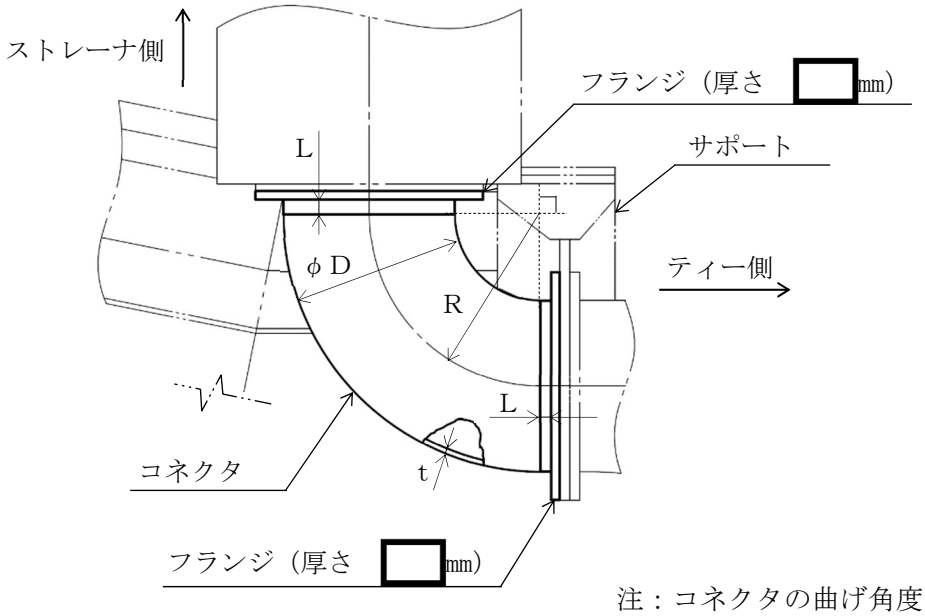
3. 評価部位

ストレーナ取付部コネクタの応力評価は，「4.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ストレーナ取付部コネクタ及びフランジについて実施する。

なお，Ⅵ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示すストレーナ取付部ボルトの評価は，ストレーナとコネクタ間，ティーとコネクタ間，及びティーとストレーナ間で発生する荷重及びモーメントを包絡させた荷重及びモーメントを用いており，ストレーナ取付部コネクタをストレーナ部ティーに取り付けるためのボルトの評価は，Ⅵ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示すストレーナ取付部ボルトの評価で代表されるため，ここでは記載を省略する。

また，ストレーナ取付部コネクタのフランジのうちストレーナと取り付けるフランジの評価は，ストレーナ側フランジより板厚を大きく設計しており（コネクタ側フランジ厚さ [ ]mm，ストレーナ側 [ ]mm），Ⅵ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示すストレーナ側フランジの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

ストレーナ取付部コネクタの形状及び主要寸法を図 3－1 に示す。



注：コネクタの曲げ角度は 90°

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ（貫通部番号：X-201，X-202，X-203）
高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタ（貫通部番号：X-210）
低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタ（貫通部番号：X-208）

D＝[ ]　　t＝[ ]　　R＝[ ]　　L＝[ ]

図 3－1　ストレーナ取付部コネクタの形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

ストレーナ取付部コネクタは，ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

ストレーナ取付部コネクタの構造強度評価における応答解析及び応力計算は，はりモデルによる有限要素解析手法を適用する。4.3 項に示すはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）により死荷重及び水力学的動荷重を算出し，4.4 項に示す計算方法を用いてコネクタ及びフランジの応力計算を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

ストレーナ取付部コネクタの荷重の組合せ及び供用状態を表 4－1 に，荷重の組合せ整理表を表 4－2 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナ取付部コネクタの許容応力を表 4－3 に示す。なお，評価対象は，構造又は形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分小さいため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ストレーナ取付部コネクタの許容応力評価条件を表 4－4 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

コネクタ [redacted]

フランジ [redacted]

表 4－1　荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ取付部コネクタ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ取付部コネクタ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ取付部コネクタ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ取付部コネクタ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ取付部コネクタ	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*

注記＊：重大事故等時として運転状態Ⅴ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ⅴ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表４－２　荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

組合せ No.	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			供用状態
					運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	
SA-1	運転状態Ｖ（Ｌ）	○	○	○						重大事故等時*
SA-2	運転状態Ｖ（Ｓ）	○	○	○				○		重大事故等時*
SA-3	運転状態Ｖ（Ｓ）	○	○	○		○			○	重大事故等時*
SA-4	運転状態Ｖ（Ｓ）	○					○			重大事故等時*

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－3　許容応力（重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

供用状態	一次一般膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）
重大事故等時*	S	長期荷重　1.5・S 短期荷重　1.8・S

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－4　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)
コネクタ	[redacted]	最高使用温度	178	[redacted]
フランジ	[redacted]	最高使用温度	178	[redacted]

4.2.4　設計荷重

(1)　死荷重

ストレーナとコネクタの自重による荷重及びストレーナに付着する異物の自重による異物荷重の 2 つの死荷重を考慮する。

ストレーナ	[redacted]	N
コネクタ	[redacted]	N
異物	[redacted]	N

(2)　差圧

コネクタの設計圧力は [redacted] MPa を考慮する。

4.3　解析モデル及び諸元

ストレーナ取付部コネクタの応答解析用モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはⅥ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また，機器の諸元を表 4－5 に示す。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛性が高いため，剛体としてモデル化する。また，ストレーナ取付角度に応じた 2 種類の解析モデルを用意し，包絡した荷重を用いる。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は原子炉格納容器シェル部を模擬したばねの端点を拘束する。

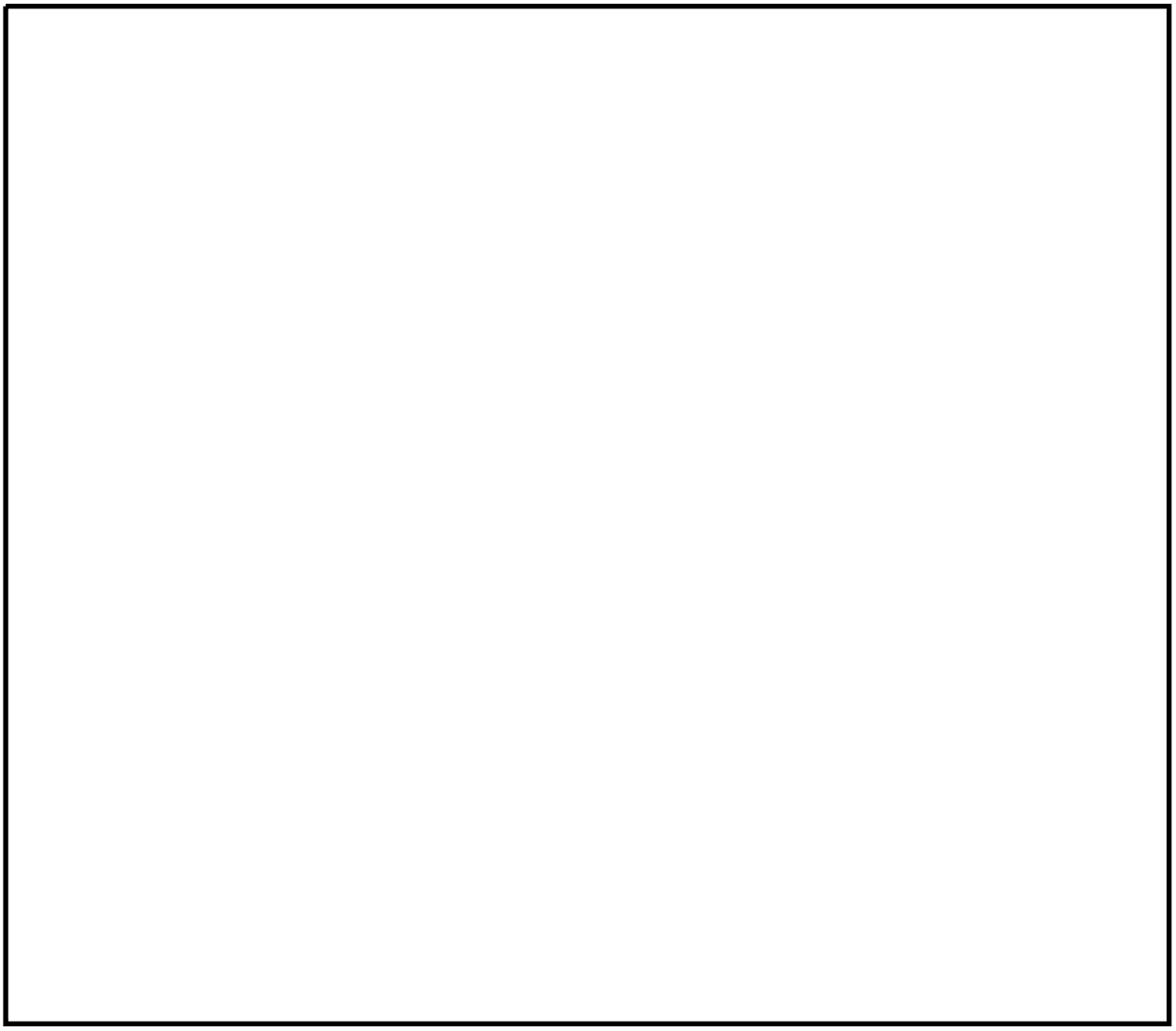
(3)　ストレーナ取付部サポートはストレーナ部ティーとストレーナ取付部コネクタの間に挟まる形で取り付けられており，サポートパイプを模擬したはり要素にサポートプレートを模擬したばねを接続し，サポートパイプの付根部を完全拘束する。

(4)　ストレーナ取付部サポートを除く各部の質量は，各部の重心位置（図 4－1 の○の節点）に集中質量を与える。また，ストレーナ取付部サポートのサポートプレート部の質量はサポートプレートを模擬したばねの両端に集中質量を与え，サポートパイプ部の質量は密度をはり要素に与える。

(5)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(6)　モデル全体に鉛直方向の重力加速度を入力し，各評価部位の死荷重を算出する。また，各部に作用する水力学的動荷重を各部の重心位置に入力し，各評価部位の水力学的動荷重を算出する。

(7)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注：ビーム要素を構成している節点及び要素のみを示す。

図 4－1　応答解析用モデル

表 4－5　機器諸元

項目	単位	入力値
ストレーナ取付部コネクタの材質	―	
ストレーナ取付部コネクタの質量	kg/個	
ストレーナ取付部コネクタの 内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ 1 個当たりの異物の質量	kg/個	
温度	℃	104
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	―	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　計算方法

4.4.1　コネクタの計算方法

(1)　応力の計算方法

コネクタに発生する応力は，設計・建設規格　PPC-3520 に従い算出する。なお，コネクタの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計するため，ここでは管について評価を行う。

応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prm} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_2 \cdot M_{max}}{Z}$$

ここに，S_{prm}　：発生応力(MPa)

P　：最高使用圧力（設計圧力）(MPa)

D_o　：管の外径(mm)

t　：管の厚さ(mm)

B_1　：設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数（＝ ）

B_2　：設計・建設規格　式 PPB-4.20 により算出した応力係数（＝ ）

$$= \frac{1.30}{h^{\frac{2}{3}}}$$

h　：設計・建設規格　式 PPB-4.21 により計算した値

$$= \frac{t \cdot R}{r^2}$$

R　：コネクタ中心線の曲率半径＝ (mm)

r　：設計・建設規格　式 PPB-4.19 により計算した値(mm)

$$= \frac{D_o - t}{2}$$

M_{max}　：表 4－6 に示す最大モーメント(N･mm)

Z　：管の断面係数(mm^3)

(2)　応力解析に用いるモーメント

コネクタの設計荷重は，ストレーナからの伝達荷重とコネクタ自身に作用する荷重から算出した，図 4－2 に示すコネクタのストレーナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。なお，ここでの最大モーメントとは，コネクタのティーとの取合い部における 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものであり，応答解析により得られたモーメントを用いる。

算出した最大モーメントを表 4－6 に示す。

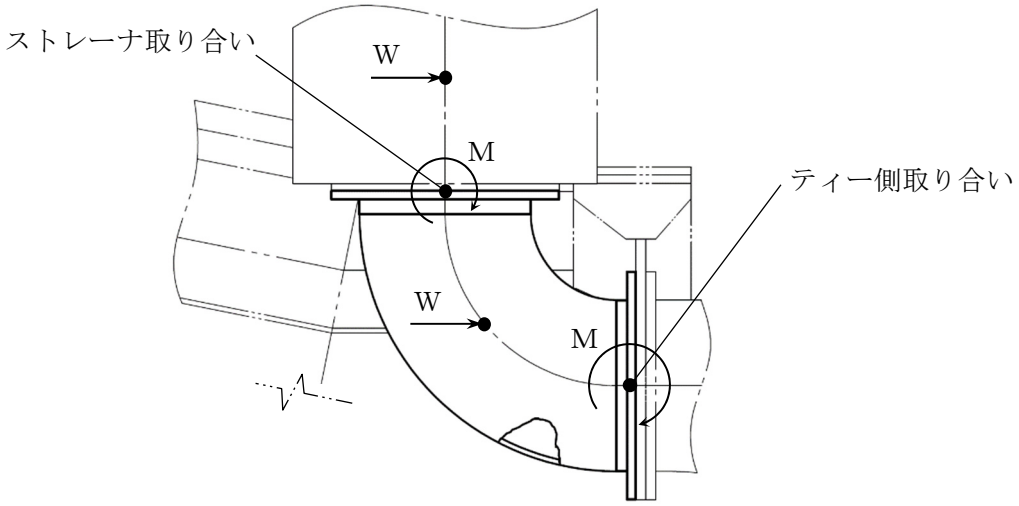


図 4－2　コネクタのモーメント算出点

表 4－6　コネクタの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重*	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	プールスウェル（気泡形成）	
6	蒸気凝縮（ＣＯ）	
7	チャギング（ＣＨ）	

注記＊：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

4.4.2　フランジの計算方法

(1)　応力の計算方法

ストレーナ取付部コネクタのストレーナ部ティーと取り付けるフランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで取付フランジを以下のようにモデル化し，応力評価を行う。

取付フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4−7 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(1)より，図 4−3 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに，σ_r　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4−7 に示す最大モーメント(N･mm)

a　：ボルト穴中心円半径＝[　]÷2＝[　](mm)

b　：フランジ内半径＝[　](mm)

t　：フランジ板厚＝[　](mm)

β　：b／a （＝[　]）から決まる計算上の係数＝[　]

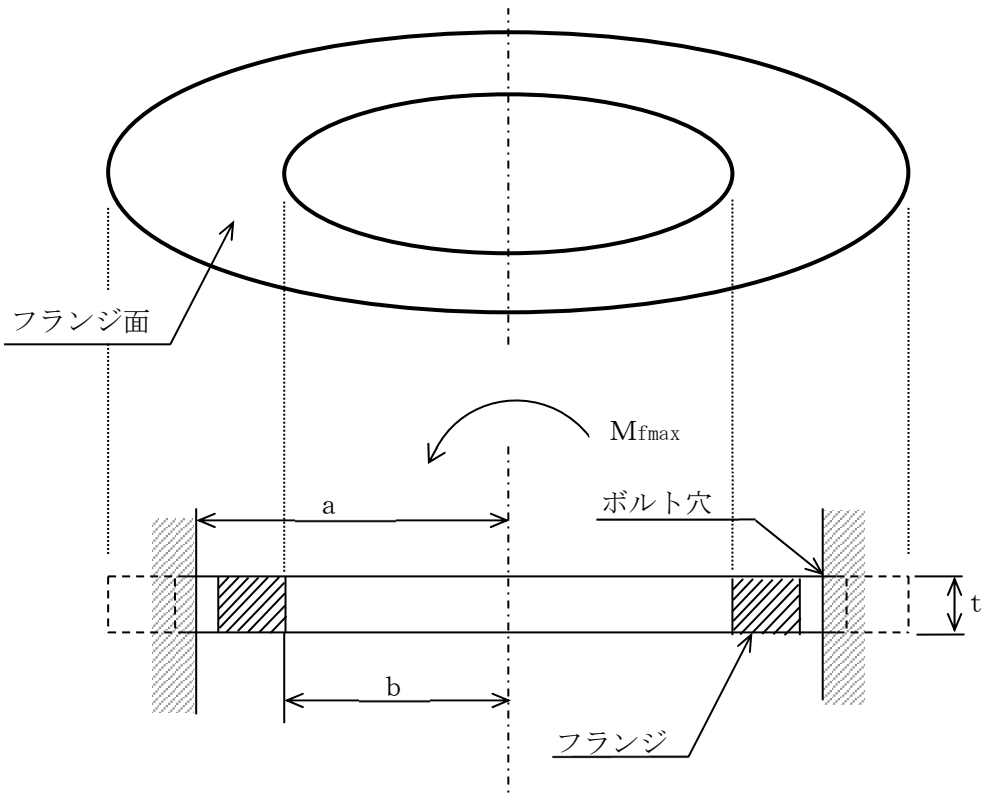


図 4−3　フランジ断面の計算モデル

(2) 応力解析に用いるモーメント

フランジの設計荷重は，図 4－2 に示すコネクタのストレーナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。算出した最大モーメントを表 4－7 に示す。ここでの最大モーメントとは，コネクタのティーとの取合い部におけるフランジに対して面外方向の曲げモーメントとし，応答解析より得られたモーメントを用いる。フランジの面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は，フランジの面内剛性が大きいため，ここでは評価対象としない。

表 4－7　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重*	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	プールスウェル（気泡形成）	
6	蒸気凝縮（ＣＯ）	
7	チャギング（ＣＨ）	

注記＊：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

4.5　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の「4.2　荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4　計算方法」に示す。

4.6　応力の評価

「4.4　計算方法」で求めた応力が，表 4－3 及び表 4－4 を用いて算出される許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

ストレーナ取付部コネクタの重大事故等時の状態を考慮した場合の評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足していることを確認した。

(1) 重大事故等時に対する評価

重大事故等時に対する応力評価結果を表5－1に示す。

なお，各評価点における計算応力は表 4－2 に示す荷重の組合せのうち，発生値が最も高い評価を記載している。

表5－1 重大事故等時に対する評価結果（$D+P_{SAD}+M_{SAD}$）

評価対象設備	評価部位	運転状態	応力分類	重大事故等時		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
ストレーナ取付部コネクタ	コネクタ	Ⅴ（Ｓ）	一次応力	S_{prm}＝ 69	202	SA-3
	フランジ	Ⅴ（Ｓ）	一次応力	σ_r＝ 51	202	SA-3

6. 引用文献

(1) WARREN C. YOUNG

“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain”7th Edition

Ⅵ-3-3-3-3-1-6　残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの強度計算書

まえがき

本計算書は，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」及びⅥ-3-2-9「重大事故等クラス２管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，Ⅵ-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

評価条件整理表

機器名	既設or新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか					既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	ＤＢクラス	ＳＡクラス	条件アップの有無	ＤＢ条件		ＳＡ条件						
								圧力(MPa)	温度(℃)	圧力(MPa)	温度(℃)					
残留熱除去系ストレーナ（サポート）	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	― [0.427]*1	104*2	― [0.853]*1	178	―	設計・建設規格*3	設計・建設規格	―	SA-2
高圧炉心スプレイ系ストレーナ（サポート）*4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	― [0.427]*5	104*2	― [0.853]*5	178	―	設計・建設規格*3	設計・建設規格	―	SA-2
低圧炉心スプレイ系ストレーナ（サポート）*4	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	― [0.427]*6	104*2	― [0.853]*6	178	―	設計・建設規格*3	設計・建設規格	―	SA-2

注記＊1：残留熱除去系ストレーナ（サポート）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊2：サプレッションチェンバの最高使用温度を示す。

＊3：「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について」（平成17・10・13原院第4号（平成17年10月25日））に従い，大型化改造工事時に大型化改造工認を提出

＊4：残留熱除去系ストレーナ（サポート），高圧炉心スプレイ系ストレーナ（サポート）及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ（サポート）は同形状のサポートを使用することから，本計算書に代表して評価を実施する。

＊5：高圧炉心スプレイ系ストレーナ（サポート）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

＊6：低圧炉心スプレイ系ストレーナ（サポート）は，その機能及び構造上の耐圧機能を必要としないため，最高使用圧力を設定しないが，ここでは，原子炉格納容器（内圧）の最高使用圧力を［ ］内に示す。

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.　構造強度評価 ····· 9
4.1　構造強度評価方法 ····· 9
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 9
4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態 ····· 9
4.2.2　許容応力 ····· 9
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 9
4.2.4　設計荷重 ····· 13
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 13
4.4　計算方法 ····· 15
4.4.1　応力評価点 ····· 15
4.4.2　応力の計算方法 ····· 16
4.5　計算条件 ····· 20
4.6　応力の評価 ····· 20
5.　評価結果 ····· 20
5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20

1. 概要

本計算書は，重大事故等クラス２機器として兼用される残留熱除去系ストレーナ取付部サポートについて，Ⅵ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき，材料及び構造について評価を実施する。当該設備の評価は，「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」（平成 25 年 6 月 28 日　原子力規制委員会規則第六号）（以下「技術基準規則」という。）第 55 条（材料及び構造）に規定されており，「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の解釈」（平成 25 年 6 月 19 日　原規技発第 1306194 号）（以下「技術基準規則の解釈」という。）に従い，設計基準対象施設の規定を準用する。

本計算書は，残留熱除去系ストレーナ取付部サポートがこれらの要求事項に対して十分な強度を有することを確認するための強度評価について示すものである。

なお，残留熱除去系ストレーナ取付部サポート，高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポート及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートは同形状のサポートを使用することから，本計算書においては代表して残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの解析モデルを採用する。また，そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナ取付部サポートの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

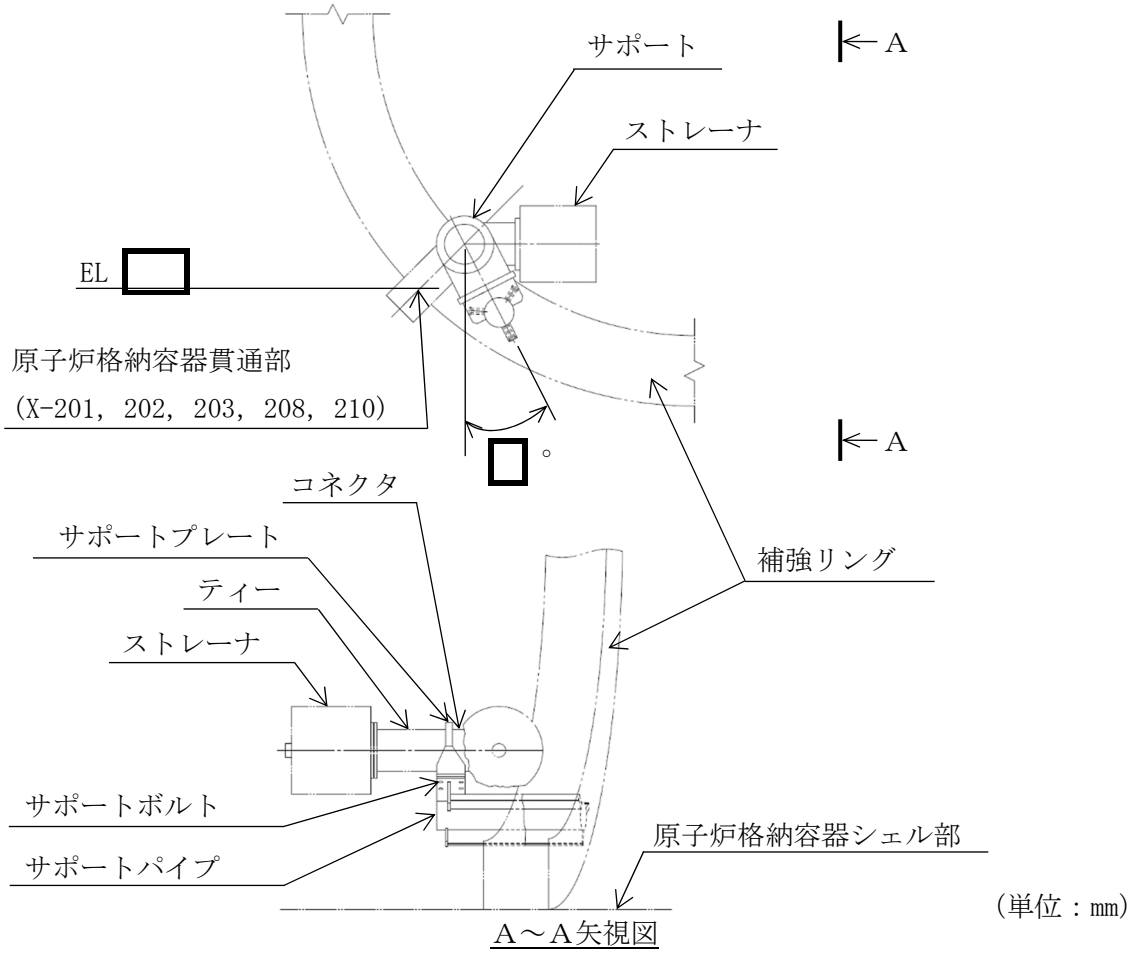
以下，重大事故等クラス２支持構造物としての応力評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ取付部サポート，高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポート及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
サポートは，サプレッションプール内に水没された状態で設置されており，ティーとコネクタの取合い部から補強リングの間に取り付けられる。	サポートパイプ，サポートプレート，サポートボルトで構成される鋼製構造物である。	

2.2　評価方針

ストレーナ取付部サポートの応力評価は，「2.1　構造計画」にて示すストレーナ取付部サポートの部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて，設計荷重による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

ストレーナ取付部サポートの応力評価フローを図2－1に示す。

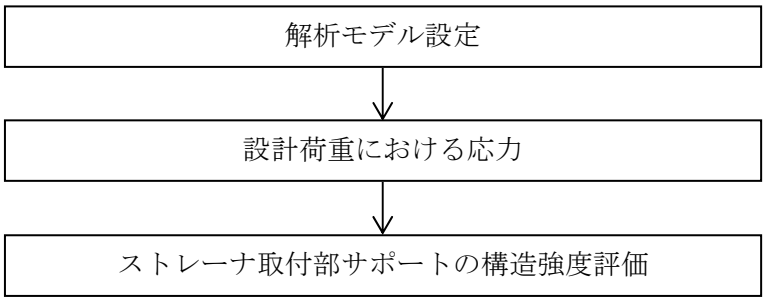


図2－1　ストレーナ取付部サポートの応力評価フロー

2.3　適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

(1)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm^2
CH	チャギング時の荷重	－
CO	蒸気凝縮振動荷重	－
F_v	せん断力	N
f_b	許容曲げ応力*1	MPa
f_c	許容圧縮応力*2	MPa
f_s	許容せん断応力*3	MPa
f_t	許容引張応力*4	MPa
M	曲げモーメント	N･mm
N	軸力	N
PS	プールスウェル荷重	－
SRV	逃がし安全弁作動時	－
T	ねじりモーメント	N･mm
Z	断面係数，極断面係数	mm^3
σ	組合せ応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_t	垂直応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

注記＊1：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により規定される値

＊2：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(3)により規定される値

＊3：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(2)により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(2)により規定される値

＊4：支持構造物（ボルト等を除く。）に対して設計・建設規格 SSB-3121.1(1)により規定される値。ボルト等に対して設計・建設規格 SSB-3131(1)により規定される値

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりとする。

表2－2　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
質量	kg	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
計算応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位表示とする。

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

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：設計・建設規格　付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力は，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

ストレーナ取付部サポートの応力評価は，「4.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，サポートパイプ，サポートパイプ溶接部，サポートプレート及びサポートボルトについて実施する。

ストレーナ取付部サポートの取付け状況，形状及び主要寸法を図 3－1 及び図 3－2 に示す。

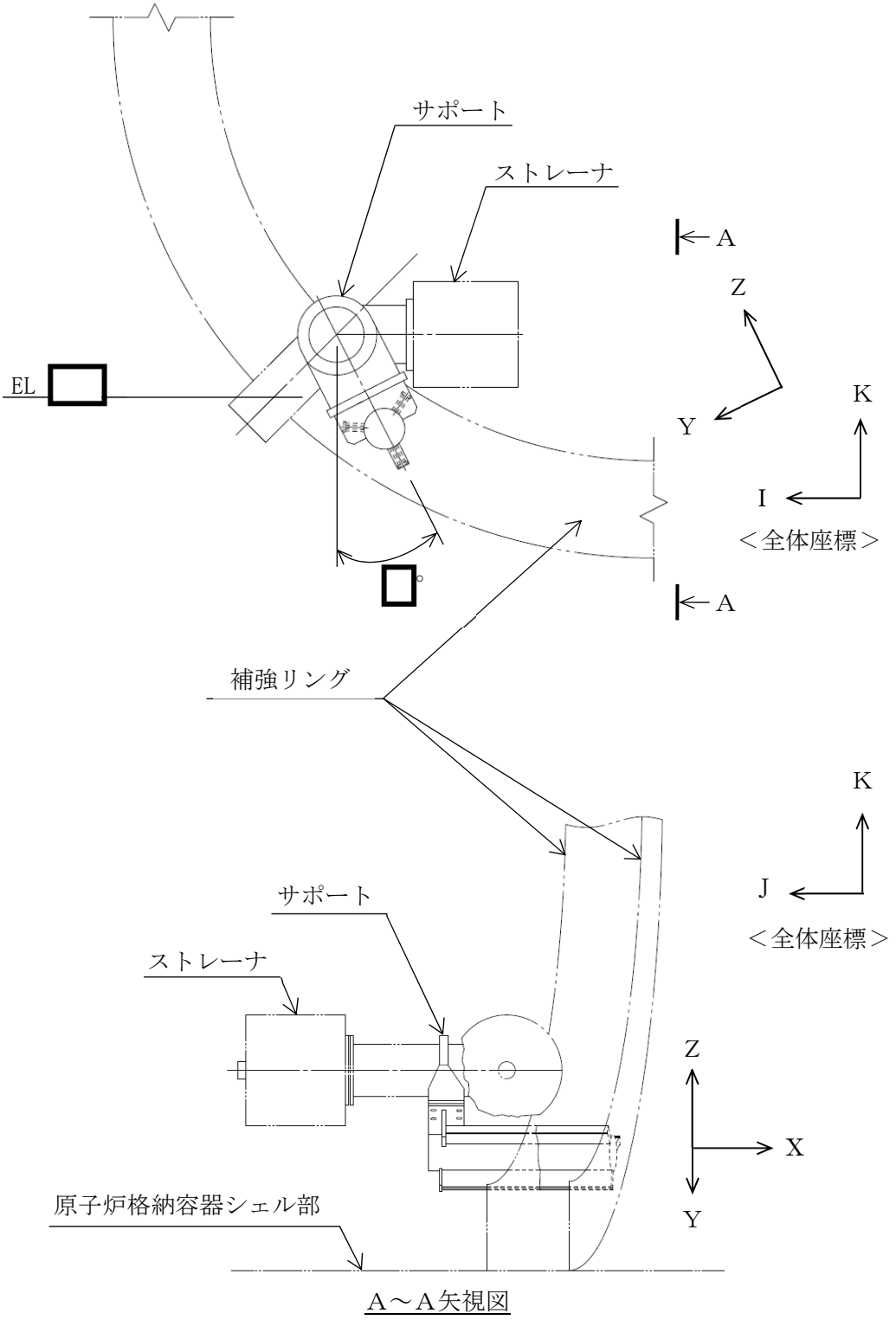
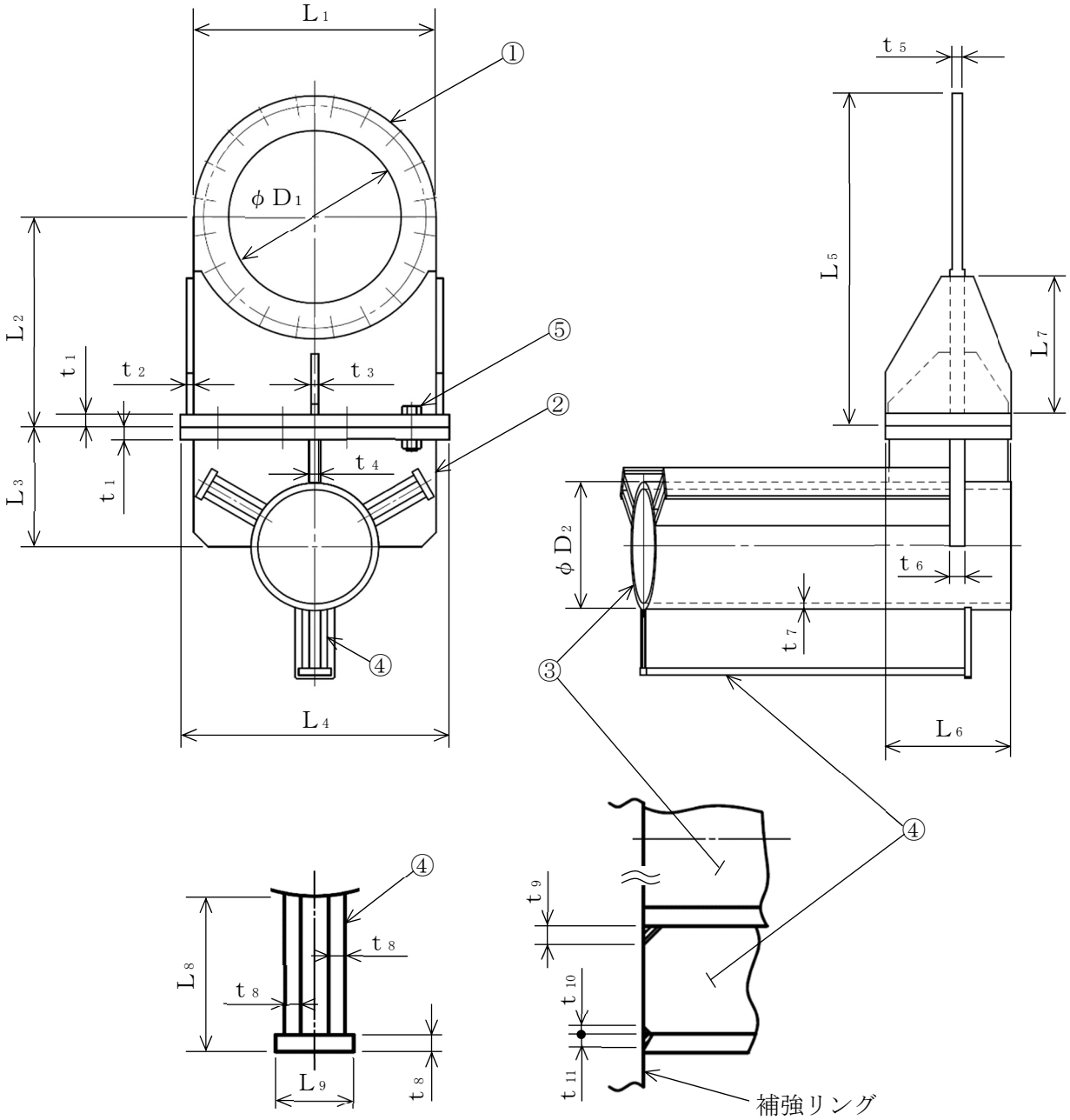


図 3－1　ストレーナ取付部サポートの形状及び主要寸法（単位：mm）



④断面詳細図　　溶接部詳細図

D_1=	D_2=	L_1=	L_2=	L_3=	L_4=
L_5=	L_6=	L_7=	L_8=	L_9=	
t_1=	t_2=	t_3=	t_4=	t_5=	t_6=
t_7=	t_8=	t_9=	t_{10}=	t_{11}=	

①サポートプレート①　　②サポートプレート②　　③サポートパイプ（円管）
④サポートパイプ（補強リブ）　⑤サポートボルト（M□，８本）

図 3－2　ストレーナ取付部サポートの形状及び主要寸法（単位：mm）

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

ストレーナ取付部サポートは，ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナ部から作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

ストレーナ取付部サポートの構造強度評価における応答解析及び応力計算は，はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。4.3 項に示すはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）により死荷重及び水力学的動荷重を算出し，4.4.2(3)項に示す三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）を用いてサポートプレート，4.4.2(1)項，4.4.2(2)項及び 4.4.2(4)項に示す方法を用いてサポートパイプ及びサポートボルトの応力計算を行う。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び供用状態

ストレーナ取付部サポートの荷重の組合せ及び供用状態を表 4－1 に，荷重の組合せ整理表を表 4－2 に示す。

4.2.2 許容応力

ストレーナ取付部サポートの許容応力を表 4－3 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ストレーナ取付部サポートの許容応力評価条件を表 4－4 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

サポートプレート① [redacted]

サポートプレート② [redacted]

サポートパイプ（円管） [redacted]

サポートパイプ（補強リブ） [redacted]

サポートボルト [redacted]

表 4－1　荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ	供用状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ取付部サポート	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ取付部サポート	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	高圧炉心スプレイ系 ストレーナ取付部サポート	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	低圧炉心スプレイ系 ストレーナ取付部サポート	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ取付部サポート	重大事故等クラス２	$D+P_{SAD}+M_{SAD}$	重大事故等時*

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表４－２　荷重の組合せ整理表（重大事故等対処設備）

荷重の組合せ		供用状態	備考
組合せ No.	各運転状態による荷重		
SA-1	運転状態Ｖ（Ｌ）による荷重	重大事故等時*	
SA-2	運転状態Ｖ（Ｓ）による荷重	重大事故等時*	ＣＯ
SA-3	運転状態Ｖ（Ｓ）による荷重	重大事故等時*	ＳＲＶ＋ＣＨ
SA-4	運転状態Ｖ（Ｓ）による荷重	重大事故等時*	ＰＳ

注記＊：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－3　許容応力（重大事故等クラス２支持構造物（クラス２，３支持構造物））

供用状態		一次応力（ボルト等以外）*1					一次応力（ボルト等）*1	
		引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ	引張*2	せん断
重大事故等時*3	長期荷重	f_t	f_s	f_c	f_b	f_t	f_t	f_s
	短期荷重	1.5・f_t*	1.5・f_s*	1.5・f_c*	1.5・f_b*	1.5・f_t*	1.5・f_t*	1.5・f_s*

注：f_t*，f_s*，f_c*，f_b*は，f_t，f_s，f_c，f_bの値を算出する際に設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値とあるのを設計・建設規格　付録材料図表 Part5 表 8 に規定する値の 1.2 倍の値と読み替えて計算した値。ただし，使用温度が 40℃を超えるオーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあっては，1.35・Ｓｙ，0.7・Ｓｕ又はＳｙ（ＲＴ）のいずれか小さい方の値

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

＊2：応力の組み合わせが考えられる場合には，長期荷重については 1.4・f_t－1.6・τ と f_t の小さい方，短期荷重については 2.1・f_t*－1.6・τ と 1.5・f_t*の小さい方を用いる。

＊3：重大事故等時として運転状態Ｖ（Ｌ）は供用状態Ａ，運転状態Ｖ（Ｓ）は供用状態Ｄの許容限界を用いる。

表 4－4　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S（MPa）	Ｓｙ（MPa）	Ｓｕ（MPa）	Ｓｙ（ＲＴ）（MPa）
サポートプレート①		最高使用温度	178	—			
サポートプレート②		最高使用温度	178	—			—
サポートパイプ（円管）		最高使用温度	178	—			—
サポートパイプ（補強リブ）		最高使用温度	178	—			—
サポートボルト		最高使用温度	178	—			—

4.2.4　設計荷重

ストレーナ取付部サポートの設計荷重は，「4.3　解析モデル及び諸元」に示す解析モデルを用いて解析を行い，各部の反力を算出して設定する。

4.3　解析モデル及び諸元

ストレーナ取付部サポートの応答解析用モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。なお，サポートプレートの応力解析用モデルについては，「4.4　計算方法」で説明する。

応答解析用モデルはⅥ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。機器の諸元を表 4－5 に示す。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛性が高いため，剛体としてモデル化する。また，ストレーナ取付角度に応じた 2 種類の解析モデルを用意し，包絡した荷重を用いる。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は原子炉格納容器シェル部を模擬したばねの端点を拘束する。

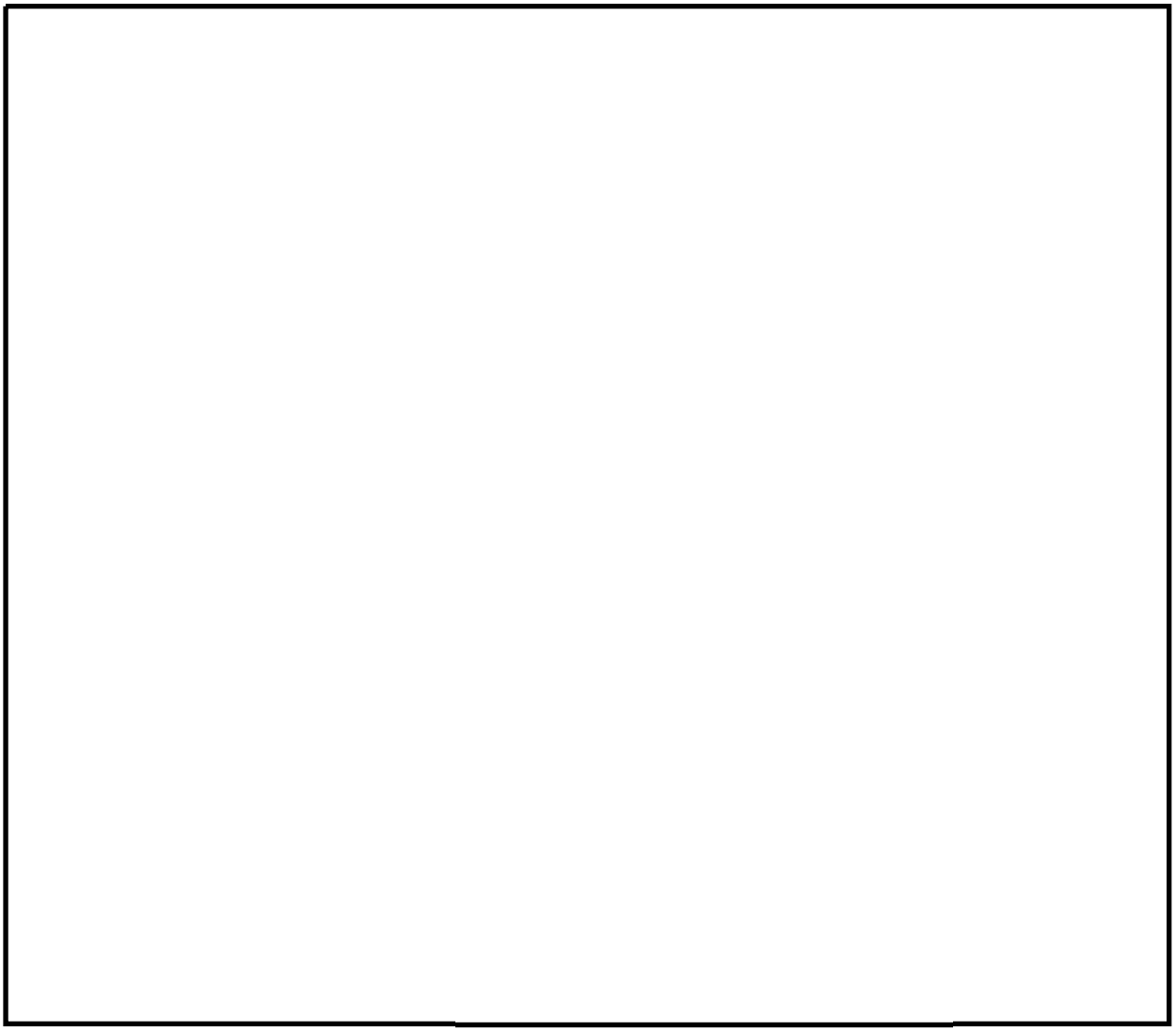
(3)　ストレーナ取付部サポートはストレーナ部ティーとストレーナ取付部コネクタの間に挟まる形で取り付けられており，サポートパイプを模擬したはり要素にサポートプレートを模擬したばねを接続し，サポートパイプの付根部を完全拘束する。

(4)　ストレーナ取付部サポートを除く各部の質量は，各部の重心位置（図 4－1 の○の節点）に集中質量を与える。また，ストレーナ取付部サポートのサポートプレート部の質量はサポートプレートを模擬したばねの両端に集中質量を与え，サポートパイプ部の質量は密度をはり要素に与える。

(5)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(6)　モデル全体に鉛直方向の重力加速度を入力し，各評価部位の死荷重を算出する。また，各部に作用する水力学的動荷重を各部の重心位置に入力し，各評価部位の水力学的動荷重を算出する。

(7)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



注：ビーム要素を構成している節点及び要素のみを示す。

図 4－1　応答解析用モデル

表 4－5　機器諸元（応答解析用モデル）

項目	単位	入力値
ストレーナ取付部サポートの材質	―	
ストレーナ取付部サポートの質量	kg	
ストレーナ取付部サポートの 内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ 1 個当たりの異物の質量	kg/個	
温度	℃	104
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	―	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　計算方法

4.4.1　応力評価点

ストレーナ取付部サポートの形状及び応力レベルを考慮して，表 4－6 及び図 4－2 に示す応力評価点を設定する。

表4－6　応力評価点

応力評価点番号	応力評価点*
P1	サポートパイプ
P2	サポートパイプ溶接部
P3	サポートプレート
P4	サポートボルト

注記＊：応力評価点P3については，許容応力に対する発生応力が，全ての供用状態を通じて最も厳しくなる点を代表で記載している。
なお，図中の矢印は応力評価部位を示す。

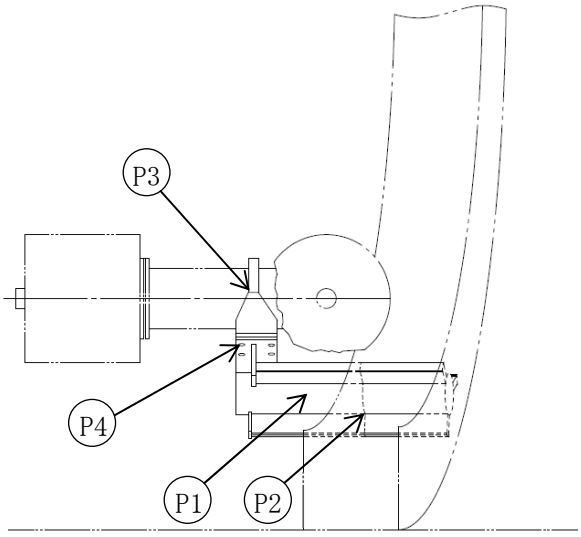


図4－2　ストレーナ取付部サポートの応力評価点

4.4.2　応力の計算方法

(1)　サポートパイプ（応力評価点 P1）

サポートパイプの設計荷重を表 4－7 に示す。

表 4－7 に示す荷重により，サポートパイプに生じる応力を求める。

死荷重に対する計算例を以下に示す。

a.　軸力による垂直応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} = \boxed{} = 1 \text{ MPa}$$

ここに，A：サポートパイプの断面積

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

b.　曲げモーメントによる曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \boxed{} = 13 \text{ MPa}$$

ここに，Z：サポートパイプの断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

c.　せん断力及びねじりモーメントによるせん断応力

$$\tau = \frac{F_V}{A} + \frac{T}{Z_P} = \boxed{} + \boxed{} = 3 \text{ MPa}$$

ここに，Z_P：サポートパイプの極断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

d.　組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(1 + 13)^2 + 3 \times 3^2} = 15 \text{ MPa}$$

表 4－7　サポートパイプの設計荷重

荷重		軸力 (N)	曲げモーメント (N･mm)	せん断力 (N)	ねじりモーメント (N･mm)
		N	M	F_V	T
1	死荷重				
2	ＳＲＶ荷重				
3	プールスウェル				
4	蒸気凝縮（ＣＯ）				
5	チャギング（ＣＨ）				

注：異物による荷重を含めて計算している。

(2)　サポートパイプ溶接部（応力評価点 P2）

サポートパイプ溶接部の設計荷重を表 4－8 に示す。

表 4－8 に示す荷重により，サポートパイプ溶接部に生じる応力を求める。

死荷重に対する計算例を以下に示す。

a.　軸力による垂直応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} = \boxed{} = 1 \text{ MPa}$$

ここに，Ａ：サポートパイプ溶接部の断面積

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

b.　曲げモーメントによる曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z} = \boxed{} = 15 \text{ MPa}$$

ここに，Ｚ：サポートパイプ溶接部の断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

c.　せん断力及びねじりモーメントによるせん断応力

$$\tau = \frac{F_V}{A} + \frac{T}{Z_P} = \boxed{} + \boxed{} = 4 \text{ MPa}$$

ここに，Z_P：サポートパイプ溶接部の極断面係数

$$= \boxed{} \text{ mm}^3$$

d.　組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{(1+15)^2 + 3 \times 4^2} = 18 \text{ MPa}$$

表 4－8　サポートパイプ溶接部の設計荷重

荷重		軸力 (N)	曲げモーメント (N･mm)	せん断力 (N)	ねじりモーメント (N･mm)
		N	M	F_V	T
1	死荷重				
2	ＳＲＶ荷重				
3	プールスウェル				
4	蒸気凝縮（ＣＯ）				
5	チャギング（ＣＨ）				

注：異物による荷重を含めて計算している。

(3)　サポートプレート（応力評価点 P3）

サポートプレートの応力計算は応力解析用モデルにより行う。サポートプレートの応力解析用モデルを図 4－3 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表 4－9，設計荷重を表 4－10 に示す。

a.　応力解析用モデルでは，「4.3　解析モデル及び諸元」の応答解析用モデルのサポートプレート部をシェル要素でモデル化した有限要素モデルを用いて解析を行う。

b.　サポートプレートの各部材は溶接により接合されており，溶接部は健全性が確保されるよう設計する。

c.　図 4－3 に示す荷重入力点にＸ方向，Ｙ方向，及びＺ方向に単位荷重を個別に入力し，荷重出力点の反力と各部位の応力を算出する。また，得られた各入力に対する応力に，設計荷重と荷重出力点反力との比をかけた後，荷重の組み合わせを考慮した加算を行い，応力強さを算出する。

d.　表 4－10 に示す設計荷重によりサポートプレートに生じる応力は，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用して計算する。

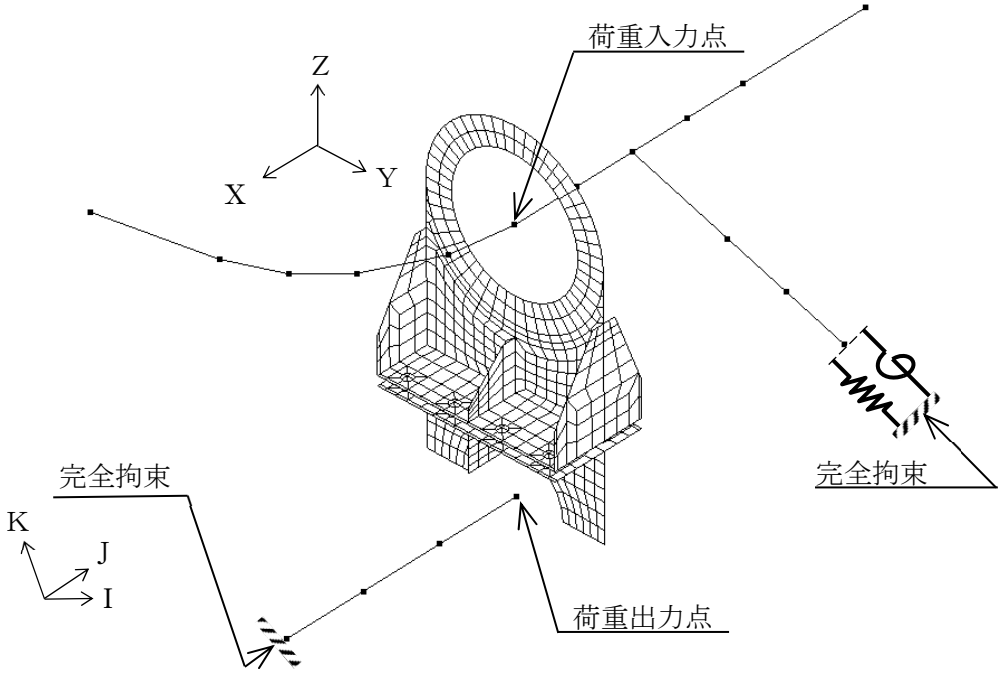


図 4－3　サポートプレートの計算モデル

表 4－9　機器諸元（応力解析用モデル）

項目	単位	入力値
サポートプレートの材質	—	
サポートプレートの質量	kg	
温度	℃	104
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

表 4－10　ストレーナ取付部サポートプレートの設計荷重

（単位：N）

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	死荷重			
2	ＳＲＶ荷重			
3	プールスウェル			
4	蒸気凝縮（ＣＯ）			
5	チャギング（ＣＨ）			

注 1：方向は図 4－3 参照。

注 2：異物による荷重を含めて計算している。

(4)　サポートボルト（応力評価点 P4）

サポートボルトの設計荷重を表 4－11 に示す。

表 4－11 に示す荷重により，サポートボルトに生じる応力を求める。

死荷重に対する計算例を以下に示す。

a.　軸力による引張応力

$$\sigma_t = \frac{N}{A} = \boxed{} = 14 \text{ MPa}$$

ここに，Ａ：サポートボルト（呼び径 M□）の断面積

$$= \boxed{} \text{ mm}^2$$

b.　せん断力によるせん断応力

$$\tau = \frac{F_V}{A} = \boxed{} = 15 \text{ MPa}$$

表 4－11　サポートボルトの設計荷重

（単位：N）

荷重		軸力	せん断力
		N	F_v
1	死荷重		
2	ＳＲＶ荷重		
3	プールスウェル		
4	蒸気凝縮（ＣＯ）		
5	チャギング（ＣＨ）		

注 1：ボルト一本に加わる荷重を示す。

注 2：異物による荷重を含めて計算している。

4.5　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の「4.2　荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4　計算方法」に示す。

4.6　応力の評価

「4.4　計算方法」で求めた応力が，表 4－3 及び表 4－4 を用いて算出される許容応力以下であること。

5.　評価結果

5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

ストレーナ取付部サポートの重大事故等時の状態を考慮した場合の評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足していることを確認した。

(1)　重大事故等時に対する評価

重大事故等時に対する応力評価結果を表 5－1 に示す。

なお，各評価点における計算応力は表 4－2 に示す荷重の組合せのうち，発生値が最も高い評価を記載している。

表5－1　重大事故等時に対する応力評価結果（D＋PSAD＋MSAD）

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	荷重組合せ
ストレーナ取付部サポート	P1	サポートパイプ	組合せ	σ ＝ 60	1.5・f_t^*＝252	SA-3
	P2	サポートパイプ溶接部	組合せ	σ ＝ 70	1.5・f_t^*＝252	SA-3
	P3	サポートプレート	組合せ	σ ＝ 66	1.5・f_t^*＝199	SA-3
	P4	サポートボルト	引張	σ_t ＝ 61	1.5・f_t^*＝438	SA-3
			せん断	τ ＝ 71	1.5・f_s^*＝337	SA-3

Ⅵ-3-3-3-4　非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の強度計算書

Ⅵ-3-3-3-4-1　高圧炉心スプレイ系の強度計算書

Ⅵ-3-3-3-4-1-2　高圧炉心スプレイ系ストレーナの強度計算書

1. 概要

本計算書では，高圧炉心スプレイ系ストレーナの強度について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており，解析モデルや評価条件については同等である。また，Ⅵ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」において，ストレーナの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，Ⅵ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」による。

Ⅵ-3-3-3-4-1-3　ストレーナ部ティーの応力計算書
（高圧炉心スプレイ系）

1. 概要

本計算書では，高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの強度について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており，評価条件については同等である。また，Ⅵ-3-3-3-3-1-4「ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）」において，ストレーナ部ティーの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナ部ティーで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，Ⅵ-3-3-3-3-1-4「ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）」による。

Ⅵ-3-3-3-4-1-4　高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書

1. 概要

本計算書では，高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの強度について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタは残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタと同様の形状を有しており，評価条件については同等である。また，Ⅵ-3-3-3-3-1-5「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書」において，ストレーナ取付部コネクタの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナ取付部コネクタで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，Ⅵ-3-3-3-3-1-5「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書」による。

Ⅵ-3-3-3-4-1-5　高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの強度計算書

1. 概要

本計算書では，高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの強度について説明するものである。

高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートは残留熱除去系ストレーナ取付部サポート及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートと同様の形状を有しており，評価条件については同等である。また，Ⅵ-3-3-3-3-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの強度計算書」において，ストレーナ取付部サポートの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナ取付部サポートで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，Ⅵ-3-3-3-3-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの強度計算書」による。

Ⅵ-3-3-3-4-2　低圧炉心スプレイ系の強度計算書

Ⅵ-3-3-3-4-2-2　低圧炉心スプレイ系ストレーナの強度計算書

1. 概要

本計算書では，低圧炉心スプレイ系ストレーナの強度について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナは残留熱除去系ストレーナ及び高圧炉心スプレイ系ストレーナと同様の形状を有しており，解析モデルや評価条件については同等である。また，Ⅵ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」において，ストレーナの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，Ⅵ-3-3-3-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの強度計算書」による。

Ⅵ-3-3-3-4-2-3　ストレーナ部ティーの応力計算書
（低圧炉心スプレイ系）

1. 概要

本計算書では，低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの強度について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは残留熱除去系ストレーナ部ティー及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーと同様の形状を有しており，評価条件については同等である。また，Ⅵ-3-3-3-3-1-4「ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）」において，ストレーナ部ティーの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナ部ティーで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，Ⅵ-3-3-3-3-1-4「ストレーナ部ティーの応力計算書（残留熱除去系）」による。

Ⅵ-3-3-3-4-2-4　低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書

1. 概要

本計算書では，低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタの強度について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタは残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部コネクタと同様の形状を有しており，評価条件については同等である。また，Ⅵ-3-3-3-3-1-5「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書」において，ストレーナ取付部コネクタの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナ取付部コネクタで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，Ⅵ-3-3-3-3-1-5「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの強度計算書」による。

Ⅵ-3-3-3-4-2-5　低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの強度計算書

1. 概要

本計算書では，低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートの強度について説明するものである。

低圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートは残留熱除去系ストレーナ取付部サポート及び高圧炉心スプレイ系ストレーナ取付部サポートと同様の形状を有しており，評価条件については同等である。また，VI-3-3-3-3-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの強度計算書」において，ストレーナ取付部サポートの解析モデルを用いた強度の評価を実施しており，その荷重条件については上記のストレーナ取付部サポートで最大となる値を用いている。

以上より，本計算書の評価結果については，VI-3-3-3-3-1-6「残留熱除去系ストレーナ取付部サポートの強度計算書」による。

S2 補 VI-3-3-3-4-2-5 R0E

Ⅵ-3-3-3-4-2-6　管の強度計算書
（低圧炉心スプレイ系）

Ⅵ-3-3-3-4-2-6-2　管の応力計算書
（低圧炉心スプレイ系）

まえがき

本計算書は，VI-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス２管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお，評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については，VI-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

配管モデル	既設or新設	施設時の技術基準に対象とする施設の規定があるか	クラスアップするか				条件アップするか					既工認における評価結果の有無	施設時の適用規格	評価区分	同等性評価区分	評価クラス
			クラスアップの有無	施設時機器クラス	ＤＢクラス	ＳＡクラス	条件アップの有無	ＤＢ条件		ＳＡ条件						
								圧力(MPa)	温度(℃)	圧力(MPa)	温度(℃)					
LPCS-PD-1	既設	有	無	DB-1	DB-1	SA-2	有	8.62	302	8.98	304	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
LPCS-R-1	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	0.427	104	0.853	178	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	1.37	100	1.37	116	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2
LPCS-R-2	既設	有	無	DB-2	DB-2	SA-2	有	4.41	100	4.41	116	—	S55告示	設計・建設規格又は告示	—	SA-2

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　計算条件 ····· 9
3.2　材料及び許容応力 ····· 19
4.　評価結果 ····· 21
5.　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 25

1. 概要

本計算書は，VI-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」及びVI-3-2-9「重大事故等クラス２管の強度計算方法」に基づき，管の応力計算を実施した結果を示したものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

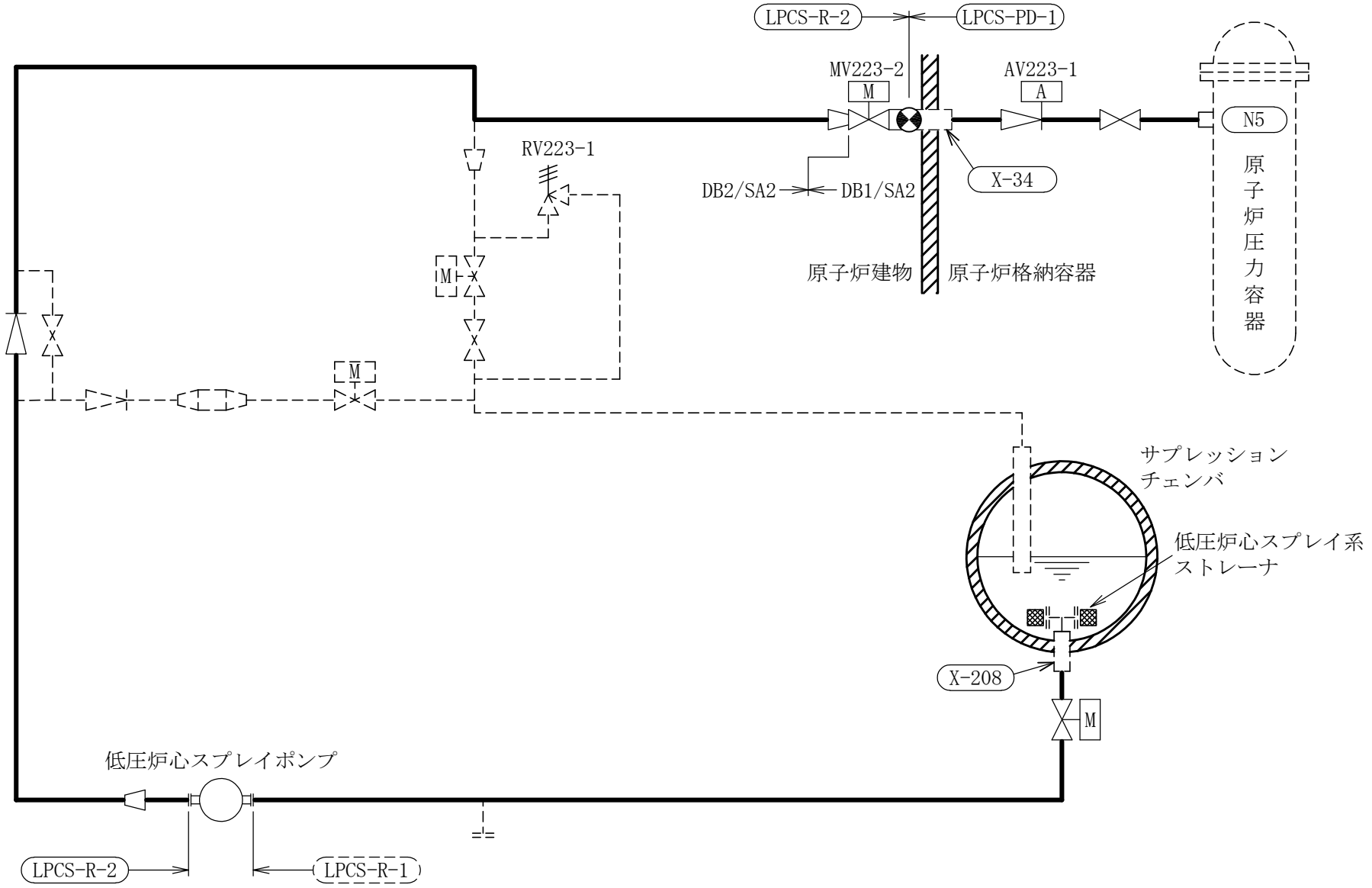
工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全3モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果についても記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

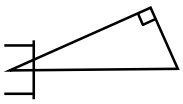
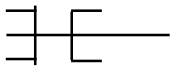
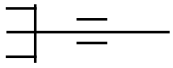
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
――――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（代表モデル）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（代表モデル以外）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１管
DB2	クラス２管
SA2	重大事故等クラス２管
DB1/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス１管
DB2/SA2	重大事故等クラス２管であってクラス２管



低圧炉心スプレイ系概略系統図

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」，重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管のうち本系の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質点
	アンカ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	LPCS-PD-1(SA)

鳥瞰図	LPCS-R-2(SA)(1/3)

鳥瞰図	LPCS-R-2(SA)(2/3)

鳥瞰図	LPCS-R-2(SA)(3/3)

3. 計算条件

3.1 計算条件

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

鳥 瞰 図 LPCS-PD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	5～19,20～24 25～36N	8.98	304	267.4	18.2	STS42

配管の付加質量

鳥　瞰　図　LPCS-PD-1

質量	対応する評価点
[redacted]	5～5001, 1201～1301, 1501～1601, 1701～19, 20～24 25～2701, 2801～3001, 35～3501
	5001～1201, 1301～1501, 1601～1701, 2701～2801, 3001～33
	33～35, 3501～36N

弁部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	19～20	[redacted]	24～25

弁部の寸法

鳥　瞰　図　LPCS-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
19～20	[redacted]			24～25	[redacted]		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　LPCS-PD-1

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
6						
16						
** 16 **						
** 16 **						
23						
** 26 **						
** 27 **						
2702						
31						
32						
N7						

計算条件

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

鳥　瞰　図　LPCS-R-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N～3	4.41	116	355.6	19.0	STS42
2	4～8,9～32 32～81	4.41	116	318.5	14.3	STS42

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-R-2

質量	対応する評価点
[redacted]	1N
	29F
	69F

弁部の質量

鳥　瞰　図　LPCS-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	8～9	[redacted]	82～83, 83～86
	82, 86		83
	84		85

弁部の寸法

鳥　瞰　図　LPCS-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
8～9				82～83			
83～84				84～8401			
8401～85				83～86			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　LPCS-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
13						
** 13 **						
23						
** 23 **						
** 23 **						
30						
** 30 **						
62						
** 62 **						
** 62 **						
6901						
71						
71						
7401						
** 7401 **						
77						
8401						
** 8401 **						
87A						

3.2　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。

設計・建設規格に規定の応力計算に用いる許容応力

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS42	304	122	182	—	—
STS42	116	—	—	—	103

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。

告示第５０１号に規定の応力計算に用いる許容応力

材　　料	最高使用温度 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS42	304	122	—	—	—
STS42	116	—	—	—	103

4. 評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

設計・建設規格　PPB-3562の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm}	許容応力 $Min(3・S_m, 2・S_y)$
LPCS-PD-1	3501	S_{prm}	48	364

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

告示第５０１号第46条第3号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm}	許容応力 $3S_m$
LPCS-PD-1	3501	S_{prm}	48	366

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２管

設計・建設規格　PPC-3520の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm}*1 S_{prm}*2	許容応力 1.5・S_h 1.8・S_h
LPCS-R-2	14	S_{prm}*1	59	154
LPCS-R-2	14	S_{prm}*2	64	185

注記＊1：設計・建設規格　PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。

＊2：設計・建設規格　PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

評価結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス２管

告示第５０１号第56条第1号の規定に基づく評価

鳥瞰図	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)	
			計算応力 S_{prm}*1 S_{prm}*2	許容応力 S_h 1.2・S_h
LPCS-R-2	77	S_{prm}*1	34	103
LPCS-R-2	77	S_{prm}*2	34	123

注記＊1：告示第５０１号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。なお，保守的な評価となる告示第５０１号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を記載してもよいものとする。

＊2：告示第５０１号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

5. 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

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１管）

No.	配管モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V_A				
			一次応力				
			評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1	LPCS-PD-1	設計・建設規格	3501	48	364	7.58	○
		告示第５０１号	3501	48	366	7.62	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

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管）

No.	配管モデル	適用規格	供用状態E 許容応力状態V_A									
			一次応力(1)*1					一次応力(2)*2				
			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
1	LPCS-R-1	設計・建設規格	19	41	150	3.65	—	19	44	180	4.09	—
		告示第５０１号	9	27	100	3.70	—	9	27	120	4.44	—
2	LPCS-R-2	設計・建設規格	14	59	154	2.61	○	14	64	185	2.89	○
		告示第５０１号	77	34	103	3.02	—	77	34	123	3.61	—

注記＊1：設計・建設規格　PPC-3520(1)及び告示第５０１号第56条第1号イに基づき計算した一次応力を示す。
＊2：設計・建設規格　PPC-3520(2)及び告示第５０１号第56条第1号ロに基づき計算した一次応力を示す。

Ⅵ-3-3-7　原子炉格納施設の強度に関する説明書

Ⅵ-3-3-7-1　原子炉格納容器の強度計算書

Ⅵ-3-3-7-1-3　サプレッションチェンバの強度計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
2.2　評価方針 …… 3
2.3　適用規格・基準等 …… 3
2.4　記号の説明 …… 4
3.　評価部位 …… 5
4.　構造強度評価 …… 7
4.1　構造強度評価方法 …… 7
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 7
4.3　解析モデル及び諸元 …… 11
4.4　計算方法 …… 15
4.5　計算条件 …… 17
4.6　応力の評価 …… 17
5.　評価結果 …… 18
5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 18
6.　参照図書 …… 20

1. 概要

本計算書は，サプレッションチェンバの強度計算書である。

サプレッションチェンバは，設計基準対象施設のサプレッションチェンバを重大事故等クラス２容器として兼用する機器である。

以下，重大事故等クラス２容器として，Ⅵ-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びⅥ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき，サプレッションチェンバの構造強度評価を示す。

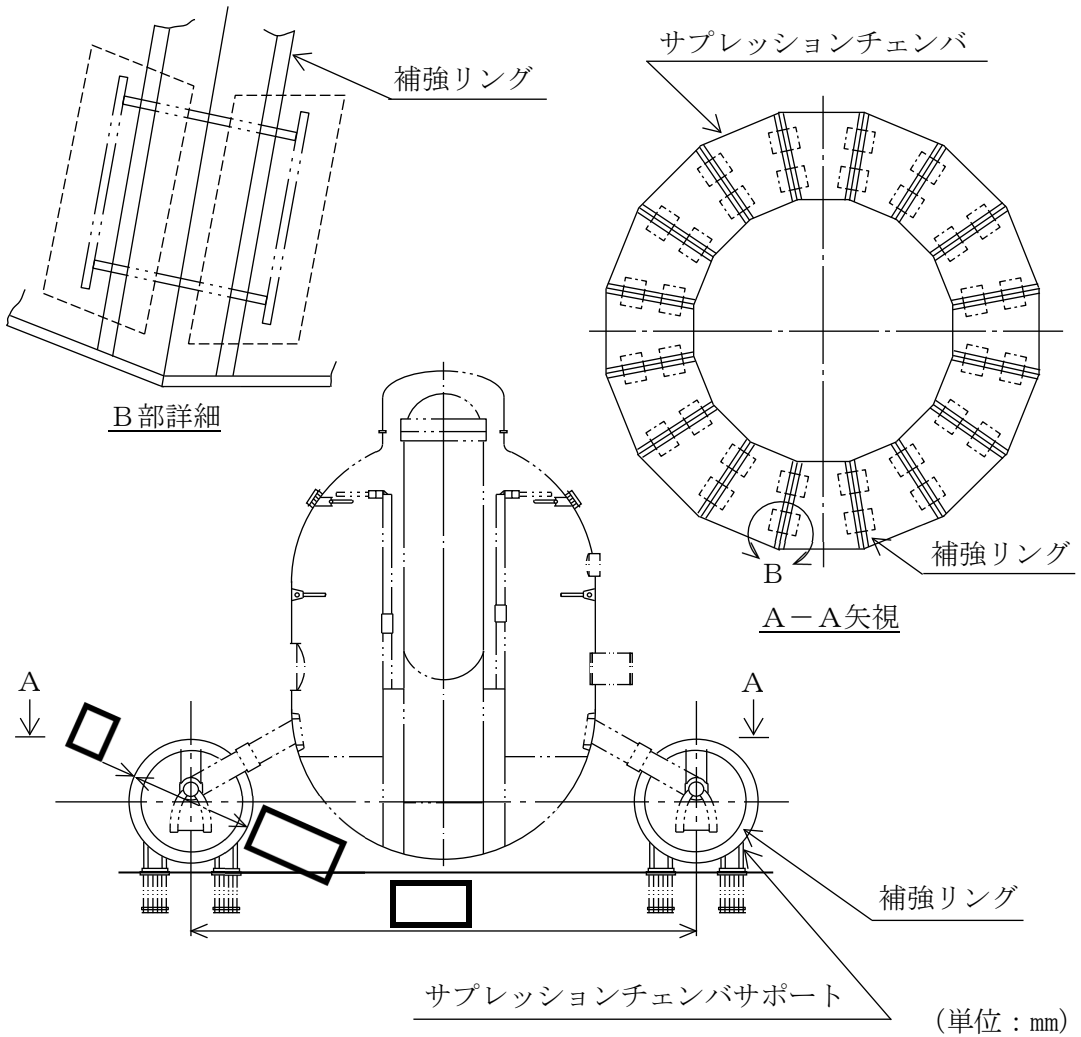
なお，本計算書においては，重大事故等時における荷重に対して，昭和 59 年 9 月 17 日付け 59 資庁第 8283 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）（以下「既工認」という。）に示す手法に従い構造強度評価を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッションチェンバの構造計画を表 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	
サプレッションチェンバは，サプレッションチェンバサポートに支持される。	サプレッションチェンバは，内部水を有した 16 セグメントの内径 [redacted] mm，厚さ [redacted] mm の円筒胴で構成される中心径 [redacted] mm の円環状の鋼製構造物である。円筒胴内部に補強リングを備える。	

2.2　評価方針

サプレッションチェンバの応力評価は，Ⅵ-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びⅥ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」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.　評価部位」にて設定する箇所において重大事故等時における温度，圧力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

サプレッションチェンバの構造強度評価フローを図 2－1 に示す。

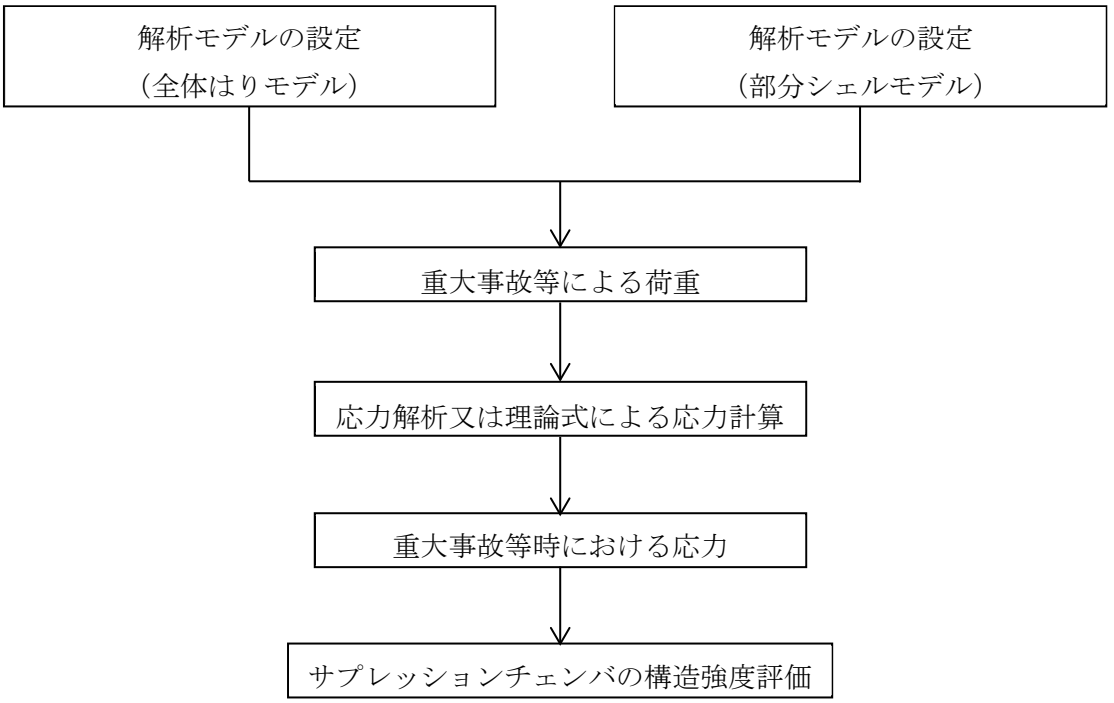


図 2－1　サプレッションチェンバの構造強度評価フロー

2.3　適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

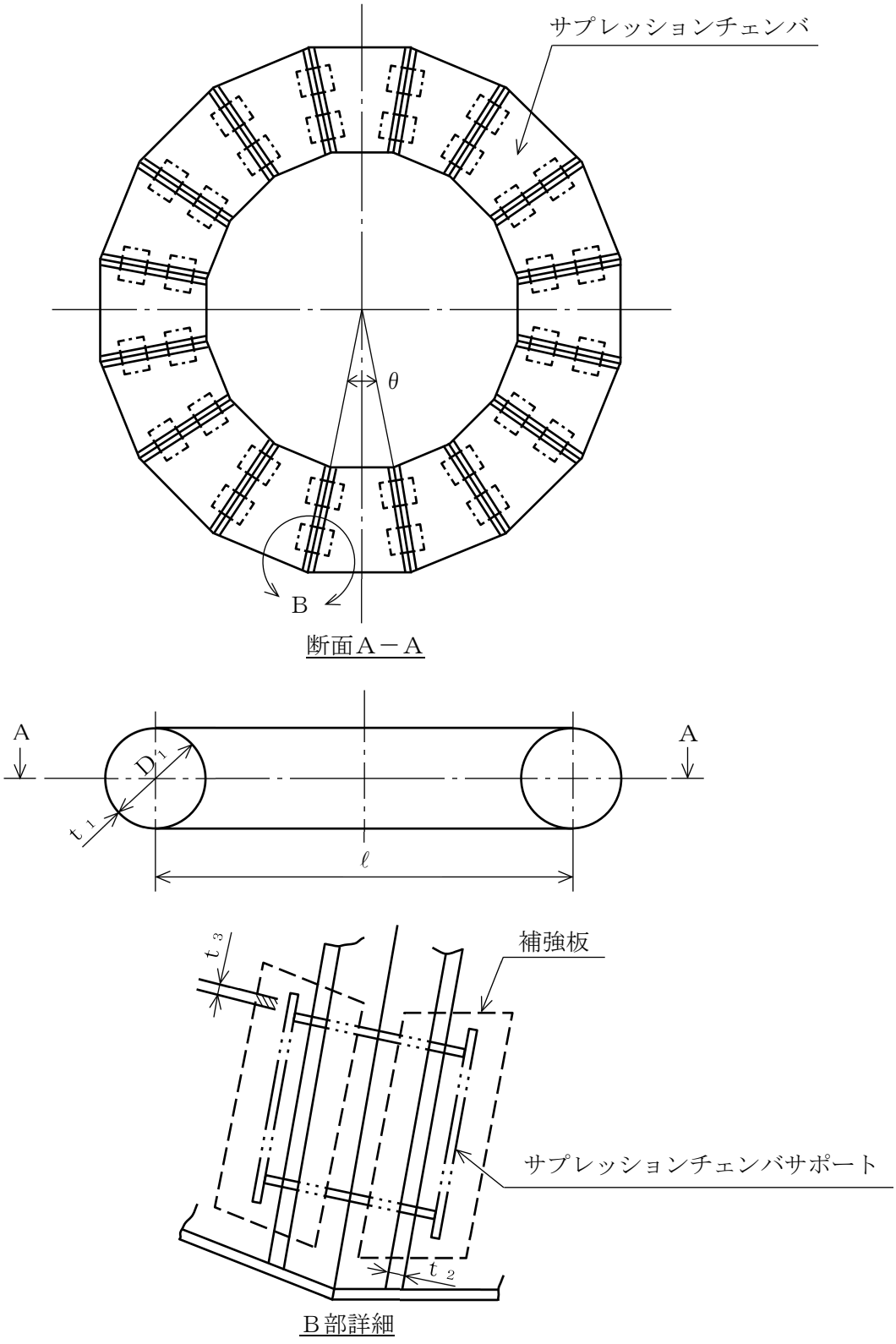
・発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１-2005/2007）

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
D	死荷重	—
D_1	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
ℓ	長さ	mm
m_0	機器質量	kg
m_1	水質量	kg
M_{SA}	機械的荷重（ＳＡ後機械的荷重）	—
P_{SA}	圧力（ＳＡ後圧力）	—，kPa
S	許容引張応力	MPa
Ｓｕ	設計引張強さ	MPa
Ｓｙ	設計降伏点	MPa
Ｓｙ（ＲＴ）	40℃における設計降伏点	MPa
T	温度	℃
T_{SA}	温度（ＳＡ後温度）	℃
t_i	厚さ（ｉ＝1，2，3）	mm
θ	角度	°
ν	ポアソン比	—

3. 評価部位

サプレッションチェンバの形状及び主要寸法を図3－1に，使用材料及び使用部位を表3－1に示す。



D₁＝□　ℓ＝□　t₁＝□　t₂＝□　t₃＝□

θ＝□

（単位：mm）

図3－1　サプレッションチェンバの形状及び主要寸法

表 3－1　使用材料表

使用部位	使用材料	備考
サプレッションチェンバ	SPV50	SPV490 相当

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

(1)　サプレッションチェンバの構造強度評価として，サプレッションチェンバに作用する死荷重，圧力荷重及び水力学的動荷重を用いて，参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

(2)　構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び供用状態

サプレッションチェンバの荷重の組合せ及び供用状態のうち，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。

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

4.2.2　許容応力

サプレッションチェンバの許容応力はⅥ-3-1-5「重大事故等クラス２機器及び重大事故等クラス２支持構造物の強度計算の基本方針」に基づき，表 4－2 に示すとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバの使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－3 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び供用状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	機器等の区分	荷重の組合せ*1		供用状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッションチェンバ	重大事故等クラス２容器	D＋P_{SA}＋M_{SA}	（V（S）-1） （V（S）-2）	重大事故等時*2

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

＊2：重大事故等時として供用状態Dの許容限界を用いる。

表4－2　重大事故等クラス２容器の許容応力

応力分類 / 供用状態	一次一般膜応力	一次膜応力＋一次曲げ応力
重大事故等時*	2/3・Ｓｕ	1.5×2/3・Ｓｕ

注記＊：重大事故等時として供用状態Ｄの許容限界を用いる。

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 (℃)		Ｓ (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
サプレッションチェンバ	SPV50*	周囲環境温度	200	—	—	545	—

注記＊：SPV490 相当

4.2.4　設計荷重

(1)　重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，以下のとおりとする。

内圧P_{SA}	853kPa（ＳＡ後）
温度T_{SA}	200℃（ＳＡ後）

(2)　死荷重

サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

[redacted]N

重大事故等対処設備の評価における水位は，以下のとおりとする。

水位　EL [redacted]mm

(3)　水力学的動荷重

a.　逃がし安全弁作動時の荷重

重大事故等対処設備としての逃がし安全弁作動時の荷重は，参照図書(1)に示す荷重に原子炉停止機能喪失影響を考慮し，以下のとおりとする。

最大正圧	[redacted]kPa
最大負圧	[redacted]kPa

b.　チャギング荷重

重大事故等対処設備としてのチャギング荷重は，参照図書(1)より以下のとおりとする。

最大正圧	[redacted]kPa
最大負圧	[redacted]kPa

4.3　解析モデル及び諸元

サプレッションチェンバの解析モデルの概要を以下に示す。

(1)　サプレッションチェンバ全体はりモデル

a.　サプレッションチェンバ全体の解析モデルは，3 次元はり要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルは，構造及び荷重の伝達経路を考慮し，サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバサポート，ストレーナ及びサプレッションチェンバ内部水をモデル化する。解析モデルを図 4－1 に，機器の諸元について表 4－4 に示す。

b.

c.

d.　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，荷重及び変位を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2)　サプレッションチェンバ部分シェルモデル

a.　サプレッションチェンバの部分解析モデルは，3 次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルは，構造の対称性を考慮し，サプレッションチェンバを構成する 16 セグメントの円筒胴のうち隣り合う 2 セグメントの 1/2 の範囲についてモデル化する。また，サプレッションチェンバサポートは，内側及び外側各 1 個についてサプレッションチェンバサポート下部のフランジまでをモデル化する。解析モデルを図 4－2 に，機器の諸元について表 4－5 に示す。

b.

c.

d.　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，応力を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

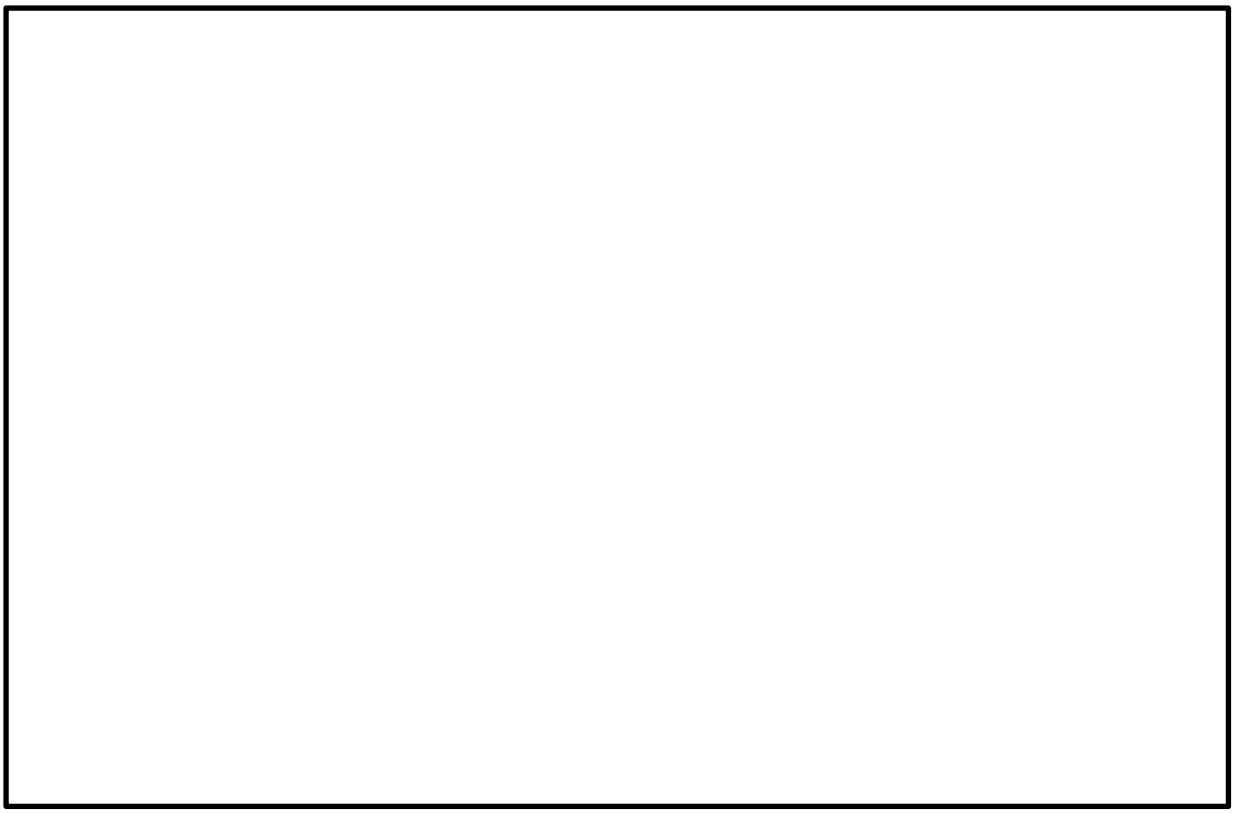


図 4－1　解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）

表 4－4　機器諸元（サプレッションチェンバ全体はりモデル）

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ	—	—	SPV50*1
	サプレッションチェンバサポート，補強リング	—	—	SGV49*2
	ストレーナ	—	—	SUS304L，SUS304，STS42*3，SGV480
質量	機器質量	m_0	kg	[redacted]
	水質量	m_1	kg	[redacted]
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000（SPV50*1，SGV480，STS42*3） 190000（SUS304L，SUS304）
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	[redacted]
節点数		—	—	[redacted]

注記＊1：SPV490 相当

＊2：SGV480 相当

＊3：STS410 相当

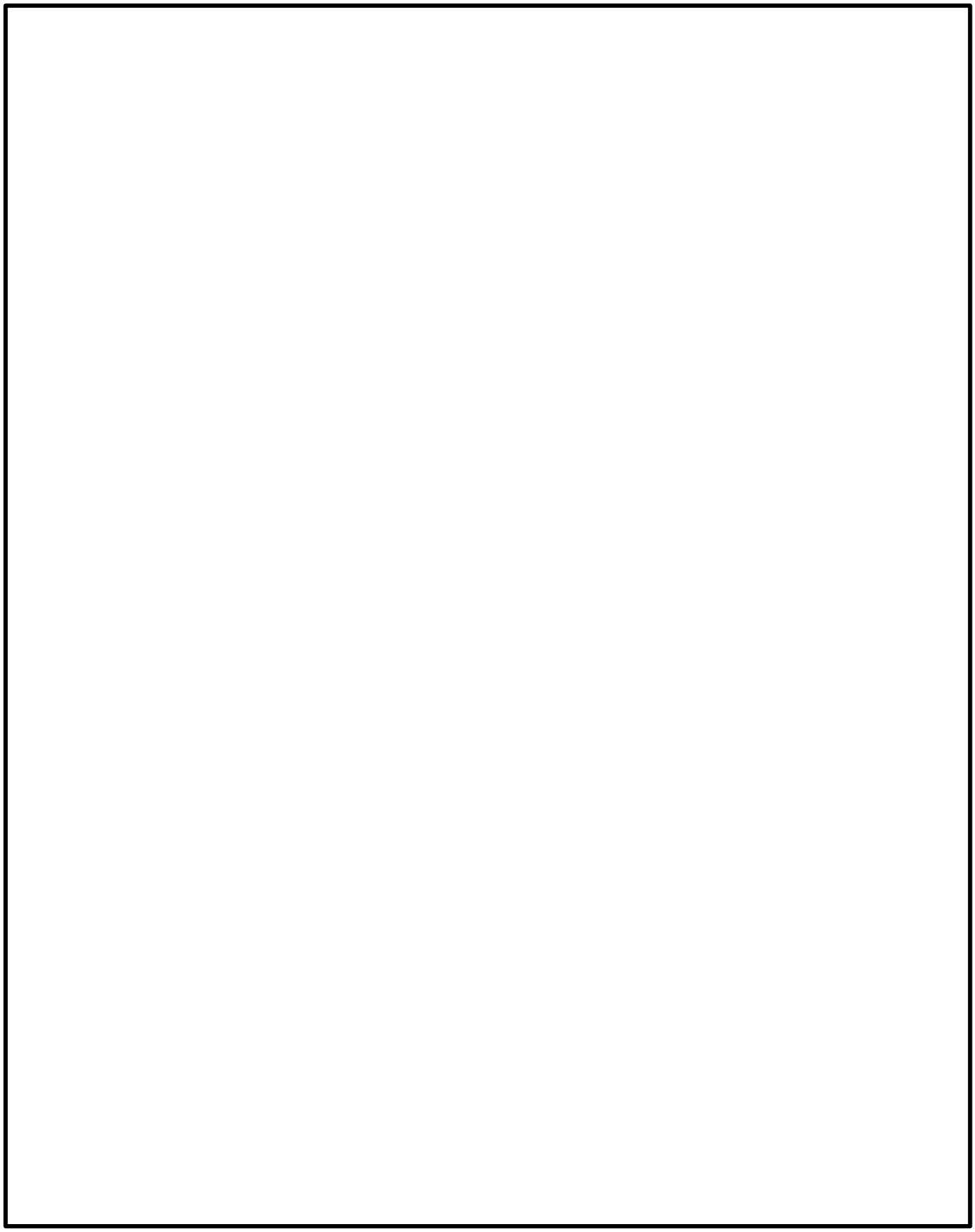


図 4－2　解析モデル（サプレッションチェンバ部分シェルモデル）

表 4－5　機器諸元（サプレッションチェンバ部分シェルモデル）

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SPV50*1 SGV49*2
機器質量	m_0	kg	—*3
温度条件	T	℃	104
縦弾性係数	E	MPa	198000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	[redacted]
節点数	—	—	[redacted]

注記＊1：SPV490 相当

＊2：SGV480 相当

＊3：圧力荷重又は強制変位荷重による解析のため，質量は定義不要

4.4　計算方法

4.4.1　応力評価点

サプレッションチェンバの応力評価点は，サプレッションチェンバを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し，発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4－6 及び図 4－3 に示す。

表 4－6　応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
Ｐ１	サプレッションチェンバ中央部上部
Ｐ２	サプレッションチェンバ中央部下部
Ｐ３	サプレッションチェンバ中央部内側
Ｐ４	サプレッションチェンバ中央部外側
Ｐ５	サプレッションチェンバエビ継部上部
Ｐ６	サプレッションチェンバエビ継部下部
Ｐ７	サプレッションチェンバエビ継部内側
Ｐ８	サプレッションチェンバエビ継部外側
Ｐ９	サプレッションチェンバと内側サポート補強板との接合部
Ｐ１０	サプレッションチェンバと外側サポート補強板との接合部

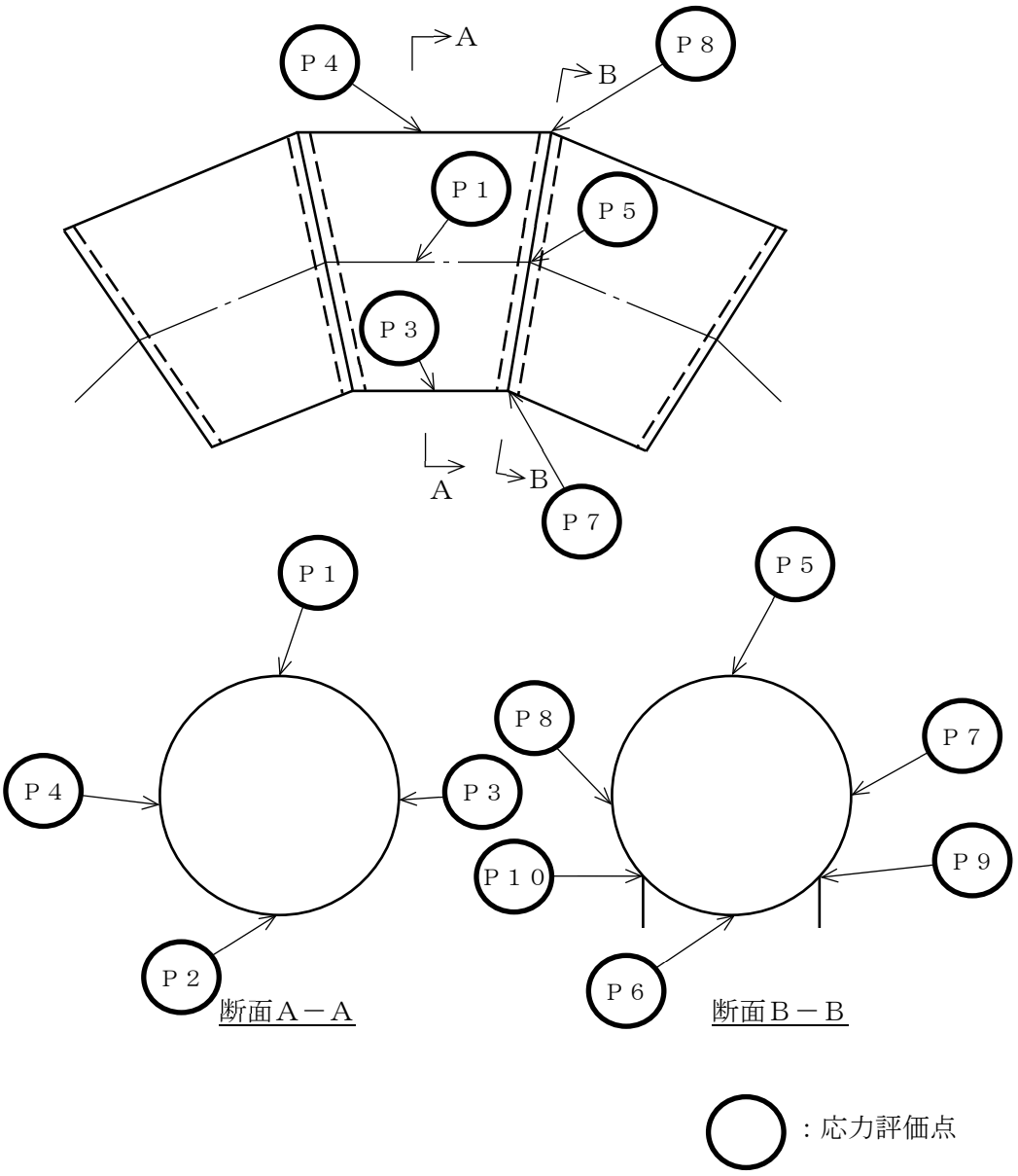


図 4－3　サプレッションチェンバの応力評価点

4.4.2　応力計算方法

サプレッションチェンバの応力計算方法について，以下に示す。

(1)　重大事故等対処設備としての応力計算

a.　応力評価点Ｐ１～Ｐ４に生じる応力

応力計算方法は既工認から変更はなく，参照図書(1)に示すとおりである。

b.　応力評価点Ｐ５～Ｐ１０に生じる応力

(a)　サプレッションチェンバに作用する圧力荷重による応力は，「4.3　解析モデル及び諸元」のサプレッションチェンバ部分シェルモデルにより算出する。

(b)　サプレッションチェンバに作用する死荷重による応力は，「4.3　解析モデル及び諸元」のサプレッションチェンバ全体はりモデルにより変位を算出し，その変位を強制変位としてサプレッションチェンバ部分シェルモデルに与えることで応力を算出する。

(c)　水力学的動荷重による応力は，参照図書(1)に示す応力を基に，原子炉停止機能喪失影響を考慮した荷重による応力を算出する。

4.5　計算条件

応力計算に用いる荷重を，「4.2　荷重の組合せ及び許容応力」に示す。

4.6　応力の評価

「4.4　計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

サプレッションチェンバの重大事故等時の状態を考慮した場合の構造強度評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足している。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5－1 に示す。

表 5－1　重大事故等時に対する評価結果（D＋P_{SA}＋M_{SA}）

評価対象設備	評価部位		応力分類	重大事故等時		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ	Ｐ１	サプレッションチェンバ中央部上部	一次一般膜応力	252	363	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
			一次膜応力＋一次曲げ応力	252	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ２	サプレッションチェンバ中央部下部	一次一般膜応力	253	363	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
			一次膜応力＋一次曲げ応力	253	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ３	サプレッションチェンバ中央部内側	一次一般膜応力	252	363	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
			一次膜応力＋一次曲げ応力	252	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ４	サプレッションチェンバ中央部外側	一次一般膜応力	252	363	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
			一次膜応力＋一次曲げ応力	252	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ５	サプレッションチェンバエビ継部上部	一次膜応力＋一次曲げ応力	489	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ６	サプレッションチェンバエビ継部下部	一次膜応力＋一次曲げ応力	286	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ７	サプレッションチェンバエビ継部内側	一次膜応力＋一次曲げ応力	490	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ８	サプレッションチェンバエビ継部外側	一次膜応力＋一次曲げ応力	291	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ９	サプレッションチェンバと内側サポート補強板との接合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	368	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	
	Ｐ１０	サプレッションチェンバと外側サポート補強板との接合部	一次膜応力＋一次曲げ応力	227	545	○	（Ⅴ（Ｓ）-1）	

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

6. 参照図書

(1) 島根原子力発電所第２号機　第２回工事計画認可申請書
Ⅳ-3-5-13「サプレッションチェンバの強度計算書」

Ⅵ-3-別添１　竜巻への配慮が必要な施設の強度計算書

Ⅵ-3-別添 1-10　排気筒の強度計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　基本方針 …… 2
2.1　位置 …… 2
2.2　構造概要 …… 3
2.3　評価方針 …… 5
2.4　適用規格・基準等 …… 7
3.　強度評価方法 …… 8
3.1　評価対象部位 …… 8
3.2　荷重及び荷重の組合せ …… 8
3.3　許容限界 …… 16
3.4　評価方法 …… 18
4.　評価条件 …… 23
5.　強度評価結果 …… 29
5.1　排気筒の評価結果 …… 29
5.2　鉄塔脚部の評価結果 …… 30
5.3　筒身脚部の評価結果 …… 41

1. 概要

本資料は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，排気筒が，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後においても，排気筒の機能の維持を考慮して，排気筒全体が構造健全性を有することを計算により確認するものである。

2.　基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ，排気筒の「2.1 位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格・基準等」を示す。

2.1　位置

排気筒は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示すとおり，屋外に設置する。

排気筒の設置位置を図 2－1 に示す。

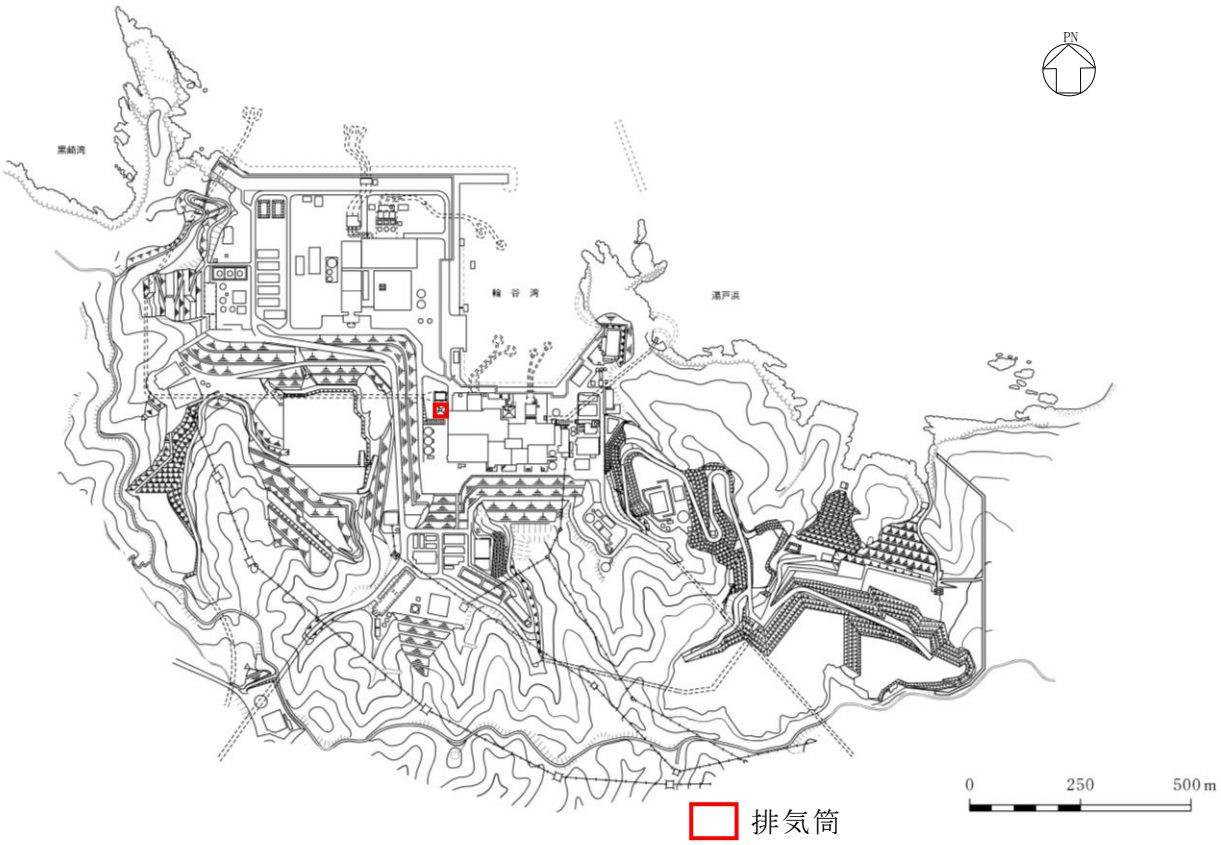


図 2－1　排気筒の設置位置

2.2 構造概要

排気筒は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2 機能維持の方針」に示す構造計画とする。

排気筒は，地盤からの高さ 120m である内径 3.3m の鋼板製筒身（排気筒（空調換気系用））を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。

排気筒の基礎は鉄筋コンクリート造であり，岩盤に直接設置している。

また，筒身外部には排気筒（非常用ガス処理系用）が筒身に支持されている。

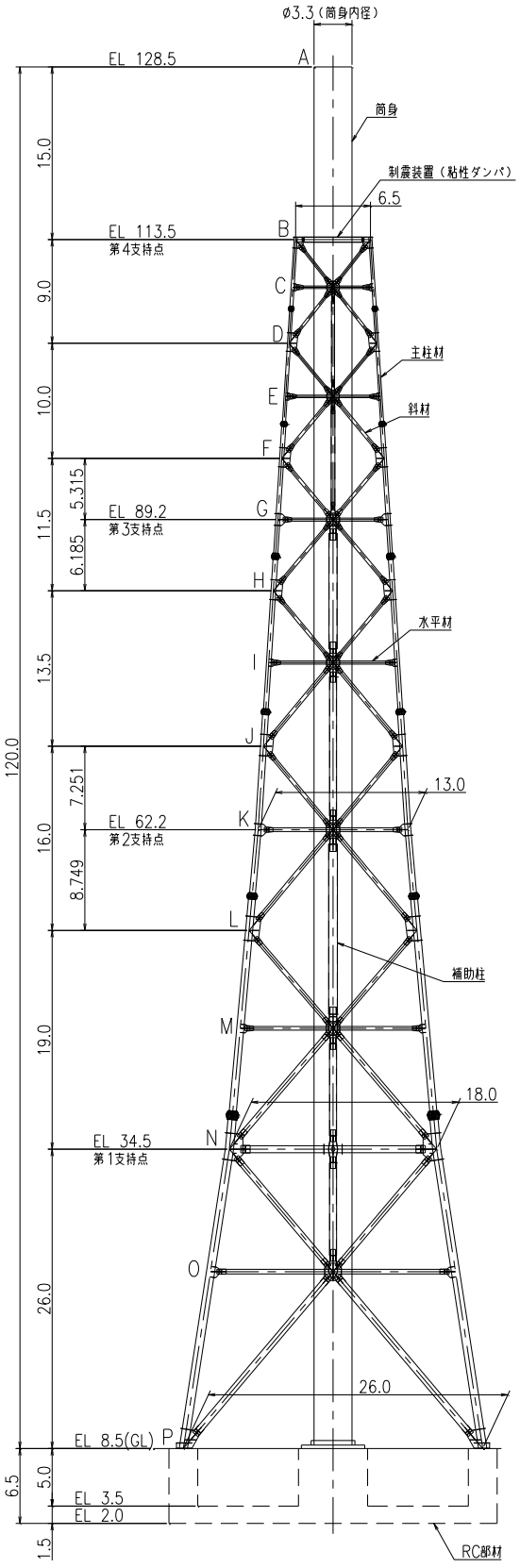
筒身は第 4 支持点位置（EL 113.5m*）にて制振装置（粘性ダンパ）を介して鉄塔と接合されている。

排気筒の概要図を図 2－2 に示す。

構造概要

構造形状	鋼製鉄塔支持型（制震装置（粘性ダンパ）付）	
排気筒の高さ	筒身 120.0m（EL 128.5m）	
鉄塔高さ	105.0m（EL 113.5m）	
鉄塔幅	頂　部	6.5m
	根開き	26.0m
筒身支持点位置	EL 34.5m，EL 62.2m，EL 89.2m，EL 113.5m	
基礎	鉄筋コンクリート造	

注記＊：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。



部材リスト（単位:mm）

主柱材	斜材	水平材	筒身	補助柱
－	－	－	10	－
		H-450×300×10×15*2	12	
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	φ216.3×5.8	10	φ267.4×6.6
φ355.6×6.4	φ267.4×6.6	φ267.4×6.6	12	φ318.5×6.0
φ406.4×7.9			10	φ711.2×7.9
φ508.0×9.5	φ318.5×6.9			φ609.6×12.7
φ609.6×12.7	φ355.6×7.9	φ318.5×6.9	12	φ762.0×12.7*3
φ711.2×12.7 8PLs-22×100*1	φ457.2×9.5	φ609.6×9.5	10	φ609.6×12.7*3
	φ558.8×9.5	φ406.4×9.5	t=10	－
STK41 (STK400相当)			SMA41A (SMA400AP相当)	STK400

注記＊1：SS400材を示す。
＊2：SS41材（SS400相当）を示す。
＊3：STK490材を示す。

（単位：m）

図 2－2　排気筒の概要図

2.3　評価方針

排気筒の強度評価は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2　許容限界」を踏まえ，排気筒が安全機能を損なわないことを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

排気筒の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから，筒身及び鉄塔を評価対象部位とする。具体的には，排気筒の構造強度評価については，排気筒の構造を踏まえ，設計荷重が排気筒に作用した場合に，排気筒頂部の最大水平変位に基づく排気筒の全体変形角及び脚部に作用する応力が「3.3 許容限界」に示す許容値を下回ることを確認する。また，排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材に対して，設計竜巻による設計飛来物が衝突するものとする。

なお，排気筒の有する安全機能を発揮すべき事象（運転時の異常な過渡変化または設計基準事故に伴う放射性物質の放出）が竜巻に起因して発生することはなく，筒身に損傷が生じた場合は安全上支障のない期間に補修する方針としていることから，排気筒の安全機能に対する影響はない。

排気筒の強度評価フローを図 2－3 に示す。

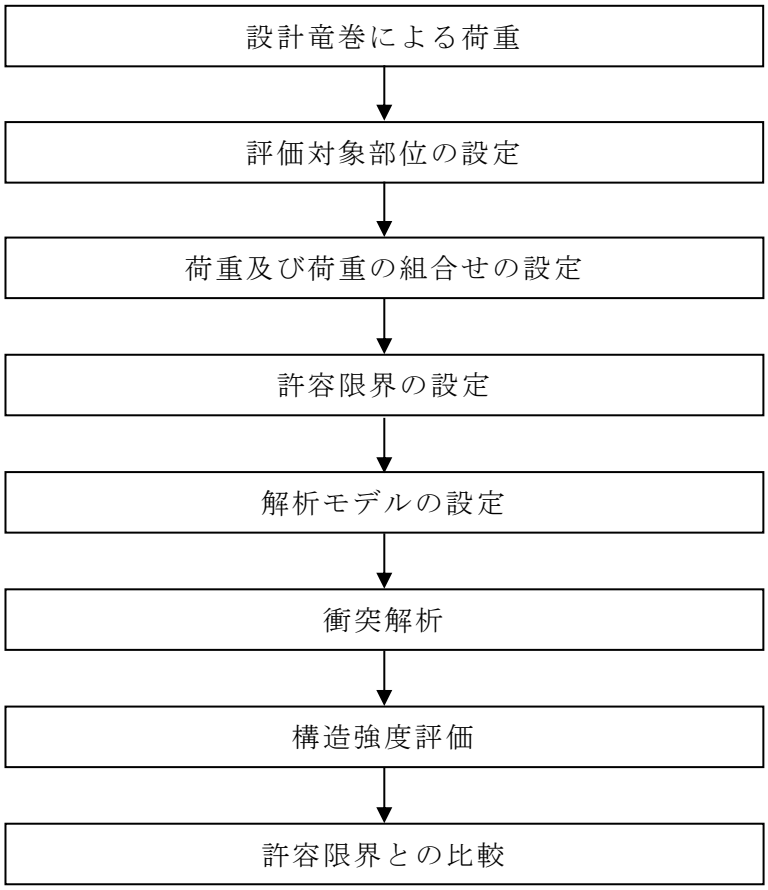


図 2－3　排気筒の強度評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs（Nuclear Energy Institute　2011 Rev8P（NEI 07-13））
・建築基準法・同施行令
・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）
・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
・鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）
・日本産業規格（ＪＩＳ）
・動的繰返し大変形をうける溶接鋼構造物のぜい性破壊性能評価方法（WES2808：2003）（（社）日本溶接協会）
・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）
・煙突構造設計施工指針（（財）日本建築センター，1982 年版）
・煙突構造設計指針（（社）日本建築学会，2007 制定）
・塔状鋼構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，1980 制定）
・鋼構造座屈設計指針（（社）日本建築学会，1996 改定）
・容器構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

排気筒の評価対象部位は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価基準を踏まえ筒身及び鉄塔とする。

また，「2.3 評価方針」に示したとおり，鉄塔部材は設計飛来物の衝突を考慮することから，衝突させる部材としては，鉄塔を構成する主要部材である主柱材とし，健全時において風圧力(「3.2 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重W_W)を作用させた際に，排気筒全体のせん断力及び曲げモーメントが最大となる最下層とする。なお，最下層の主柱材は鉄塔基礎部に直接荷重を伝達する部材である。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3－1 に示す。

表 3－1 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m^2)
92	14	78	7500

(1)　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，鉄塔及び筒身自重の他に，制震装置（粘性ダンパ），歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

(2)　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重は，「建築基準法・同施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会）に準拠して，次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで，$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^{\,2}$

W_W　：風圧力による荷重（N）
q　：設計用速度圧（N/m^2）
G　：ガスト影響係数
C　：風力係数
A　：鉄塔及び筒身の見付面積（m^2）（図 3－1 による）
ρ　：空気密度（kg/m^3）
V_D　：最大風速（m/s）

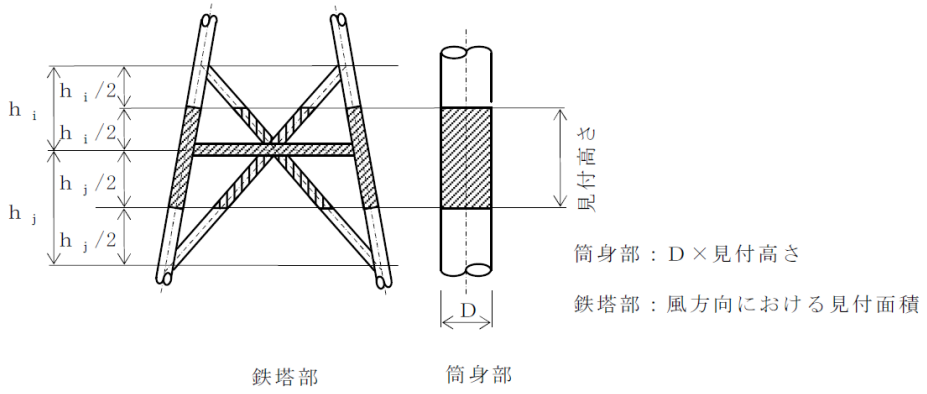


図 3－1　鉄塔及び筒身の見付面積A

風圧力による荷重W_Wの入力方法を図 3－2 に示す。風圧力による荷重が作用する方向は，0°方向及び 45°方向とする。

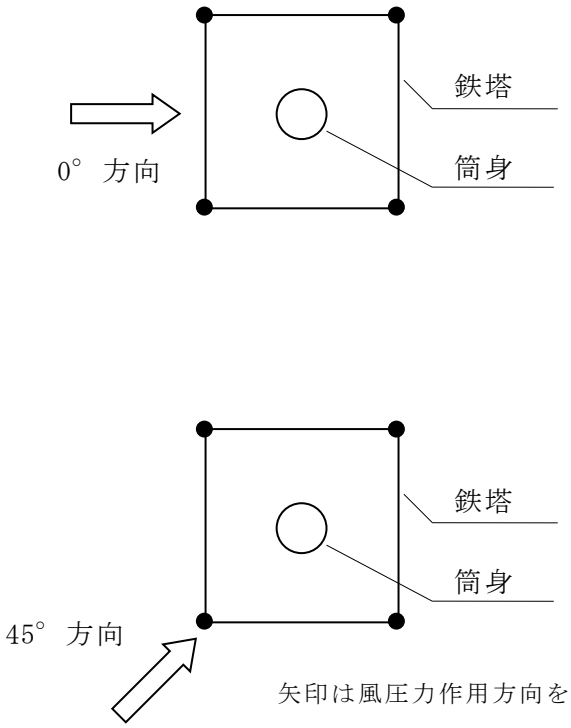


図 3－2　風圧力による荷重W_Wの入力方法

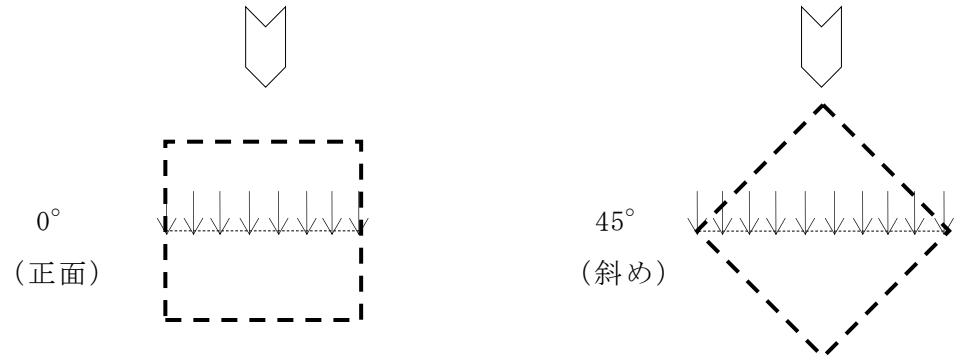
ここで，風力係数Ｃは「平 12 建告第 1454 号」に基づき，鉄塔はラチス構造物として設定し，筒身は煙突その他の円筒形の構造物としてＣ＝0.9・ｋ$_z$（ｋ$_z$＝1.0）とする。

鉄塔の風力係数の算出に必要なラチス構造物の風力係数の考え方を表 3－2 に，ラチス構造物の断面を図 3－3 に示す。

表 3－2　ラチス構造物の風力係数の考え方

風圧力による荷重の作用方向	ϕ		
	(1)	(2)	(3)
	0.1 以下	0.1 を超え 0.6 未満	0.6
0° 方向	2.2・k_z	(1) と (3) とに掲げる数値を直線的に補間した数値	1.5・k_z
45° 方向	1.7・k_z		1.3・k_z

注：ϕ（充実率）は風を受ける部分の最外縁により囲まれる面積に対する見付面積の割合とし，k_zは 1.0 とする。



注：　上図はラチスばり及びラチス柱の断面を表す。
風圧力作用面積としては，▷ の作用する方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3－3　ラチス構造物の断面

(3) 設計飛来物による衝撃荷重（W_M）

設計飛来物による衝撃荷重は，表 3－3 に示す諸元の設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また，設計飛来物の材料定数を表 3－4 に示す。

表 3－3 設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

表 3－4 設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 σ_y (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比
鋼製材	245	2.06×10^5	0.3

3.2.2　荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T（W_{T1}，W_{T2}）は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。

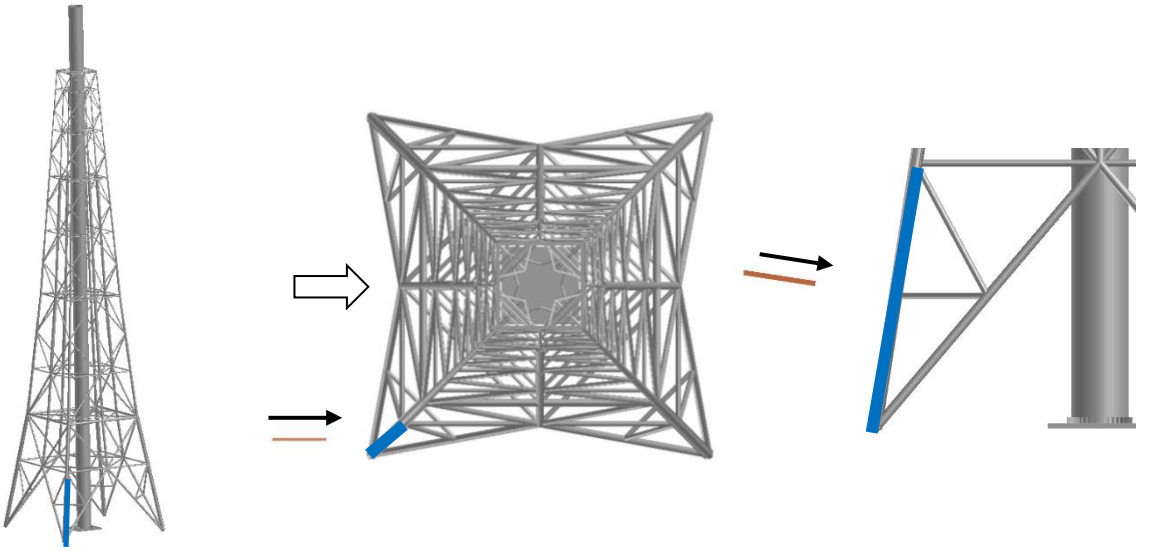
$W_{T1}＝W_P$

$W_{T2}＝W_W＋0.5・W_P＋W_M$

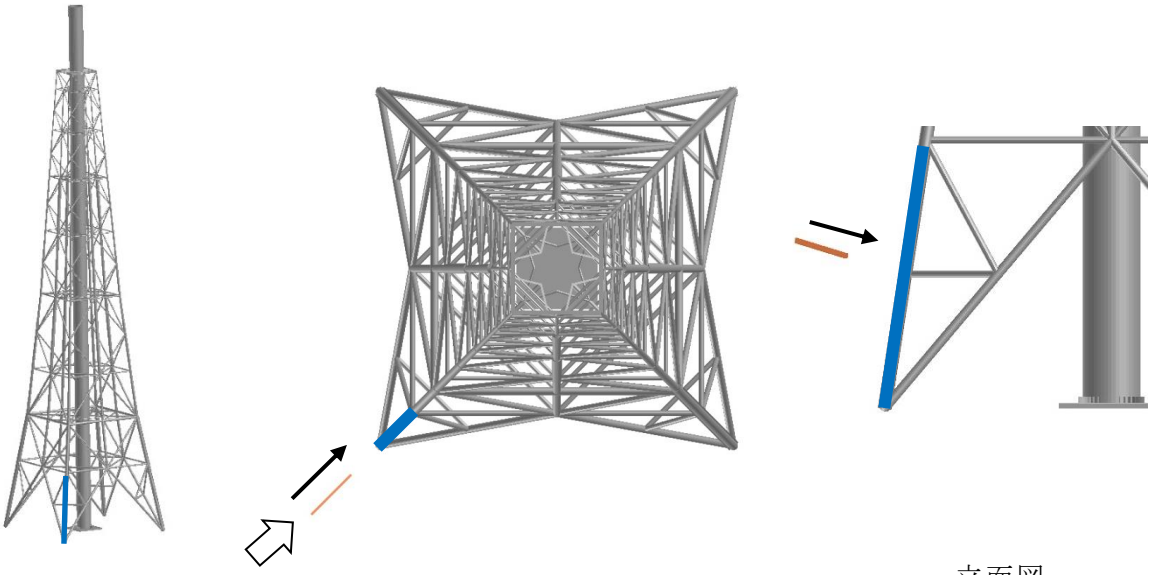
なお，排気筒は大気中に開かれており，排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため，気圧差による荷重は考慮しない（$W_P＝0$）。したがって，設計竜巻による複合荷重W_Tは$W_{T1}＝0$ となり，$W_{T2}＝W_W＋W_M$とし，0°方向と 45°方向の荷重に対して，常時作用する荷重（F_d）を考慮した設計荷重を用いて検討を実施する。

また，「3.1　評価対象部位」に示したとおり，設計飛来物の衝突を考慮する箇所については，鉄塔部の最下層主柱材の中央部とし，設計飛来物は 0°及び 45°方向から衝突するものとする。なお，主柱材の損傷が最も大きくなるよう，設計飛来物は衝突面積が最小となる面を衝突させるものとする。

排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材を図 3－4 に，複合荷重の作用方向を図 3－5 に示す。



検討ケース１　0°方向



検討ケース２　45°方向

：風圧力による風荷重作用方向　　：設計飛来物衝突を考慮する部材

：設計飛来物の衝突方向　　：設計飛来物（鋼製材）

図 3－4　排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材

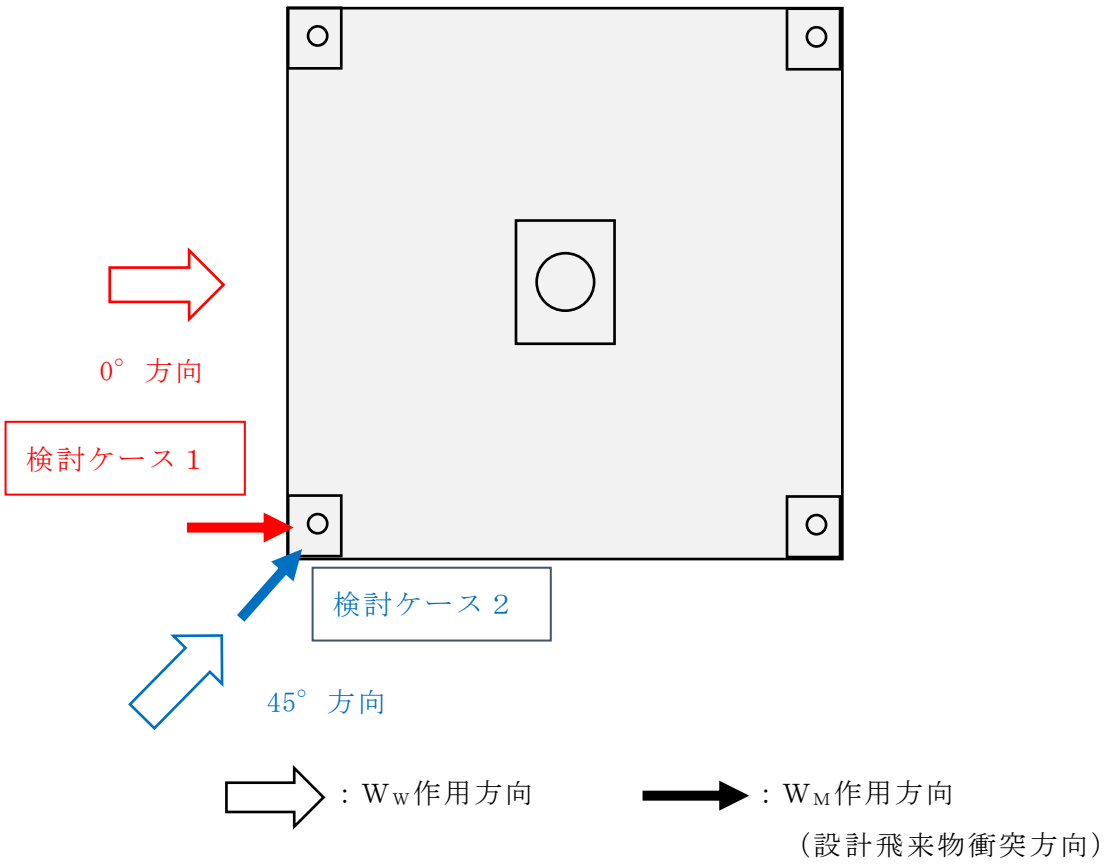


図 3－5　複合荷重の作用方向

3.3　許容限界

(1)　排気筒

排気筒の許容限界は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.1　評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

筒身及び鉄塔は，構造強度を確保するための十分な余裕を持った許容限界として「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」に基づき 1/120 を許容限界とし，3 次元ＦＥＭモデルによる変形評価において，頂部変位を高さで除した全体変形角が許容限界を超えないことを確認する。

筒身及び鉄塔の評価における許容限界を表 3－5 に示す。

表 3－5　筒身及び鉄塔の評価における許容限界

機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
構造強度を有すること	筒身及び鉄塔	全体変形角が構造強度を確保するための許容限界を超えないこと	全体変形角 1/120

(2)　鉄塔脚部及び筒身脚部

鉄塔脚部及び筒身脚部の鋼材は，ＪＩＳ　Ｇ　３１０１で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400（SS41）*及びＪＩＳ　Ｇ　３１０６で規定される溶接構造用圧延鋼材 SM400A 及び SM490A を使用する。

また，基礎で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Ｆｃは 20.6 N/mm^2 とする。

各使用材料の許容応力度を表 3－6 及び表 3－7 に示す。

注記＊：（　）内は従来表記を示す。

表 3－6　鋼材及びアンカーボルトの許容応力度

板厚	材料	基準強度 Ｆ（N/mm^2）	許容応力度*
t ≦40 mm	SS400（SS41） SM400A	235	許容応力度はＦ値より求める。
	SM490A	325	

注記＊：各使用材料の許容限界は許容応力度とする。なお，許容限界は終局耐力に対して妥当な裕度を有する弾性限強度を用い，鋼材の基準強度Ｆを「平 12 建告第 2464 号」に準拠して 1.1Ｆと読み替える。

注：アンカーボルトは公称軸径を板厚と読み替える。

表 3－7　コンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

Ｆｃ＝ 20.6	圧縮	せん断	付着*	
			上端筋	その他
長期	6.8	0.68	0.72	0.90
短期	13.6	1.02	1.05	1.35

注記＊：付着は丸鋼の許容付着応力度とし，脚部のアンカーボルトの検討に用いる。

3.4　評価方法

(1)　排気筒に対する検討

排気筒の強度評価は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」を踏まえて，3次元ＦＥＭモデルでモデル化し衝突評価を実施する。

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

排気筒及び設計飛来物（鋼製材）はシェル要素でモデル化する。排気筒の衝突解析モデルを図3－6に，設計飛来物（鋼製材）の解析モデルを図3－7に示す。

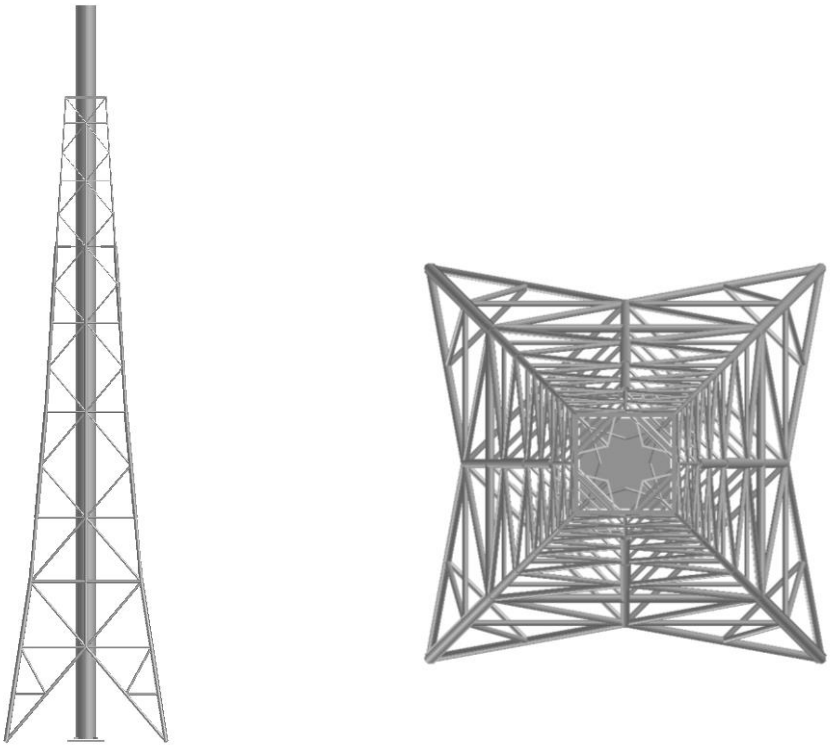
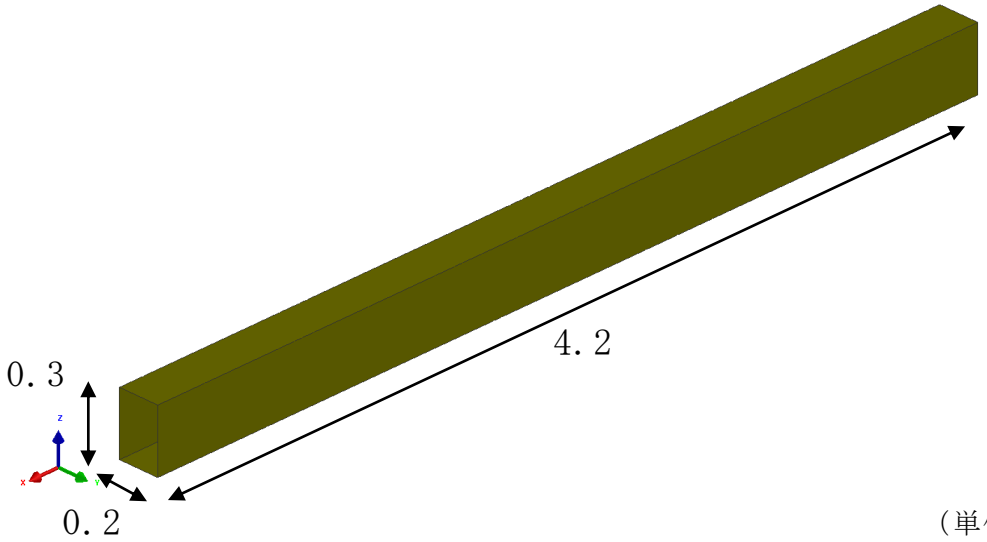


図3－6　排気筒の衝突解析モデル



（単位：m）

図 3－7　設計飛来物（鋼製材）の解析モデル

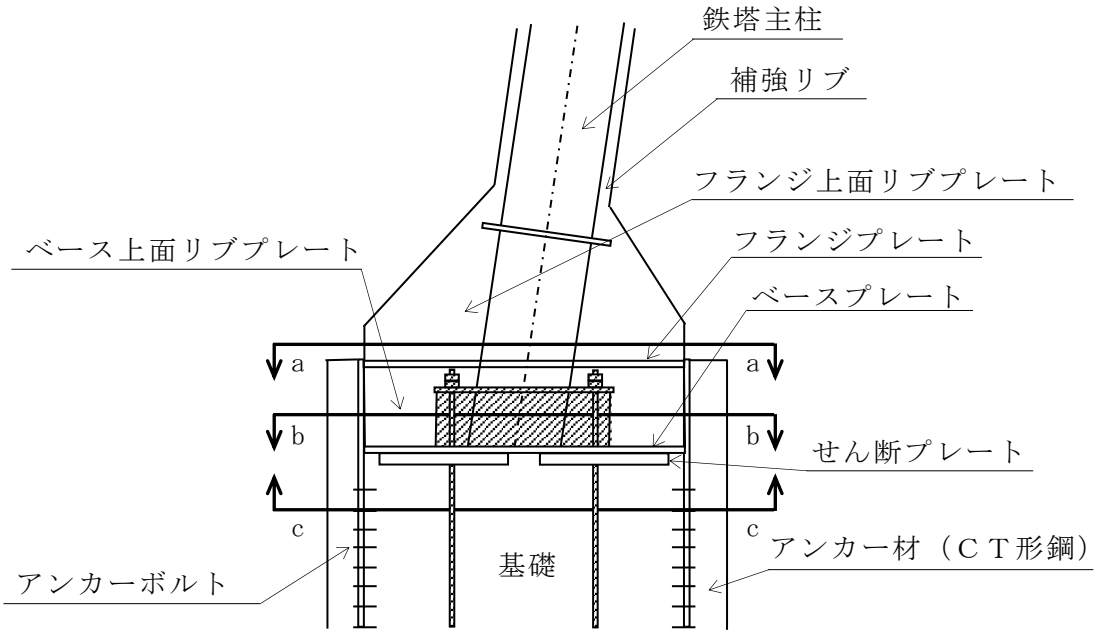
(2)　鉄塔脚部及び筒身脚部に対する検討

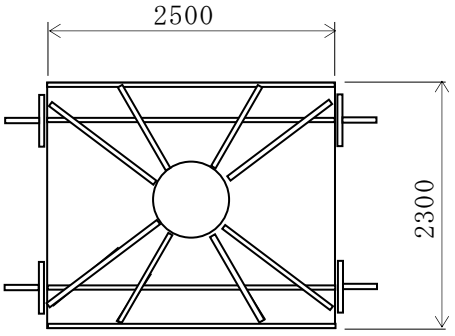
鉄塔脚部及び筒身脚部の断面算定に用いる評価用応力は，立体架構モデルを用いた応力解析により得られた脚部反力を用いて算定する。

各使用材料の許容限界は許容応力度とする。許容限界は終局耐力に対して妥当な裕度を有する弾性限強度を用い，鋼材の基準強度Ｆを「平 12 建告第 2464 号」に準拠して 1.1Ｆと読み替える。

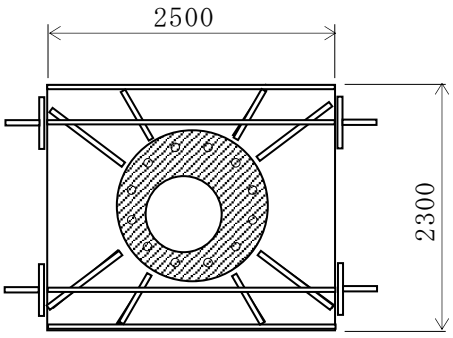
鉄塔脚部及び筒身脚部の概要図を図 3－8 及び図 3－9 に，評価用応力を表 3－8 及び表 3－9 に示す。

なお，鉄塔脚部は補強を行っており，保守的に既設部の断面には期待せず，補強部のみの評価を行う。

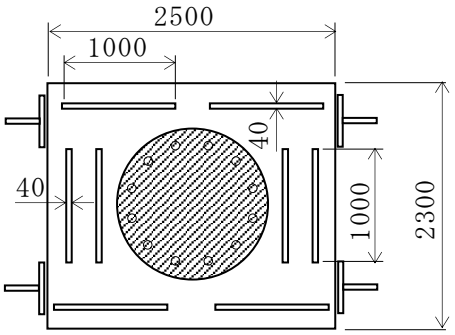




ａ－ａ断面（フランジプレート）



ｂ－ｂ断面（ベースプレート）



ｃ－ｃ断面（せん断プレート）

注：図中の ▨ は既設部を示す。

図 3－8　鉄塔脚部の概要図（単位：mm）

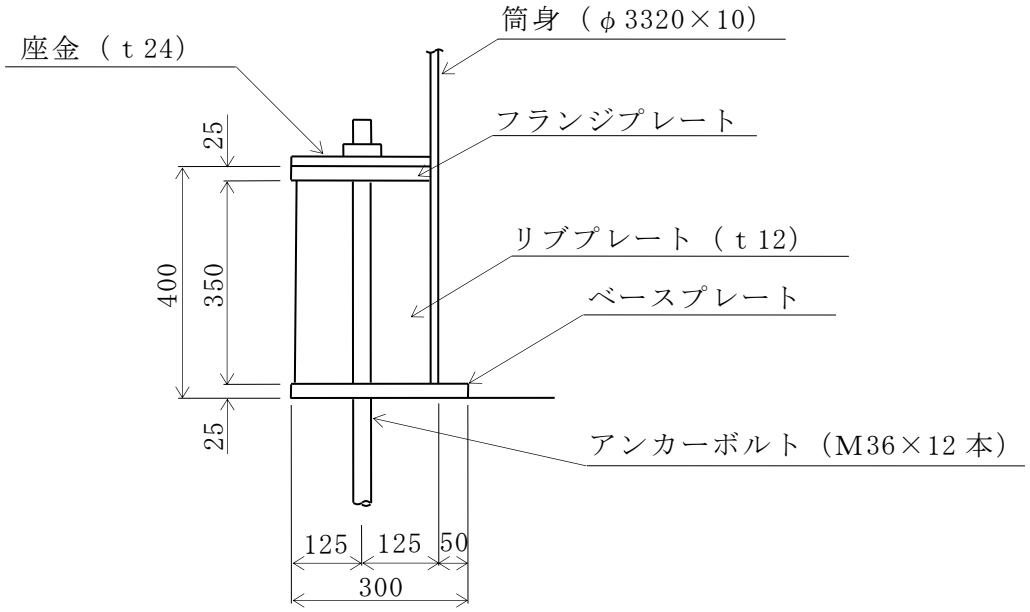


図 3－9　筒身脚部の概要図（単位：mm）

表 3－8　鉄塔脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース１（ 0° 方向）	6117.5	-4477.6	2349.5	0.0
ケース２（45° 方向）	9310.1	-7567.8	3600.1	0.0

注記＊：圧縮を正とする。

表 3－9　筒身脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース１（ 0° 方向）	1638.4	0.0	334.8	3005.4
ケース２（45° 方向）	1605.6	0.0	340.6	3253.5

注記＊：圧縮を正とする。

4. 評価条件

(1) 使用材料及び風圧力の算定

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として，評価対象部位の材料定数を表 4－1 に，風圧力による荷重W_Wの算出に必要な条件を表 4－2 に，算出した風圧力による荷重W_W（鉄塔及び筒身）を表 4－3 及び表 4－4 に示す。

表 4－1 評価対象部位の材料定数

材質	厚さ (mm)	E (MPa)	ポアソン比 (－)	σ_{Y0} (MPa)	σ_{T0} (MPa)	ε’ (－)	E’ (MPa)
SS400		2.06×10^5	0.3		400		
		2.06×10^5	0.3		400		
SMA400AP		2.06×10^5	0.3		400		
STK400		2.06×10^5	0.3		400		
STK490		2.06×10^5	0.3		490		

記号の説明

E ：縦弾性係数

σ_{Y0} ：基準ひずみ速度時の降伏応力

σ_{T0} ：基準ひずみ速度時の引張強さ

ε’ ：破断ひずみ

E’ ：塑性硬化係数

表 4－2　風圧力による荷重W_Wの算出に必要な条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m^3)	ガスト影響係数 G	構造物の高さ H (m)	設計用速度圧 q (N/m^2)
92	1.226	1.0	鉄塔：105 筒身：120	5188

表 4－3　風圧力による荷重W_W（鉄塔）

高さ EL (m)	ケース１（0° 方向）			ケース２（45° 方向）		
	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)
113.5	5.2	1.88	51	7.9	1.49	61
109.4	10.4	2.06	111	17.2	1.59	142
99.9	16.4	2.07	176	27.8	1.59	229
89.2	24.9	2.04	264	42.4	1.57	345
76.8	33.2	2.04	351	57.0	1.57	464
62.2	45.6	2.05	485	77.7	1.58	637
45.0	45.9	2.06	491	77.3	1.58	634
34.5	46.3	2.02	485	75.5	1.56	611
23.9	53.5	2.08	577	86.3	1.61	721
8.5	25.4	2.16	285	41.4	1.66	357

表 4－4　風圧力による荷重W_W（筒身）

高さ EL (m)	ケース１（0° 方向）			ケース２（45° 方向）		
	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)
128.5	24.9	0.90	116	24.9	0.90	116
113.5	31.8	0.90	148	31.8	0.90	148
109.4	23.0	0.90	107	23.0	0.90	107
99.9	33.2	0.90	155	33.2	0.90	155
89.2	38.1	0.90	178	38.1	0.90	178
76.8	44.8	0.90	209	44.8	0.90	209
62.2	53.1	0.90	248	53.1	0.90	248
45.0	45.7	0.90	213	45.7	0.90	213
34.5	35.1	0.90	164	35.1	0.90	164
23.9	42.7	0.90	199	42.7	0.90	199
8.8	25.0	0.90	117	25.0	0.90	117

(2)　材料の非線形特性

a.　材料の応力―ひずみの関係

材料モデルでは，排気筒の破断ひずみを設定し，破断ひずみを超えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。鋼材の応力－ひずみ関係はバイリニア型とし，降伏後の塑性硬化係数（２次係数Ｅ’）は，表 4－1 に示す値とする。材料に適用する応力－ひずみの関係を図 4－1 に示す。

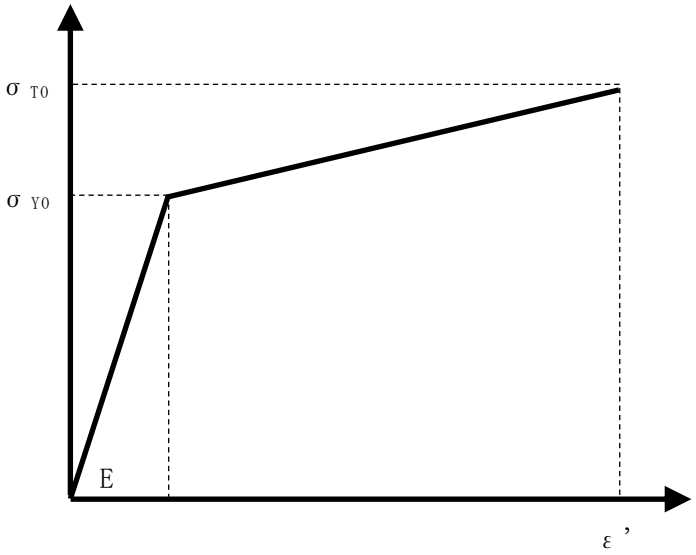


図 4－1　排気筒及び飛来物（鋼製材）の応力－ひずみ線図

b. ひずみ速度効果

竜巻による飛来物に対する解析は，衝撃問題で変形速度が大きいため，ひずみ速度効果を考慮することとし，以下に示す日本溶接協会の推定式から得られる動的増大効果を線形補間し設定する。

$$\sigma_Y = \sigma_{Y0}(T_0)\cdot\exp\left[8\times10^{-4}\cdot T_0\cdot\left(\frac{\sigma_{Y0}(T_0)}{E}\right)^{-1.5}\cdot\frac{1}{T\cdot\ln\left(10^8/\dot{\varepsilon}\right)}-\frac{1}{T_0\cdot\ln\left(10^8/\dot{\varepsilon}_0\right)}\right]$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0}(T_0)\cdot\exp\left[8\times10^{-4}\cdot T_0\cdot\left(\frac{\sigma_{T0}(T_0)}{E}\right)^{-1.5}\cdot\frac{1}{T\cdot\ln\left(10^9/\dot{\varepsilon}\right)}-\frac{1}{T_0\cdot\ln\left(10^9/\dot{\varepsilon}_0\right)}\right]$$

ここで，

E ：縦弾性係数（MPa）

σ_Y ：想定するひずみ速度時の降伏応力（MPa）

σ_T ：想定するひずみ速度時の引張強さ（MPa）

σ_{Y0} ：基準ひずみ速度時の降伏応力（MPa）

σ_{T0} ：基準ひずみ速度時の引張強さ（MPa）

$\dot{\varepsilon}$ ：想定するひずみ速度

$\dot{\varepsilon}_0$ ：基準ひずみ速度

T ：想定するひずみ速度時の温度（℃）

T_0 ：基準ひずみ速度時の温度（℃）

c. 破断ひずみ

破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また，「NEI 07-13」においてＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として２軸引張状態でＴＦ＝2.0 を考慮する。

なお，安全側の評価として，排気筒の破断ひずみを超えた要素は削除することとし,鋼製材の破断ひずみを超えた要素は削除せず,荷重を伝達するものとする。

材料ごとの破断ひずみを表 4－5 に示す。

表 4－5　排気筒の破断ひずみ

評価対象	材質	ＪＩＳ規格値	ＴＦ	破断ひずみ
排気筒	SS400		2.0	
	SS400		2.0	
	SMA400A		2.0	
	STK400		2.0	
	STK490		2.0	

5. 強度評価結果

5.1 排気筒の評価結果

「3.4 評価方法」に基づいた排気筒の評価結果を表 5－1 に示す。

筒身及び鉄塔について，いずれのケースにおいても許容値を満足していることを確認した。

表 5－1 筒身及び鉄塔の評価結果

検討ケース	評価対象部位	最大変形角	許容限界
ケース１（0° 方向）	筒身	1/292	1/120
	鉄塔	1/343	1/120
ケース２（45° 方向）	筒身	1/360	1/120
	鉄塔	1/426	1/120

5.2　鉄塔脚部の評価結果

(1)　せん断プレートの評価

a.　コンクリートの圧縮応力度に対する評価

せん断プレートの概要図を図 5－1 に示す。

鉄塔脚部に作用する水平力は，せん断プレートの抵抗力によって基礎に伝達される。ここでは，せん断プレート側面のコンクリートについて，せん断プレートを介して圧縮応力度が作用するものとして評価を行う。評価においては，鉄塔脚部に作用する水平力を各方向 4 枚のせん断プレートで均等に負担するものとする。

$$f_c = 13.6\ N/mm^2$$

$$Q_s = \frac{Q}{n} = \frac{3600.1}{4} = 900\ kN/枚$$

$$\sigma_c = \frac{Q_s}{L \cdot b}$$

ここで，

f_c　：コンクリートの許容圧縮応力度（N/mm^2）

Q_s　：せん断プレート 1 枚あたりの水平力（kN/枚）

Q　：鉄塔脚部のせん断力（kN）

n　：せん断プレートの枚数（枚）

σ_c　：圧縮応力度（N/mm^2）

L　：せん断プレートの長さ（mm）

b　：せん断プレートの幅（深さ）（mm）

以上より，

$$\sigma_c = \frac{900 \times 1000}{1000 \times 80} = 11.3\ N/mm^2 \leqq 13.6\ N/mm^2 \quad 可$$

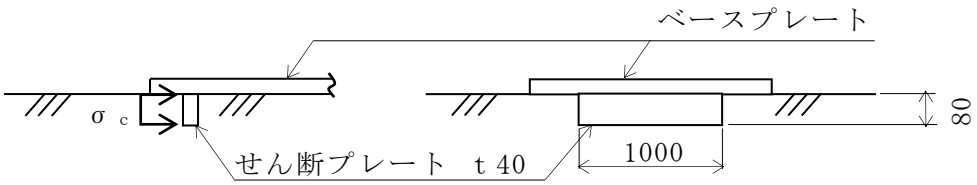


図 5－1　せん断プレートの概要図（単位：mm）

b. せん断プレートの曲げ応力度に対する評価

ここでは，せん断プレートの曲げ応力度の評価を行う。評価においては，鉄塔脚部に作用する水平力を各方向4枚のせん断プレートで均等に負担するものとする。また，水平力の作用位置は，せん断プレートの幅（深さ）方向の中央に作用するものとする。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \ N/mm^2$$

$$M_s = Q_s \cdot \frac{b}{2} = 900 \times \frac{80}{2} = 36000 \ kN \cdot mm/枚$$

$$Z = \frac{L \cdot t^2}{6} = \frac{1000 \times 40^2}{6} = 267000 \ mm^3$$

$$\sigma_b = \frac{M_s}{Z}$$

ここで，

f_b ：鋼材の許容曲げ応力度（N/mm^2）
F ：鋼材の基準強度（N/mm^2）
M_s ：せん断プレート1枚あたりの曲げモーメント（$kN \cdot mm/枚$）
Q_s ：せん断プレート1枚あたりの水平力（$kN/枚$）
b ：せん断プレートの幅（深さ）（mm）
L ：せん断プレートの長さ（mm）
t ：せん断プレートの板厚（mm）
σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）
Z ：せん断プレートの断面係数（mm^3）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{36000 \times 1000}{267000} = 135 \ N/mm^2 \leqq 357 \ N/mm^2 \quad 可$$

(2)　フランジプレート及びベースプレートの評価

a.　コンクリートの圧縮応力度に対する評価

コンクリートに作用する圧縮力の概要図を図 5－2 に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して，ベースプレート下面のコンクリートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては，圧縮力がウェブプレート間の図 5－2 に示すコンクリート圧縮領域に作用するものとする。

$$f_c = 13.6\ N/mm^2$$

$$A = 2 \cdot L \cdot L_b = 2 \times 382 \times 2500 = 1910000\ mm^2$$

$$\sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

ここで，

f_c　：コンクリートの許容圧縮応力度（N/mm^2）

A　：圧縮領域の面積（mm^2）

L　：ウェブプレート間の距離（mm）

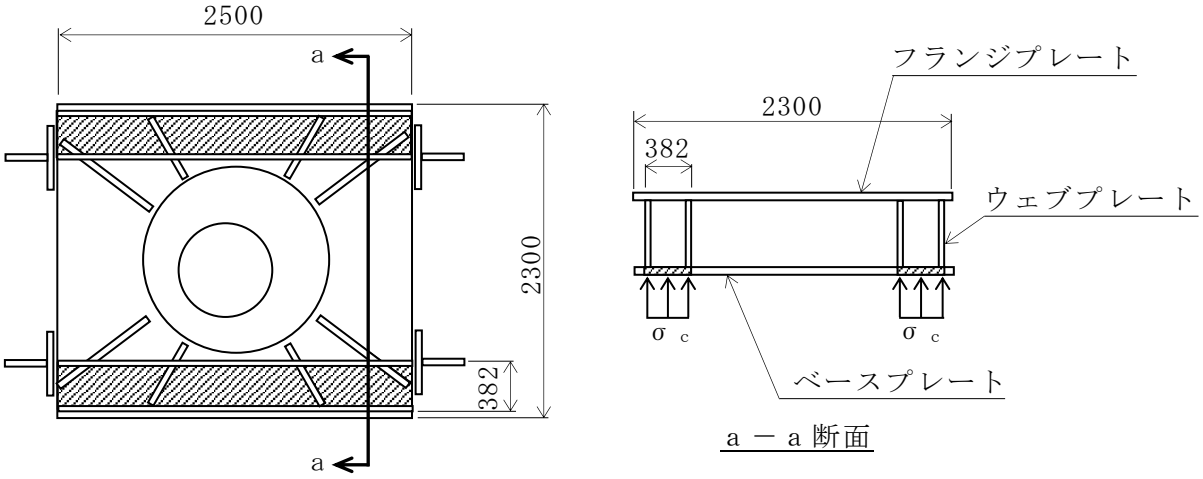
L_b　：ベースプレートの長さ（mm）

σ_c　：圧縮応力度（N/mm^2）

N_c　：鉄塔脚部の圧縮力（kN）

以上より，

$$\sigma_c = \frac{9310.1 \times 1000}{1910000} = 4.9\ N/mm^2 \leqq 13.6\ N/mm^2$$　可



注：斜線部はコンクリートの圧縮領域を示す。

図 5－2　コンクリートに作用する圧縮力の概要図（単位：mm）

b. フランジプレート，ベースプレート及びウェブプレートの曲げ応力度及びせん断応力度に対する評価

フランジプレート，ベースプレート及びウェブプレートから成る合成断面の概要図を図5－3に，荷重及び支持条件を図5－4に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する引張力に対して，図5－3に示す合成断面の曲げ応力度及びせん断応力度の評価を行う。評価においては，引張力が図5－4に示す単純支持梁の中央部に集中荷重として作用するものとする。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \ N/mm^2$$

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{357}{\sqrt{3}} = 206 \ N/mm^2$$

$$M_f = \frac{(N_t / 2) \cdot L_{br}}{4} = \frac{(7567.8 / 2) \times 2500}{4} = 2365000 \ kN \cdot mm$$

$$Z_{min} = 12400000 \ mm^3$$

$$A_s = t_{br} \cdot h_{br} = 22 \times 620 = 13640 \ mm^2$$

$$\sigma_b = \frac{M_f}{Z_{min}}$$

$$\tau = \frac{N_t / 4}{A_s}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

ここで，

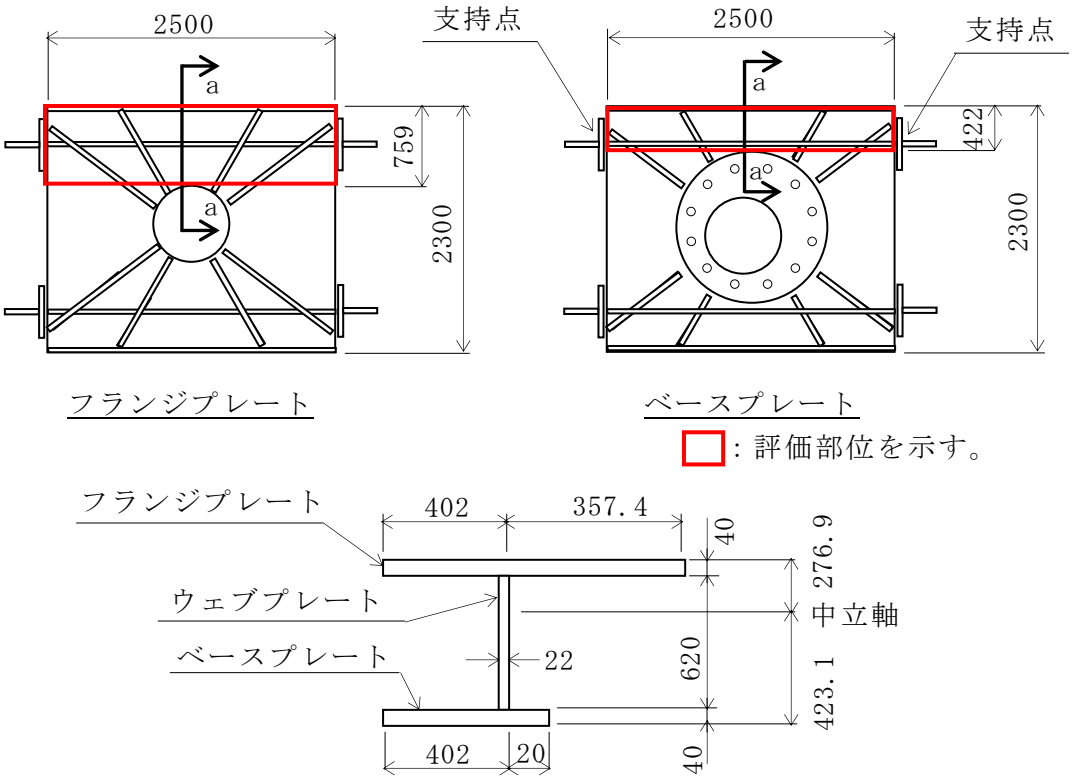
f_b ：鋼材の許容曲げ応力度（N/mm^2）
f_s ：鋼材の許容せん断応力度（N/mm^2）
F ：鋼材の基準強度（N/mm^2）
M_f ：評価断面における曲げモーメント（$kN \cdot mm$）
N_t ：鉄塔脚部の引張力（kN）
L_{br} ：ウェブプレートの長さ（mm）
Z_{min} ：合成断面の最小断面係数（mm^3）
A_s ：合成断面のせん断断面積（mm^2）
t_{br} ：ウェブプレートの板厚（mm）
h_{br} ：ウェブプレートの高さ（mm）
σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）
τ ：せん断応力度（N/mm^2）
σ ：合成応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{2365000 \times 1000}{12400000} = 191 \text{ N/mm}^2 \leqq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

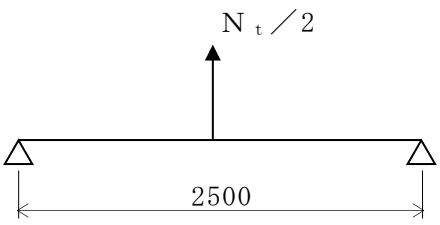
$$\tau = \frac{7567.8 / 4 \times 1000}{13640} = 139 \text{ N/mm}^2 \leqq 206 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b{}^2 + 3 \cdot \tau^2} = 308 \leqq 357 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



a － a 断面

図 5－3　フランジプレート，ベースプレート及びウェブプレート
から成る合成断面の概要図（単位：mm）



注：アンカー材（ＣＴ形鋼）の位置を支点とする。

図 5－4　荷重及び支持条件（単位：mm）

c. ベースプレート圧縮領域の曲げ応力度に対する評価

ベースプレートに作用する圧縮力の概要図を図 5－5 に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して，ベースプレートの圧縮領域の曲げ応力度の評価を行う。評価においては，圧縮領域はウェブプレート間とし，その間のベースプレートの評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 357 \ N/mm^2$$

$$M_b = \sigma_c \cdot \frac{L^2}{8} = 4.9 \times \frac{382^2}{8} = 89380 \ N \cdot mm/mm$$

$$Z = \frac{t^2}{6} = \frac{40^2}{6} = 267 \ mm^3/mm$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z}$$

ここで，

f_b ：鋼材の許容曲げ応力度（N/mm^2）

F ：鋼材の基準強度（N/mm^2）

M_b ：ベースプレート圧縮領域の曲げモーメント（$N \cdot mm/mm$）

σ_c ：コンクリートの圧縮応力度（N/mm^2）

L ：ウェブプレート間の距離（mm）

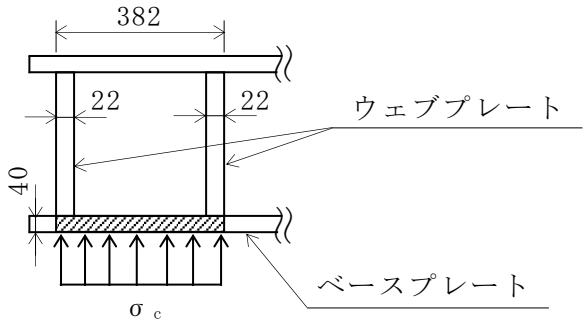
Z ：ベースプレート圧縮領域の単位幅あたりの断面係数（mm^3/mm）

t ：ベースプレートの板厚（mm）

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{89380}{267} = 335 \ N/mm^2 \leqq 357 \ N/mm^2 \quad 可$$



注：斜線部はベースプレートの圧縮領域を示す。

図 5－5　ベースプレートに作用する圧縮力の概要図（単位：mm）

(3) ベース上面リブプレートの評価

a. ベース上面リブプレートの圧縮応力度に対する評価

ベース上面リブプレートの概要図を図 5－6 に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して，ベース上面リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては，ベース上面リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。許容座屈応力度は図 5－6 に示す代表とするリブプレートにより算定する。

$$F = 357\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$K_r = 0.42+\left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42+\left(\frac{645}{620}\right)^2 = 1.502$$

$$\sigma_{rk} = \frac{K_r}{\mu_r}\cdot\pi^2\cdot\frac{E}{12\cdot(1-\nu^2)}\cdot\left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2$$

$$= \frac{1.502}{1.5}\times\pi^2\times\frac{205000}{12\times(1-0.3^2)}\times\left(\frac{22}{645}\right)^2 = 215\ \mathrm{N/mm^2}$$

よって，

$$\sigma_{rk} = 215\ \mathrm{N/mm^2}$$

$$\sigma_r = \frac{N_c}{4\cdot t_r\cdot(b_{r1}+b_{r2})}$$

ここで，

F ：鋼材の基準強度（$\mathrm{N/mm^2}$）（F 値は 1.1 倍とする）

K_r ：係数

b_r ：ベース上面リブプレートの幅（mm）

h_r ：ベース上面リブプレートの高さ（mm）

σ_{rk} ：許容座屈応力度（$\mathrm{N/mm^2}$）（F と σ_{rk} の小さい方の値をとる）

μ_r ：座屈安全率（1.5 とする）

E ：鋼材のヤング係数（$\mathrm{N/mm^2}$）

ν ：鋼材のポアソン比

σ_r ：座屈応力度（$\mathrm{N/mm^2}$）

t_r ：ベース上面リブプレートの板厚（mm）

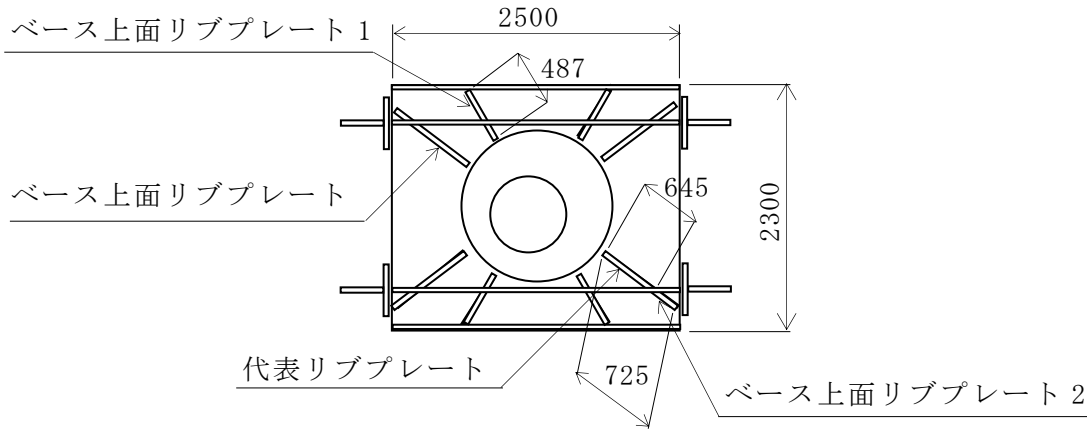
b_{r1} ：ベース上面リブプレート 1 の幅（mm）

b_{r2} ：ベース上面リブプレート 2 の幅（mm）

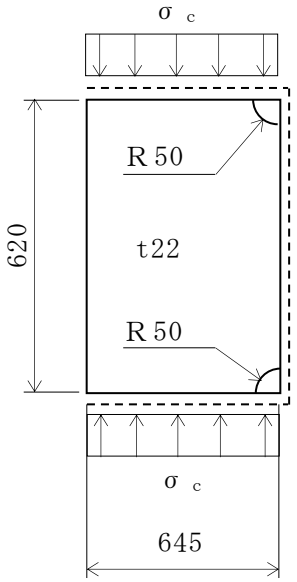
N_c ：鉄塔脚部の圧縮力（kN）

以上より，

$$\sigma_r = \frac{9310.1\times1000}{4\times22\times(487+725)} = 88\ \mathrm{N/mm^2} \leqq 215\ \mathrm{N/mm^2}$$ 可



ベース上面リブプレート



代表とするリブプレートの計算モデル

図 5－6　ベース上面リブプレートの概要図（単位：mm）

(4) アンカー部の評価

a. アンカー材（ＣＴ形鋼）の引張応力度に対する評価

アンカー材（ＣＴ形鋼）の概要図を図 5－7 に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する引張力に対して，アンカー材（ＣＴ形鋼）の引張応力度の評価を行う。評価においては，鉄塔脚部に作用する引張力に対して，4 本のアンカー材（ＣＴ形鋼）で均等に負担するものとする。

$$f_t = 1.1 \cdot F = 357\ N/mm^2$$

$$\sigma_t = \frac{N_t}{n \cdot A_H}$$

$$A_H = B_f \cdot t_f + (h_T - t_f) \cdot t_w - 2 \cdot D_b \cdot t_f$$

$$= 422 \times 36 + (260 - 36) \times 36 - 2 \times 22 \times 36 = 21672\ mm^2$$

ここで，

f_t ：許容引張応力度（N/mm^2）

F ：鋼材の基準強度（N/mm^2）

n ：アンカー材の本数（本）

N_t ：鉄塔脚部の引張力（kN）

σ_t ：引張応力度（N/mm^2）

A_H ：アンカー材の断面積（mm^2）

B_f ：アンカー材の幅（mm）

t_f ：アンカー材フランジの板厚（mm）

h_T ：アンカー材の高さ（mm）

t_w ：アンカー材ウェブの板厚（mm）

D_b ：ボルト穴の直径(mm)

以上より，

$$\sigma_t = \frac{7567.8 \times 1000}{4 \times 21672} = 88\ N/mm^2 \leqq 357\ N/mm^2 \quad 可$$

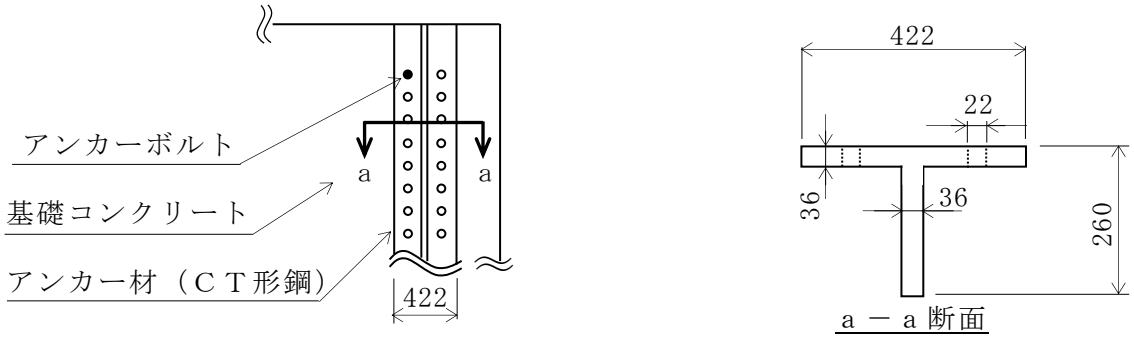


図 5－7　アンカー材（ＣＴ形鋼）の概要図（単位：mm）

b. アンカーボルトのせん断応力度評価

アンカーボルトのコーン状破壊の概要図を図 5－8 に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する引張力に対して，アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。アンカー材（ＣＴ形鋼）に引張力が作用すると，アンカー材とコンクリートの接合面にせん断力が生じる。評価においては，接合面に生じるせん断力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

アンカーボルト 1 本あたりの許容せん断力 q_a は，以下の式で算定される値のうち最小値とする。

アンカーボルトのせん断強度で決まる場合の許容せん断力 q_{a1}

$$ {}_s\sigma_{qa} = 0.7 \cdot {}_s\sigma_y = 0.7 \times 240 = 168 \ N/mm^2 $$

$$ q_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s\sigma_{qa} \cdot A_a = 1.0 \times 168 \times 245 = 41 \ kN $$

定着した躯体の支圧強度で決まる場合の許容せん断力 q_{a2}

$$ {}_c\sigma_{qa} = 0.5 \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c} = 0.5 \times \sqrt{20.6 \times 21500} = 332 \ N/mm^2 $$

$$ q_{a2} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_{qa} \cdot A_a = 2/3 \times 332 \times 245 = 54 \ kN $$

定着した躯体のコーン状破壊で決まる場合の許容せん断力 q_{a3}

$$ {}_c\sigma_t = 0.31 \cdot \sqrt{F_c} = 0.31 \times \sqrt{20.6} = 1.4 \ N/mm^2 $$

$$ q_{a3} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_t \cdot A_{qc} = 2/3 \times 1.4 \times 76566 = 71 \ kN $$

よって，

$$ q_a = 41 \ kN $$

ここで，

$ {}_s\sigma_{qa} $ ：接着系アンカーボルトのせん断強度（N/mm^2）

$ {}_s\sigma_y $ ：接着系アンカーボルトの規格降伏点強度（N/mm^2）（強度区分 4.8）

$ A_a $ ：アンカーボルトの有効断面積（M20）（mm^2）

$ \phi_1 $ ：低減係数（＝1.0）

$ {}_c\sigma_{qa} $ ：コンクリートの支圧強度（N/mm^2）

$ F_c $ ：コンクリートの設計基準強度（N/mm^2）

$ E_c $ ：コンクリートのヤング係数（N/mm^2）

$ \phi_2 $ ：低減係数（＝2／3）

$ {}_c\sigma_t $ ：コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度（N/mm^2）

$ A_{qc} $ ：アンカーボルト 1 本あたりのせん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積（mm^2）

$$Q_a = \frac{N_t}{n}$$

ここで，

Q_a　：アンカーボルト1本あたりのせん断力（kN）

N_t　：鉄塔脚部の引張力（kN）

n　：アンカーボルトの本数（本）

以上より，

$$Q_a = \frac{7567.8}{248} = 31\ \mathrm{kN} \leqq 41\ \mathrm{kN}$$　可

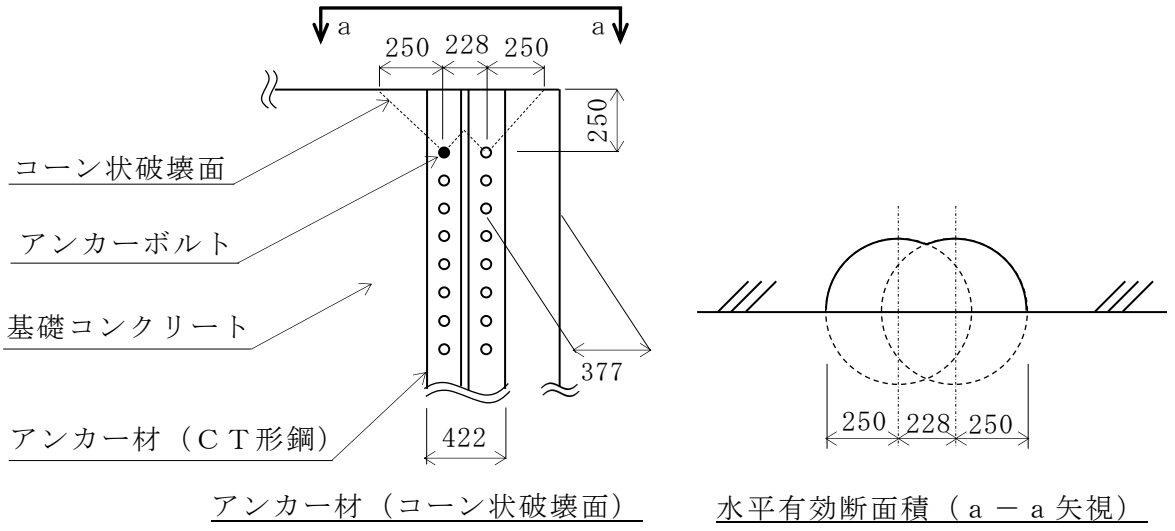


図5－8　アンカーボルトのコーン状破壊の概要図（単位：mm）

5.3　筒身脚部の評価結果

(1)　アンカーボルトの評価

a.　アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトの概要図を図 5－9 に示す。

ここでは，筒身脚部に作用する水平力に対して，アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。評価においては，筒身脚部に作用する水平力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{258}{\sqrt{3}} = 148 \ N/mm^2$$

$$Q_A = \frac{Q}{n} = \frac{340.6}{12} = 28 \ kN/本$$

$$\tau = \frac{Q_A}{A_a}$$

ここで，

f_s　：許容せん断応力度（N/mm^2）

F　：アンカーボルトの基準強度（N/mm^2）

Q_A　：アンカーボルト 1 本あたりのせん断力（kN/本）

Q　：筒身脚部のせん断力（kN）

n　：アンカーボルトの本数（本）

τ　：せん断応力度（N/mm^2）

A_a　：アンカーボルトの有効断面積（mm^2）

以上より，

$$\tau = \frac{28 \times 1000}{817} = 35 \ N/mm^2 \leqq 148 \ N/mm^2 \quad 可$$

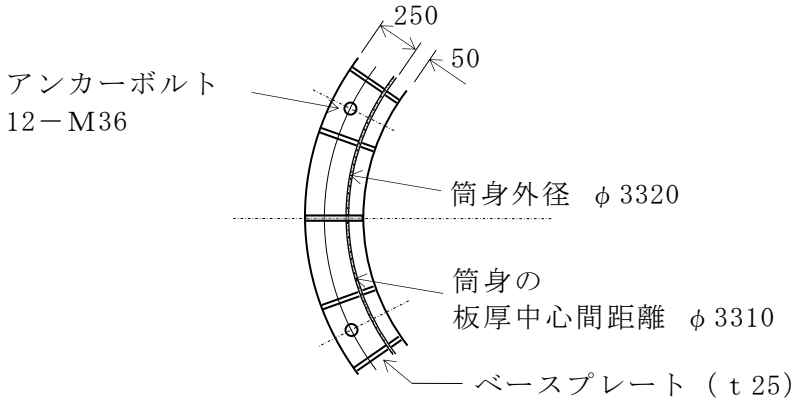


図 5－9　アンカーボルトの概要図（単位：mm）

b. アンカーボルトの引張とせん断を同時に受ける場合に対する評価

ここでは，引張とせん断を同時に受ける場合のアンカーボルトの評価を行う。

$$f_{t0} = 1.1 \cdot F = 258 \ N/mm^2$$

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau = 1.4 \times 258 - 1.6 \times 35 = 305 \ N/mm^2$$

$f_{ts} > f_{t0}$より，

$$f_{ts} = 258 \ N/mm^2$$

ここで，

f_{t0} ：せん断力が作用しないときの許容引張応力度（N/mm^2）

f_{ts} ：せん断力が同時に作用するときの許容引張応力度（N/mm^2）

アンカーボルトの引張力T_Aの算定にあたって，鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1988 年改定，1991 年一部改定）を参考に，筒身内壁から外側のベースプレート下面を円筒断面の鉄筋コンクリート柱とみなし，中立軸が断面内にある状態（主筋に相当するアンカーボルトの一部が引張りとなる状態）を考慮する。この時，引張側のアンカーボルトに作用する最大引張力をT_Aとする。

$$T_A = 62 \ kN$$

$$\sigma_t = \frac{T_A}{A_a}$$

ここで，

T_A ：アンカーボルトの最大引張力（kN）

σ_t ：引張応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_t = \frac{62 \times 1000}{817} = 76 \ N/mm^2 \leqq 258 \ N/mm^2 \quad 可$$

c. アンカーボルト埋込長さに対する評価

アンカーボルトの概要図を図5－10に示す。

ここでは，アンカーボルト埋込長さの評価を行う。

$$f_a = 1.35\ N/mm^2$$

$$\sigma_a = \frac{T_A}{\pi \cdot d \cdot L}$$

ここで，

f_a　：許容付着応力度（丸鋼）（N/mm^2）

σ_a　：付着応力度（N/mm^2）

d　：アンカーボルト径（mm）

L　：アンカーボルト埋込長さ（mm）

以上より，

$$\sigma_a = \frac{62\times1000}{\pi\times36\times1500} = 0.37\ N/mm^2 \leqq 1.35\ N/mm^2 \quad 可$$

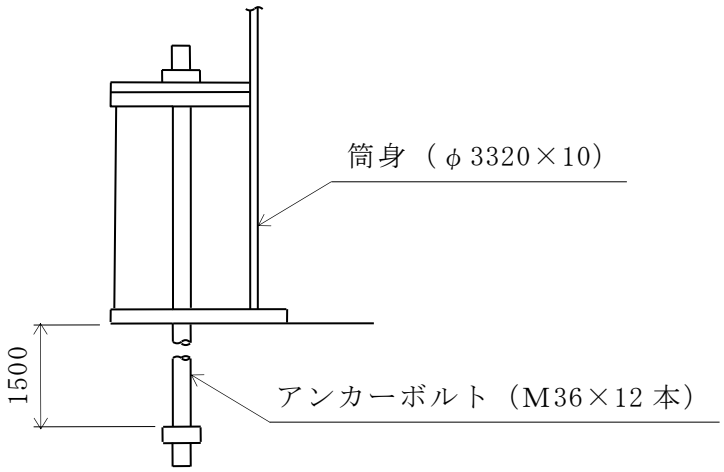


図5－10　アンカーボルトの概要図（単位：mm）

(2) フランジプレートの評価

フランジプレートの概要図を図5－11に示す。

a. フランジプレートの曲げ応力度に対する評価

フランジプレートは，ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし，アンカーボルトの引張力T_Aが作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \ N/mm^2$$

$$L_f = 300 \ mm$$

$$M = T_A \cdot \frac{L_f}{8} = 62 \times 1000 \times \frac{300}{8} = 2325000 \ N \cdot mm$$

$$Z = \frac{(B - d_f) \cdot (t_f + t_f')^2}{6}$$

$$= \frac{(240 - 46) \times (25 + 24)^2}{6} = 77600 \ mm^3$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

f_b ：許容曲げ応力度（N/mm^2）

F ：フランジプレートの基準強度（N/mm^2）

L_f ：リブ間距離（mm）

M ：曲げモーメント（N･mm）

T_A ：アンカーボルト1本あたりの引張力（kN/本）

Z ：断面係数（mm^3）

B ：フランジプレート幅（mm）

d_f ：ボルト孔径（mm）

t_f ：フランジプレートの板厚（mm）

t_f' ：座金厚（mm）

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{2325000}{77600} = 30 \ N/mm^2 \leqq 258 \ N/mm^2 \quad 可$$

b. フランジプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは，フランジプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_1 = T_A \cdot \frac{e_1}{h \cdot L_f} = 62 \times 1000 \times \frac{120}{375 \times 300} = 66 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rf} = D_f \cdot \frac{w_1}{2 \cdot (B - d_f) \cdot (t_f + t_f')}$$

ここで，

w_1 ：偏心距離e_1によって発生する水平力（N/mm）

e_1 ：偏心距離（mm）

h ：フランジプレートからベースプレート間の板厚中心間距離（mm）

σ_{rf} ：水平力w_1による円周方向応力度（N/mm^2）

D_f ：フランジプレート中心径（mm）

以上より，

$$\sigma_{rf} = 3560 \times \frac{66}{2 \times (240 - 46) \times (25 + 24)}$$

$$= 13 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. フランジプレートの合成応力度に対する評価

ここでは，曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

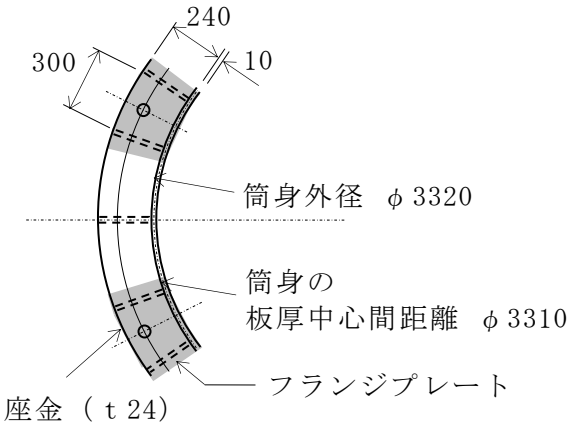
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rf}$$

ここで，

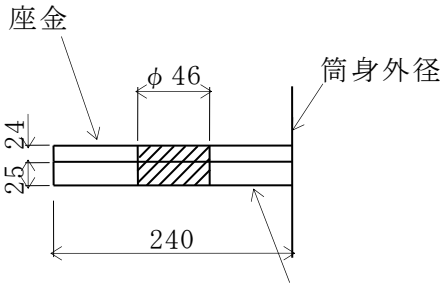
σ ：合成応力度（N/mm^2）

以上より，

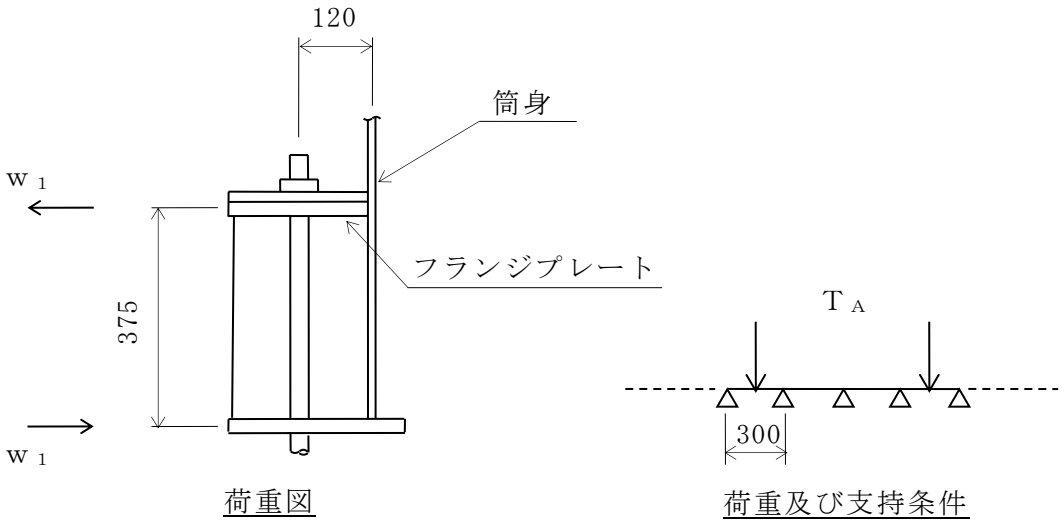
$$\sigma = 30 + 13 = 43 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



フランジプレートの評価部位



フランジプレートの寸法



荷重図　　荷重及び支持条件

図５－１１　フランジプレートの概要図（単位：mm）

(3) ベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図を図5－12に示す。

ここでは，筒身脚部に作用する圧縮力及び曲げモーメントによる圧縮応力度に対して，ベースプレート下面のコンクリートの評価を行う。

$$f_c = 13.6\ N/mm^2$$

$$P_c = \left(\frac{N_c}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_2$$

$$= \left(\frac{1638.4}{104000} + \frac{3253.5 \times 1000}{85800000} \right) \times 2979 = 160\ kN$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_b}$$

ここで，

f_c ：許容圧縮応力度（N/mm^2）

P_c ：リブプレート間に作用する圧縮力（kN）

N_c ：筒身脚部の圧縮力（kN）

A ：筒身の断面積（mm^2）

M ：筒身脚部の曲げモーメント（kN･m）

Z ：筒身の断面係数（mm^3）

A_2 ：筒身のリブプレート間の断面積（mm^2）

σ_c ：コンクリートの圧縮応力度（N/mm^2）

A_b ：リブプレート間のベースプレートの接地面積（mm^2）

以上より，

$$\sigma_c = \frac{160 \times 1000}{94500} = 1.7\ N/mm^2 \leqq 13.6\ N/mm^2 \quad 可$$

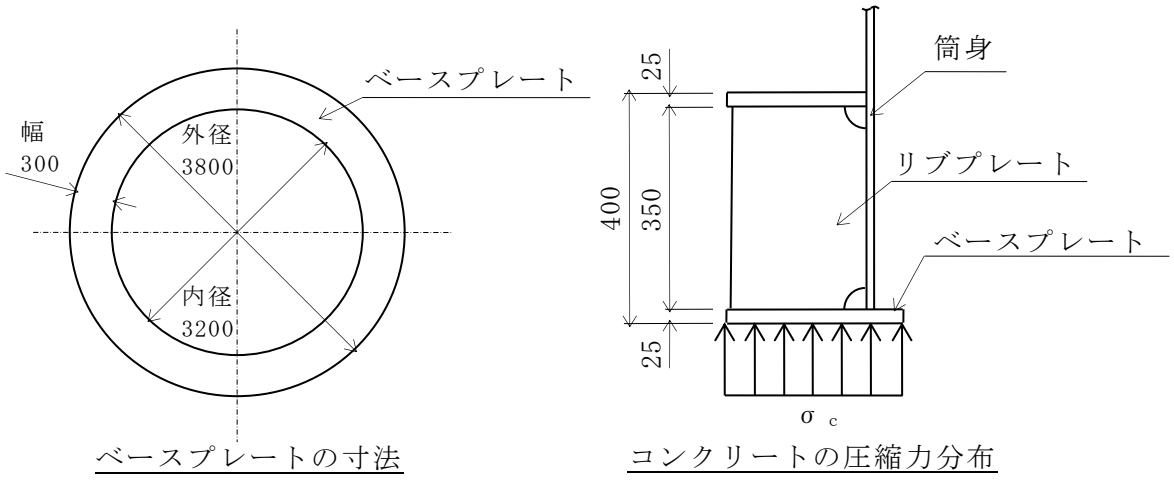


図 5－12　ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図（単位：mm）

b. ベースプレートの曲げ応力度に対する評価

ベースプレートの概要図を図 5－13 に示す。

ベースプレートは，ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし，リブプレート間に作用する圧縮応力度 σ_{rc} が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \ N/mm^2$$

$$L_b = 315 \ mm$$

$$M = \sigma_{rc} \cdot \frac{L_b^2}{12} = 1.7 \times \frac{315^2}{12} = 14060 \ N \cdot mm/mm$$

$$Z = \frac{t_b^2}{6} = \frac{25^2}{6} = 104 \ mm^3/mm$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

f_b ：許容曲げ応力度（N/mm^2）

F ：ベースプレートの基準強度（N/mm^2）

L_b ：リブ間距離（mm）

M ：曲げモーメント（$N \cdot mm/mm$）

σ_{rc} ：リブプレート間に作用する圧縮応力度（N/mm^2）

Z ：断面係数（mm^3/mm）

t_b ：ベースプレートの板厚（mm）

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{14060}{104} = 136 \ N/mm^2 \leqq 258 \ N/mm^2 \quad 可$$

c. ベースプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは，ベースプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_2 = P_c \cdot \frac{e_2}{h \cdot L_b} = 160 \times 1000 \times \frac{95}{375 \times 315} = 129 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rb} = D_b \cdot \frac{w_2}{2 \cdot B \cdot t_b}$$

ここで，

w_2 ：偏心距離e_2によって発生する水平力（N/mm）

e_2 ：偏心距離（mm）

h ：ベースプレート板厚中心間距離（mm）

σ_{rb} ：水平力w_2による円周方向応力度（N/mm^2）

D_b ：ベースプレート中心径（mm）

B ：ベースプレート幅（mm）

以上より，

$$\sigma_{rb} = 3500 \times \frac{129}{2 \times 300 \times 25} = 31 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

d. ベースプレートの合成応力度に対する評価

ここでは，曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

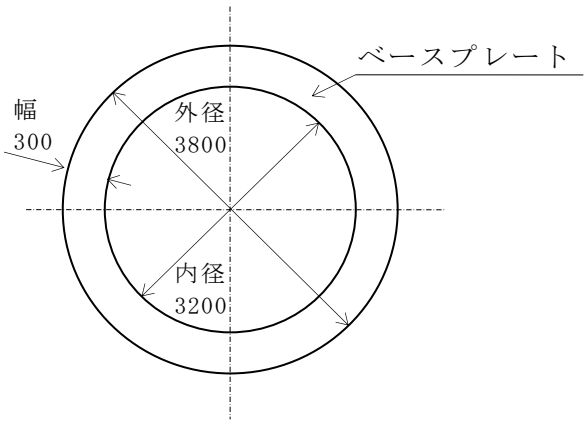
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rb}$$

ここで，

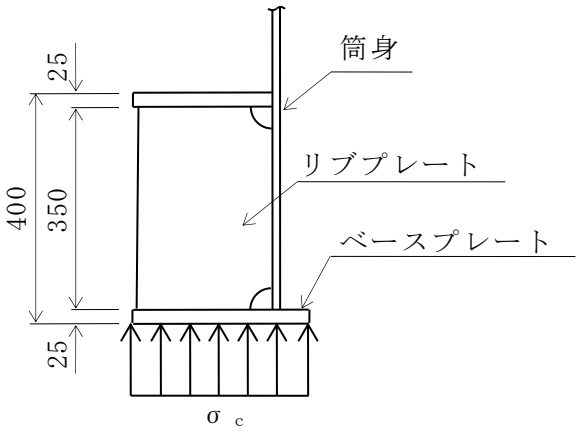
σ ：合成応力度（N/mm^2）

以上より，

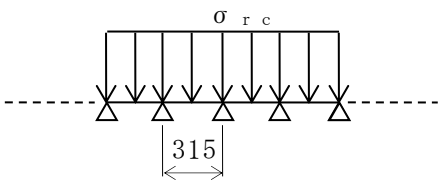
$$\sigma = 136 + 31 = 167 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



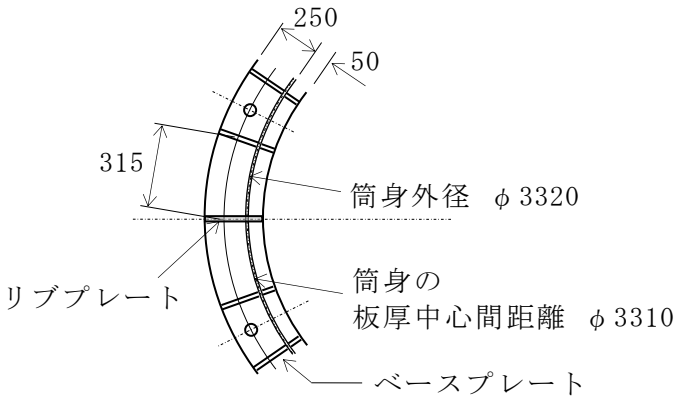
ベースプレートの寸法



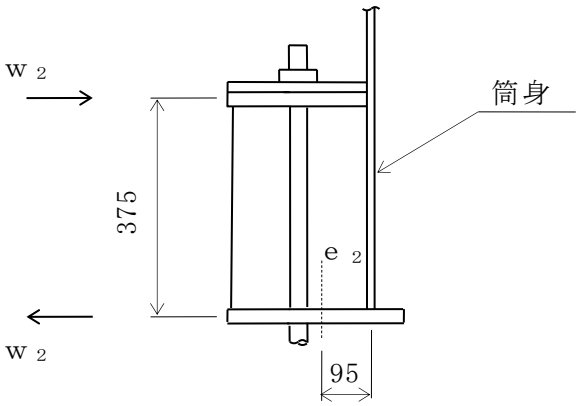
ベースプレートの断面



荷重及び支持条件



評価部位



荷重図

図５－１３　ベースプレートの概要図（単位：mm）

(4) リブプレートの評価

a. リブプレートの圧縮応力度に対する評価

リブプレートの概要図を図5－14に示す。

ここでは，筒身脚部に作用する圧縮力に対して，リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては，リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。

$$F = 258\ N/mm^2$$

$$K_r = 0.42+\left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42+\left(\frac{230}{350}\right)^2 = 0.8518$$

$$\sigma_{rk} = \frac{K_r}{\mu_r}\cdot\pi^2\cdot\frac{E}{12\cdot(1-\nu^2)}\cdot\left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2$$

$$= \frac{0.8518}{1.5}\times\pi^2\times\frac{205000}{12\times(1-0.3^2)}\times\left(\frac{12}{230}\right)^2 = 286\ N/mm^2$$

よって，

$$\sigma_{rk} = 258\ N/mm^2$$

$$\sigma_r = \frac{P_c}{b_r\cdot t_r}$$

ここで，

F ：リブプレートの基準強度（F値は1.1倍とする）（N/mm^2）

K_r ：係数

b_r ：リブプレートの幅（mm）

h_r ：リブプレートの高さ（mm）

σ_{rk} ：許容座屈応力度（N/mm^2）（Fとσ_{rk}の小さい方の値をとる）

μ_r ：座屈安全率（＝1.5）

E ：ヤング係数（N/mm^2）

ν ：ポアソン比

t_r ：リブプレートの板厚（mm）

σ_r ：座屈応力度（N/mm^2）

P_c ：リブプレート間に作用する圧縮力（kN）

以上より，

$$\sigma_r = \frac{160\times1000}{230\times12} = 58\ N/mm^2 \leqq 258\ N/mm^2 \quad 可$$

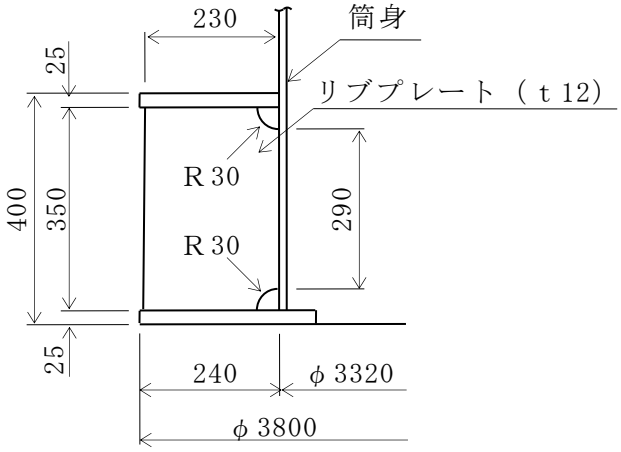


図５－１４　リブプレートの概要図（単位：mm）

S2 補 VI-3-別添 1-10 ROE

Ⅵ-3-別添 1-13　波及的影響を及ぼす可能性がある施設の強度計算書

Ⅵ-3-別添 1-13-4　1 号機排気筒の強度計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　基本方針 …… 2
2.1　位置 …… 2
2.2　構造概要 …… 3
2.3　評価方針 …… 5
2.4　適用規格・基準等 …… 7
3.　強度評価方法 …… 8
3.1　評価対象部位 …… 8
3.2　荷重及び荷重の組合せ …… 8
3.3　許容限界 …… 16
3.4　評価方法 …… 18
4.　評価条件 …… 22
5.　強度評価結果 …… 28
5.1　排気筒の評価結果 …… 28
5.2　鉄塔脚部の評価結果 …… 29
5.3　筒身脚部の評価結果 …… 42

1. 概要

本資料は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，波及的影響を及ぼす可能性がある施設である 1 号機排気筒が，設計竜巻荷重及びその他考慮すべき荷重に対し，竜巻時及び竜巻通過後においても，竜巻より防護すべき施設の安全機能を損なわないように，竜巻より防護すべき施設を内包する原子炉建物，タービン建物等に対して，機械的な波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

2.　基本方針

VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」を踏まえ，１号機排気筒の「2.1　位置」，「2.2　構造概要」，「2.3　評価方針」及び「2.4　適用規格・基準等」を示す。

2.1　位置

１号機排気筒は，VI-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示すとおり，屋外に設置する。

１号機排気筒の設置位置を図 2－1 に示す。

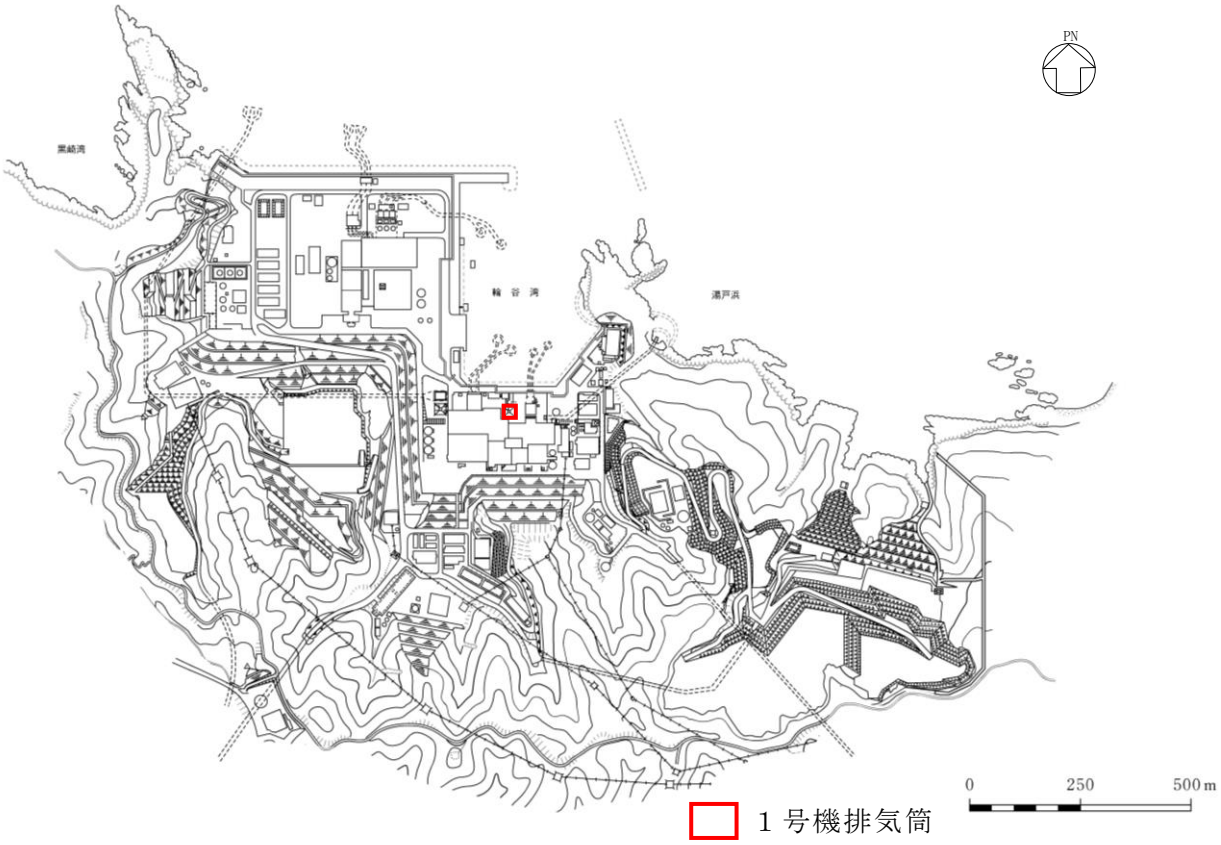


図 2－1　１号機排気筒の設置位置

2.2　構造概要

１号機排気筒は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.2　機能維持の方針」に示す構造計画とする。

１号機排気筒は，地盤からの高さ 120m である内径 2.8m の鋼板製筒身を鋼管四角形鉄塔で支えた鋼製鉄塔支持型排気筒である。

１号機排気筒の基礎は鉄筋コンクリート造であり，岩盤に直接設置している。

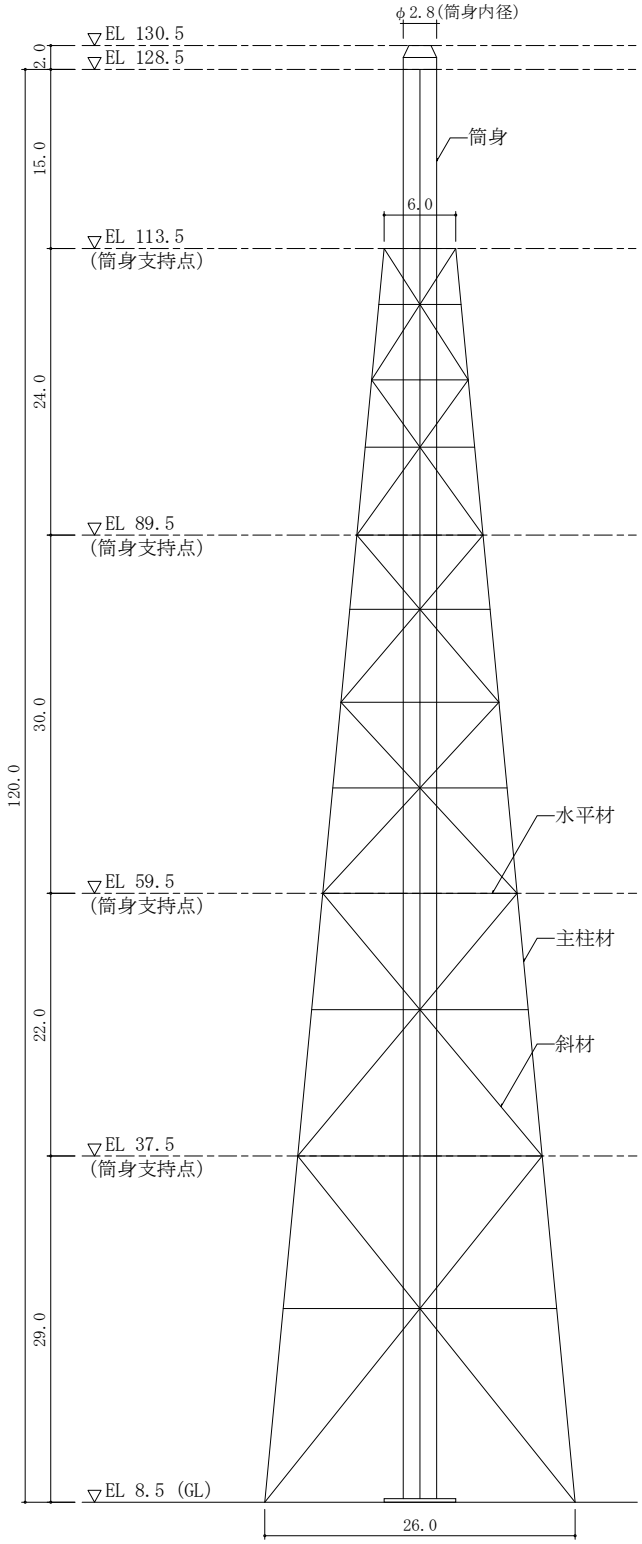
筒身は支持点位置(EL 37.5m，EL 59.5m，EL 89.5m 及び EL 113.5m*)にて鉄塔と接合されている。

１号機排気筒の概要図を図 2－2 に示す。

構造概要

構造形状	鋼製鉄塔支持型
排気筒高さ	筒身 120.0m（EL 128.5m）
鉄塔高さ	105.0m（EL 113.5m）
鉄塔幅	頂　部　　6.0m
	根開き　　26.0m
筒身支持点位置	EL 37.5m，EL 59.5m，EL 89.5m，EL 113.5m
基礎	鉄筋コンクリート造

注記＊：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。



部材リスト　(単位：mm)

主柱材	斜材	水平材	筒身
—	—	—	8
		H-500×200×10×16*1	12 14 12
φ267.4×6.6	φ216.3×5.8	φ165.2×4.5	12 14 12
φ355.6×6.4		φ216.3×5.8	8
φ508.0×7.9	φ267.4×6.6		12 14 12
φ609.6×9.5	φ318.5×6.9	φ267.4×6.6	8
φ711.2×12.7	φ406.4×7.9	φ355.6×6.4	12 14 12
		φ406.4×7.9	8
φ812.8×16.0	φ508.0×9.5	φ508.0×9.5	12 14 12
		φ457.2×6.4	8
			10
			t=8
STK41 (STK400相当)	STK41 (STK400相当)	STK41 (STK400相当)	SM41 (SM400相当)

注記 *1:SS41(SS400相当)を示す。

(単位：m)

図 2－2　1 号機排気筒の概要図

2.3　評価方針

1号機排気筒の強度評価は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2　許容限界」を踏まえ，1号機排気筒が竜巻より防護すべき施設に波及的影響を及ぼさないことを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「4.　評価条件」に示す評価条件を用いて計算し，「5.　強度評価結果」にて確認する。

1号機排気筒の強度評価においては，その構造を踏まえ，設計竜巻荷重とこれに組み合わせる荷重（以下「設計荷重」という。）の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価対象部位を選定する。

1号機排気筒は筒身に作用する荷重を鉄塔が支持する構造であることから，筒身及び鉄塔を評価対象部位とする。具体的には，1号機排気筒の構造強度評価については，1号機排気筒の構造を踏まえ，設計荷重が1号機排気筒に作用した場合に，1号機排気筒頂部の最大水平変位に基づく1号機排気筒の全体変形角及び脚部に作用する応力が「3.3 許容限界」に示す許容値を下回ることを確認する。また，1号機排気筒の主要な支持機能を有する鉄塔部材に対して，設計竜巻による設計飛来物が衝突するものとする。

1号機排気筒の強度評価フローを図 2－3 に示す。

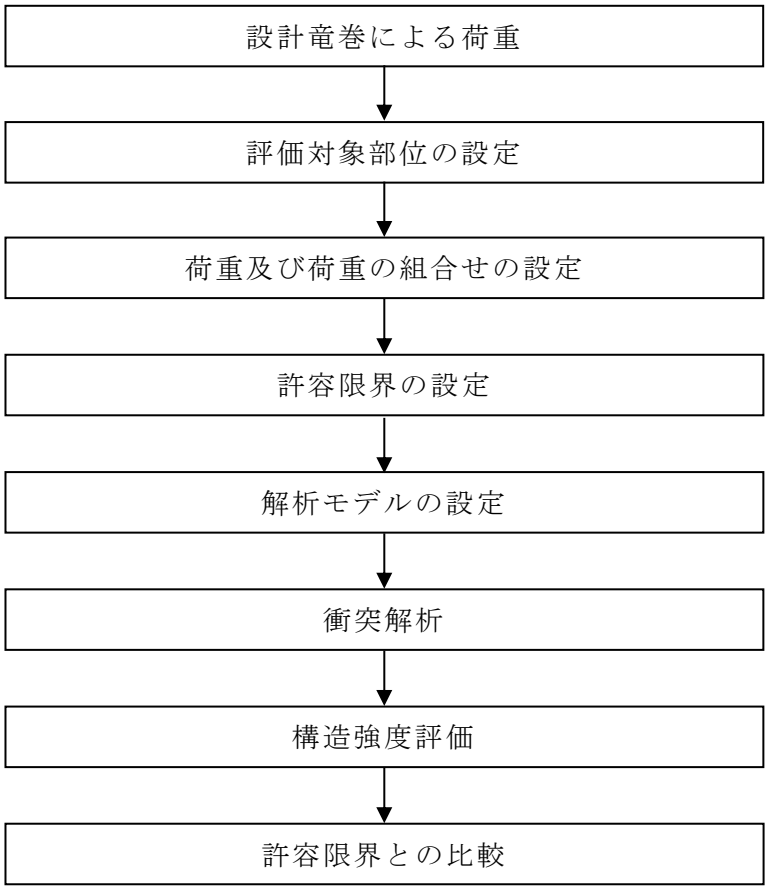


図 2－3　1 号機排気筒の強度評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

・Methodology for Performing Aircraft Impact Assessments for New Plant Designs（Nuclear Energy Institute　2011 Rev8P（NEI 07-13））
・建築基準法・同施行令
・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）
・建築物荷重指針・同解説（（社）日本建築学会，2004 改定）
・鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）
・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）
・日本産業規格（ＪＩＳ）
・動的繰返し大変形をうける溶接鋼構造物のぜい性破壊性能評価方法（WES2808：2003）（（社）日本溶接協会）
・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）
・煙突構造設計施工指針（（財）日本建築センター，1982 年版）
・煙突構造設計指針（（社）日本建築学会，2007 制定）
・塔状鋼構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，1980 制定）
・鋼構造座屈設計指針（（社）日本建築学会，1996 改定）
・容器構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）
・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）

3. 強度評価方法

3.1 評価対象部位

1号機排気筒の評価対象部位は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2 許容限界」にて示す評価基準を踏まえ筒身及び鉄塔とする。

また，「2.3 評価方針」に示したとおり，鉄塔部材は設計飛来物の衝突を考慮することから，衝突させる部材としては，鉄塔を構成する主要部材である主柱材とし，健全時において風圧力(「3.2 荷重及び荷重の組合せ」で示す設計竜巻による荷重W_W)を作用させた際に，1号機排気筒全体のせん断力及び曲げモーメントが最大となる最下層とする。なお，最下層の主柱材は鉄塔基礎部に直接荷重を伝達する部材である。

3.2 荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」を踏まえて設定する。

3.2.1 荷重の設定

強度評価に用いる荷重は以下の荷重を用いる。荷重の算定に用いる竜巻の特性値を表 3－1 に示す。

表 3－1 荷重の算定に用いる竜巻の特性値

最大風速 V_D (m/s)	移動速度 V_T (m/s)	最大接線風速 V_{Rm} (m/s)	最大気圧低下量 ΔP_{max} (N/m^2)
92	14	78	7500

(1)　常時作用する荷重（F_d）

常時作用する荷重は，鉄塔及び筒身自重の他に，歩廊等の付属設備の重量を考慮する。

(2)　風圧力による荷重（W_W）

風圧力による荷重は，「建築基準法・同施行令」及び「建築物荷重指針・同解説」（（社）日本建築学会）に準拠して，次式のとおり算出する。

$$W_W = q \cdot G \cdot C \cdot A$$

ここで，$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_D^{\,2}$

W_W　：風圧力による荷重（N）
q　：設計用速度圧（N/m^2）
G　：ガスト影響係数
C　：風力係数
A　：鉄塔及び筒身の見付面積（m^2）（図 3－1 による）
ρ　：空気密度（kg/m^3）
V_D　：最大風速（m/s）

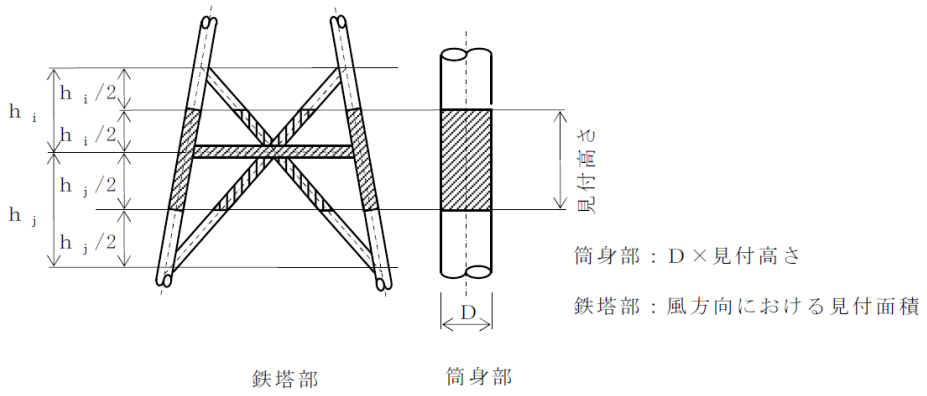


図 3－1　鉄塔及び筒身の見付面積A

風圧力による荷重W_Wの入力方法を図 3－2 に示す。風圧力による荷重が作用する方向は，0°方向及び 45°方向とする。

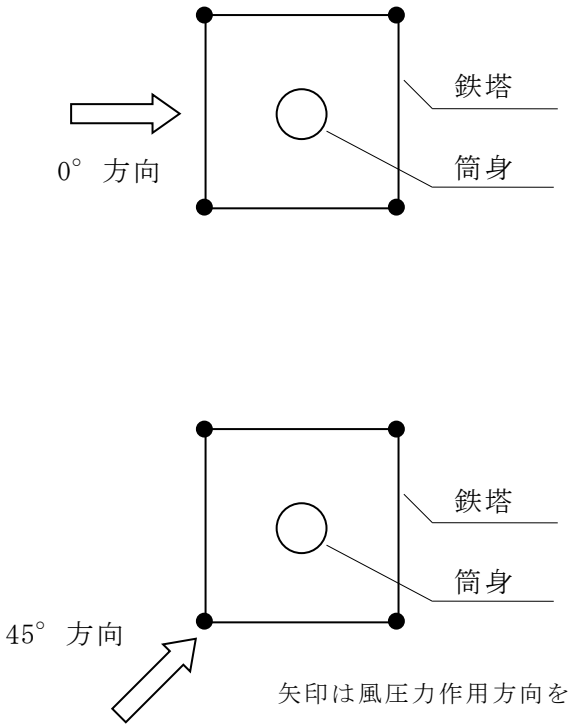


図 3－2　風圧力による荷重W_Wの入力方法

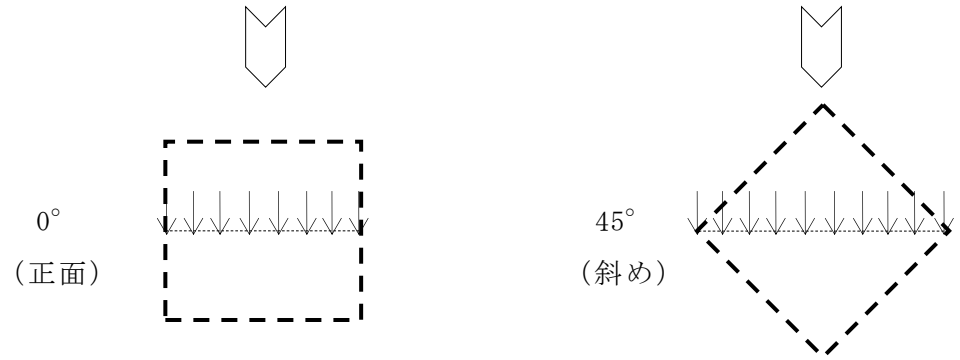
ここで，風力係数Ｃは「平 12 建告第 1454 号」に基づき，鉄塔はラチス構造物として設定し，筒身は煙突その他の円筒形の構造物としてＣ＝0.9・ｋ$_z$（ｋ$_z$＝1.0）とする。

鉄塔の風力係数の算出に必要なラチス構造物の風力係数の考え方を表 3－2 に，ラチス構造物の断面を図 3－3 に示す。

表 3－2　ラチス構造物の風力係数の考え方

風圧力による荷重の作用方向	ϕ		
	(1)	(2)	(3)
	0.1 以下	0.1 を超え 0.6 未満	0.6
0° 方向	2.2・k_z	(1) と (3) とに掲げる数値を直線的に補間した数値	1.5・k_z
45° 方向	1.7・k_z		1.3・k_z

注：ϕ（充実率）は風を受ける部分の最外縁により囲まれる面積に対する見付面積の割合とし，k_zは 1.0 とする。



注：　上図はラチスばり及びラチス柱の断面を表す。
風圧力作用面積としては,▷　の作用する方向から見たラチス構面の見付面積とする。

図 3－3　ラチス構造物の断面

(3)　設計飛来物による衝撃荷重（W_M）

設計飛来物による衝撃荷重は，表 3－3 に示す諸元の設計飛来物の衝突に伴う荷重とする。また，設計飛来物の材料定数を表 3－4 に示す。

表 3－3　設計飛来物の諸元

設計飛来物	寸法 (m)	質量 (kg)	最大水平速度 (m/s)	最大鉛直速度 (m/s)
鋼製材	4.2×0.3×0.2	135	51	34

表 3－4　設計飛来物の材料定数

設計飛来物	降伏応力 σ_y (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比
鋼製材	245	2.06×10^5	0.3

3.2.2　荷重の組合せ

設計竜巻による複合荷重W_T（W_{T1}，W_{T2}）は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に示す式に従い，算出する。

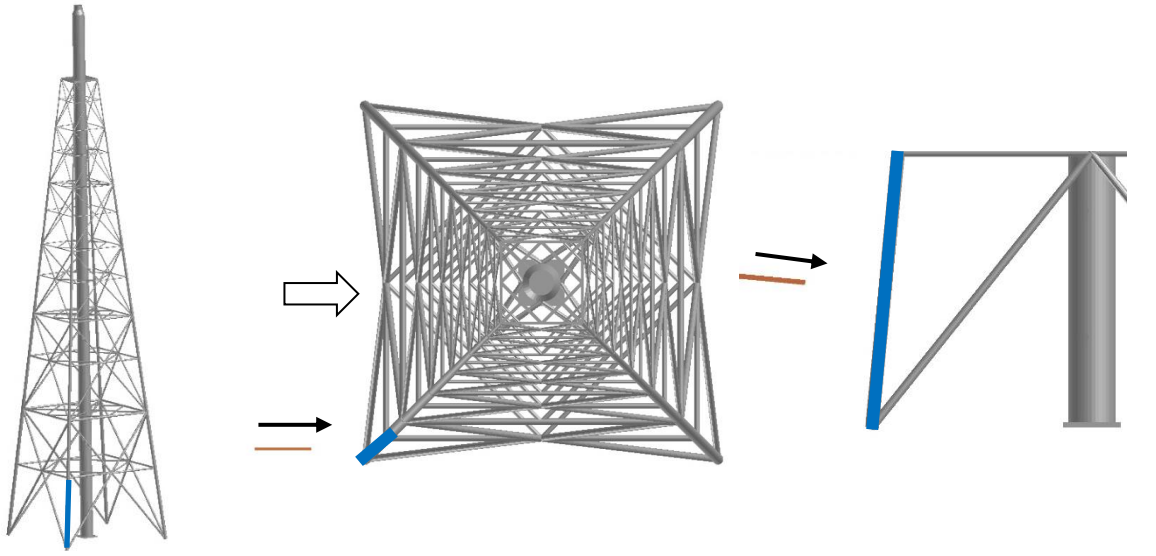
$W_{T1}＝W_P$

$W_{T2}＝W_W＋0.5・W_P＋W_M$

なお，１号機排気筒は大気中に開かれており，１号機排気筒内外に気圧差が生じ難い構造であるため，気圧差による荷重は考慮しない（$W_P＝0$）。したがって，設計竜巻による複合荷重W_Tは$W_{T1}＝0$ となり，$W_{T2}＝W_W＋W_M$とし，0°方向と 45°方向の荷重に対して，常時作用する荷重（F_d）を考慮した設計荷重を用いて検討を実施する。

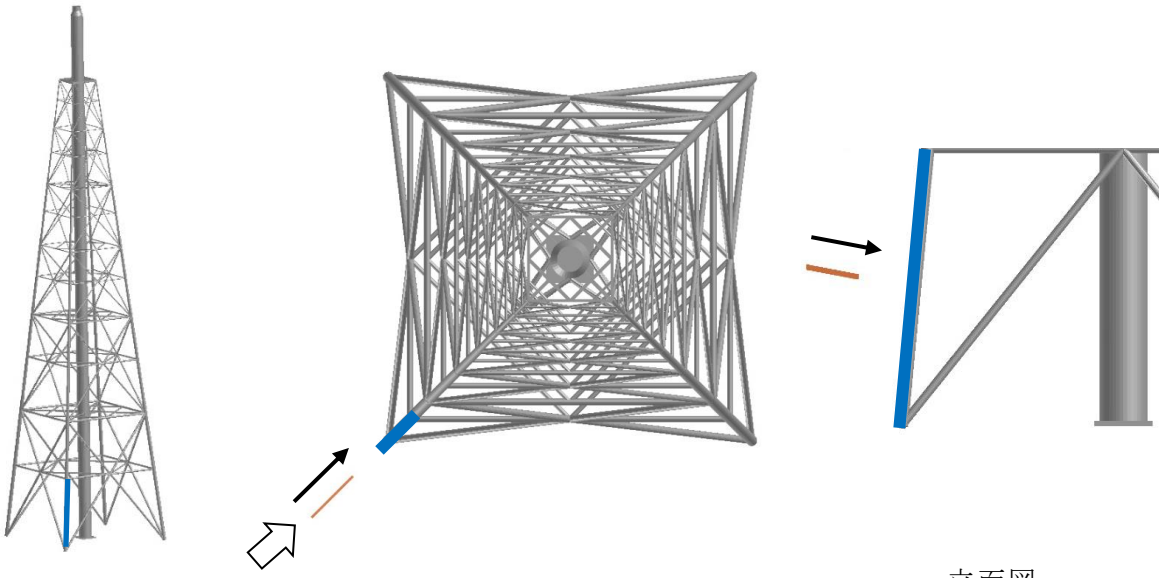
また，「3.1　評価対象部位」に示したとおり，設計飛来物の衝突を考慮する箇所については，鉄塔部の最下層主柱材の中央部とし，設計飛来物は 0°及び 45°方向から衝突するものとする。なお，主柱材の損傷が最も大きくなるよう，設計飛来物は衝突面積が最小となる面を衝突させるものとする。

１号機排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材を図 3－4 に，複合荷重の作用方向を図 3－5 に示す。



全体モデル　　平面図　　立面図
（設計飛来物衝突位置）

検討ケース１　0°方向



全体モデル　　平面図　　立面図
（設計飛来物衝突位置）

検討ケース２　45°方向

：風圧力による風荷重作用方向　　：設計飛来物衝突を考慮する部材
：設計飛来物の衝突方向　　：設計飛来物（鋼製材）

図 3－4　１号機排気筒の評価用モデル及び設計飛来物の衝突を考慮する部材

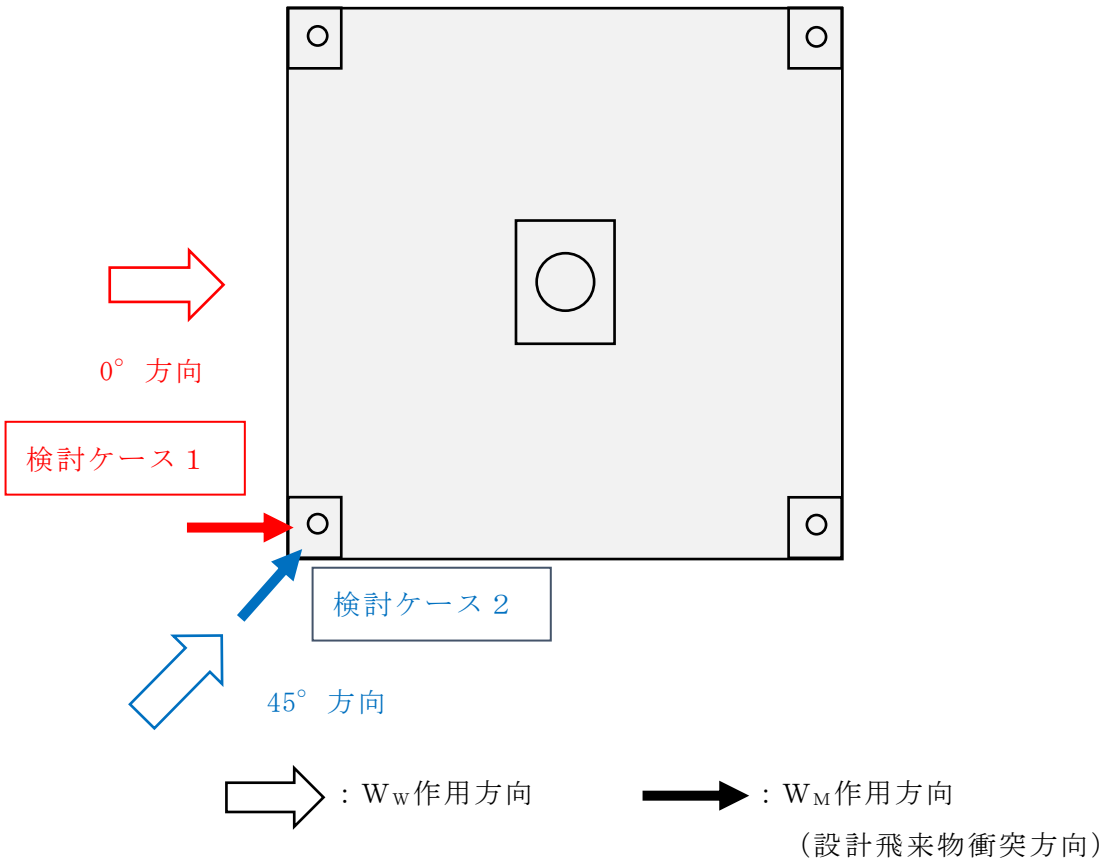


図 3－5　複合荷重の作用方向

3.3　許容限界

(1)　排気筒

１号機排気筒の許容限界は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.1 評価対象部位」にて設定した評価対象部位の機能損傷モードを考慮して設定する。

筒身及び鉄塔は，構造強度を確保するための十分な余裕を持った許容限界として「建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）」に基づき 1/120 を許容限界とし，3 次元ＦＥＭモデルによる変形評価において，頂部変位を高さで除した全体変形角が許容限界を超えないことを確認する。

筒身及び鉄塔の評価における許容限界を表 3－5 に示す。

表 3－5　筒身及び鉄塔の評価における許容限界

機能設計上の性能目標	部位	機能維持のための考え方	許容限界（評価基準値）
原子炉建物，タービン建物等に波及的影響を及ぼさない	筒身及び鉄塔	全体変形角が構造強度を確保するための許容限界を超えないこと	全体変形角 1/120

(2)　鉄塔脚部及び筒身脚部

鉄塔脚部及び筒身脚部の鋼材は，ＪＩＳ　Ｇ　３１０１で規定される一般構造用圧延鋼材 SS400（SS41）*及びＪＩＳ　Ｇ　３１０６で規定される溶接構造用圧延鋼材 SM400A（SM41A）を使用する。

また，基礎で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Ｆｃは 22.1 N/mm^2 とする。

各使用材料の許容応力度を表 3－6 及び表 3－7 に示す。

注記＊：（　）内は従来表記を示す。

表 3－6　鋼材及びアンカーボルトの許容応力度

板厚	材料	基準強度 Ｆ（N/mm^2）	許容応力度*
t ≦40 mm	SS400（SS41） SM400A（SM41A）	235	許容応力度はＦ値より求める。
t ＞40 mm	SS400（SS41） SM400A（SM41A）	215	

注記＊：各使用材料の許容限界は許容応力度とする。なお，許容限界は終局耐力に対して妥当な裕度を有する弾性限強度を用い，鋼材の基準強度Ｆを「平 12 建告第 2464 号」に準拠して 1.1Ｆと読み替える。

注：アンカーボルトは公称軸径を板厚と読み替える。

表 3－7　コンクリートの許容応力度

（単位：N/mm^2）

Ｆｃ＝ 22.1	圧縮	せん断	付着*	
			上端筋	その他
長期	7.3	0.71	0.72	0.90
短期	14.6	1.06	1.05	1.35

注記＊：付着は丸鋼の許容付着応力度とし，脚部のアンカーボルトの検討に用いる。

3.4　評価方法

(1)　排気筒に対する検討

１号機排気筒の強度評価は，Ⅵ-3-別添 1-1「竜巻への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」を踏まえて，３次元ＦＥＭモデルでモデル化し衝突評価を実施する。

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

１号機排気筒及び設計飛来物（鋼製材）はシェル要素でモデル化する。１号機排気筒の衝突解析モデルを図 3－6 に，設計飛来物（鋼製材）の解析モデルを図 3－7 に示す。

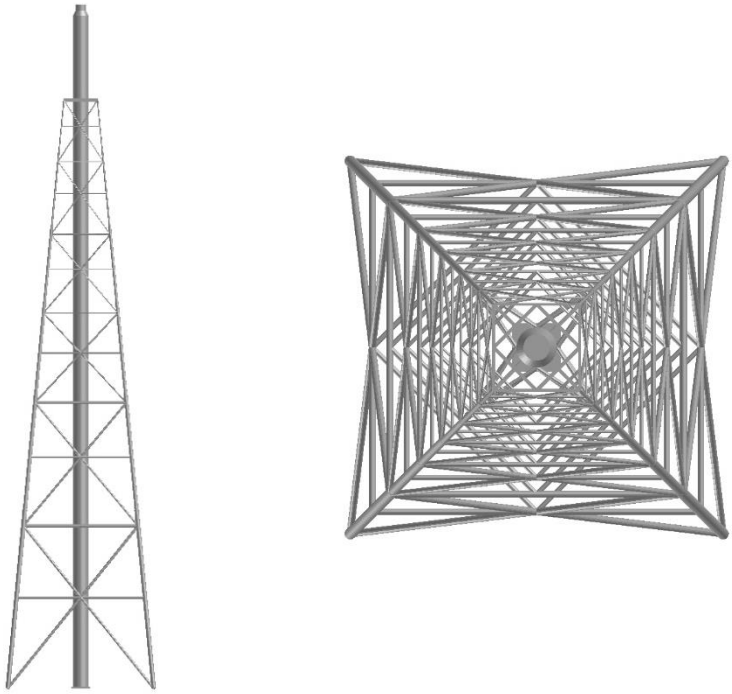
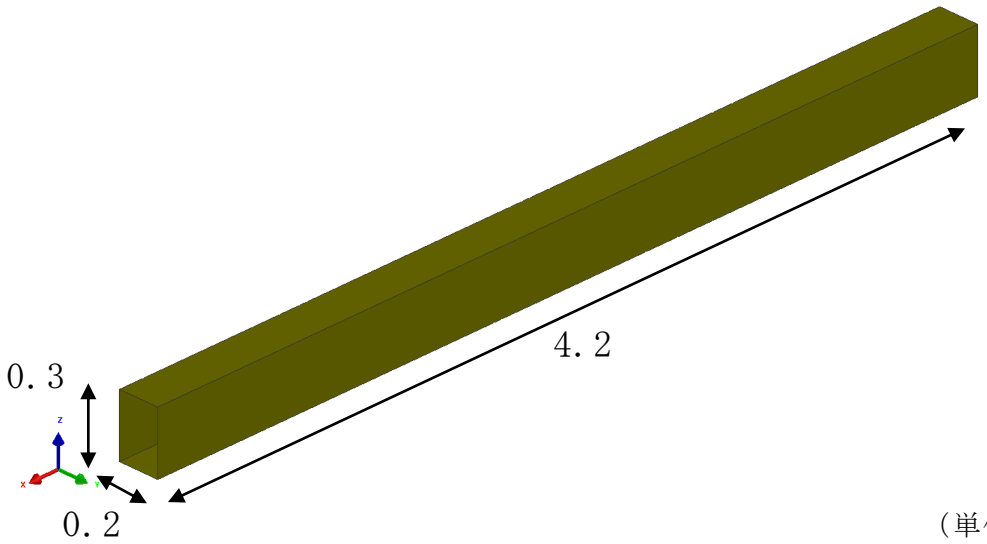


図 3－6　１号機排気筒の衝突解析モデル



（単位：m）

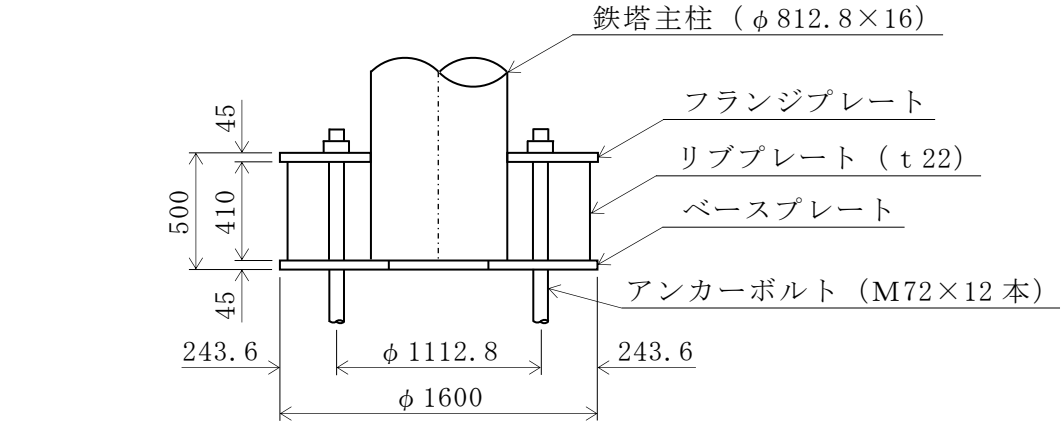
図 3－7　設計飛来物（鋼製材）の解析モデル

(2)　鉄塔脚部及び筒身脚部に対する検討

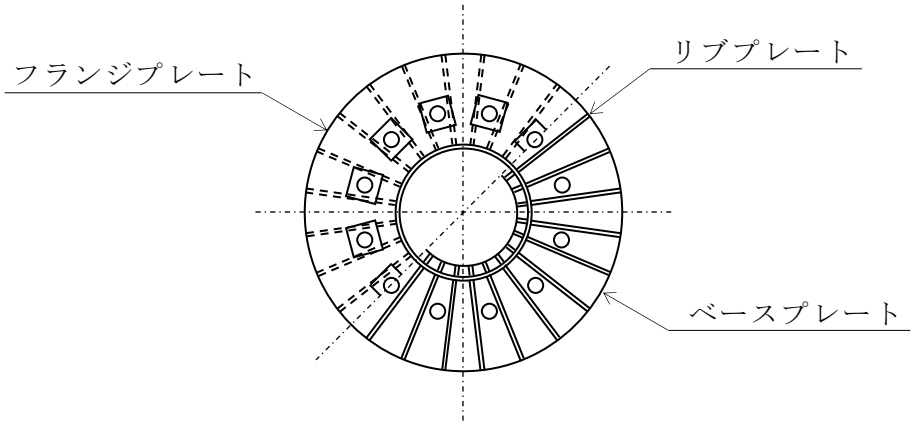
鉄塔脚部及び筒身脚部の断面算定に用いる評価用応力は，立体架構モデルを用いた応力解析により得られた脚部反力を用いて算定する。

各使用材料の許容限界は許容応力度とする。許容限界は終局耐力に対して妥当な裕度を有する弾性限強度を用い，鋼材の基準強度Ｆを「平 12 建告第 2464 号」に準拠して 1.1Ｆと読み替える。

鉄塔脚部及び筒身脚部の概要図を図 3－8 及び図 3－9 に，評価用応力を表 3－8 及び表 3－9 に示す。



断面図



平面図

図 3－8　鉄塔脚部の概要図（単位：mm）

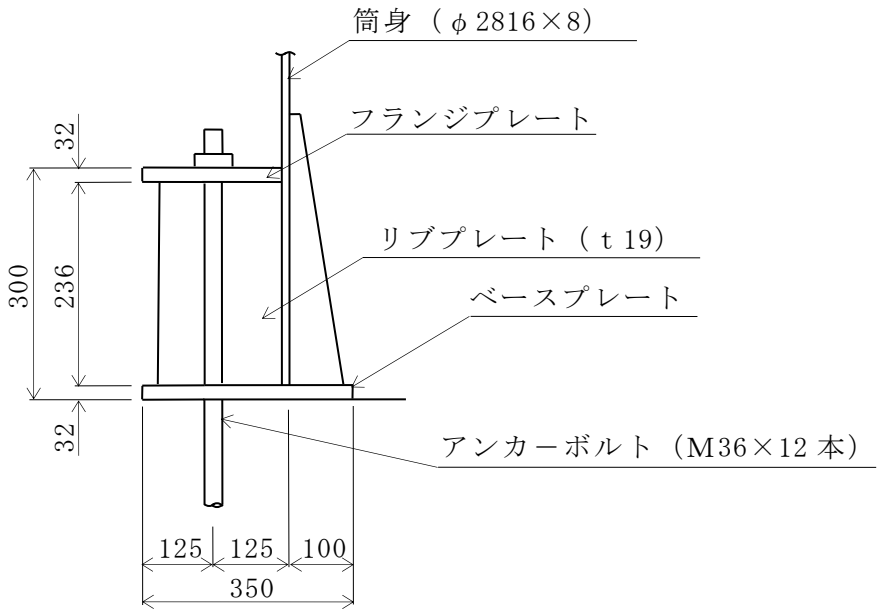


図 3－9　筒身脚部の概要図（単位：mm）

表 3－8　鉄塔脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース１（ 0° 方向）	5247.1	-4306.3	1690.1	0.0
ケース２（45° 方向）	7904.6	-7013.9	2498.6	0.0

注記＊：圧縮を正とする。

表 3－9　筒身脚部の評価用応力

検討ケース	軸力*		せん断力 (kN)	曲げモーメント (kN・m)
	圧縮力 (kN)	引張力 (kN)		
ケース１（ 0° 方向）	1584.1	0.0	317.9	2002.6
ケース２（45° 方向）	1578.6	0.0	340.8	2170.2

注記＊：圧縮を正とする。

4. 評価条件

(1) 使用材料及び風圧力の算定

「3. 強度評価方法」に用いる評価条件として，評価対象部位の材料定数を表 4－1 に，風圧力による荷重W_Wの算出に必要な条件を表 4－2 に，算出した風圧力による荷重W_W（筒身及び鉄塔部）を表 4－3 及び表 4－4 に示す。

表 4－1 評価対象部位の材料定数

材質	厚さ (mm)	E (MPa)	ポアソン比 (－)	σ_{Y0} (MPa)	σ_{T0} (MPa)	ε’ (－)	E’ (MPa)
SS41 (SS400 相当)		2.06×10^5	0.3		400		
SM41 (SM400 相当)		2.06×10^5	0.3		400		
STK41 (STK400 相当)		2.06×10^5	0.3		400		

記号の説明

E ：縦弾性係数

σ_{Y0} ：基準ひずみ速度時の降伏応力

σ_{T0} ：基準ひずみ速度時の引張強さ

ε’ ：破断ひずみ

E’ ：塑性硬化係数

表 4－2　風圧力による荷重W_Wの算出に必要な条件

最大風速 V_D (m/s)	空気密度 ρ (kg/m^3)	ガスト影響係数 G	構造物の高さ H (m)	設計用速度圧 q (N/m^2)
92	1.226	1.0	鉄塔：105 筒身：120	5188

表 4－3　風圧力による荷重W_W（鉄塔）

高さ EL (m)	ケース１（0° 方向）			ケース２（45° 方向）		
	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)
113.5	5.5	1.84	52	8.4	1.46	63
108.8	6.9	2.10	75	11.3	1.62	95
102.5	8.6	2.10	93	13.8	1.62	116
96.9	10.1	2.11	110	16.1	1.63	136
89.5	12.2	2.11	134	19.4	1.63	164
83.3	14.6	2.10	159	23.1	1.63	195
75.5	17.7	2.10	193	27.9	1.62	235
68.3	20.6	2.10	225	32.4	1.63	274
59.5	27.1	2.10	296	42.7	1.63	361
49.8	34.7	2.11	380	54.8	1.63	464
37.5	44.4	2.11	486	70.1	1.63	592
24.7	53.0	2.13	586	84.3	1.64	717
8.5	23.8	2.18	269	38.9	1.67	337

表 4－4　風圧力による荷重W_W（筒身）

高さ EL (m)	ケース１（0° 方向）			ケース２（45° 方向）		
	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)	見付面積 A (m^2)	風力係数 C	風圧力による荷重 W_W (kN)
128.5	21.1	0.90	99	21.1	0.90	99
113.5	36.6	0.90	171	36.6	0.90	171
102.5	33.8	0.90	158	33.8	0.90	158
89.5	38.0	0.90	177	38.0	0.90	177
75.5	42.2	0.90	197	42.2	0.90	197
59.5	38.0	0.90	178	38.0	0.90	178
48.5	31.0	0.90	145	31.0	0.90	145
37.5	35.7	0.90	167	35.7	0.90	167
23.2	40.4	0.90	189	40.4	0.90	189
8.8	21.1	0.90	98	21.1	0.90	98

(2)　材料の非線形特性

a.　材料の応力―ひずみの関係

材料モデルでは，１号機排気筒の破断ひずみを設定し，破断ひずみを超えた要素が荷重を負担しないことを考慮する。鋼材の応力－ひずみ関係はバイリニア型とし，降伏後の塑性硬化係数（２次係数Ｅ’）は，表 4－1 に示す値とする。材料に適用する応力－ひずみの関係を図 4－1 に示す。

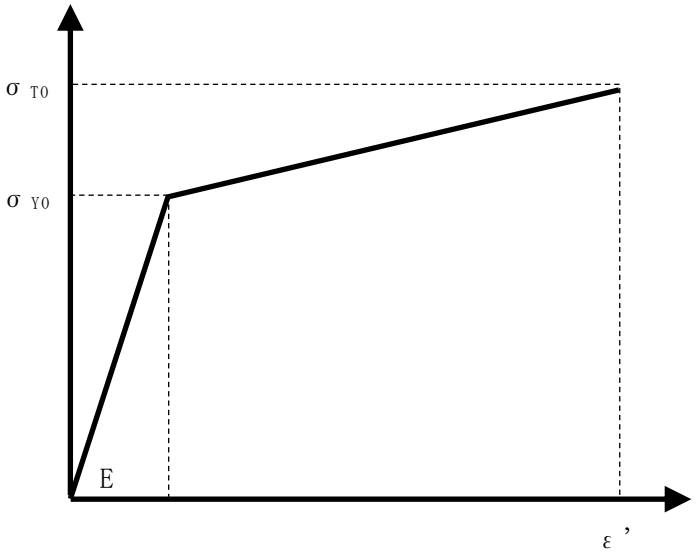


図 4－1　１号機排気筒及び飛来物（鋼製材）の応力－ひずみ線図

b. ひずみ速度効果

竜巻による飛来物に対する解析は，衝撃問題で変形速度が大きいため，ひずみ速度効果を考慮することとし，以下に示す日本溶接協会の推定式から得られる動的増大効果を線形補間し設定する。

$$\sigma_Y = \sigma_{Y0}(T_0)\cdot\exp\left[8\times10^{-4}\cdot T_0\cdot\left(\frac{\sigma_{Y0}(T_0)}{E}\right)^{-1.5}\cdot\frac{1}{T\cdot\ln\left(10^8/\dot{\varepsilon}\right)}-\frac{1}{T_0\cdot\ln\left(10^8/\dot{\varepsilon}_0\right)}\right]$$

$$\sigma_T = \sigma_{T0}(T_0)\cdot\exp\left[8\times10^{-4}\cdot T_0\cdot\left(\frac{\sigma_{T0}(T_0)}{E}\right)^{-1.5}\cdot\frac{1}{T\cdot\ln\left(10^9/\dot{\varepsilon}\right)}-\frac{1}{T_0\cdot\ln\left(10^9/\dot{\varepsilon}_0\right)}\right]$$

ここで，

E ：縦弾性係数（MPa）

σ_Y ：想定するひずみ速度時の降伏応力（MPa）

σ_T ：想定するひずみ速度時の引張強さ（MPa）

σ_{Y0} ：基準ひずみ速度時の降伏応力（MPa）

σ_{T0} ：基準ひずみ速度時の引張強さ（MPa）

$\dot{\varepsilon}$ ：想定するひずみ速度

$\dot{\varepsilon}_0$ ：基準ひずみ速度

T ：想定するひずみ速度時の温度（℃）

T_0 ：基準ひずみ速度時の温度（℃）

c. 破断ひずみ

破断ひずみは，ＪＩＳに規定されている伸びの下限値を基に設定する。また，「NEI 07-13」においてＴＦ（多軸性係数）を 2.0 とすることが推奨されていることを踏まえ，安全余裕として２軸引張状態でＴＦ＝2.0 を考慮する。

なお，安全側の評価として，１号機排気筒の破断ひずみを超えた要素は削除することとし，鋼製材の破断ひずみを超えた要素は削除せず，荷重を伝達するものとする。

材料ごとの破断ひずみを表 4－5 に示す。

表 4－5　１号機排気筒の破断ひずみ

評価対象	材質	ＪＩＳ規格値	ＴＦ	破断ひずみ
１号機排気筒	SS41（SS400 相当）		2.0	
	SM41（SM400 相当）		2.0	
	STK41（STK400 相当）		2.0	

5. 強度評価結果

5.1 排気筒の評価結果

「3.4 評価方法」に基づいた1号機排気筒の評価結果を表5－1に示す。

筒身及び鉄塔について，いずれのケースにおいても許容値を満足していることを確認した。

表5－1 筒身及び鉄塔の評価結果

検討ケース	評価対象部位	最大変形角	許容限界
ケース1（0°方向）	筒身	1/353	1/120
	鉄塔	1/423	1/120
ケース2（45°方向）	筒身	1/454	1/120
	鉄塔	1/540	1/120

5.2　鉄塔脚部の評価結果

(1)　アンカーボルトの評価

a.　アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトの配置図を図 5－1 に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する水平力に対して，アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。評価においては，鉄塔脚部に作用する水平力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{236}{\sqrt{3}} = 136 \ \mathrm{N/mm^2}$$

$$Q_A = \frac{Q}{n} = \frac{2498.6}{12} = 208 \ \mathrm{kN/本}$$

$$\tau = \frac{Q_A}{A_a}$$

ここで，

f_s　：許容せん断応力度（$\mathrm{N/mm^2}$）

F　：アンカーボルトの基準強度（$\mathrm{N/mm^2}$）

Q_A　：アンカーボルト 1 本あたりのせん断力（kN/本）

Q　：鉄塔脚部のせん断力（kN）

n　：アンカーボルトの本数（本）

τ　：せん断応力度（$\mathrm{N/mm^2}$）

A_a　：アンカーボルトの有効断面積（$\mathrm{mm^2}$）

以上より，

$$\tau = \frac{208 \times 1000}{3460} = 61 \ \mathrm{N/mm^2} \leqq 136 \ \mathrm{N/mm^2} \quad 可$$

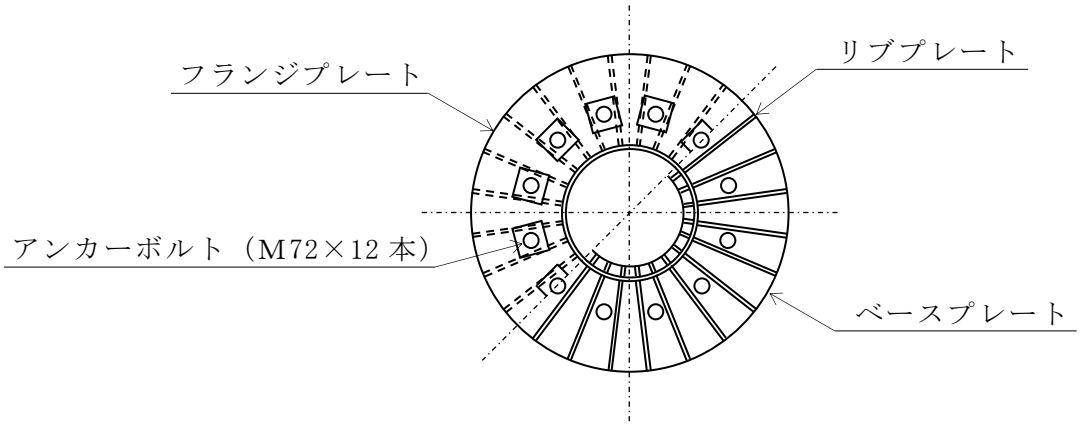


図 5－1　アンカーボルトの配置図

b. アンカーボルトの引張とせん断を同時に受ける場合に対する評価

ここでは，引張とせん断を同時に受ける場合のアンカーボルトの評価を行う。

$$f_{t0} = 1.1 \cdot F = 236 \ N/mm^2$$

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau = 1.4 \times 236 - 1.6 \times 61 = 232 \ N/mm^2$$

$f_{ts} < f_{t0}$より，

$$f_{ts} = 232 \ N/mm^2$$

ここで，

f_{t0} ：せん断力が作用しないときの許容引張応力度（N/mm^2）

f_{ts} ：せん断力が同時に作用するときの許容引張応力度（N/mm^2）

$$T_A = \left(\frac{N_t}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_1$$

$$= \left(\frac{7013.9}{40050} + \frac{0.0}{7820000} \right) \times 3338 = 585 \ kN$$

$$\sigma_t = \frac{T_A}{A_a}$$

ここで，

T_A ：アンカーボルトの最大引張力（kN）

N_t ：鉄塔脚部の引張力（kN）

A ：鉄塔の断面積（mm^2）

M ：鉄塔脚部の曲げモーメント（kN・m）

Z ：鉄塔の断面係数（mm^3）

A_1 ：鉄塔のアンカーボルト間の断面積（mm^2）

σ_t ：引張応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_t = \frac{585 \times 1000}{3460} = 170 \ N/mm^2 \leqq 232 \ N/mm^2 \quad 可$$

c. アンカーボルト埋込長さに対する評価

アンカーボルトの概要図を図5－2に示す。

ここでは，アンカーボルト埋込長さの評価を行う。

$$f_a = 1.35\ N/mm^2$$

$$\sigma_a = \frac{T_A}{\pi \cdot d \cdot L}$$

ここで，

f_a ：許容付着応力度（丸鋼）（N/mm^2）

σ_a ：付着応力度（N/mm^2）

d ：アンカーボルト径（mm）

L ：アンカーボルト埋込長さ（mm）

以上より，

$$\sigma_a = \frac{585\times1000}{\pi\times72\times2900} = 0.90\ N/mm^2 \leqq 1.35\ N/mm^2 \quad 可$$

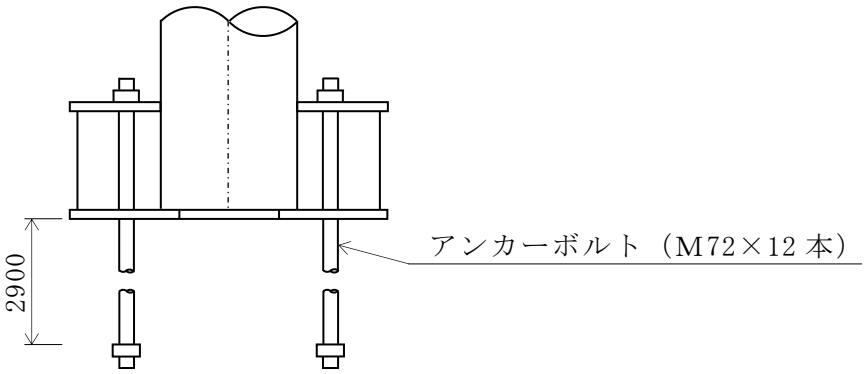


図5－2　アンカーボルトの概要図（単位：mm）

(2) フランジプレートの評価

フランジプレートの概要図を図5－3に示す。

a. フランジプレートの曲げ応力度に対する評価

フランジプレートは，ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし，アンカーボルトの引張力T_Aが作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 236 \ N/mm^2$$

$$L_f = 146 \ mm$$

$$M = T_A \cdot \frac{L_f}{8} = 585 \times 1000 \times \frac{146}{8} = 10680000 \ N \cdot mm$$

$$Z = \frac{(B - d_f) \cdot t_f^2}{6} = \frac{(393.6 - 90) \times 45^2}{6} = 102000 \ mm^3$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

f_b ：許容曲げ応力度（N/mm^2）

F ：フランジプレートの基準強度（N/mm^2）

L_f ：リブ間距離（mm）

M ：曲げモーメント（N･mm）

T_A ：アンカーボルト1本あたりの引張力（kN/本）

Z ：断面係数（mm^3）

B ：フランジプレート幅（mm）

d_f ：ボルト孔径（mm）

t_f ：フランジプレートの板厚（mm）

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{10680000}{102000} = 105 \ N/mm^2 \leqq 236 \ N/mm^2 \quad 可$$

b. フランジプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは，フランジプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_1 = T_A \cdot \frac{e_1}{h \cdot L_f} = 585 \times 1000 \times \frac{158}{455 \times 146} = 1391 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rf} = D_f \cdot \frac{w_1}{2 \cdot (B - d_f) \cdot t_f}$$

ここで，

w_1 ：偏心距離e_1によって発生する水平力（N/mm）

e_1 ：偏心距離（mm）

h ：フランジプレートからベースプレート間の板厚中心間距離（mm）

σ_{rf} ：水平力w_1による円周方向応力度（N/mm^2）

D_f ：フランジプレート中心径（mm）

以上より，

$$\sigma_{rf} = 1206.4 \times \frac{1391}{2 \times (393.6 - 90) \times 45}$$

$$= 62 \text{ N/mm}^2 \leqq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. フランジプレートの合成応力度に対する評価

ここでは，曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

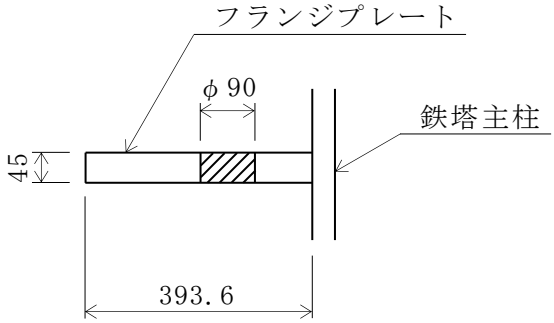
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rf}$$

ここで，

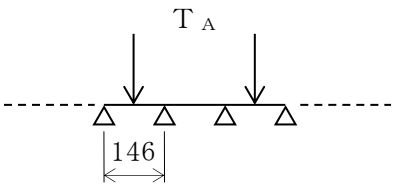
σ ：合成応力度（N/mm^2）

以上より，

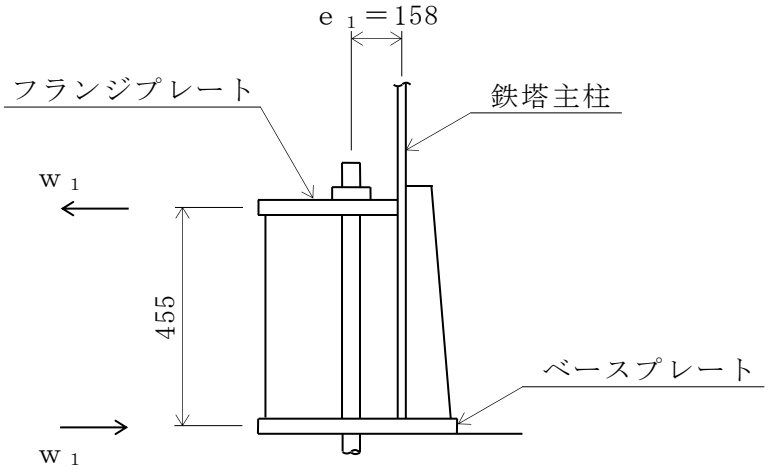
$$\sigma = 105 + 62 = 167 \text{ N/mm}^2 \leqq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



フランジプレートの寸法



荷重及び支持条件



荷重図

図 5－3　フランジプレートの概要図（単位：mm）

(3) ベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図を図5－4に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する圧縮力及び曲げモーメントによる圧縮応力度に対して，ベースプレート下面のコンクリートの評価を行う。

$$f_c = 14.6\ N/mm^2$$

$$P_c = \left(\frac{N_c}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_2$$

$$= \left(\frac{7904.6}{40050} + \frac{0.0}{7820000} \right) \times 1669 = 329\ kN$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_b}$$

ここで，

f_c ：許容圧縮応力度（N/mm^2）

P_c ：リブプレート間に作用する圧縮力（kN）

N_c ：鉄塔脚部の圧縮力（kN）

A ：鉄塔の断面積（mm^2）

M ：鉄塔脚部の曲げモーメント（kN･m）

Z ：鉄塔の断面係数（mm^3）

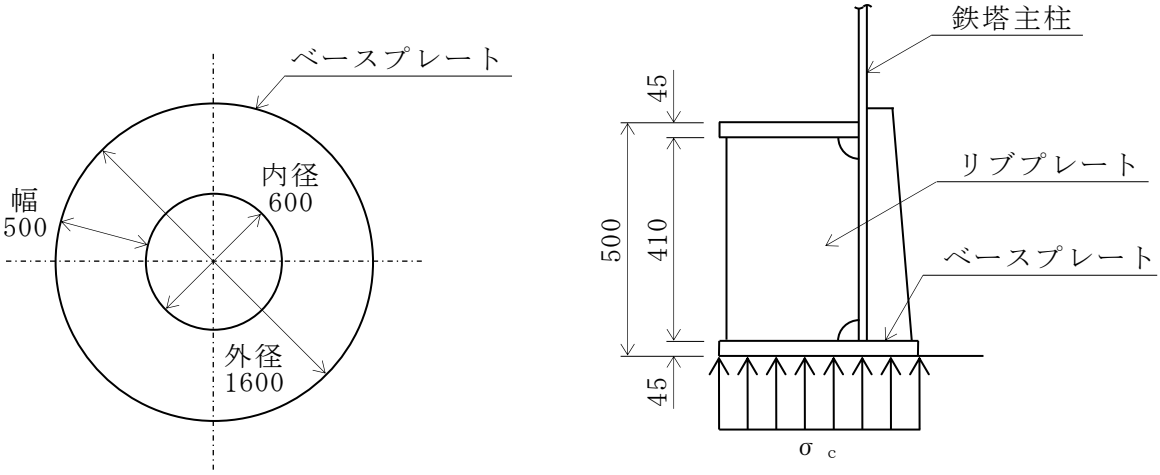
A_2 ：鉄塔のリブプレート間の断面積（mm^2）

σ_c ：コンクリートの圧縮応力度（N/mm^2）

A_b ：リブプレート間のベースプレートの接地面積（mm^2）

以上より，

$$\sigma_c = \frac{329 \times 1000}{71995} = 4.6\ N/mm^2 \leqq 14.6\ N/mm^2 \quad 可$$



ベースプレートの寸法　　コンクリートの圧縮力分布

図５－４　ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図（単位：mm）

b. ベースプレートの曲げ応力度に対する評価

ベースプレートの概要図を図5－5に示す。

ベースプレートは，ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし，リブプレート間に作用する圧縮応力度σ_{rc}が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 236 \ N/mm^2$$

$$L_b = 146 \ mm$$

$$M = \sigma_{rc} \cdot \frac{L_b^2}{12} = 4.6 \times \frac{146^2}{12} = 8171 \ N \cdot mm/mm$$

$$Z = \frac{t_b^2}{6} = \frac{45^2}{6} = 338 \ mm^3/mm$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

f_b ：許容曲げ応力度（N/mm^2）

F ：ベースプレートの基準強度（N/mm^2）

L_b ：リブ間距離（mm）

M ：曲げモーメント（$N \cdot mm/mm$）

σ_{rc} ：リブプレート間に作用する圧縮応力度（N/mm^2）

Z ：断面係数（mm^3/mm）

t_b ：ベースプレートの板厚（mm）

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

以上より

$$\sigma_b = \frac{8171}{338} = 25 \ N/mm^2 \leqq 236 \ N/mm^2 \quad 可$$

c. ベースプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは，ベースプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_2 = P_c \cdot \frac{e_2}{h \cdot L_b} = 329 \times 1000 \times \frac{151.6}{455 \times 146} = 751 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rb} = D_b \cdot \frac{w_2}{2 \cdot B \cdot t_b}$$

ここで，

P_c ：リブプレート間に作用する圧縮力（kN）

w_2 ：偏心距離e_2によって発生する水平力（N/mm）

e_2 ：偏心距離（mm）

h ：ベースプレート板厚中心間距離（mm）

σ_{rb} ：水平力w_2による円周方向応力度（N/mm^2）

D_b ：ベースプレート中心径（mm）

B ：ベースプレート幅（mm）

以上より，

$$\sigma_{rb} = 1100 \times \frac{751}{2 \times 500 \times 45} = 19 \text{ N/mm}^2 \leqq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

d. ベースプレートの合成応力度に対する評価

ここでは，曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

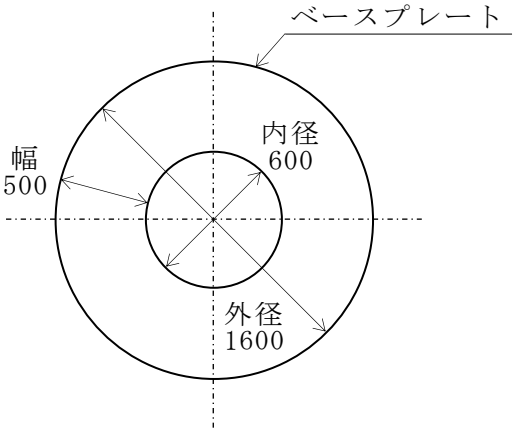
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rb}$$

ここで，

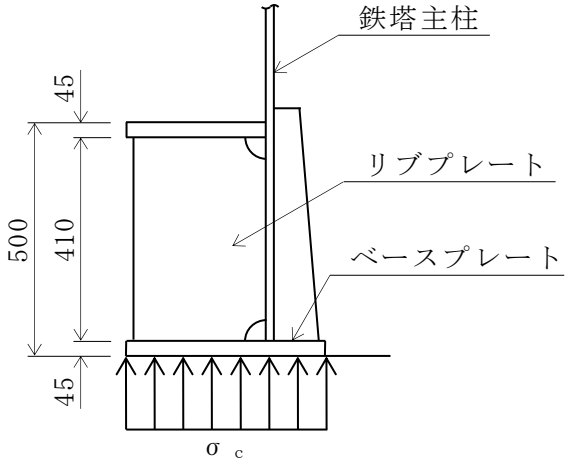
σ ：合成応力度（N/mm^2）

以上より，

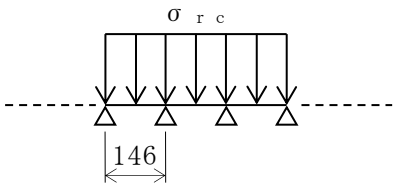
$$\sigma = 25 + 19 = 44 \text{ N/mm}^2 \leqq 236 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



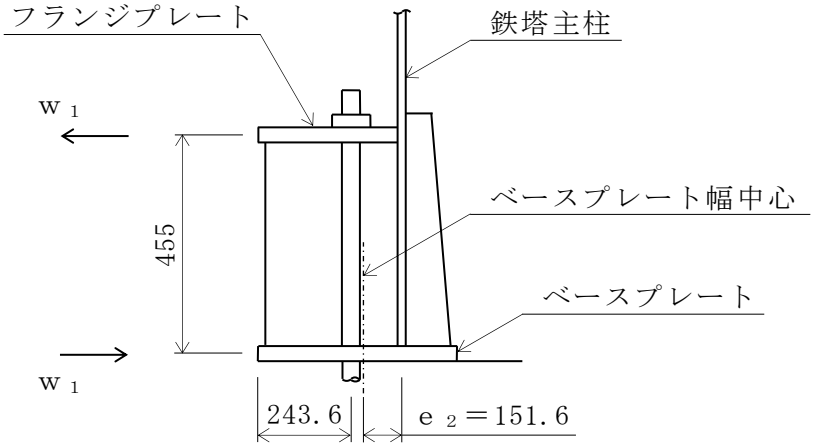
ベースプレートの寸法



コンクリートの圧縮力分布



荷重及び支持条件



荷重図

図 5－5　ベースプレートの概要図（単位：mm）

(4) リブプレートの評価

a. リブプレートの圧縮応力度に対する評価

リブプレートの概要図を図5－6に示す。

ここでは，鉄塔脚部に作用する圧縮力に対して，リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては，リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。

$$F = 258\ N/mm^2$$

$$K_r = 0.42+\left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42+\left(\frac{378.6}{410}\right)^2 = 1.273$$

$$\sigma_{rk} = \frac{K_r}{\mu_r}\cdot\pi^2\cdot\frac{E}{12\cdot(1-\nu^2)}\cdot\left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2$$

$$= \frac{1.273}{1.5}\times\pi^2\times\frac{205000}{12\times(1-0.3^2)}\times\left(\frac{22}{378.6}\right)^2 = 530\ N/mm^2$$

よって，

$$\sigma_{rk} = 258\ N/mm^2$$

$$\sigma_r = \frac{P_c}{b_r\cdot t_r}$$

ここで，

F ：リブプレートの基準強度（F値は1.1倍とする）（N/mm^2）

K_r ：係数

b_r ：リブプレートの幅（mm）

h_r ：リブプレートの高さ（mm）

σ_{rk} ：許容座屈応力度（N/mm^2）（Fとσ_{rk}の小さい方の値をとる）

μ_r ：座屈安全率（＝1.5）

E ：ヤング係数（N/mm^2）（＝205000 N/mm^2）

ν ：ポアソン比

t_r ：リブプレートの板厚（mm）

σ_r ：座屈応力度（N/mm^2）

P_c ：リブプレート間に作用する圧縮力（kN）

以上より，

$$\sigma_r = \frac{329\times1000}{378.6\times22} = 40\ N/mm^2 \leqq 258\ N/mm^2 \quad 可$$

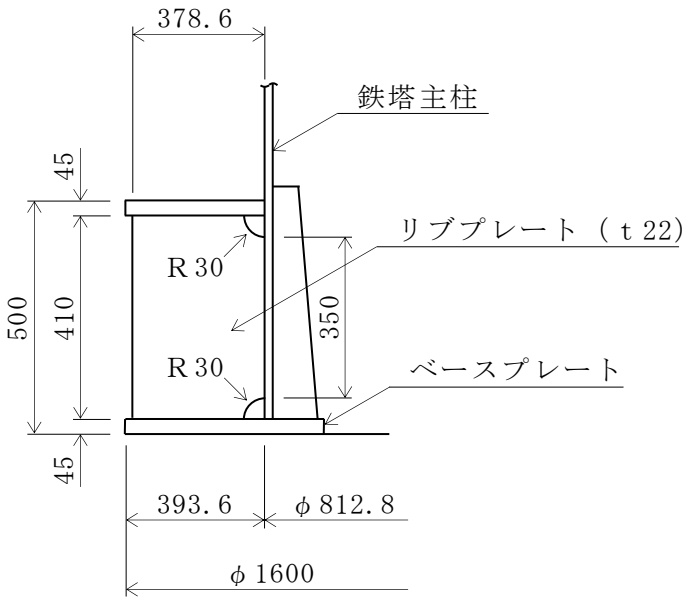


図 5－6　リブプレートの概要図（単位：mm）

5.3　筒身脚部の評価結果

(1)　アンカーボルトの評価

a.　アンカーボルトのせん断応力度に対する評価

アンカーボルトの概要図を図 5－7 に示す。

ここでは，筒身脚部に作用する水平力に対して，アンカーボルトのせん断応力度の評価を行う。評価においては，筒身脚部に作用する水平力をすべてのアンカーボルトで均等に負担するものとする。

$$f_s = \frac{1.1 \cdot F}{\sqrt{3}} = \frac{258}{\sqrt{3}} = 148 \ N/mm^2$$

$$Q_A = \frac{Q}{n} = \frac{340.8}{12} = 28 \ kN/本$$

$$\tau = \frac{Q_A}{A_a}$$

ここで，

f_s　：許容せん断応力度（N/mm^2）

F　：アンカーボルトの基準強度（N/mm^2）

Q_A　：アンカーボルト 1 本あたりのせん断力（kN/本）

Q　：筒身脚部のせん断力（kN）

n　：アンカーボルトの本数（本）

τ　：せん断応力度（N/mm^2）

A_a　：アンカーボルトの有効断面積（mm^2）

以上より，

$$\tau = \frac{28 \times 1000}{817} = 35 \ N/mm^2 \leqq 148 \ N/mm^2 \quad 可$$

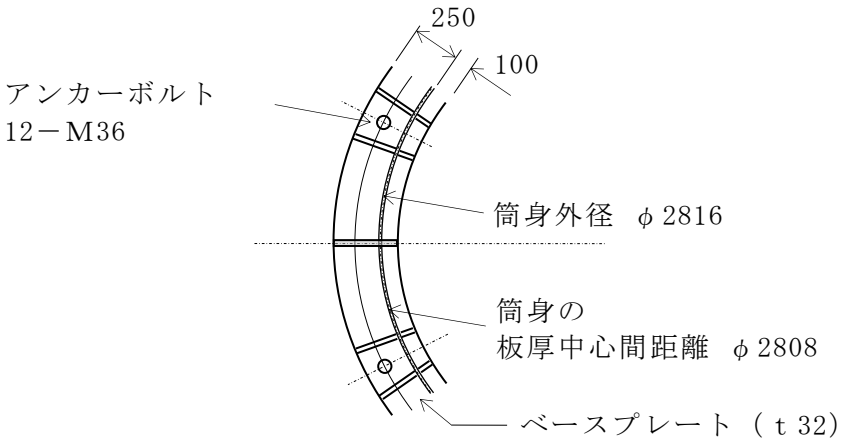


図 5－7　アンカーボルトの概要図（単位：mm）

b. アンカーボルトの引張とせん断を同時に受ける場合に対する評価

ここでは，引張とせん断を同時に受ける場合のアンカーボルトの評価を行う。

$$f_{t0} = 1.1 \cdot F = 258 \ N/mm^2$$

$$f_{ts} = 1.4 \cdot f_{t0} - 1.6 \cdot \tau = 1.4 \times 258 - 1.6 \times 35 = 305 \ N/mm^2$$

$f_{ts} > f_{t0}$より，

$$f_{ts} = 258 \ N/mm^2$$

ここで，

f_{t0} ：せん断力が作用しないときの許容引張応力度（N/mm^2）

f_{ts} ：せん断力が同時に作用するときの許容引張応力度（N/mm^2）

アンカーボルトの引張力T_Aの算定にあたって，鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，1988 年改定，1991 年一部改定）を参考に，筒身内壁から外側のベースプレート下面を円筒断面の鉄筋コンクリート柱とみなし，中立軸が断面内にある状態（主筋に相当するアンカーボルトの一部が引張りとなる状態）を考慮する。この時，引張側のアンカーボルトに作用する最大引張力をT_Aとする。

$$T_A = 28 \ kN$$

$$\sigma_t = \frac{T_A}{A_a}$$

ここで，

T_A ：アンカーボルトの最大引張力（kN）

σ_t ：引張応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_t = \frac{28 \times 1000}{817} = 35 \ N/mm^2 \leqq 258 \ N/mm^2 \quad 可$$

c. アンカーボルト埋込長さに対する評価

アンカーボルトの概要図を図5－8に示す。

ここでは，アンカーボルト埋込長さの評価を行う。

$$f_a = 1.35\ N/mm^2$$

$$\sigma_a = \frac{T_A}{\pi \cdot d \cdot L}$$

ここで，

f_a ：許容付着応力度（丸鋼）（N/mm^2）

σ_a ：付着応力度（N/mm^2）

d ：アンカーボルト径（mm）

L ：アンカーボルト埋込長さ（mm）

以上より，

$$\sigma_a = \frac{28 \times 1000}{\pi \times 36 \times 1200} = 0.21\ N/mm^2 \leqq 1.35\ N/mm^2 \quad 可$$

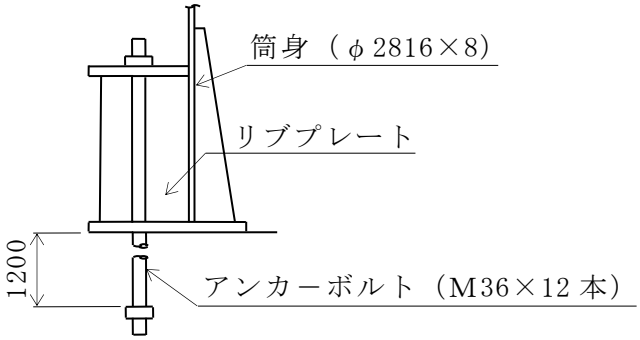


図5－8　アンカーボルトの概要図（単位：mm）

(2) フランジプレートの評価

フランジプレートの概要図を図5－9に示す。

a. フランジプレートの曲げ応力度に対する評価

フランジプレートは，ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし，アンカーボルトの引張力T_Aが作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \ N/mm^2$$

$$L_f = 160 \ mm$$

$$M = T_A \cdot \frac{L_f}{8} = 28 \times 1000 \times \frac{160}{8} = 560000 \ N \cdot mm$$

$$Z = \frac{(B - d_f) \cdot t_f^2}{6} = \frac{(242 - 46) \times 32^2}{6} = 33500 \ mm^3$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

f_b ：許容曲げ応力度（N/mm^2）

F ：フランジプレートの基準強度（N/mm^2）

L_f ：リブ間距離（mm）

M ：曲げモーメント（N･mm）

T_A ：アンカーボルト1本あたりの引張力（kN/本）

Z ：断面係数（mm^3）

B ：フランジプレート幅（mm）

d_f ：ボルト孔径（mm）

t_f ：フランジプレートの板厚（mm）

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{560000}{33500} = 17 \ N/mm^2 \leqq 258 \ N/mm^2 \quad 可$$

b. フランジプレートの円周方向応力の検定

ここでは，フランジプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_1 = T_A \cdot \frac{e_1}{h \cdot L_f} = 28 \times 1000 \times \frac{121}{268 \times 160} = 79 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rf} = D_f \cdot \frac{w_1}{2 \cdot (B - d_f) \cdot t_f}$$

ここで，

w_1 ：偏心距離e_1によって発生する水平力（N/mm）

e_1 ：偏心距離（mm）

h ：フランジプレートからベースプレート間の板厚中心間距離（mm）

σ_{rf} ：水平力w_1による円周方向応力度（N/mm^2）

D_f ：フランジプレート中心径（mm）

以上より，

$$\sigma_{rf} = 3058 \times \frac{79}{2 \times (242 - 46) \times 32}$$

$$= 20 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$

c. フランジプレートの合成応力度に対する評価

ここでは，曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

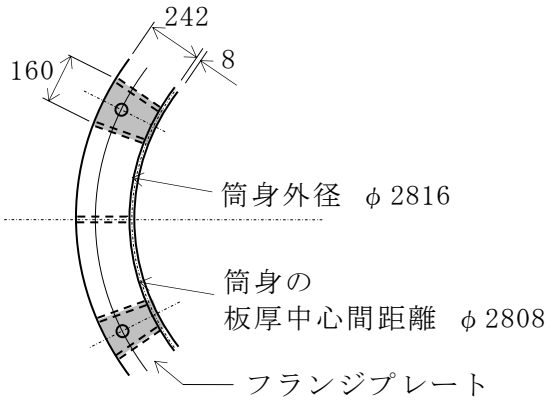
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rf}$$

ここで，

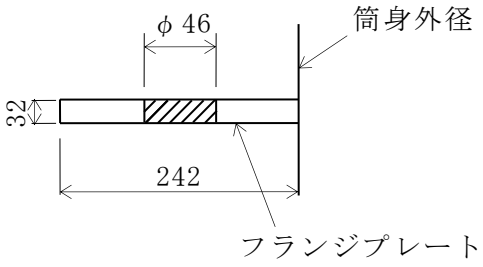
σ ：合成応力度（N/mm^2）

以上より，

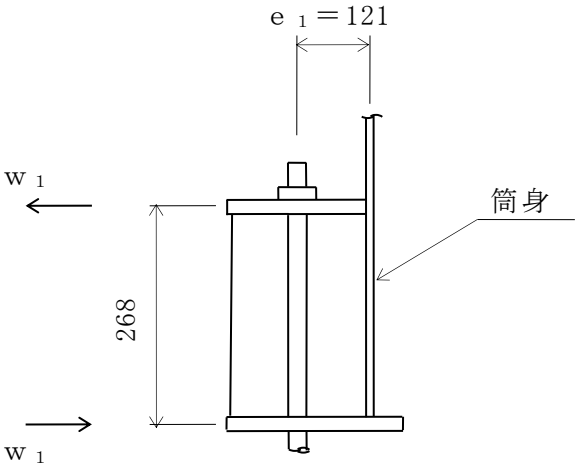
$$\sigma = 17 + 20 = 37 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2 \quad \text{可}$$



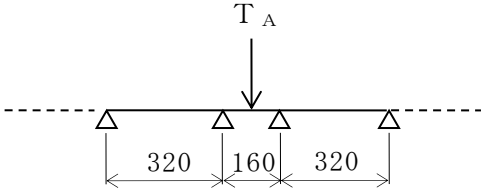
フランジプレートの評価部位



フランジプレートの寸法



荷重図



荷重及び支持条件

図 5－9　フランジプレートの概要図（単位：mm）

(3) ベースプレートの評価

a. コンクリートの圧縮応力度に対する評価

ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図を図5－10に示す。

ここでは，筒身脚部に作用する圧縮力及び曲げモーメントによる圧縮応力度に対して，ベースプレート下面のコンクリートの評価を行う。

$$f_c = 14.6\ N/mm^2$$

$$P_c = \left(\frac{N_c}{A} + \frac{M}{Z} \right) \cdot A_2$$

$$= \left(\frac{1584.1}{70570} + \frac{2170.2 \times 1000}{49400000} \right) \times 2437 = 162\ kN$$

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A_b}$$

ここで，

f_c ：許容圧縮応力度（N/mm^2）

P_c ：リブプレート間に作用する圧縮力（kN）

N_c ：筒身脚部の圧縮力（kN）

A ：筒身の断面積（mm^2）

M ：筒身脚部の曲げモーメント（kN･m）

Z ：筒身の断面係数（mm^3）

A_2 ：筒身のリブプレート間の断面積（mm^2）

σ_c ：コンクリートの圧縮応力度（N/mm^2）

A_b ：リブプレート間のベースプレートの接地面積（mm^2）

以上より，

$$\sigma_c = \frac{162 \times 1000}{112000} = 1.5\ N/mm^2 \leqq 14.6\ N/mm^2 \quad 可$$

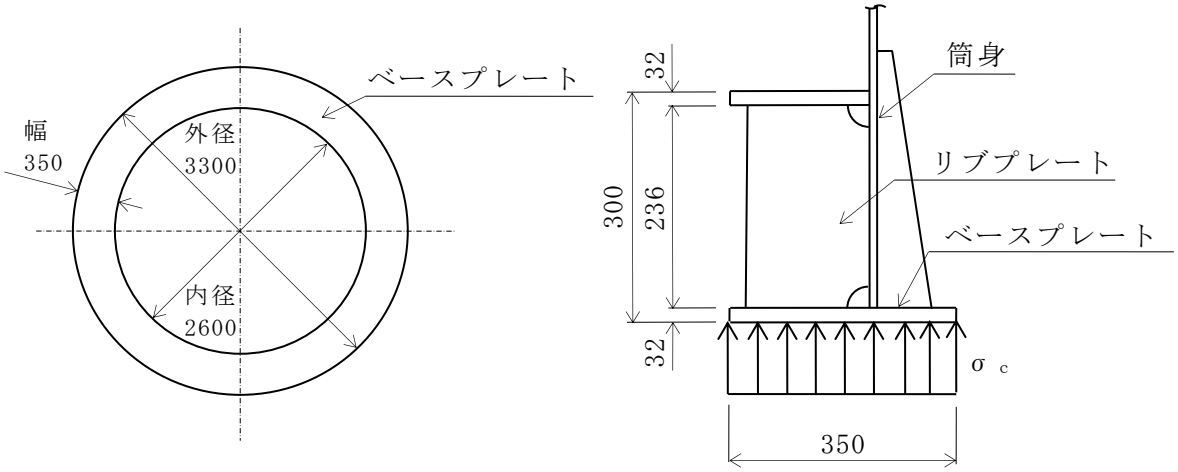


図 5－10　ベースプレートの概要図及びコンクリートの圧縮力分布図（単位：mm）

b. ベースプレートの曲げ応力度に対する評価

ベースプレートの概要図を図 5－11 に示す。

ベースプレートは，ベース上面リブプレート位置を支持点とする周方向連続梁とみなし，リブプレート間に作用する圧縮応力度 σ_{rc} が作用する状態の評価を行う。

$$f_b = 1.1 \cdot F = 258 \ N/mm^2$$

$$L_b = 320 \ mm$$

$$M = \sigma_{rc} \cdot \frac{L_b^2}{12} = 1.5 \times \frac{320^2}{12} = 12800 \ N \cdot mm/mm$$

$$Z = \frac{t_b^2}{6} = \frac{32^2}{6} = 171 \ mm^3/mm$$

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで，

f_b ：許容曲げ応力度（N/mm^2）

F ：ベースプレートの基準強度（N/mm^2）

L_b ：リブ間距離（mm）

M ：曲げモーメント（$N \cdot mm/mm$）

σ_{rc} ：リブプレート間に作用する圧縮応力度（N/mm^2）

Z ：断面係数（mm^3/mm）

t_b ：ベースプレートの板厚（mm）

σ_b ：曲げ応力度（N/mm^2）

以上より，

$$\sigma_b = \frac{12800}{171} = 75 \ N/mm^2 \leqq 258 \ N/mm^2 \quad 可$$

c. ベースプレートの円周方向応力度に対する評価

ここでは，ベースプレートの円周方向応力の評価を行う。

$$w_2 = P_c \cdot \frac{e_2}{h \cdot L_b} = 162 \times 1000 \times \frac{71}{268 \times 320} = 134 \text{ N/mm}$$

$$\sigma_{rb} = D_b \cdot \frac{w_2}{2 \cdot B \cdot t_b}$$

ここで，

w_2 ：偏心距離e_2によって発生する水平力（N/mm）

e_2 ：偏心距離（mm）

h ：ベースプレート板厚中心間距離（mm）

σ_{rb} ：水平力w_2による円周方向応力度（N/mm^2）

D_b ：ベースプレート中心径（mm）

B ：ベースプレート幅（mm）

以上より，

$$\sigma_{rb} = 2950 \times \frac{134}{2 \times 350 \times 32} = 18 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2$$ 可

d. ベースプレートの合成応力度に対する評価

ここでは，曲げ応力度及び円周方向応力度の合成応力度の評価を行う。

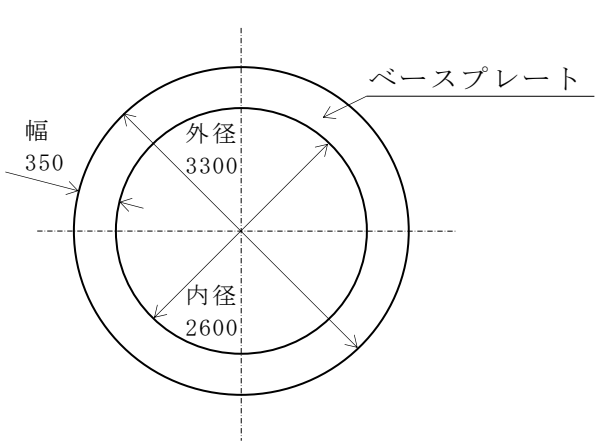
$$\sigma = \sigma_b + \sigma_{rb}$$

ここで，

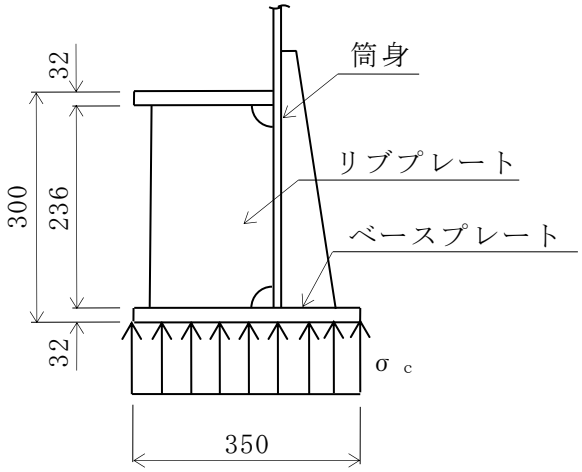
σ ：合成応力度（N/mm^2）

以上より，

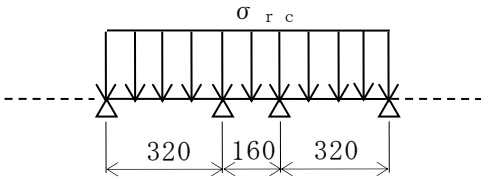
$$\sigma = 75 + 18 = 93 \text{ N/mm}^2 \leqq 258 \text{ N/mm}^2$$ 可



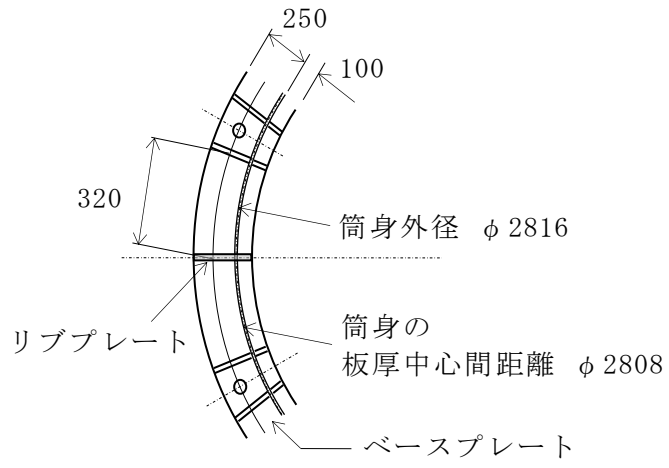
ベースプレートの寸法



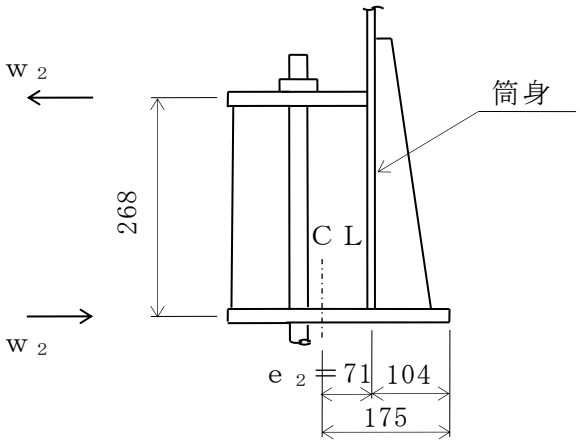
ベースプレートの断面



荷重及び荷重条件



評価部位



荷重図

図５－１１　ベースプレートの概要図（単位：mm）

(4) リブプレートの評価

a. リブプレートの圧縮応力度に対する評価

リブプレートの概要図を図 5－12 に示す。

ここでは，筒身脚部に作用する圧縮力に対して，リブプレートの圧縮応力度の評価を行う。評価においては，リブプレートを三辺単純支持一辺自由端とみなす。

$$F = 258\ N/mm^2$$

$$K_r = 0.42+\left(\frac{b_r}{h_r}\right)^2 = 0.42+\left(\frac{227}{236}\right)^2 = 1.345$$

$$\sigma_{rk} = \frac{K_r}{\mu_r}\cdot\pi^2\cdot\frac{E}{12\cdot(1-\nu^2)}\cdot\left(\frac{t_r}{b_r}\right)^2$$

$$= \frac{1.345}{1.5}\times\pi^2\times\frac{205000}{12\times(1-0.3^2)}\times\left(\frac{19}{227}\right)^2 = 1164\ N/mm^2$$

よって，

$$\sigma_{rk} = 258\ N/mm^2$$

$$\sigma_r = \frac{P_c}{b_r\cdot t_r}$$

ここで，

F ：リブプレートの基準強度（F 値は 1.1 倍とする）（N/mm^2）

K_r ：係数

b_r ：リブプレートの幅（mm）

h_r ：リブプレートの高さ（mm）

σ_{rk} ：許容座屈応力度（N/mm^2）（F と σ_{rk} の小さい方の値をとる）

μ_r ：座屈安全率（＝1.5）

E ：ヤング係数（N/mm^2）（＝205000 N/mm^2）

ν ：ポアソン比

t_r ：リブプレートの板厚（mm）

σ_r ：座屈応力度（N/mm^2）

P_c ：リブプレート間に作用する圧縮力（kN）

以上より，

$$\sigma_r = \frac{162\times1000}{227\times19} = 38\ N/mm^2 \leqq 258\ N/mm^2 \quad 可$$

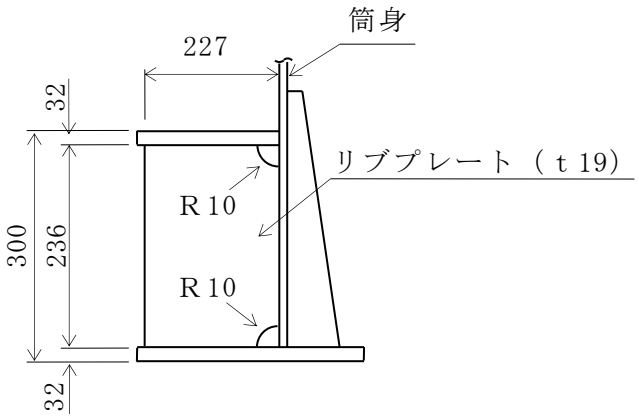


図 5－12　リブプレートの概要図（単位：mm）

Ⅵ-3-別添３　津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書

Ⅵ-3-別添 3-2　津波への配慮が必要な施設の強度計算書

Ⅵ-3-別添 3-2-9　貫通部止水処置の強度計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 7
2.5　記号の説明 ····· 8
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 10
3.　評価部位 ····· 11
4.　構造強度評価 ····· 12
4.1　構造強度評価方法 ····· 12
4.2　荷重及び荷重の組合せ ····· 12
4.3　許容限界 ····· 14
4.4　設計用地震力 ····· 18
4.5　計算方法 ····· 19
4.6　計算条件 ····· 21
5.　評価結果 ····· 25

1. 概要

本計算書は，Ⅵ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防護施設のうち貫通部止水処置が，地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重，津波の流入及び内部溢水の浸水によって生じる静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重に対して，主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

貫通部止水処置は，Ⅵ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画に示すとおり，各建物及び区画の貫通口と貫通物とのすき間又は貫通部の周囲に施工する。

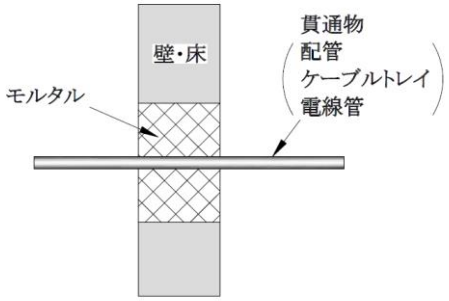
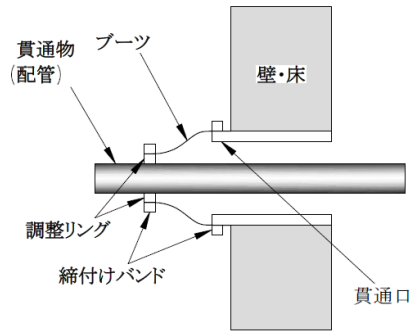
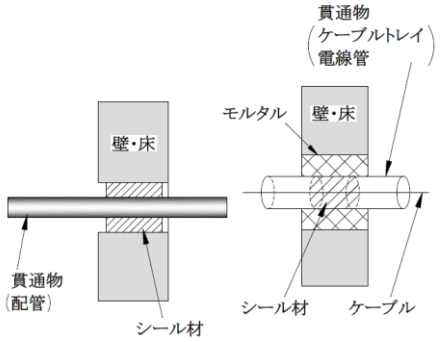
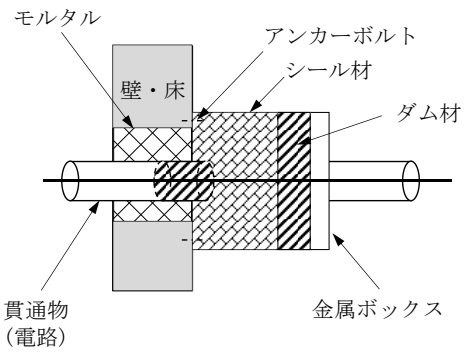
2.2 構造計画

貫通部止水処置の構造は，Ⅵ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」の構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。

貫通部止水処置は，貫通部の位置条件及び貫通部の強度条件に応じて，シール材，モルタル又はブーツを使用し，各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁又は床面の貫通口と貫通物のすき間に施工し，壁又は床面と貫通物を融合する構造とする。なお，電路貫通部の止水においては，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁又は床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填する場合がある。ブーツは，伸縮性ゴムを用い，壁面又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。

貫通部止水処置の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　貫通部止水処置の構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって融合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	高温配管の熱膨張変位及び地震時の変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		電路貫通部については，シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁又は床に固定し，金属ボックスにシール材を充填する。シール材は，施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	

2.3　評価方針

貫通部止水処置の強度評価は，VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，貫通部止水処置の評価部位に作用する荷重等が許容限界以下であることを確認する。

貫通部止水処置のシール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価フローをそれぞれ，図 2－1，図 2－2 並びに図 2－3 に示す。

貫通部止水処置の強度評価においては，その構造を踏まえ，地震による動水圧荷重及び余震荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重，津波の流入及び内部溢水の浸水によって生じる静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。重畳時においては，VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す弾性設計用地震動Ｓｄを入力して得られた床応答スペクトル又は最大床応答加速度から算出した値を設計震度として用いる。なお，強度評価に当たっては，弾性設計用地震動Ｓｄによる余震荷重を考慮した評価を実施する。

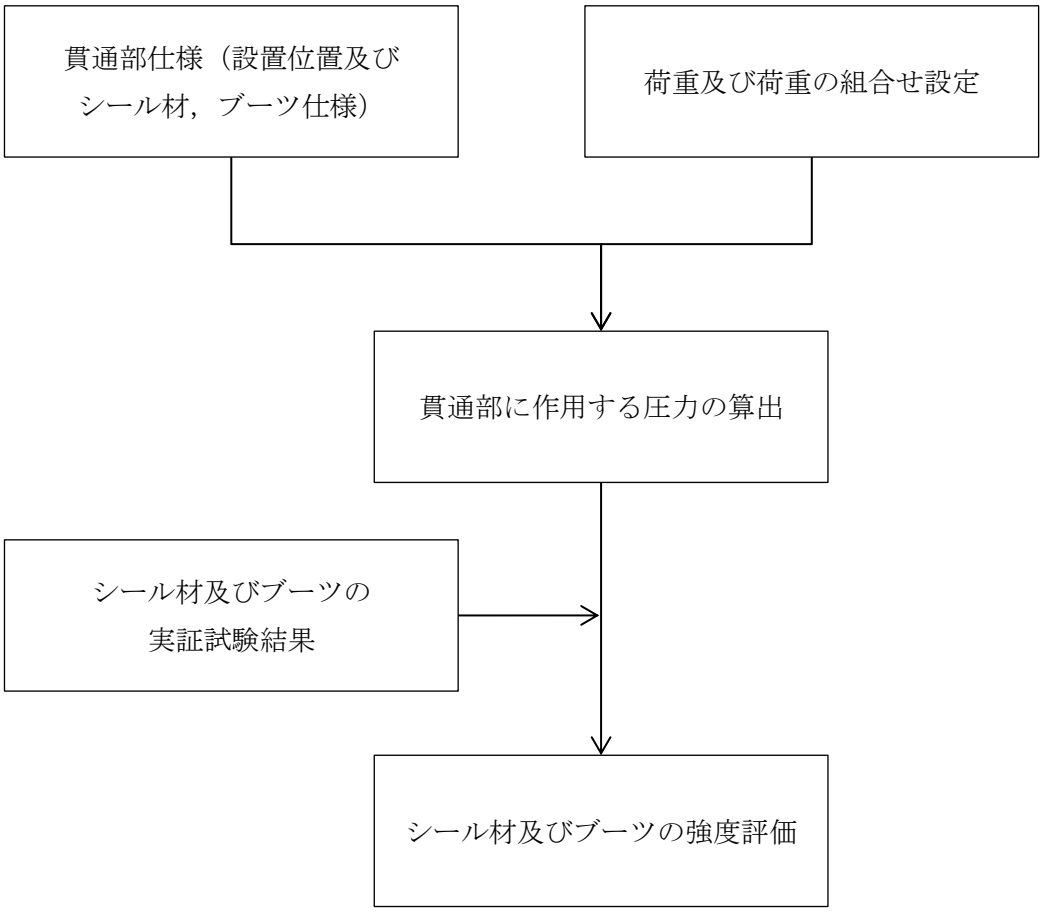


図 2－1　シール材及びブーツの強度評価フロー

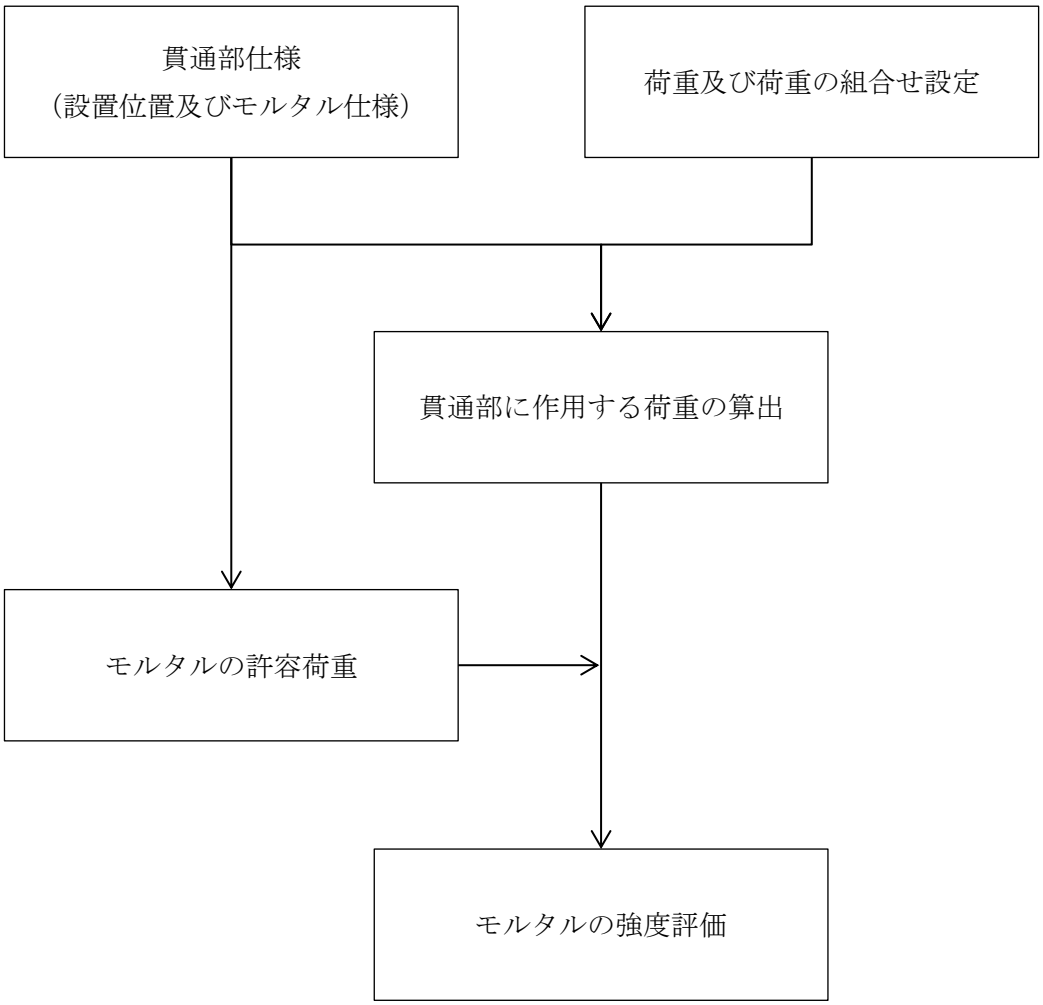


図 2－2　モルタルの強度評価フロー

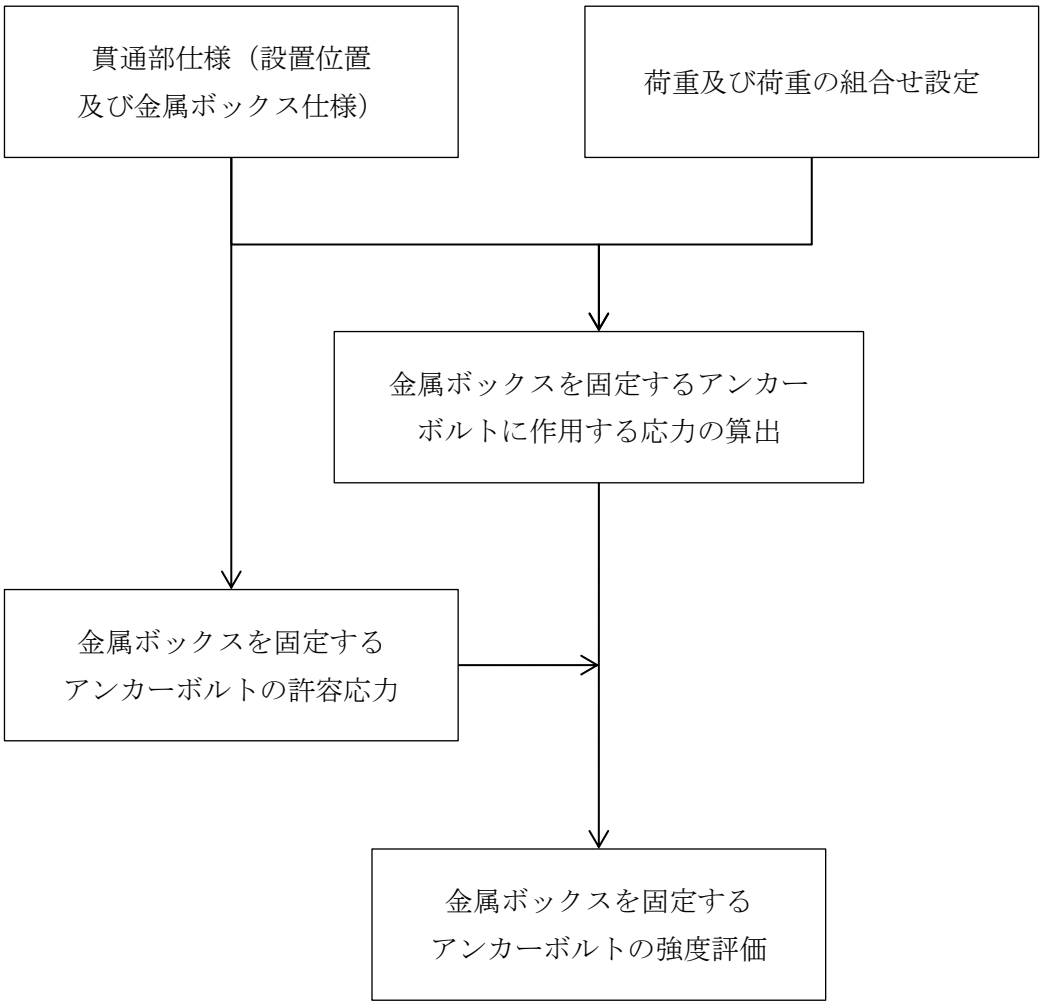


図 2－3　電路貫通部金属ボックスの強度評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

・コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（（社）土木学会，2002 年）（以下「コンクリート標準示方書」という。）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（（社）日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

・原子力発電所耐震設計技術指針　重要度分類・許容応力編　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（（社）日本電気協会）

・機械工学便覧　基礎編α2　機械力学（（社）日本機械学会，2004 改訂）（以下「機械工学便覧」という。）

2.5　記号の説明

シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価に用いる記号を表2－2，表2－3並びに表2－4に示す。

表2－2　シール材及びブーツの強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
C_{HW}	動水圧算出用の水平方向震度	—
g	重力加速度	m/s^2
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
h	貫通部位置における浸水深さ	m
P_d	動水圧	MPa
P_h	静水圧	MPa
P_{total}	合計圧力	MPa
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3

表2－3　モルタルの強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
A’	モルタルが水圧を受ける面積	mm^2
C_I	余震による貫通物の軸方向設計震度	—
C_{HW}	動水圧算出用の水平方向震度	—
d	貫通物の直径	mm
f_s	モルタルの許容付着荷重	N
f'_{bok}	モルタルの付着強度	MPa
f'_{ck}	モルタルの圧縮強度	MPa
F_P	静水圧及び動水圧により生じる付着荷重	N
F_S	貫通物の反力によりモルタルに生じる付着荷重	N
F_{Stotal}	モルタル部に生じる合計付着荷重	N
g	重力加速度	m/s^2
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
h	貫通部位置における浸水深さ	m
L	貫通物の支持間隔	mm
L_w	モルタルの充填深さ	mm
P_d	動水圧	MPa
P_h	静水圧	MPa
w	貫通物の単位長さ当たりの質量	kg/m
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
γ_c	材料定数	—

表 2－4　電路貫通部金属ボックスの強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
A_b	アンカーボルトの軸断面積	mm^2
C_H	余震による水平方向設計震度	—
C_{HW}	動水圧算出用の余震による水平方向震度	—
C_V	余震による鉛直方向設計震度	—
F	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F_b	アンカーボルトに作用する引張力	N
F_{b1}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し左右方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張力	N
F_{b2}	鉛直方向地震及び金属ボックス取付面に対し前後方向の水平方向地震によりアンカーボルトに作用する引張力	N
f_s	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度	m/s^2
H	貫通部敷設エリアの床面からの浸水深さ	m
h	貫通部位置における浸水深さ	m
h_1	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
h_2	金属ボックス上面における浸水深さ	mm
L_1	金属ボックスの幅	mm
L_2	金属ボックスの高さ	mm
L_3	金属ボックスの奥行	mm
ℓ_1	重心と下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
ℓ_2	上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離	mm
ℓ_3	左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離	mm
m	金属ボックスの質量（充填されているシール材質量を含む）	kg
n	アンカーボルトの本数	—
n_{fH}	評価上引張力を受けることを期待するアンカーボルトの本数（正面方向）	—
n_{fV}	評価上引張力を受けることを期待するアンカーボルトの本数（側面方向）	—
P_d	動水圧	MPa
Q_b	アンカーボルトに作用するせん断力	N
Q_{b1}	水平方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N
Q_{b2}	鉛直方向地震によりアンカーボルトに作用するせん断力	N
β	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数	—
ρ	海水の密度	kg/m^3
σ	アンカーボルトに作用する引張応力	MPa
τ	アンカーボルトに作用するせん断応力	MPa
A_{S1}	金属ボックスの受圧面積（側面）	mm^2
A_{S2}	金属ボックスの受圧面積（上面）	mm^2

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－5に示すとおりである。

表2－5　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	桁処理	処理方法	表示桁
モルタル圧縮強度	MPa	―	―	小数点以下第1位
材料定数	―	―	―	小数点以下第1位
水深の比による補正係数	―	―	―	整数位
震度	―	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
質量	kg	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
単位長さ質量	kg/m	小数点以下第1位	四捨五入	整数位
密度	kg/m^3	―	―	整数位
長さ	mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
床面高さ	m	―	―	整数位*1
水深	m	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁
発生荷重	kN	有効数字4桁目	切上げ	有効数字3桁目
許容荷重	kN	有効数字4桁目	切捨て	有効数字3桁目
発生応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
発生圧力	MPa	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
許容圧力	MPa	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2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。また，設計上定める値が小数点以下第2位の場合は，小数点以下第2位表示とする。

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

3. 評価部位

貫通部止水処置の評価部位は，Ⅵ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価部位を踏まえて，「2.2　構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき，荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

地震後の繰返しの来襲を想定した経路からの津波の流入に伴う津波荷重，津波の流入及び内部溢水の浸水によって生じる静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重は，貫通部止水処置全体へ伝達される。このことから，シール材，ブーツ及びモルタルを用いた貫通部止水処置全体を評価部位として設定する。

シール材及びブーツについては，作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。モルタルについては，作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。さらに，電路貫通部金属ボックスについては，アンカーボルトで壁又は床面に固定する構造であることから，アンカーボルトを評価部位とする。アンカーボルトに作用する荷重が最も大きい貫通部を代表として評価する。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は，Ⅵ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は，「3. 評価部位」に示す評価部位に対し，「4.2 荷重及び荷重の組合せ」及び「4.3 許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，「4.5 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重及び荷重の組合せ

4.2.1 荷重の設定

(1) 固定荷重（D）

固定荷重として，貫通軸上の貫通物（配管等を示す。以下同じ。）及びその内容物の質量を考慮する。

(2) 静水圧による荷重（P_h）

静水圧による荷重として，津波による水位を用いた静水圧を考慮する。

(3) 動水圧による荷重（P_d）

動水圧による荷重として，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う動水圧を考慮する。

(4) 余震荷重（K_{sd}）

モルタル及び電路貫通部金属ボックスアンカーボルトについて，Ⅵ-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示すとおり，余震荷重として，弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力を考慮する。余震荷重の算出方法を以下に示す。

a. モルタル

貫通物からモルタルに作用する荷重として，支持構造物間の固定荷重及び地震力（余震荷重）を考慮する。モルタルの余震荷重作用図を図 4－1 に示す。

また，貫通物の軸方向（モルタルへの付着方向）については，十分な剛性を有しており，剛領域の振動モードとなることから，貫通物の設置場所又は上層における最大床応答加速度の 1.2 倍の加速度を用いて発生荷重を算出する。

b. 電路貫通部金属ボックス

電路貫通部金属ボックスは，アンカーボルトによって固定されていることから，アンカーボルトには固定荷重と余震荷重が作用し，金属ボックスが水平方向及び鉛直方向へ転倒する力が働く。電路貫通部金属ボックスの余震荷重作用図を図 4－2 に示す。

また，固有周期の計算結果（Ⅵ-2-10-2-15「貫通部止水処置の耐震性についての計算書」の「4. 固有周期」「4.3 固有周期の計算結果」を参照）から固有周期が 0.05 秒以下で剛構造であるため，金属ボックスの設置場所における最大床応答加速度を用いて算出する。

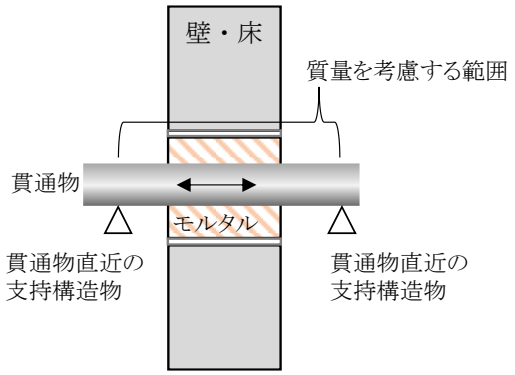


図 4－1　モルタルの余震荷重作用図

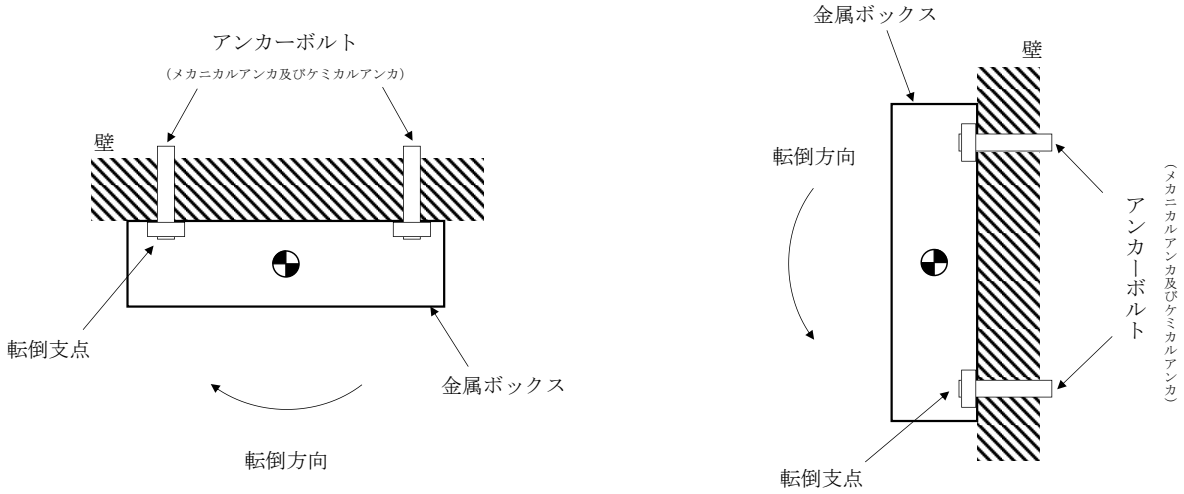


図 4－2　電路貫通部金属ボックスの余震荷重作用図

4.2.2　荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 4－1 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ

施設区分	機器名称	荷重の組合せ*
浸水防護施設 （浸水防止設備）	貫通部止水処置	D＋P_h＋P_d＋K_{sd}

注記＊：Dは固定荷重，P_hは静水圧による荷重，P_dは動水圧による荷重，K_{sd}は余震荷重を示す。

4.3　許容限界

(1)　シール材

シール材の許容限界値は，実機で使用している形状，寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。配管貫通部及び電路貫通部のシール材の水圧試験の概要をそれぞれ，図 4－3 及び図 4－4 に示す。実機施工時においては，試験検証済みの許容限界寸法以上となるように施工する。これにより試験で得られた許容限界値以上の耐圧性を有し，かつ，想定する浸水高さから求まる静水圧が，許容限界値以内であることを確認し耐圧性を確保する。

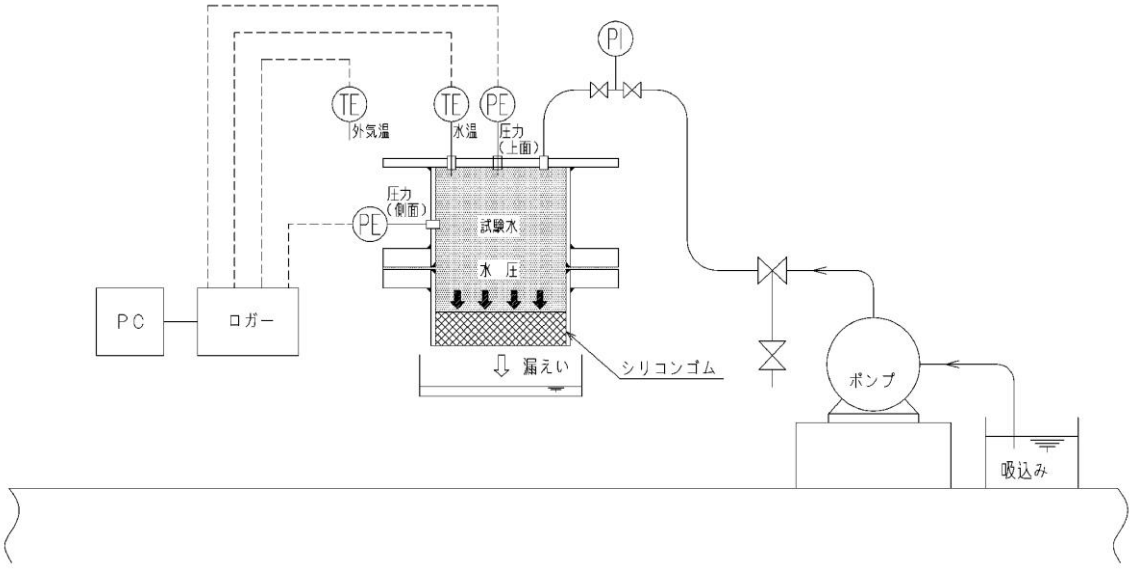


図 4－3　シール材の水圧試験の概要（配管貫通部）

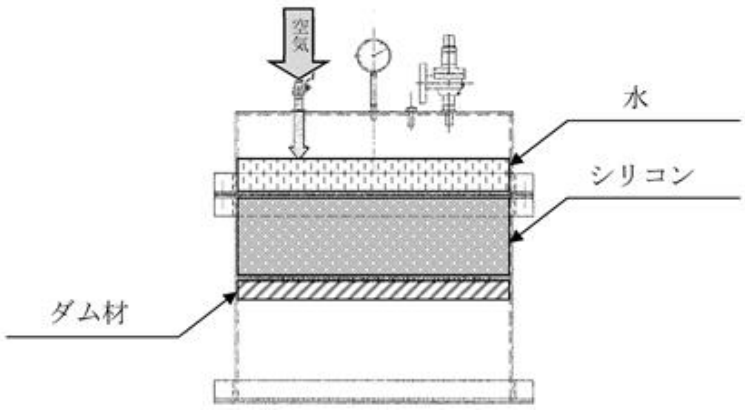


図 4－4　シール材の水圧試験の概要（電路貫通部）

(2)　ブーツ

ブーツの許容限界値は，実機で使用している形状，寸法の試験体にて静水圧を付加した水圧試験に基づく結果を用いる。また，実機の施工状況を考慮し，受圧面がブーツ内側又は外側のどちらの場合でも止水機能が確保できることを確認するため，内圧試験及び外圧試験の両ケースを実施する。ブーツの水圧試験の概要を図 4－5 に示す。

実機施工時においては，試験検証済みの寸法以下で施工する。

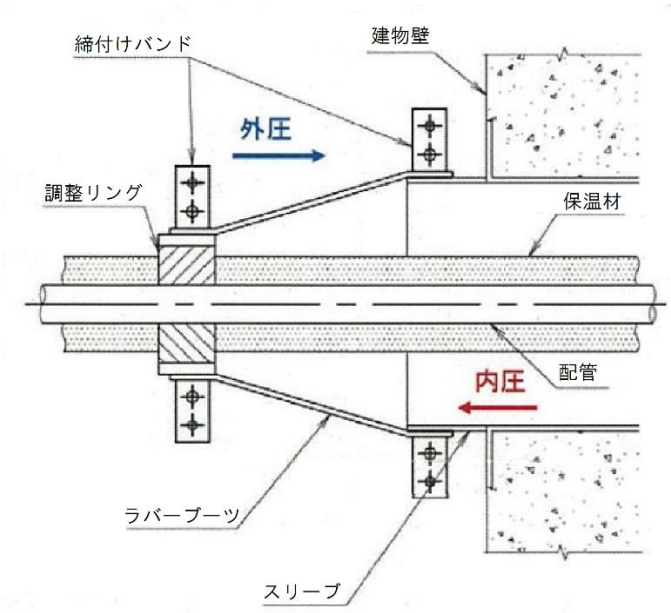


図 4－5　ブーツの水圧試験の概要

(3)　モルタル

各評価部位の許容値は，コンクリート標準示方書に規定される許容限界を用いる。

貫通部止水処置の許容限界，許容限界評価条件，許容限界算出結果をそれぞれ，表 4－2，表 4－3 及び表 4－4 に示す。また，モルタルの施工例を図 4－6 に示す。

表 4－2　貫通部止水処置の許容限界

状態	評価部位	許容限界*
		付着荷重
短期	モルタル	f_s

注記＊：モルタルの許容限界は，コンクリート標準示方書により，モルタルの許容付着荷重 f_s 及びモルタル付着強度 f'_{bok} を算出する。モルタル圧縮強度 f'_{ck} は設計値を用いる。

$$f_s = f'_{bok} \cdot \pi \cdot d \cdot L_w / \gamma_c$$

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'^{2/3}_{ck} \cdot 0.4$$

表 4－3　貫通部止水処置の許容限界評価条件

モルタル圧縮強度 f'_{ck} (MPa)	貫通物の直径 d (mm)	モルタル充填深さ L_w (mm)	材料定数 γ_c
□	□	□	□

表 4－4　貫通部止水処置の許容限界算出結果

状態	評価部位	許容限界
		付着荷重(kN)
短期	モルタル	8.21×10^{3}

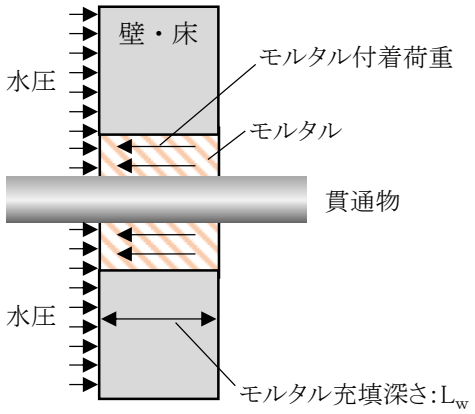


図 4－6　モルタルの施工例

(4)　電路貫通部金属ボックス

各評価部位の許容値は設計・建設規格に規定される許容値を用いる。アンカーボルトの許容限界，許容限界荷重評価条件，許容限界算出結果をそれぞれ，表 4－5，表 4－6 及び表 4－7 に示す。また，電路貫通部金属ボックスの施工例を図 4－7 に示す。

表 4－5　アンカーボルトの許容限界

許容応力状態	評価部位	許容限界	
		引張応力 f_{to}*	せん断応力 f_s
ⅢAS	アンカーボルト	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}}\cdot 1.5$

注記＊：せん断応力を同時に受ける場合の許容引張応力 f_{ts} は，以下のとおりとする。

$f_{ts}=\mathrm{Min}(1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau,\ f_{to})$

表 4－6　アンカーボルトの許容限界評価条件

評価部位	材料	設計・建設規格の定義値 F (MPa)
アンカーボルト	SS400 相当	215

表 4－7　電路貫通部金属ボックスの許容限界算出結果

許容引張応力 f_{to}(MPa)	許容せん断応力 f_s(MPa)
129	99

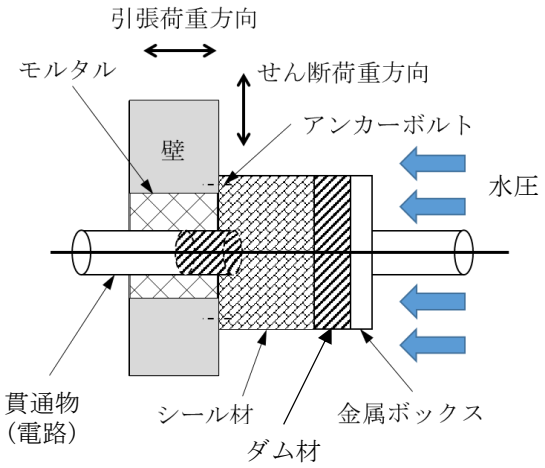


図 4－7　電路貫通部金属ボックスの施工例

4.4　設計用地震力

モルタル及び電路貫通部金属ボックスの評価に用いる設計用震度を表 4－8 に示す。弾性設計用地震動Ｓｄに伴う地震力については，Ⅵ-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に示す最大床応答加速度を考慮して設定する。

表 4－8　モルタル及び電路貫通部金属ボックスの評価に用いる設計用震度

地震動	設置場所及び床面高さ(m)	余震による設計震度*1		備考
弾性設計用地震動Ｓｄ	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5*2)	貫通物軸方向 C_I*3	0.67	モルタルの評価に使用
弾性設計用地震動Ｓｄ	タービン建物 EL 0.25 (EL 5.5*2)	水平方向 C_H*4	0.72	電路貫通部金属ボックス（アンカーボルト）の評価に使用
		鉛直方向 C_V*4	0.38	

注記＊1：設計震度は，設計用震度Ⅰに基づき設定する。

＊2：基準床レベルを示す。

＊3：貫通物の軸方向は十分な剛性を有しており，剛領域の振動モードとなることから，基準床の最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とする。

＊4：電路貫通部金属ボックスは固有周期が 0.05 秒以下であり，剛構造であるため，基準床の最大床応答加速度の 1.2 倍を設計震度とする。

4.5　計算方法

4.5.1　シール材及びブーツの強度評価（発生圧力計算）

津波による溢水の静水圧及び余震による動水圧を考慮する。

$P_h = \rho \cdot g \cdot h$

$P_d = \beta \cdot (7/8) \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$

$P_{total} = P_h + P_d$

4.5.2　モルタルの強度評価（荷重計算）

(1)　静水圧及び動水圧により生じる荷重

静水圧及び動水圧によりモルタルに生じる付着荷重は，次のとおり算出する。

$P_h = \rho \cdot g \cdot h$

$P_d = \beta \cdot (7/8) \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$

$F_P = (P_h + P_d) \cdot A'$

(2)　貫通物の反力により生じる荷重

固定荷重及び地震時の貫通物の反力によりモルタルに生じる付着荷重は，次のとおり算出する。

$F_S = w \cdot L \cdot g \cdot (1 + C_1)$

(3)　合計荷重

モルタルに発生する合計付着荷重は，次のとおり算出する。

$F_{Stotal} = F_P + F_S$

4.5.3　電路貫通部金属ボックスの強度評価（応力計算）

(1)　動水圧により生じる荷重

動水圧により生じる荷重は，次のとおり算出する。

$P_d = \beta \cdot (7/8) \cdot \rho \cdot C_{HW} \cdot g \cdot \sqrt{H \cdot h}$

(2)　余震により生じる荷重

固定荷重及び弾性設計用地震動Ｓｄにより，アンカーボルトに生じる荷重は次のとおり算出する。

a.　引張応力の計算

金属ボックスが水平方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b1} = \frac{m \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + P_d \cdot A_{S1} \cdot h_1}{n_{fH} \cdot \ell_3} + \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h_1 \cdot g + \rho \cdot g \cdot (1 + C_V) \cdot A_{S2} \cdot h_2 \cdot 10^{-9} \cdot h_1}{n_{fV} \cdot \ell_2}$$

金属ボックスが鉛直方向に転倒する場合の引張力

$$F_{b2}=\frac{m\cdot C_H\cdot \ell_1\cdot g+P_d\cdot A_{S1}\cdot \ell_1}{n_{fV}\cdot \ell_2}+\frac{m\cdot(1+C_V)\cdot h_1\cdot g+\rho\cdot g\cdot(1+C_V)\cdot A_{S2}\cdot h_2\cdot 10^{-9}\cdot h_1}{n_{fV}\cdot \ell_2}$$

引張力

$F_b=\mathrm{Max}(F_{b1},\ F_{b2})$

引張応力

$\sigma=F_b/A_b$

b. せん断応力の計算

アンカーボルトに対するせん断応力は，アンカーボルト全本数で受けるものとして計算する。

水平方向の力

$Q_{b1}=C_H\cdot m\cdot g+P_d\cdot A_{S1}$

鉛直方向の力

$Q_{b2}=(1+C_V)\cdot m\cdot g+\rho\cdot g\cdot(1+C_V)\cdot A_{S2}\cdot h_2\cdot 10^{-9}$

せん断力

$Q_b=\sqrt{Q_{b1}^2+Q_{b2}^2}$

せん断応力

$\tau=Q_b/(n\cdot A_b)$

4.6　計算条件

シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価に関する計算条件をそれぞれ，表 4－9，表 4－10 並びに表 4－11 に示す。

表 4－9　シール材及びブーツの強度評価に関する計算条件

貫通箇所 （貫通部仕様）	動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H（m）	貫通部位置における 浸水深さ h（m）
タービン建物 地下 1 階 （シール材（配管））	0.72	5.05	4.79
タービン建物 地下 1 階 （シール材（電路））	0.72	5.05	1.94
タービン建物 地下 1 階 （ブーツ）	0.72	3.30	2.96

浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 β	海水の密度 ρ（kg/m^3）
1	1030
1	1030
1	1030

表 4－10　モルタルの強度評価に関する計算条件

貫通箇所 （貫通部仕様）	モルタルが水圧を 受ける面積 A’（mm^2）	動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H（m）
タービン建物 地下 1 階 （モルタル）	[redacted]	0.67	5.05

貫通部位置における 浸水深さ h（m）	貫通物の支持間隔 L（mm）	貫通物の単位長さ 当たりの質量 w（kg/m）	浸水エリアの幅と 水深の比による 補正係数 β
2.90	[redacted]	[redacted]	1

海水の密度 ρ（kg/m^3）
1030

表 4－11　電路貫通部金属ボックスの強度評価に関する計算条件

貫通箇所 （貫通部仕様）	アンカーボルトの 軸断面積 A_b (mm^2)	動水圧算出用の 水平方向震度 C_{HW}	貫通部敷設エリアの 床面からの浸水深さ H(m)
タービン建物 地下１階 （金属ボックス）	□	0.72	5.05

貫通部位置における 浸水深さ h (m)	据付面又は取付面から重心までの距離 h_1(mm)	金属ボックス上面における浸水深さ h_2 (m)	金属ボックスの幅 L_1(mm)
1.94	□*	□	□

金属ボックスの高さ L_2(mm)	金属ボックスの奥行 L_3(mm)	重心と下側アンカーボルト間の鉛直方向距離 ℓ_1(mm)	上側アンカーボルトと下側アンカーボルト間の鉛直方向距離 ℓ_2(mm)
□	□	□*	□

左側アンカーボルトと右側アンカーボルト間の水平方向距離 ℓ_3(mm)	金属ボックスの質量 （充填されているシール材質量を含む） m(kg)	アンカーボルトの 本数 n	評価上引張力を受けることを期待するアンカーボルトの 本数 （正面方向） n_{fH}
□	□	□	□

評価上引張力を受けることを期待するアンカーボルトの本数（側面方向） n_{fV}	浸水エリアの幅と水深の比による補正係数 β	海水の密度 ρ (kg/m^3)	金属ボックスの受圧面積（側面） A_{S1}
[redacted]	1	1030	[redacted]

金属ボックスの受圧面積（上面） A_{S2}
[redacted]

注記＊：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

5. 評価結果

シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの強度評価結果をそれぞれ，表5－1，表5－2並びに表5－3に示す。シール材及びブーツ，モルタル並びに電路貫通部金属ボックスの発生圧力，発生荷重又は発生応力は，許容圧力，許容荷重又は許容応力以下であることから，貫通部止水処置が構造健全性を有することを確認した。

表5－1　シール材及びブーツの強度評価結果

評価部位	場所	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材（配管）	タービン建物	0.09	□
シール材（電路）	タービン建物	0.04	□
ブーツ	タービン建物	0.05	□

表5－2　モルタルの強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	付着荷重	6.86×10^3	8.21×10^3

表5－3　電路貫通部金属ボックスの強度評価結果

評価部位	応力分類	発生応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
電路貫通部 金属ボックス （アンカーボルト）	引張応力	82	129*
	せん断応力	25	99

注記＊：次式にて計算した値を示す。

$f_{ts}=\mathrm{Min}(1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau,\ f_{to})$

Ⅵ-3-別添 3-3　溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針

目　　次

1.　概要 1
2.　強度評価の基本方針 1
2.1　評価対象施設 1
2.2　評価方針 1
3.　構造強度設計 2
3.1　構造強度の設計方針 2
3.2　機能維持の方針 3
4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界 76
4.1　荷重及び荷重の組合せ 76
4.2　許容限界 77
4.2.1　施設ごとの評価部位における許容限界 77
4.2.2　許容限界設定方法 84
5.　強度評価方法 85
5.1　溢水用水密扉及び管理区域水密扉 85
5.2　溢水用堰及び管理区域堰 86
5.3　溢水用防水板及び管理区域防水板 87
5.4　溢水用防水壁 88
5.5　床ドレン逆止弁 88
5.6　貫通部止水処置 89
6.　適用規格・基準等 90

1. 概要

本資料は,「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 12 条及び第 54 条並びにそれらの「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の解釈」に適合する設計とするため，VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」に基づき設計する溢水防護に関する施設が，溢水に対して構造健全性を有することを確認するための強度計算方針について説明するものである。

強度計算は，VI-1-1-9-1「溢水等による損傷防止の基本方針」に示す適用規格・基準等を用いて実施する。各施設の具体的な計算の方法及び結果は，VI-3-別添 3-4-2「水密扉の強度計算書（溢水)」，VI-3-別添 3-4-4「堰の強度計算書」，VI-3-別添 3-4-5「防水板の強度計算書」，VI-3-別添 3-4-1「防水壁の強度計算書（溢水)」，VI-3-別添 3-4-3「床ドレン逆止弁の強度計算書（溢水)」及びVI-3-別添 3-4-6「貫通部止水処置の強度計算書（溢水)」に示す。

2. 強度評価の基本方針

強度評価は,「2.1　評価対象施設」に示す施設を対象として,「4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」で示す溢水による荷重と組み合わせるべき他の荷重による組合せ荷重又は応力が許容限界内にあることを「5.　強度評価方法」に示す評価方法により,「6.　適用規格・基準等」に示す適用規格・基準等を用いて確認する。

2.1　評価対象施設

VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」にて設定している溢水防護に関する施設を強度評価の対象施設とし，表 2－1 に示す。

表 2－1　強度評価の対象施設

強度評価の対象施設
溢水用水密扉及び管理区域水密扉
溢水用堰及び管理区域堰
溢水用防水板及び管理区域防水板
溢水用防水壁
床ドレン逆止弁
貫通部止水処置

2.2　評価方針

溢水防護に関する施設は，VI-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を達成するため,「2.1　評価対象施設」で分類した施設ごとに強度評価を実施する。

3.　構造強度設計

「2.1　評価対象施設」で設定されている施設が，構造強度設計上の性能目標を達成するよう，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している各施設が有する機能を踏まえて，構造強度の設計方針を設定する。

各施設の構造強度の設計方針を設定し，想定する荷重及び荷重の組合せを設定し，それらの荷重に対し，各施設の構造強度を維持するよう構造設計と評価方針を設定する。

3.1　構造強度の設計方針

Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」で設定している構造強度上の性能目標を達成するための設計方針を「2.1　評価対象施設」ごとに示す。

(1)　溢水用水密扉及び管理区域水密扉

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(2)　溢水用堰及び管理区域堰

溢水用堰及び管理区域堰は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(3)　溢水用防水板及び管理区域防水板

溢水用防水板及び管理区域防水板は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(4)　溢水用防水壁

溢水用防水壁は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

(5)　床ドレン逆止弁

床ドレン逆止弁は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3.　要求機能及び性能目標」の「3.1.3　性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が

構造健全性を維持する設計とする。

(6) 貫通部止水処置

貫通部止水処置は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」の「3.1.3 性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標を踏まえ，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，モルタル及び金属製伸縮継手による施工は，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持する設計とする。

また，シール材及びブーツによる施工は，止水性の維持を考慮して，有意な漏えいが生じない設計とする。

3.2 機能維持の方針

Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「3. 要求機能及び性能目標」で設定している構造強度設計上の性能目標が達成されるよう，「3.1 構造強度の設計方針」に示す構造を踏まえ，「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重条件を適切に考慮して，各施設の構造設計及びそれを踏まえた評価方法を設定する。

(1) 溢水用水密扉及び管理区域水密扉

a. 構造設計

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は，鋼製の板材を主体構造とし，周囲の開口部との間に設置した鋼製の扉枠を建物の床及び壁にアンカーボルトで固定し，支持する構造とする。

また，作用する荷重については，面内及び面外方向から作用し，扉板，芯材，カンヌキ部（カンヌキ，カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルト）及び扉枠に伝わり，アンカーボルトを介して周囲の建物の床及び壁に伝達する構造とする。

溢水用水密扉及び管理区域水密扉の設置位置を表3－1に示す。また，溢水用水密扉及び管理区域水密扉の構造計画を表3－2に示す。

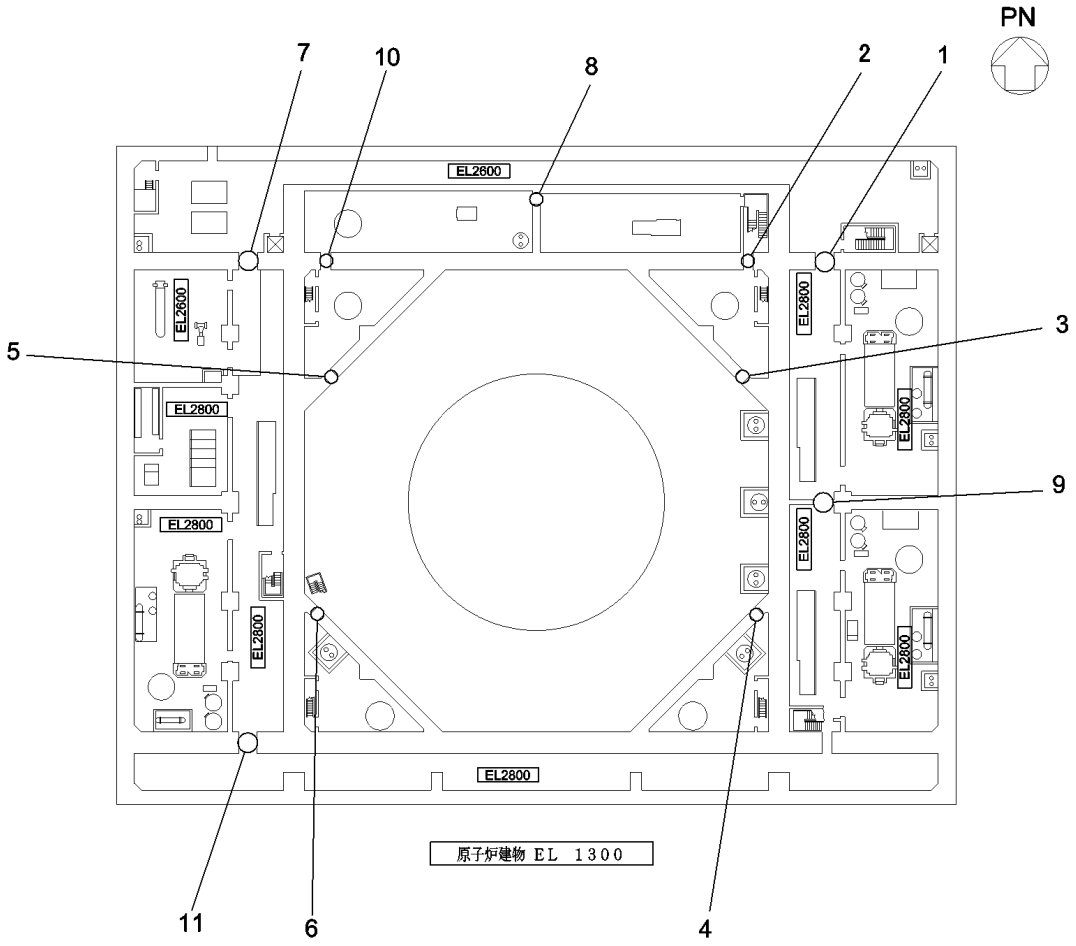
b. 評価方針

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

溢水用水密扉及び管理区域水密扉は，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，溢水用水密扉及び管理区域水密扉の評価部位が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（1/14）

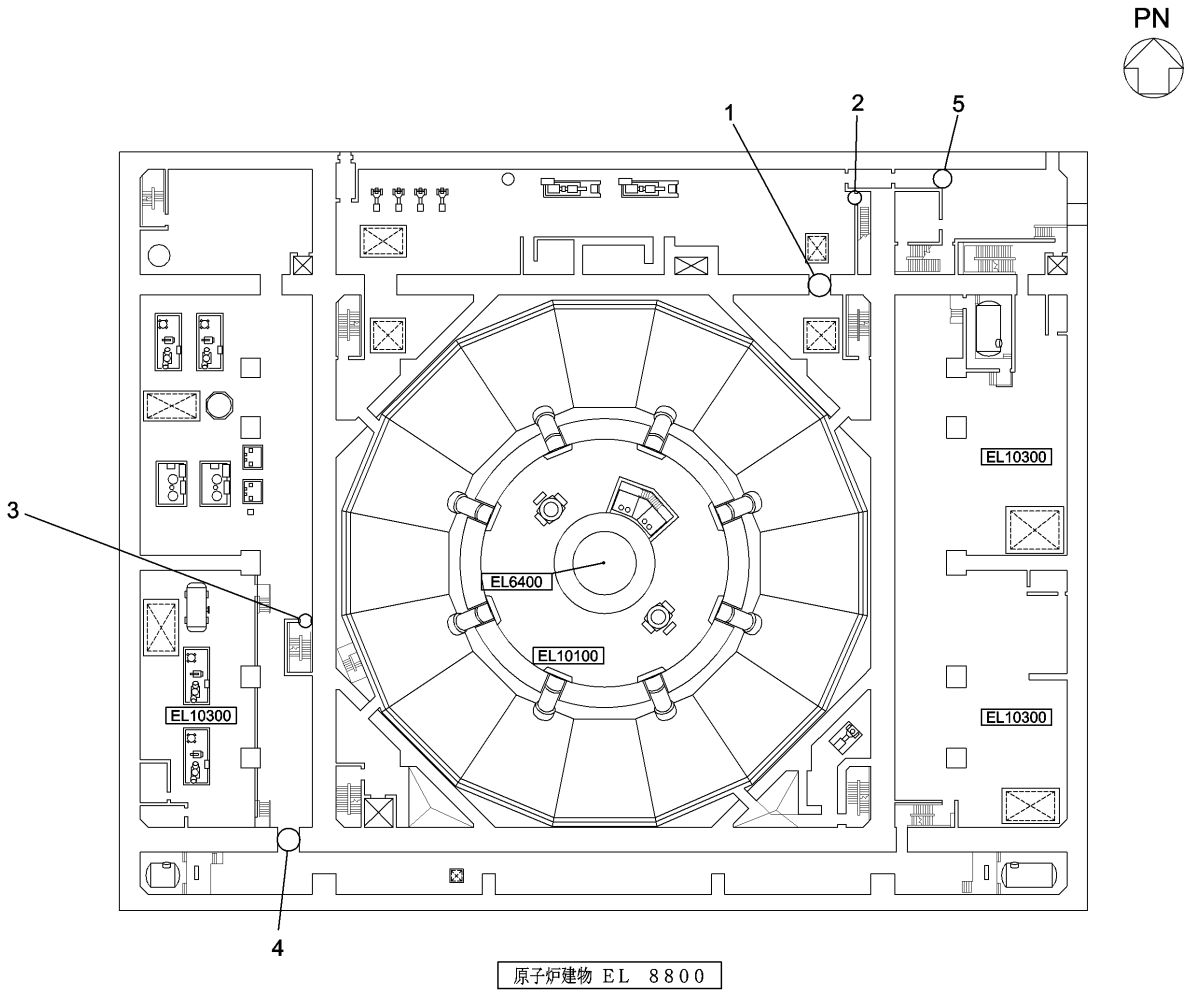
配置図



1	原子炉建物 地下 2 階 A-DG 制御盤室北側水密扉
2	原子炉建物 地下 2 階 A-RHR ポンプ室北側水密扉
3	原子炉建物 地下 2 階 トーラス室北東水密扉
4	原子炉建物 地下 2 階 トーラス室南東水密扉
5	原子炉建物 地下 2 階 トーラス室北西水密扉
6	原子炉建物 地下 2 階 トーラス室南西水密扉
7	原子炉建物 地下 2 階 H-DG 制御盤室北側水密扉
8	原子炉建物 地下 2 階 RCIC ポンプ室西側水密扉
9	原子炉建物 地下 2 階 A-DG 制御盤室南側水密扉
10	原子炉建物 地下 2 階 C-RHR ポンプ室南側水密扉
11	原子炉建物 地下 2 階 H-DG 制御盤室南側水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）(2/14)

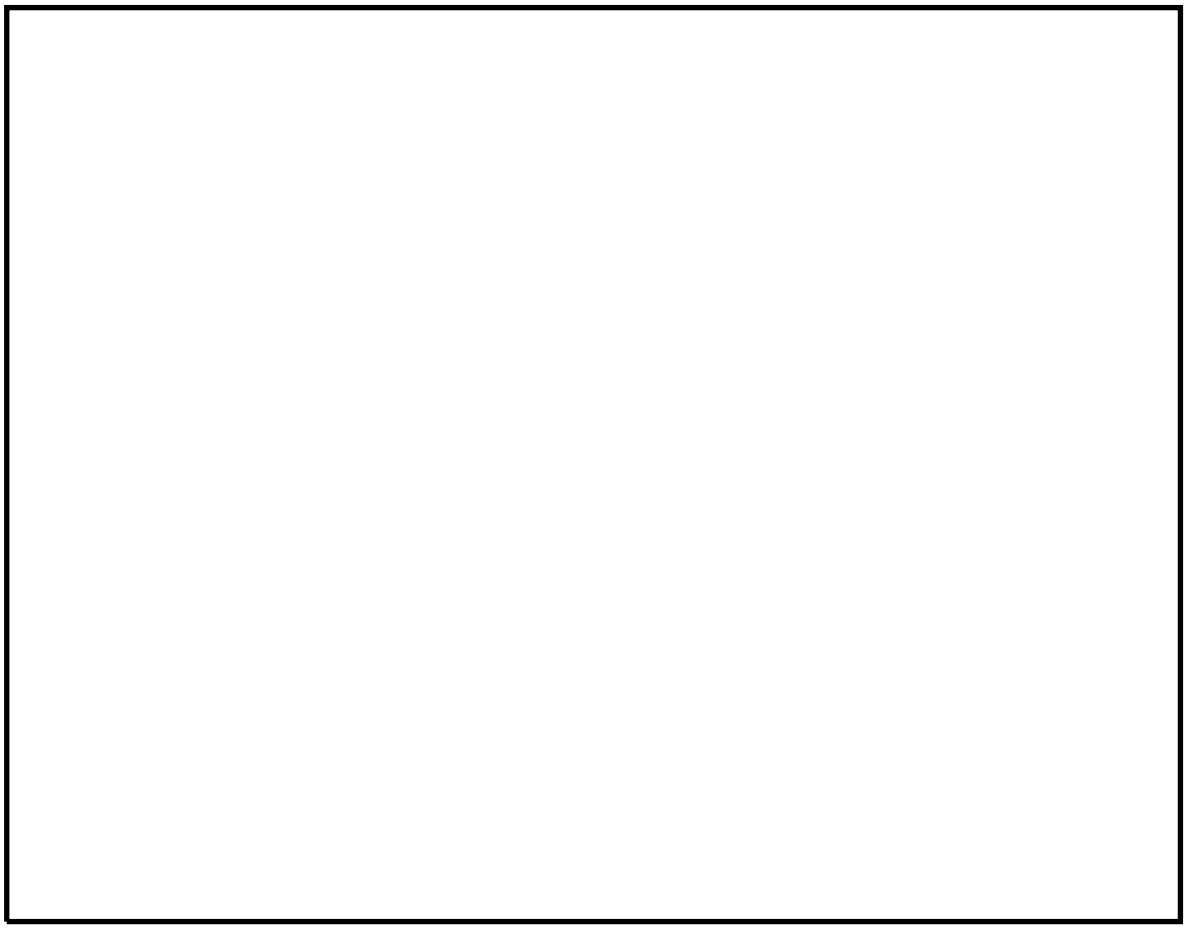
配置図



1	原子炉建物 地下 1 階 CRD ポンプ室南側水密扉
2	原子炉建物 地下 1 階 CRD ポンプ室東側水密扉
3	原子炉建物 地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（階段室）
4	原子炉建物 地下 1 階 IA 圧縮機室水密扉（南側）
5	原子炉建物 地下 1 階 東側エアロック前水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）(3/14)

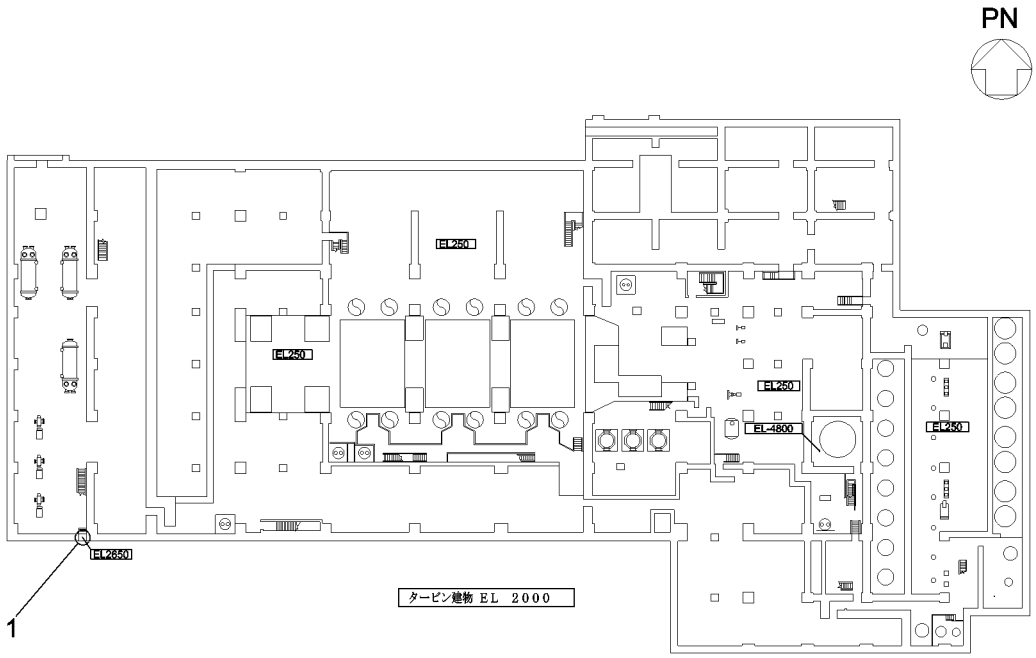
配置図



1	原子炉建物 1 階 RCW 熱交換器室南側水密扉
2	原子炉建物 1 階 大物搬入口水密扉

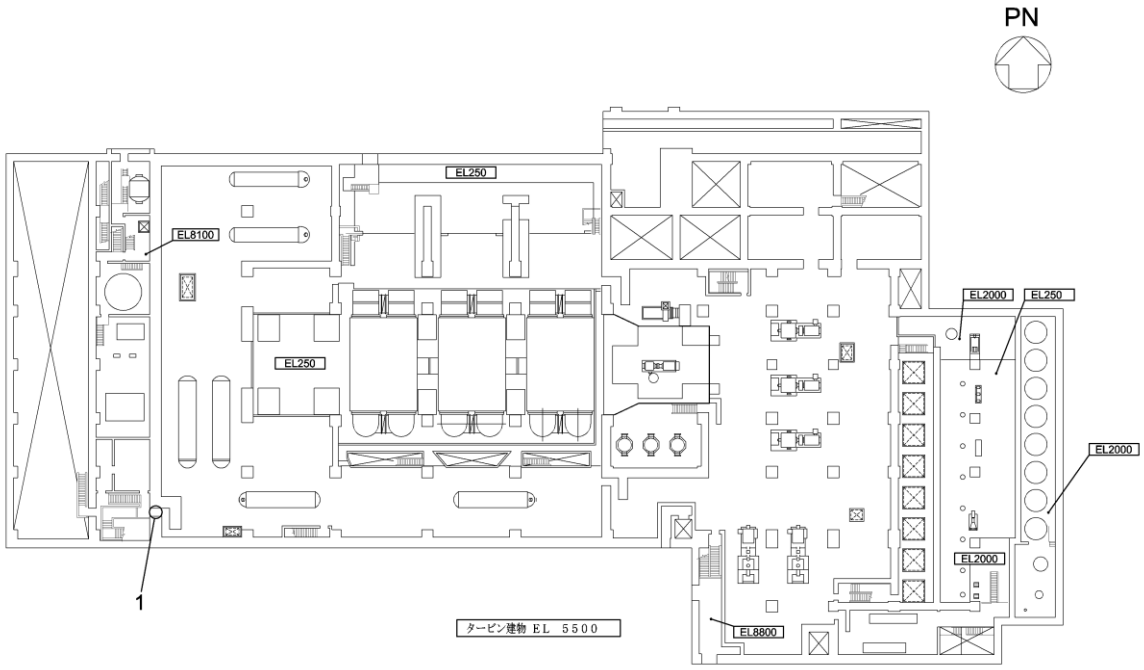
表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（4/14）

配置図



1	タービン建物 地下 1 階 TCW 熱交換器室南側水密扉

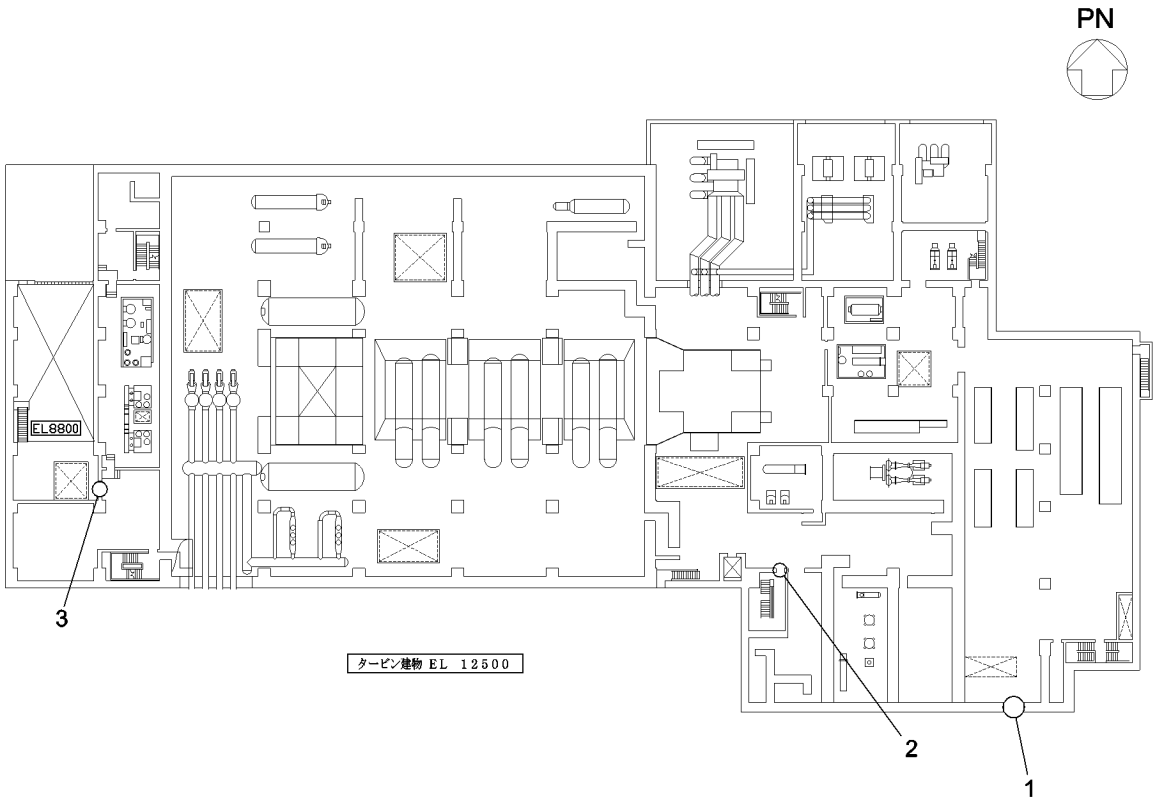
表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（5/14）

配置図


1	タービン建物 1 階 西側エアロック前水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（6/14）

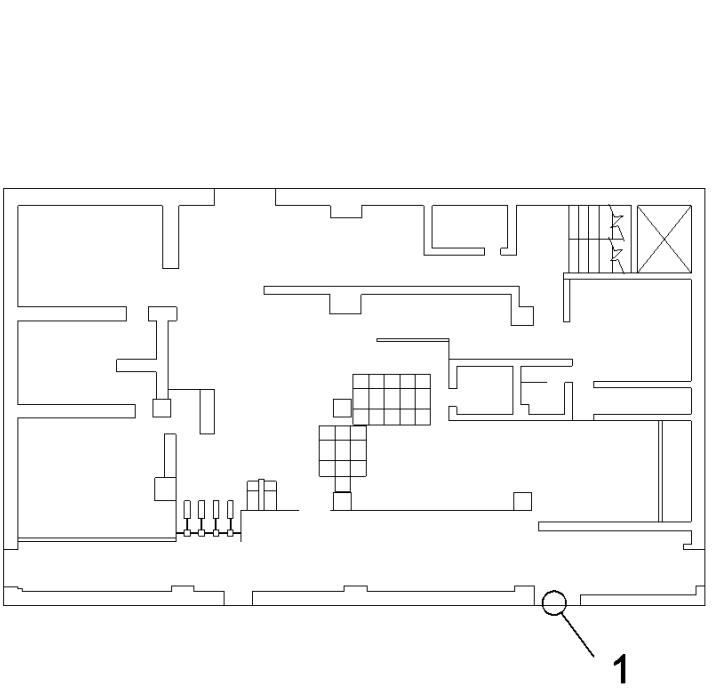
配置図



1	タービン建物 2 階 常用電気室南側水密扉
2	タービン建物 2 階 離相母線室南側水密扉
3	タービン建物 2 階 大物搬入口水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（7/14）

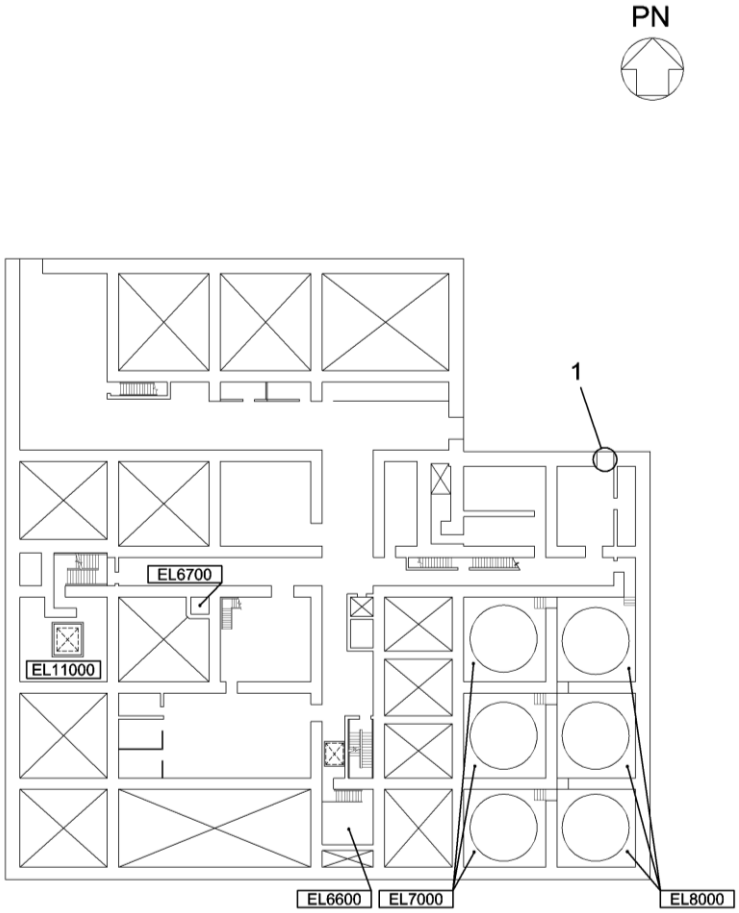
配置図



1	制御室建物 2 階 チェックポイント連絡水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（8/14）

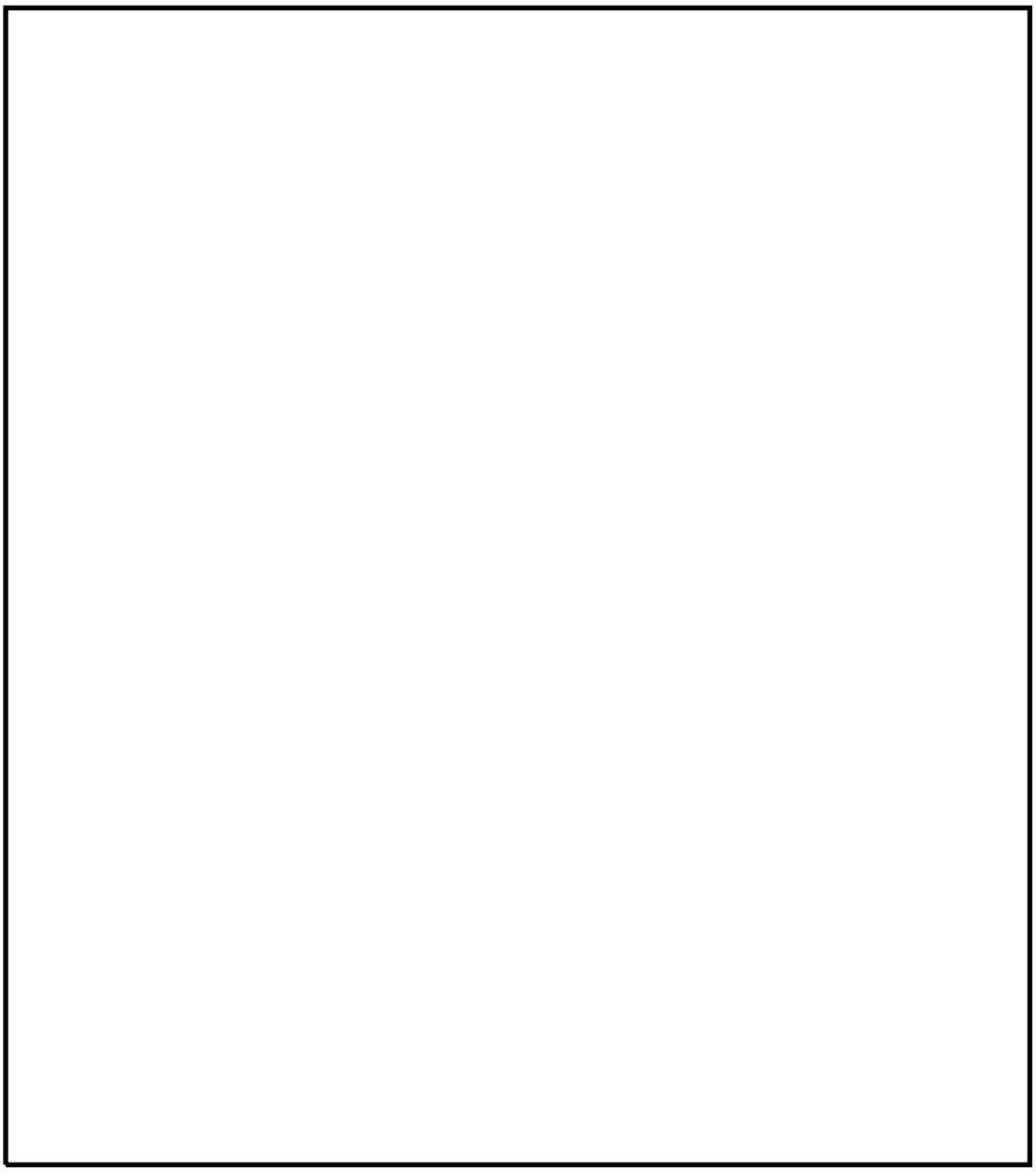
配置図



1	廃棄物処理建物 地下 1 階 被服置場北側水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）(9/14)

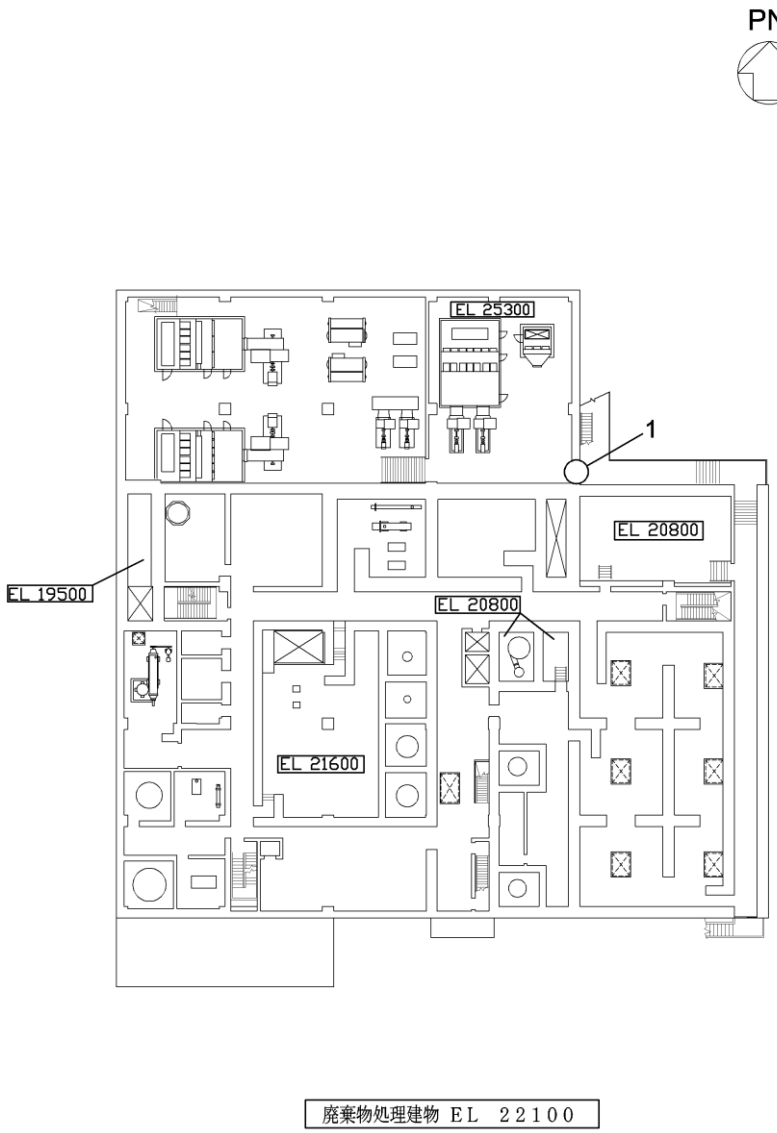
配置図



1	廃棄物処理建物 1階 大物搬入口水密扉
2	廃棄物処理建物 1階 ドラム缶搬入口水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（10/14）

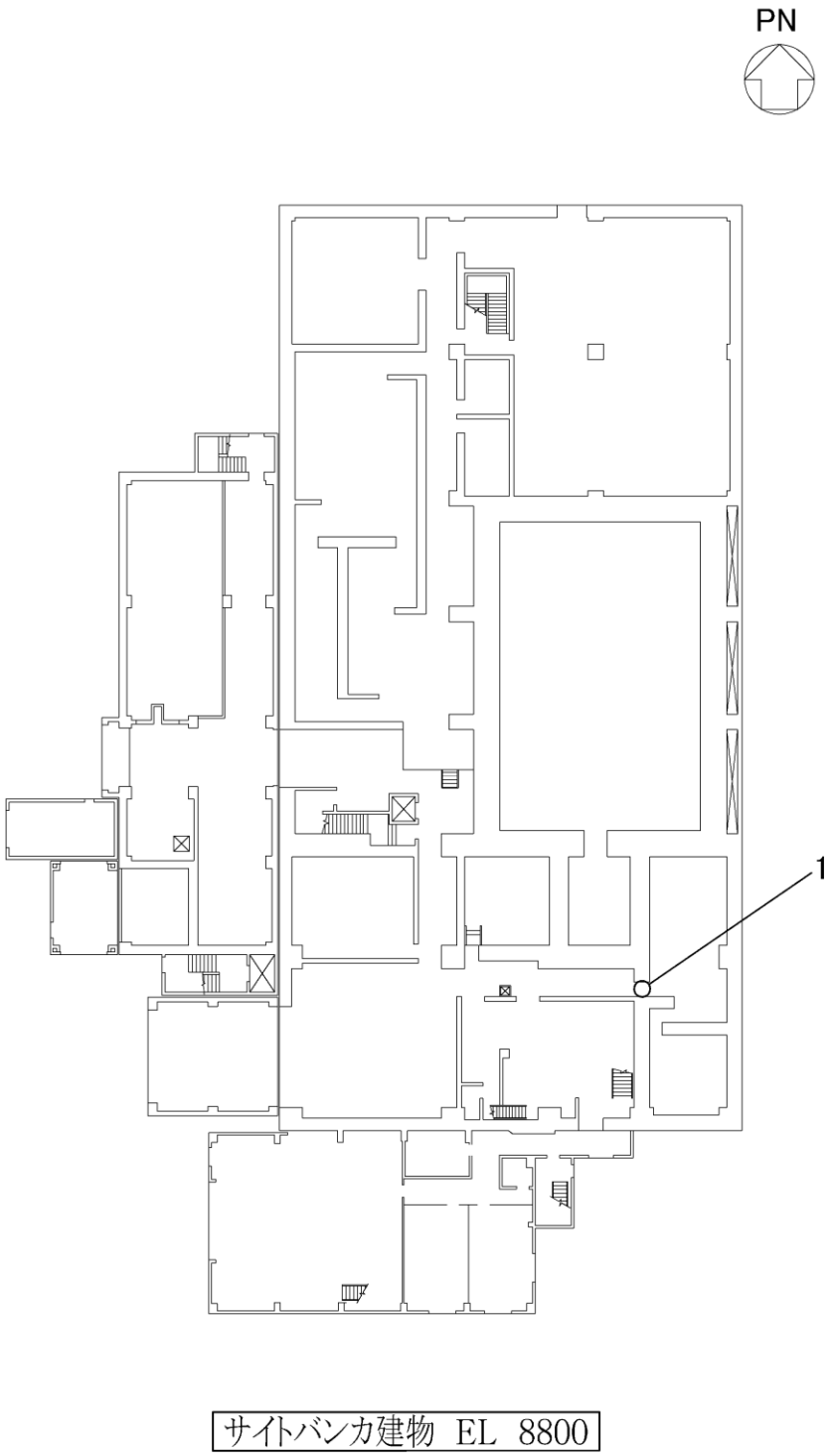
配置図



1	廃棄物処理建物 2 階 非常用再循環送風機室東側水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（11/14）

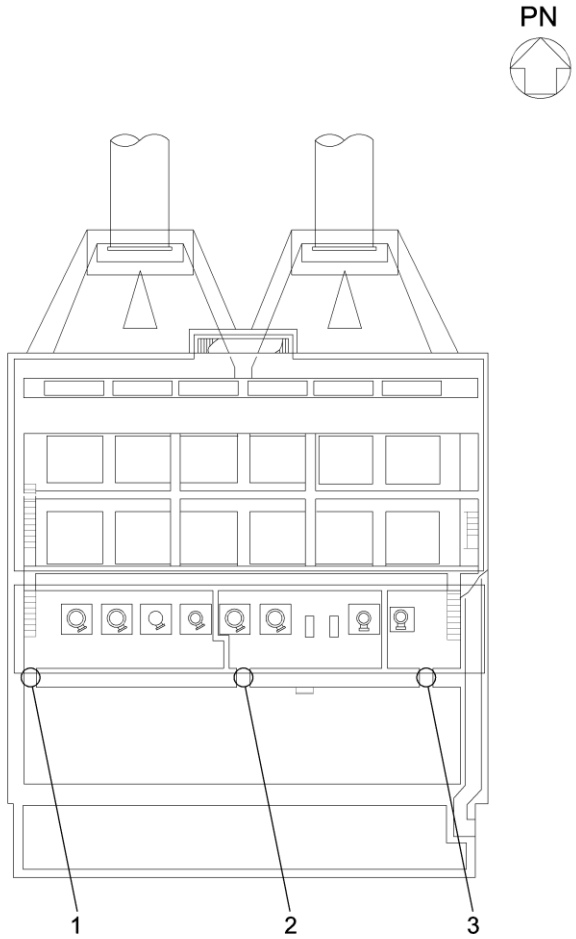
配置図



1	サイトバンカ建物 1階 南東側ポンプ室浸水密扉

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（12/14）

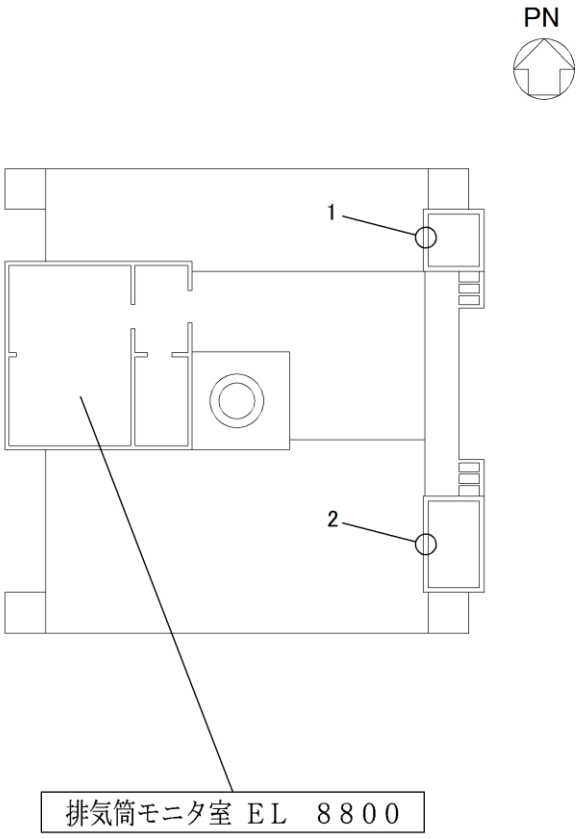
配置図



1	取水槽海水ポンプエリア水密扉（西）
2	取水槽海水ポンプエリア水密扉（中）
3	取水槽海水ポンプエリア水密扉（東）

表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（13/14）

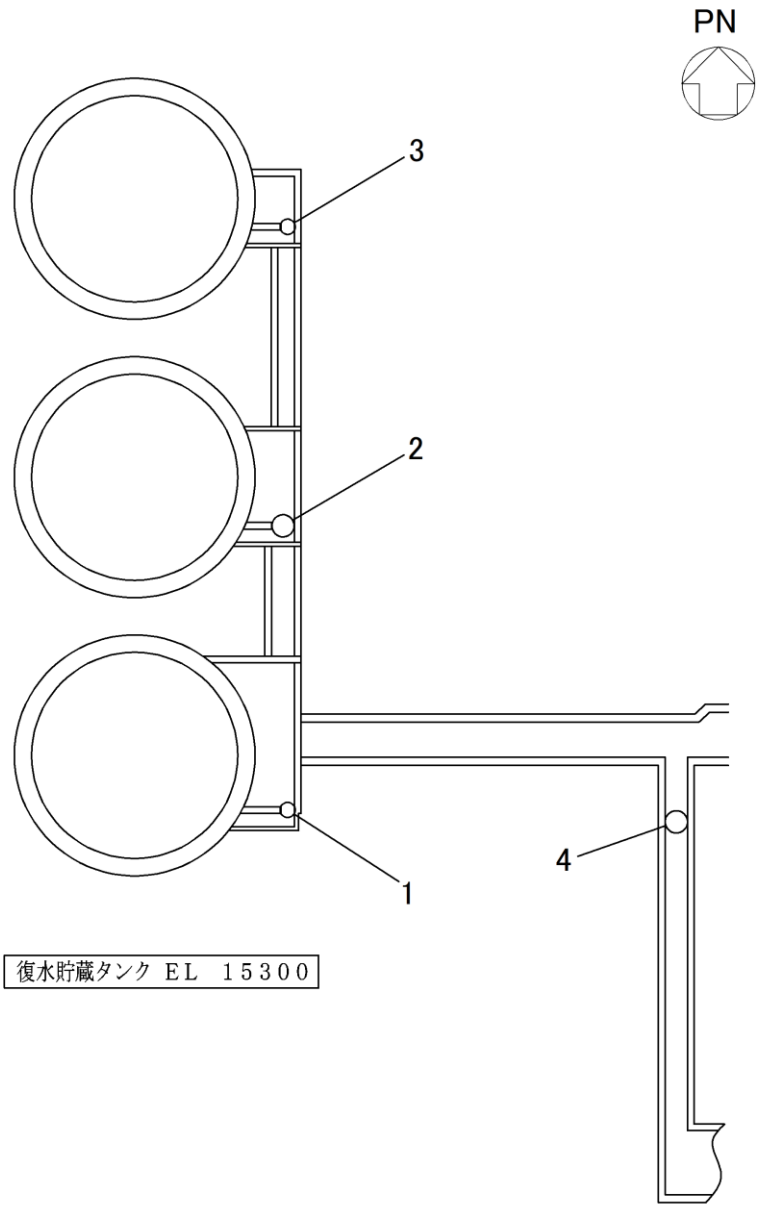
配置図



1	ディーゼル燃料移送ポンプエリア北側水密扉
2	ディーゼル燃料移送ポンプエリア南側水密扉

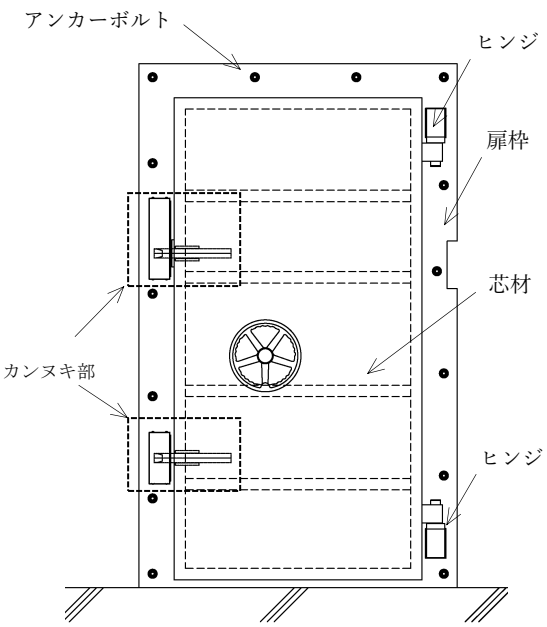
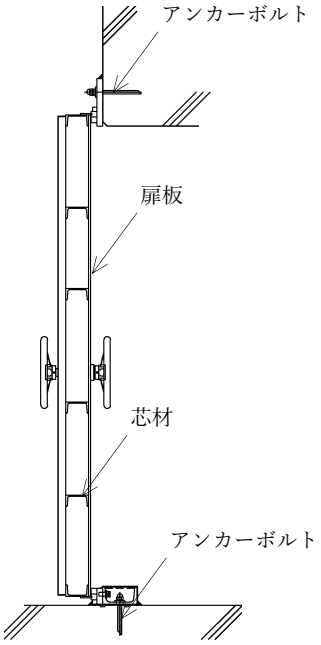
表 3－1　設置位置（溢水用水密扉及び管理区域水密扉）（14/14）

配置図



1	復水貯蔵タンク水密扉
2	補助復水貯蔵タンク水密扉
3	トーラス水受入タンク水密扉
4	屋外配管ダクト（B－ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物）水密扉

表 3－2　溢水用水密扉及び管理区域水密扉の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
片開型の鋼製扉とし，鋼製の扉板に芯材を取付け，扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差し込み，扉と扉枠を一体化させる構造とする。 また，扉と躯体の接続はヒンジを介する構造とする。	扉開放時においては，ヒンジにより扉が扉枠に固定され，扉閉止時においては，カンヌキにより，扉と扉枠を一体化する構造とする。 扉枠はアンカーボルトにより躯体へ固定する構造とする。	 正面図  断面図

(2) 溢水用堰及び管理区域堰

a. 構造設計

溢水用堰及び管理区域堰は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

溢水用堰及び管理区域堰は，鋼製堰及び鉄筋コンクリート製堰に分類できる。

鋼製堰は，鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルト等を主体構造とし，建物の床及び壁にアンカーボルトで固定し，支持する構造とする。また，作用する荷重については，鋼製堰に作用し，アンカーボルトを介し，建物の床及び壁に伝達する構造とする。

鉄筋コンクリート製堰は，コンクリート，主筋及びアンカー筋を主体構造とし，アンカー筋により既設コンクリートと一体化する構造とする。また，作用する荷重については，鉄筋コンクリート製の堰に作用し，アンカー筋を介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

溢水用堰及び管理区域堰の設置位置を表 3－3 に示す。また，溢水用堰及び管理区域堰の構造計画を表 3－4 に示す。

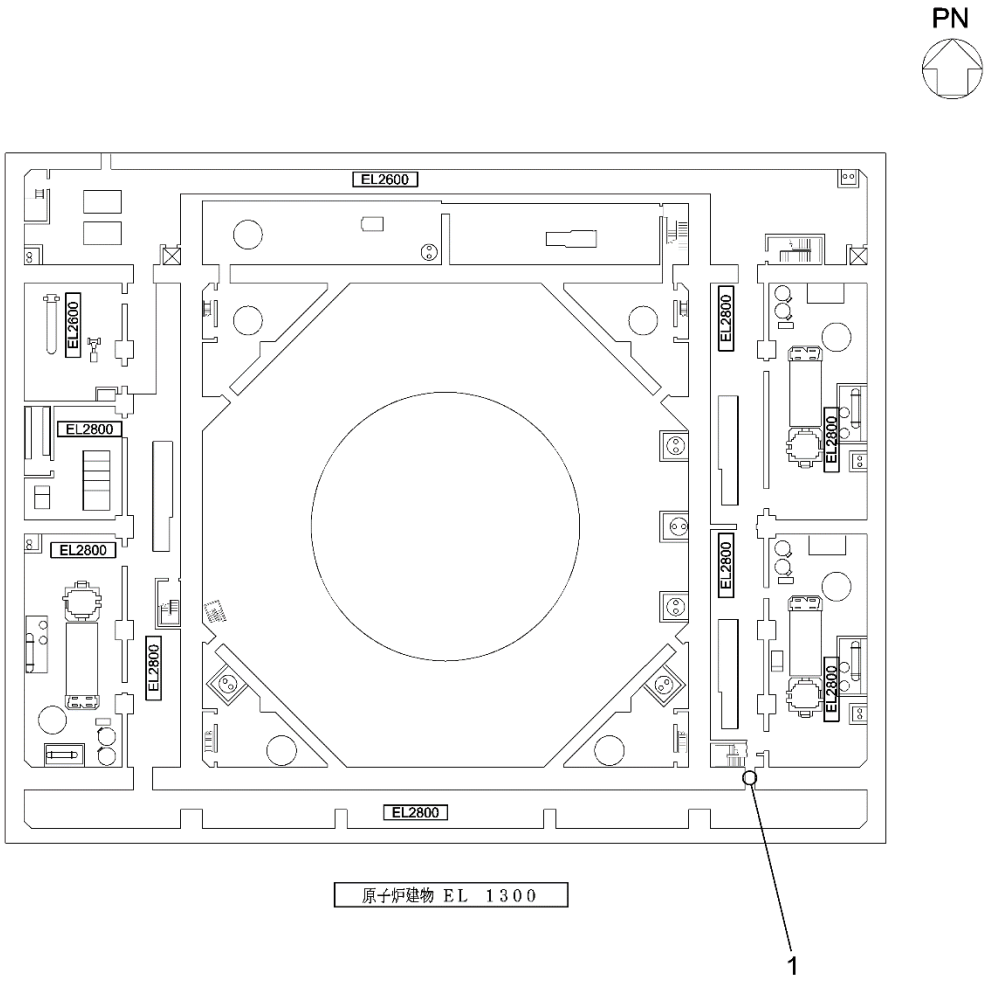
b. 評価方針

溢水用堰及び管理区域堰は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

溢水用堰及び管理区域堰は，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，溢水用堰及び管理区域堰の評価部位が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（1/19）

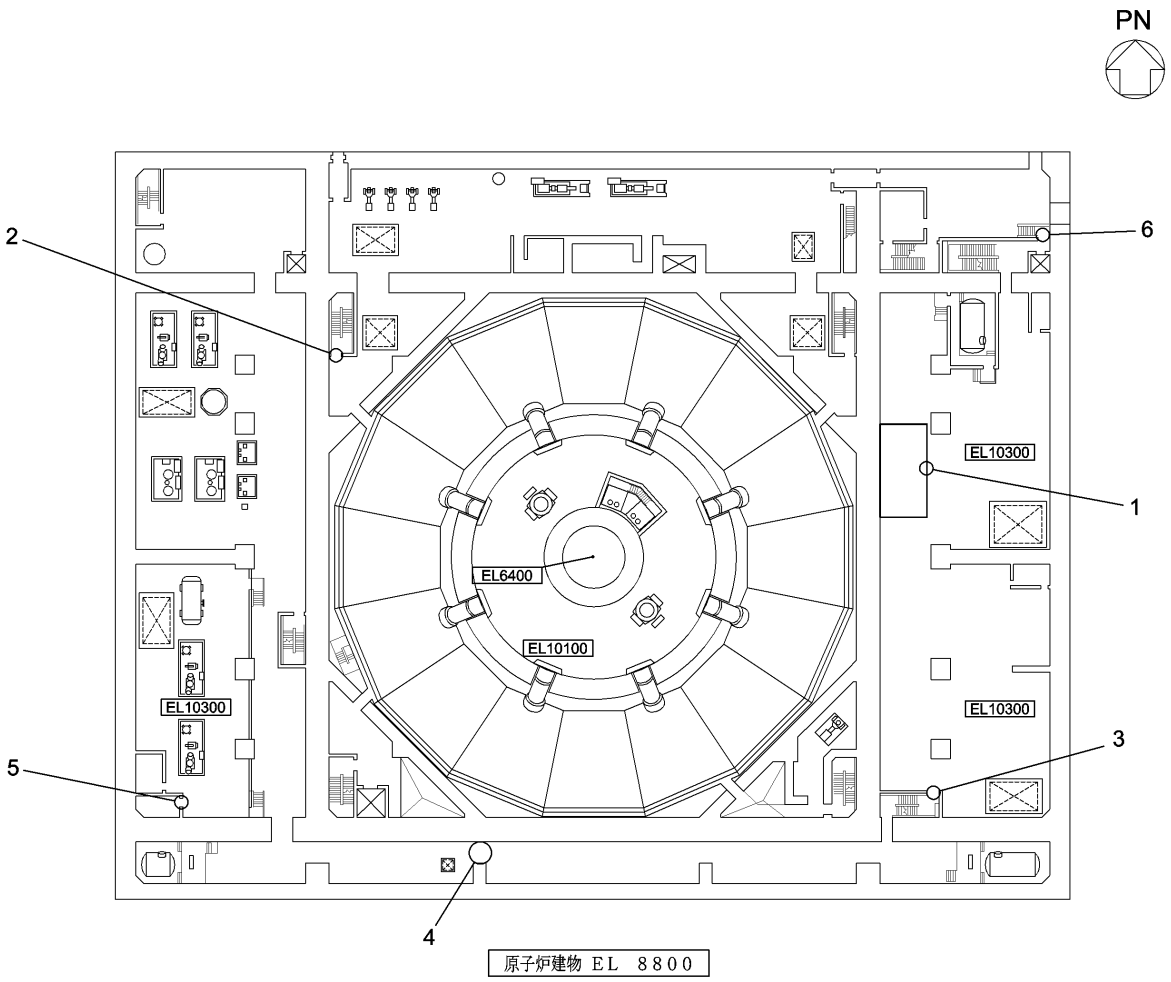
配置図



1	原子炉建物 地下 2 階 B-非常用 DG 電気室南側浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）(2/19)

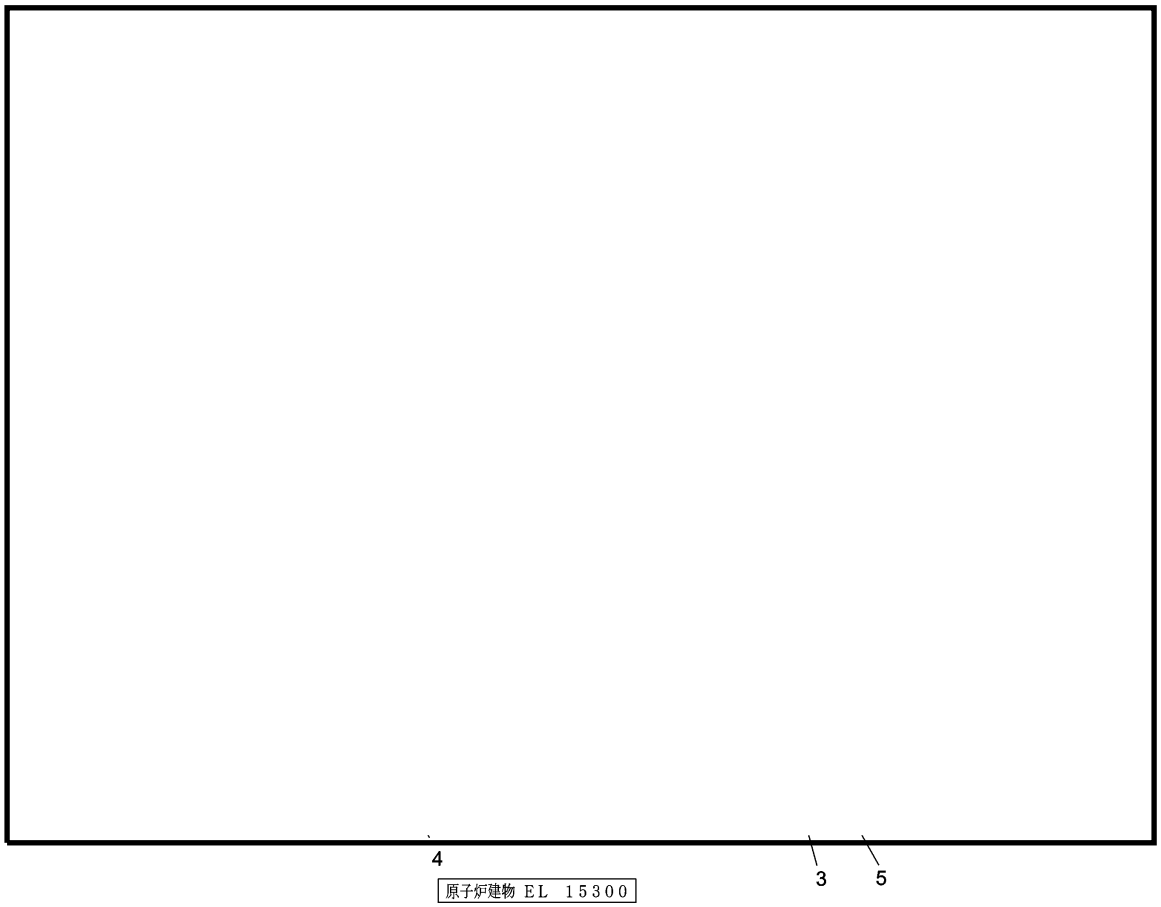
配置図



1	原子炉建物 地下 1 階 RCIC 直流 C/C 浸水防止堰
2	原子炉建物 地下 1 階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 地下1階 DG室給気ダクト室南側階段浸水防止堰
4	原子炉建物 地下 1 階 南側通路浸水防止堰
5	原子炉建物 地下1階 HPCS給気消音器フィルタ室浸水防止堰
6	原子炉建物 地下 1 階 第 3 チェックポイント浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）(3/19)

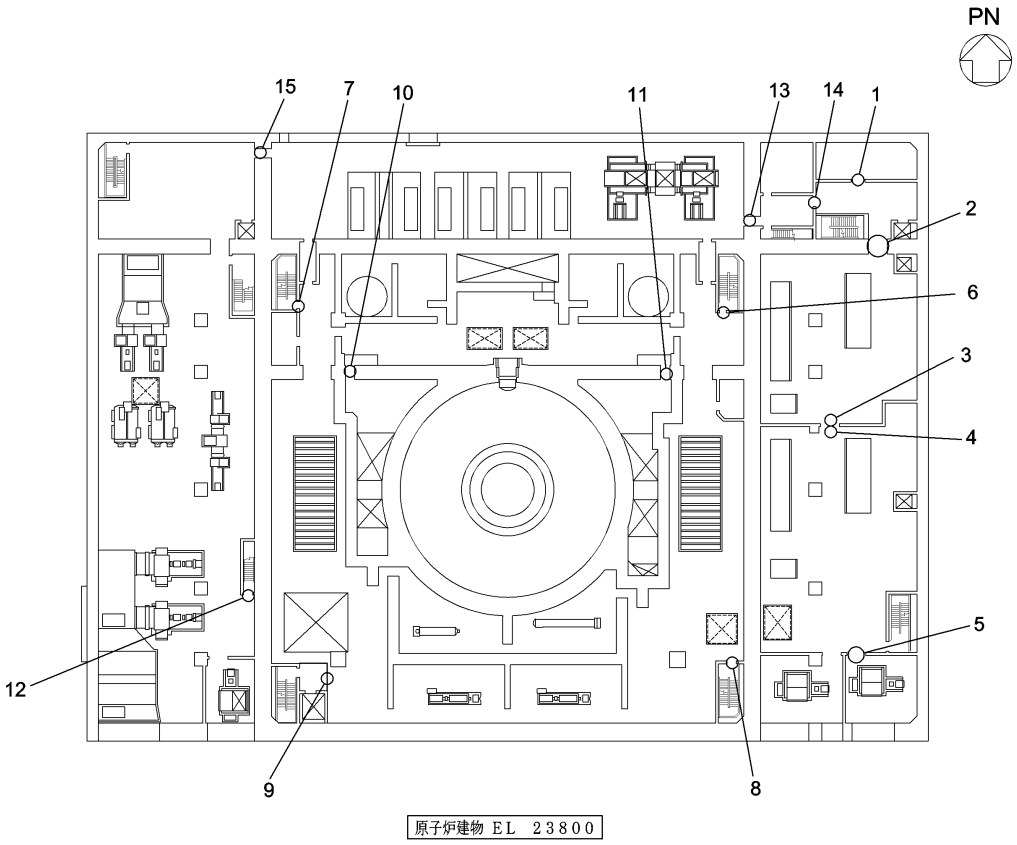
配置図



1	原子炉建物 1階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 1階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 1階 南東階段浸水防止堰
4	原子炉建物 1階 南西階段浸水防止堰
5	原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰
6	原子炉建物 1階 エアロック前浸水防止堰
7	原子炉建物 1階 第 2 チェックポイント浸水防止堰（非管理区域側）
8	原子炉建物 1階 第 2 チェックポイント浸水防止堰（管理区域側）

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（4/19）

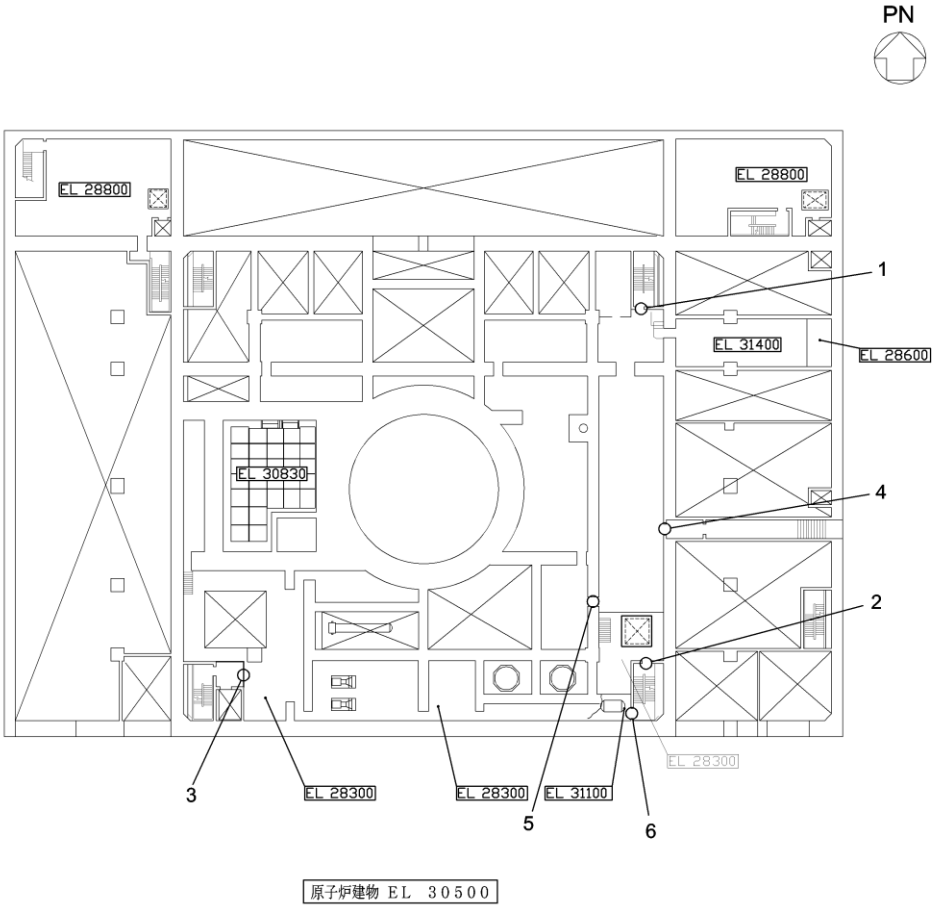
配置図



1	原子炉建物 2 階 A-逃がし安全弁窒素ガス供給装置横浸水防止堰
2	原子炉建物 2 階 非常用電気室北側浸水防止堰
3	原子炉建物 2 階 A-非常用電気室南側浸水防止堰
4	原子炉建物 2 階 B-非常用電気室北側浸水防止堰
5	原子炉建物 2 階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰
6	原子炉建物 2 階 北東階段浸水防止堰
7	原子炉建物 2 階 北西階段浸水防止堰
8	原子炉建物 2 階 南東階段浸水防止堰
9	原子炉建物 2 階 南西階段浸水防止堰
10	原子炉建物 2 階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰
11	原子炉建物 2 階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰
12	原子炉建物 2 階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰
13	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰
14	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰
15	原子炉建物 2 階 RCW バルブ室東側浸水防止堰

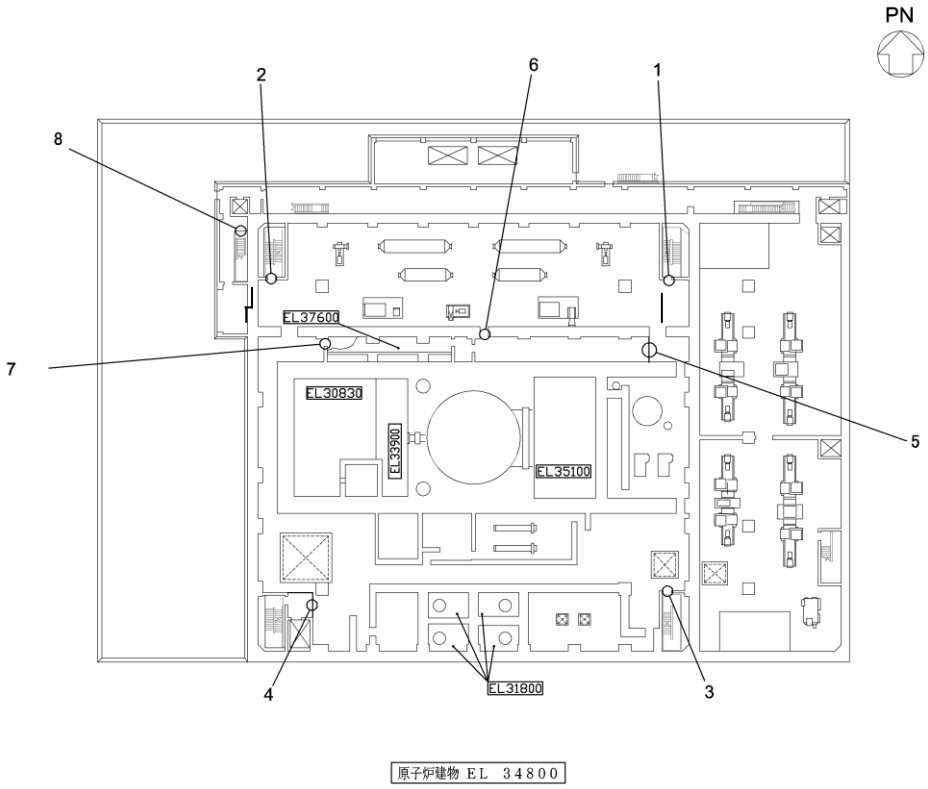
表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）(5/19)

配置図



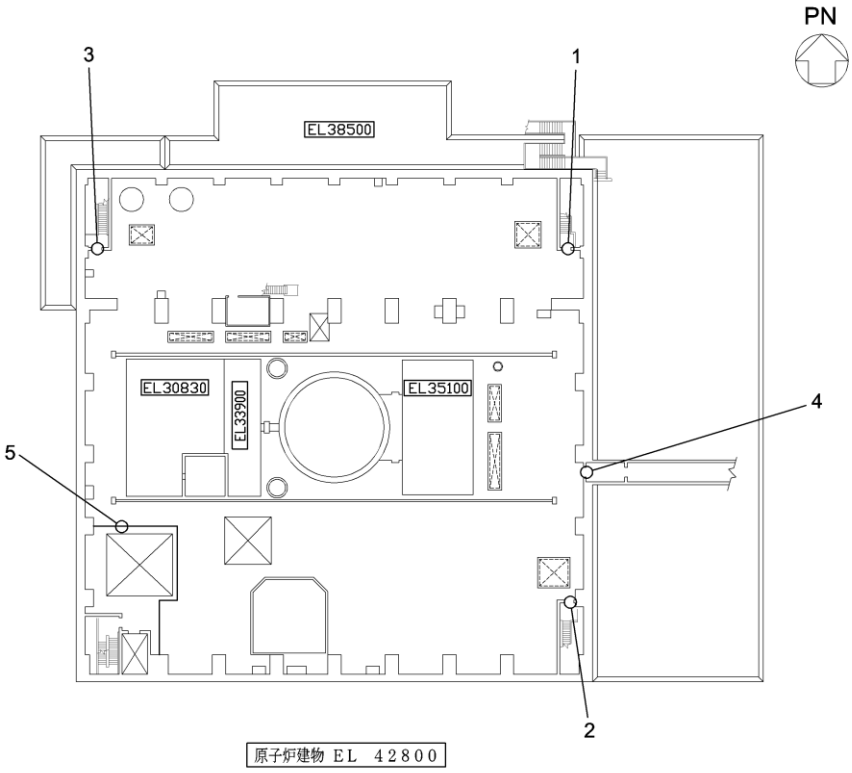
1	原子炉建物 中２階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 中２階 南東階段浸水防止堰
3	原子炉建物 中２階 南西階段浸水防止堰
4	原子炉建物 中２階 エアロック前浸水防止堰
5	原子炉建物 中２階 CUW バルブ室東側浸水防止堰
6	原子炉建物 中２階 CUW サージタンク室浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）(6/19)

配置図


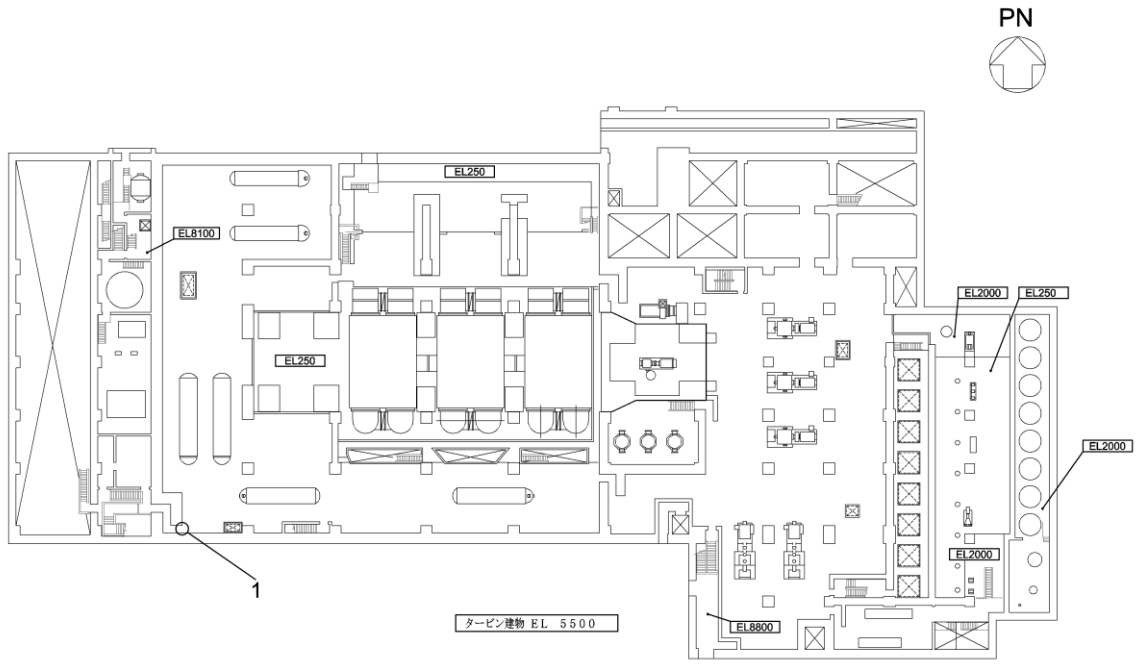
1	原子炉建物 3 階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 3 階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 3 階 南東階段浸水防止堰
4	原子炉建物 3 階 南西階段浸水防止堰
5	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（通路側）
6	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（SGT 室側）
7	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室前浸水防止堰
8	原子炉建物 3 階 北西側階段室浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（7/19）

配置図


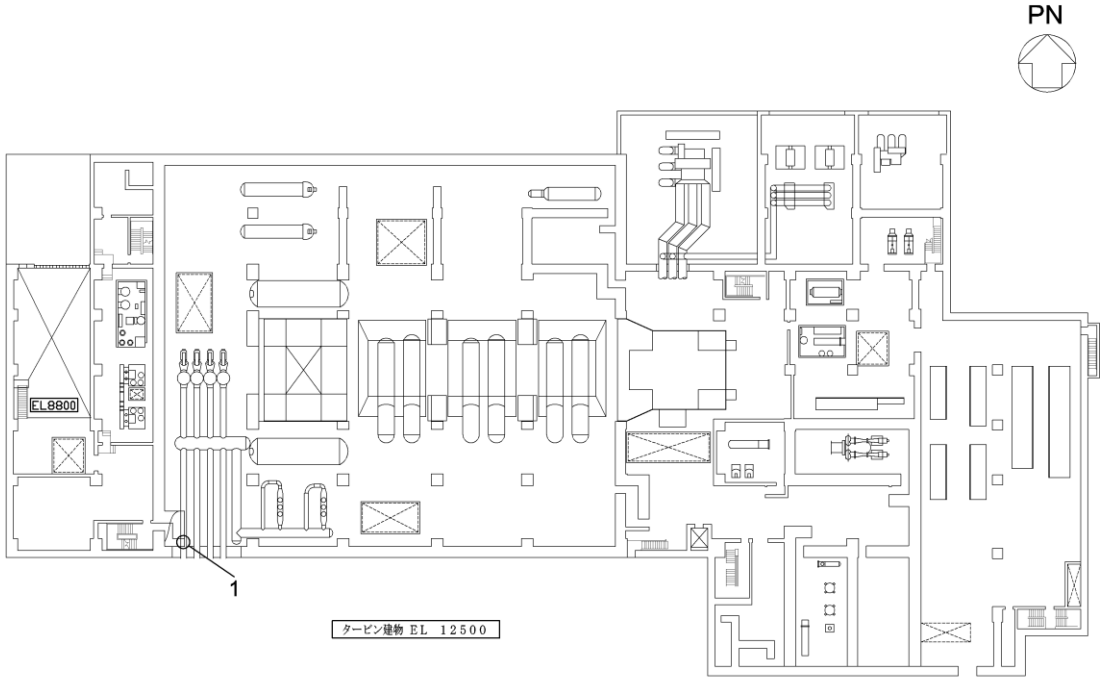
1	原子炉建物 4 階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 4 階 南東階段浸水防止堰
3	原子炉建物 4 階 北西階段浸水防止堰
4	原子炉建物 4 階 エアロック浸水防止堰
5	原子炉建物 4 階 大物搬入口浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（8/19）

配置図


1	タービン建物 1 階 給水加熱器室南西浸水防止堰

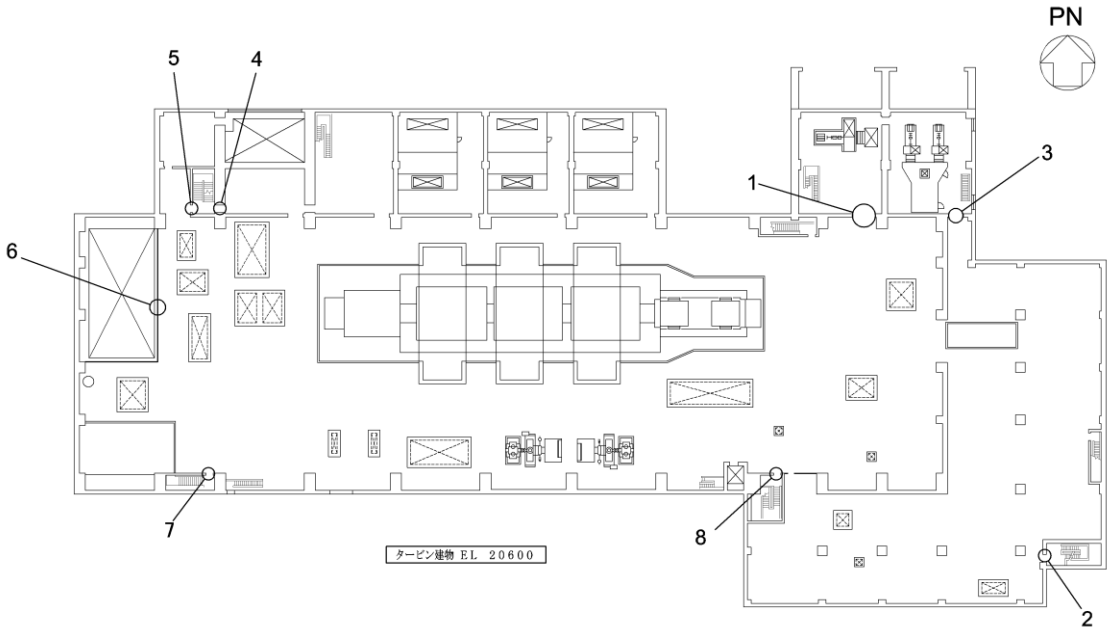
表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（9/19）

配置図


1	タービン建物 2 階 復水器室南西階段浸水防止堰

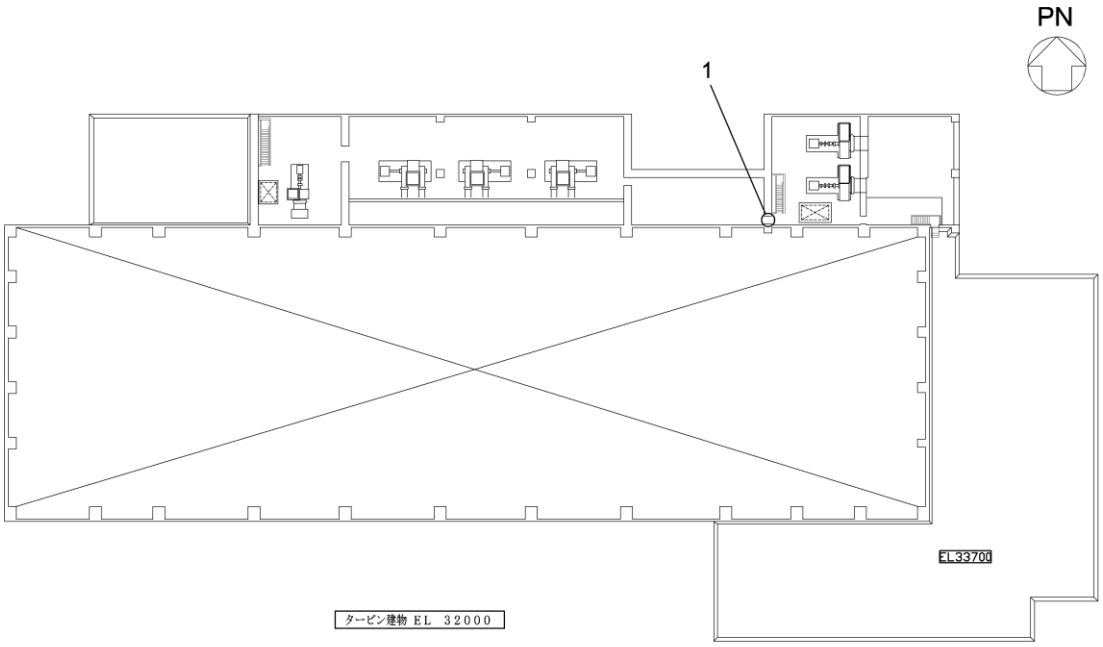
表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（10/19）

配置図



1	タービン建物 3 階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰
2	タービン建物 3 階 オペフロ南東階段浸水防止堰
3	タービン建物 3 階 常用電気室送風機室南側浸水防止堰
4	タービン建物 3 階 タービン建物ダストサンプラ室西側浸水防止堰
5	タービン建物 3 階 オペフロ北西階段浸水防止堰
6	タービン建物 3 階 大物搬入口浸水防止堰
7	タービン建物 3 階 オペフロ南西階段浸水防止堰
8	タービン建物 3 階 オペフロ南側階段浸水防止堰

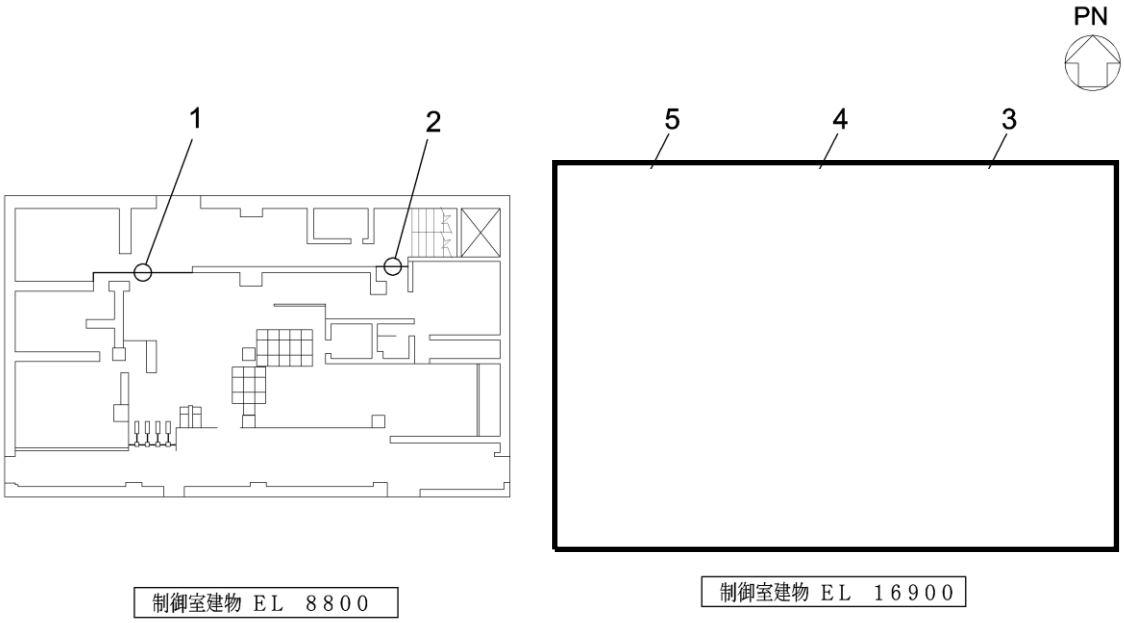
表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（11/19）

配置図


1	タービン建物 4 階 工具室浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（12/19）

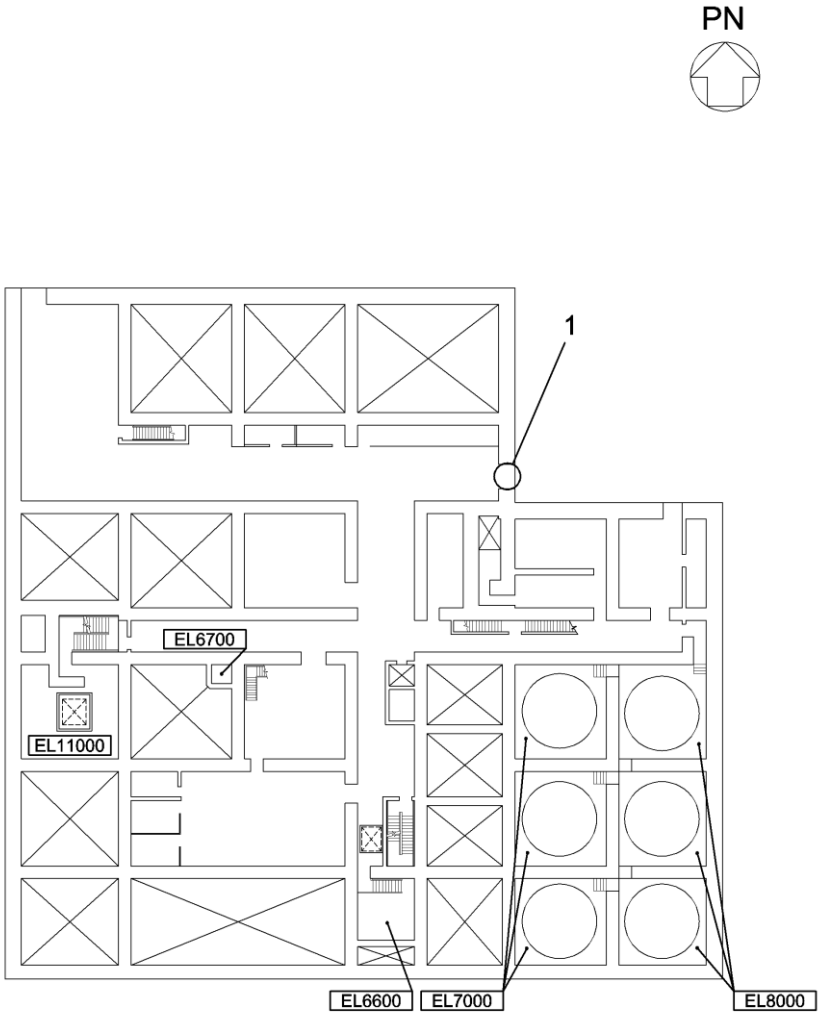
配置図



1	制御室建物 2階 第1チェックポイント中央浸水防止堰
2	制御室建物 2階 第1チェックポイント東側浸水防止堰
3	
4	
5	

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（13/19）

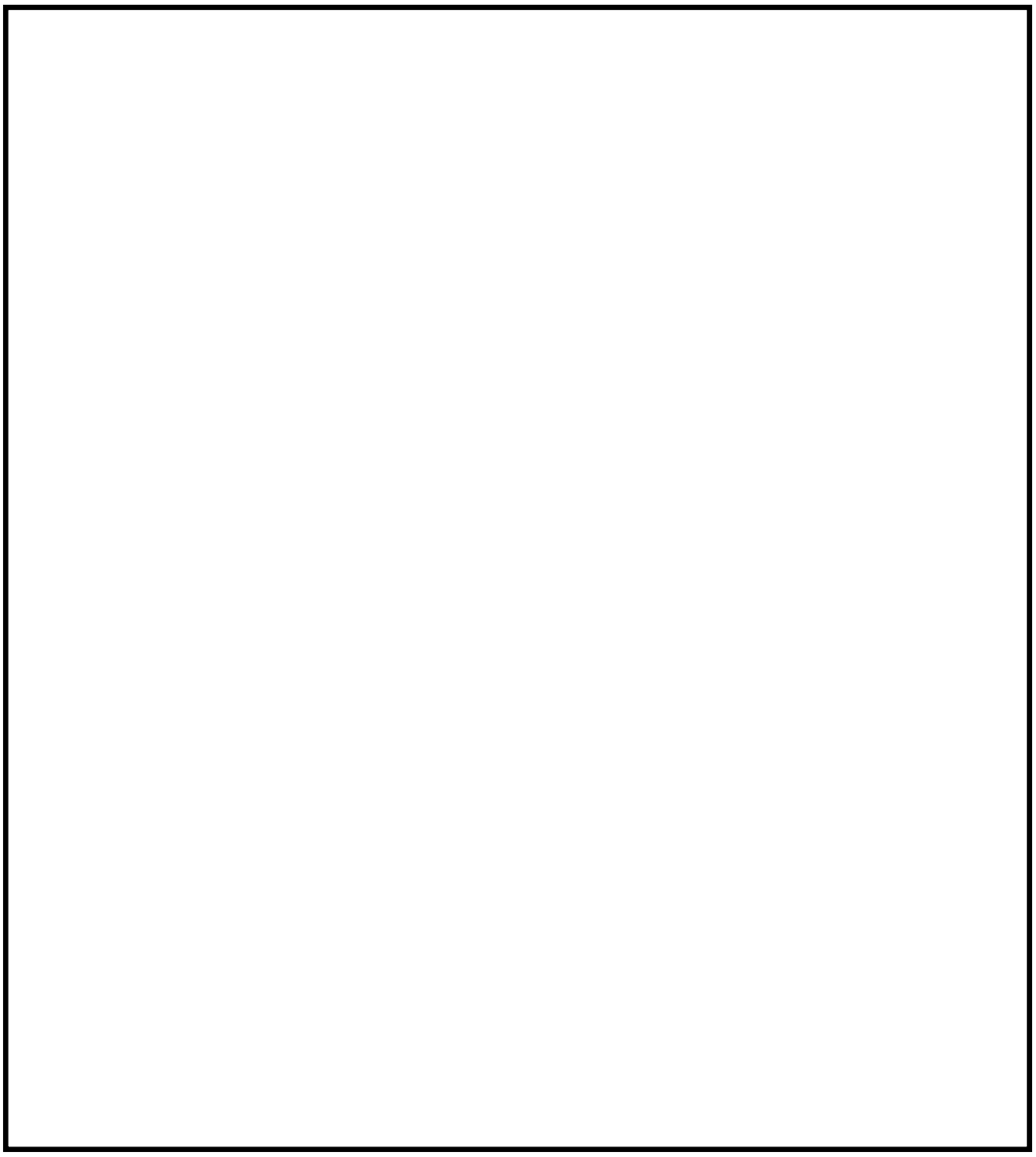
配置図



1	廃棄物処理建物 地下 1 階 通路東側浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（14/19）

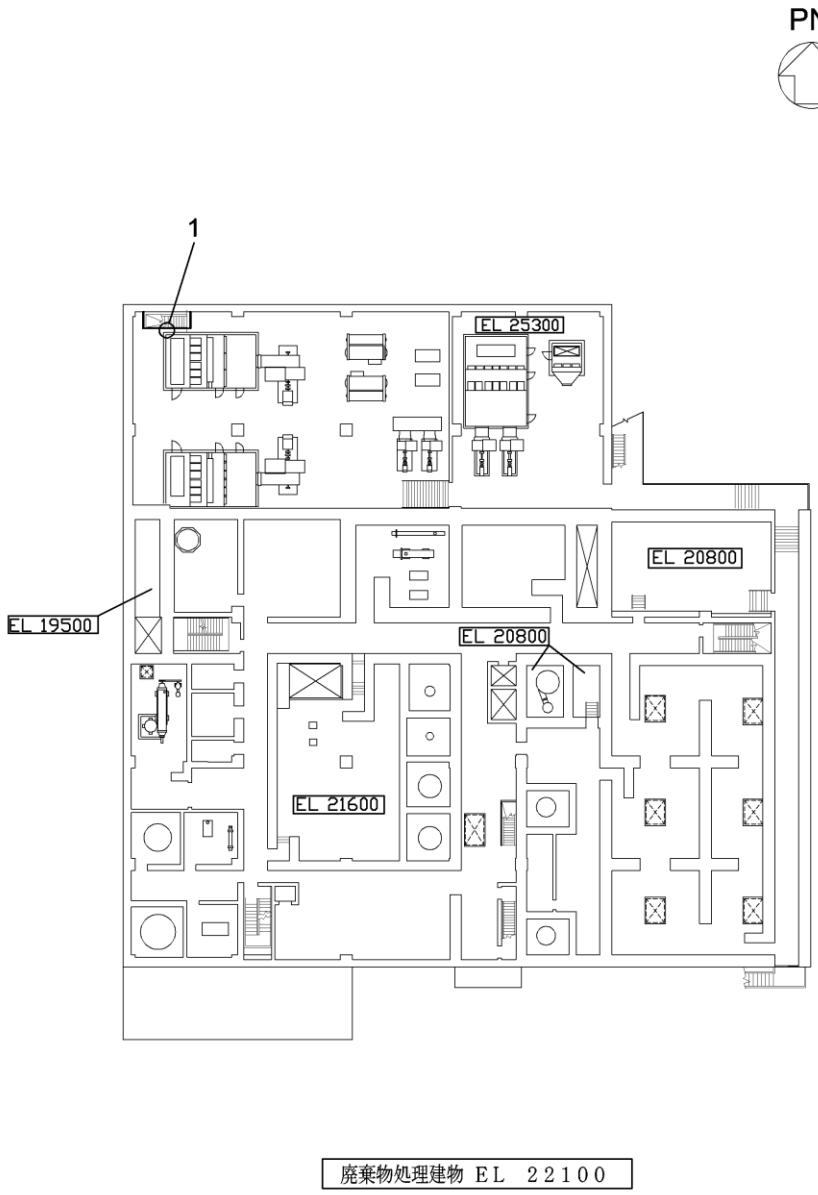
配置図



1	廃棄物処理建物 2 階 計算機室連絡扉前浸水防止堰
2	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（北）浸水防止堰
3	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（中）浸水防止堰
4	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側（南）浸水防止堰
5	廃棄物処理建物 1 階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰
6	廃棄物処理建物 1 階 中央制御室横会議室浸水防止堰（運転員控室側）
7	廃棄物処理建物 1 階 中央制御室横会議室浸水防止堰（予備室側）
8	廃棄物処理建物 1 階 中央制御室横会議室浸水防止堰（補助盤室側）

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（15/19）

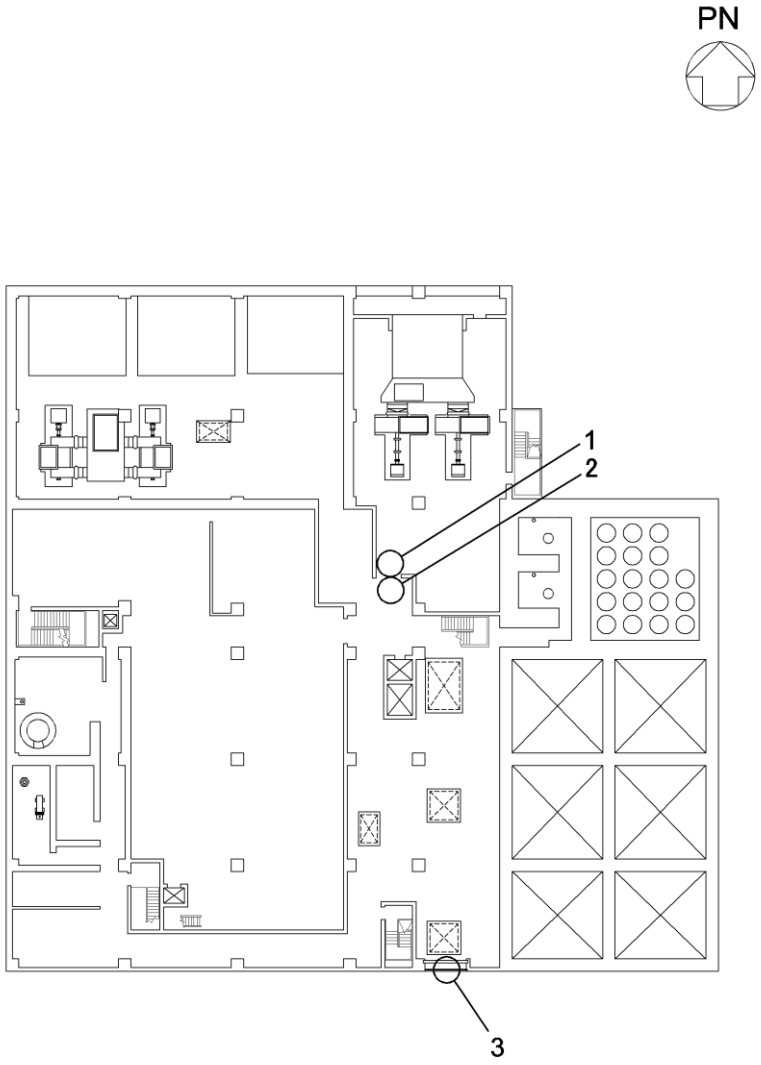
配置図



1	廃棄物処理建物 2 階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（16/19）

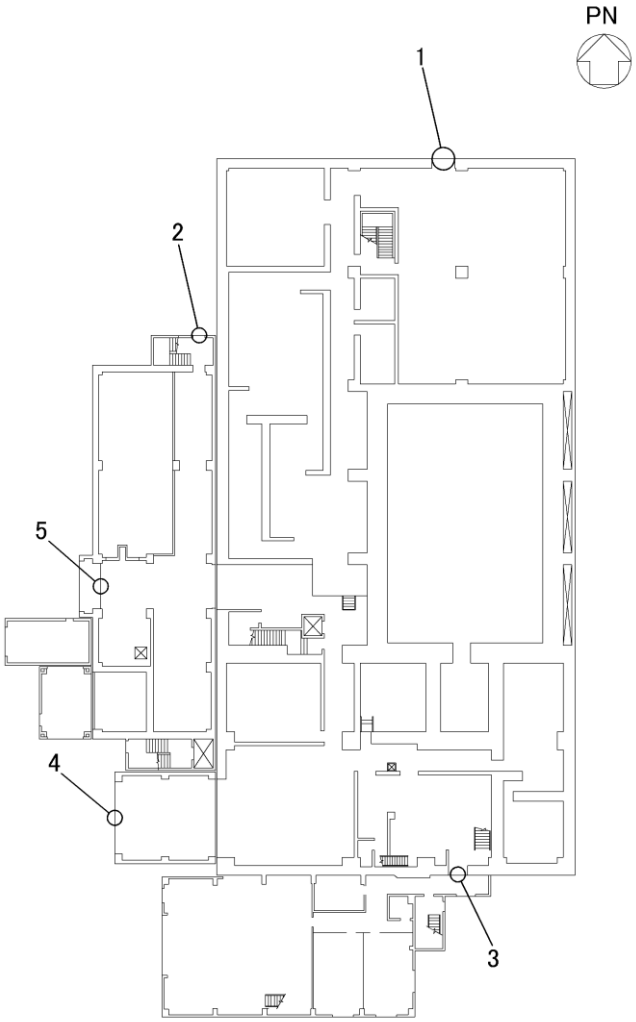
配置図



1	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（非管理区域側）
2	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（管理区域側）
3	廃棄物処理建物 4 階 南側シャッター前浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（17/19）

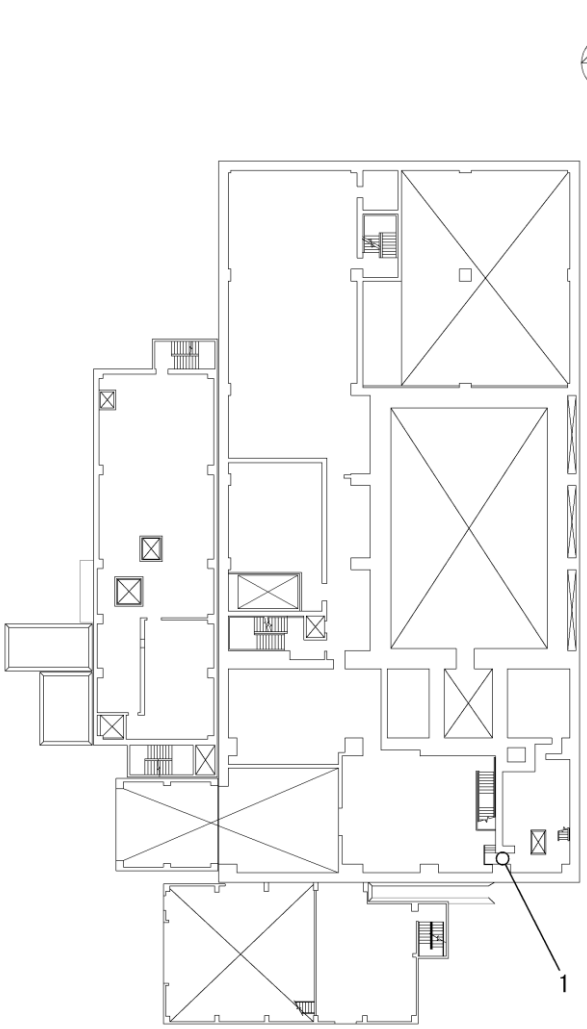
配置図



1	サイトバンカ建物 1階 排風機室北側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 1階 北西側階段室浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（18/19）

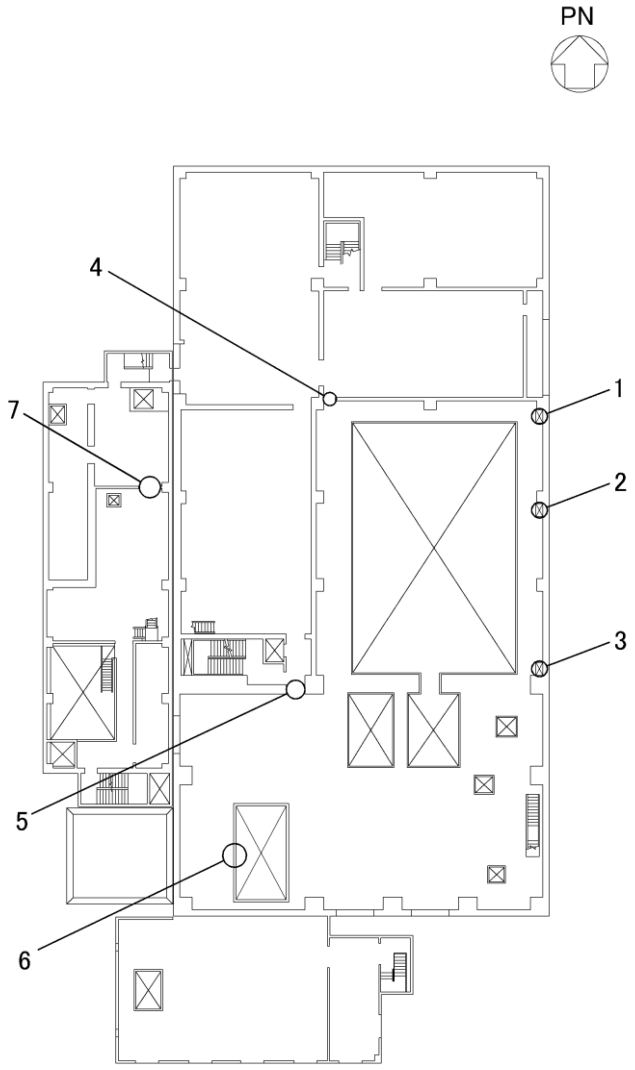
配置図



1	サイトバンカ建物 2 階 プリコート室浸水防止堰

表 3－3　設置位置（溢水用堰及び管理区域堰）（19/19）

配置図



サイトバンカ建物 EL 19800

1	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰
6	サイトバンカ建物 3 階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰
7	サイトバンカ建物 3 階 溶融物搬入機室浸水防止堰

表 3－4　溢水用堰及び管理区域堰の構造計画（1/3）

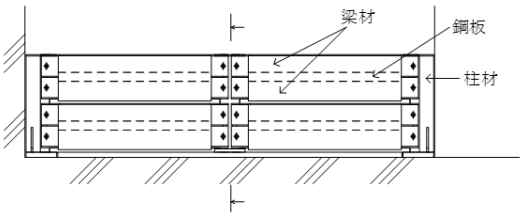
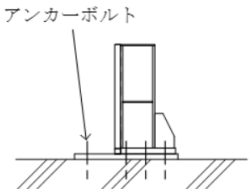
計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
鋼製堰（柱支持型堰）	鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトにて構成する。	柱材を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	 正面図  断面図

表 3－4　溢水用堰及び管理区域堰の構造計画（2/3）

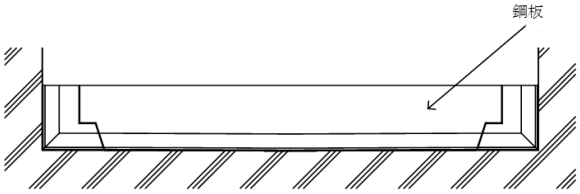
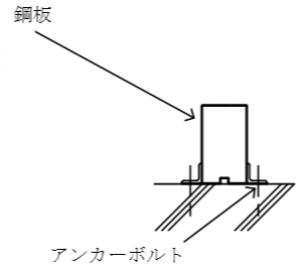
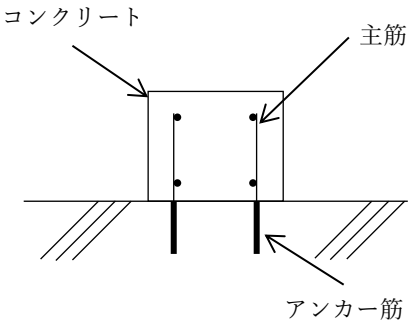
計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
鋼製堰（鋼板折曲げ型堰）	鋼板及びアンカーボルトにて構成する。	鋼板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	 正面図  断面図

表 3－4　溢水用堰及び管理区域堰の構造計画（3/3）

計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
鉄筋コンクリート製堰	コンクリート，主筋及びアンカー筋により構成する。	堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	 断面図

(3) 溢水用防水板及び管理区域防水板

a. 構造設計

溢水用防水板及び管理区域防水板は,「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ,以下の構造とする。

溢水用防水板及び管理区域防水板は,鋼板,芯材及びアンカーボルト等を主体構造とし,建物の床及び壁にアンカーボルトで固定し支持する構造とする。また,作用する荷重については,防水板に作用し,アンカーボルトを介し,建物の床及び壁に伝達する構造とする。

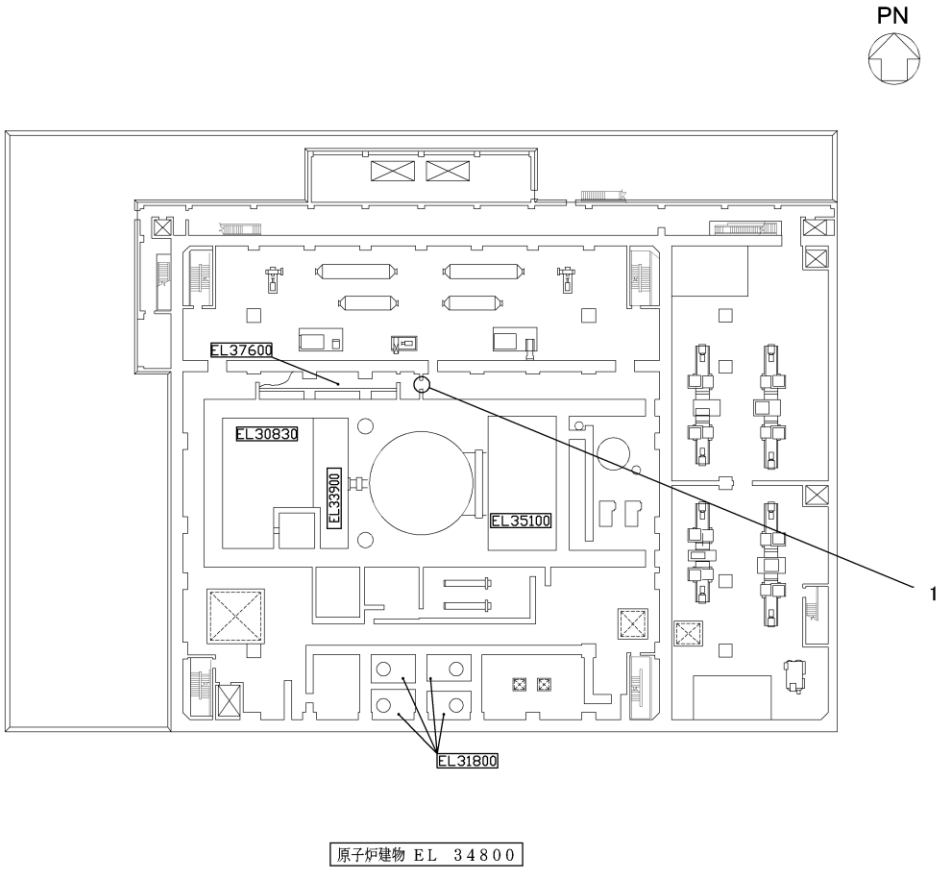
溢水用防水板及び管理区域防水板の設置位置を表3－5に示す。また,溢水用防水板及び管理区域防水板の構造計画を表3－6に示す。

b. 評価方針

溢水用防水板及び管理区域防水板は,「a. 構造設計」を踏まえ,以下の強度評価方針とする。

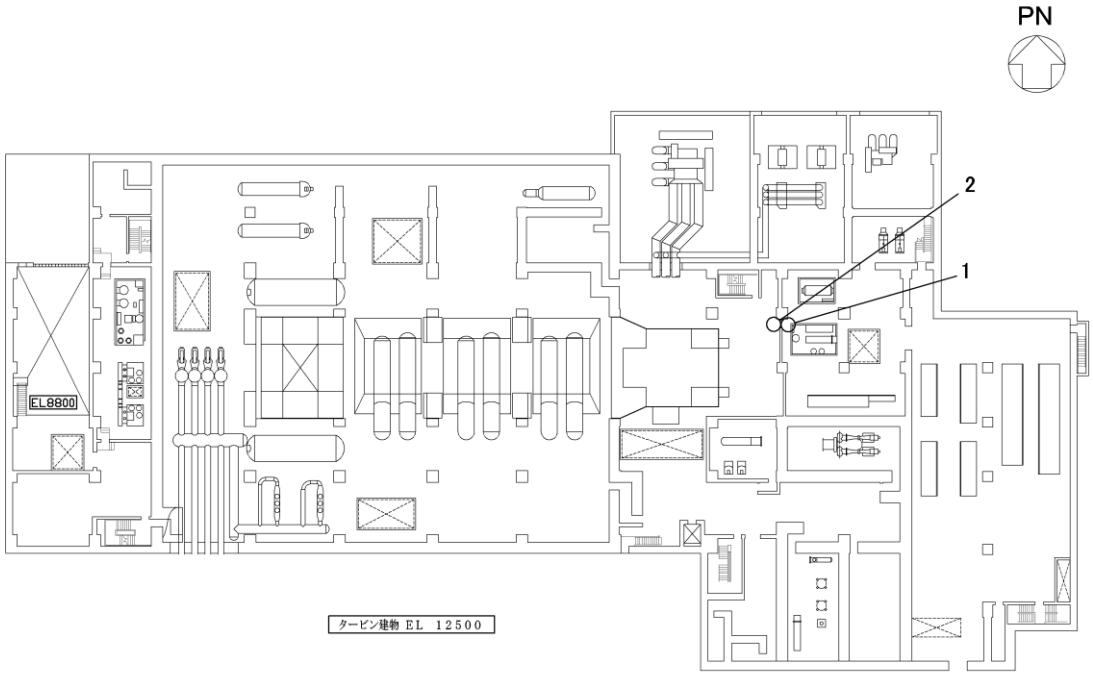
溢水用防水板及び管理区域防水板は,発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して,溢水用防水板及び管理区域防水板に作用する応力が,おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3－5　設置位置（溢水用防水板及び管理区域防水板）（1/3）

配置図


1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板

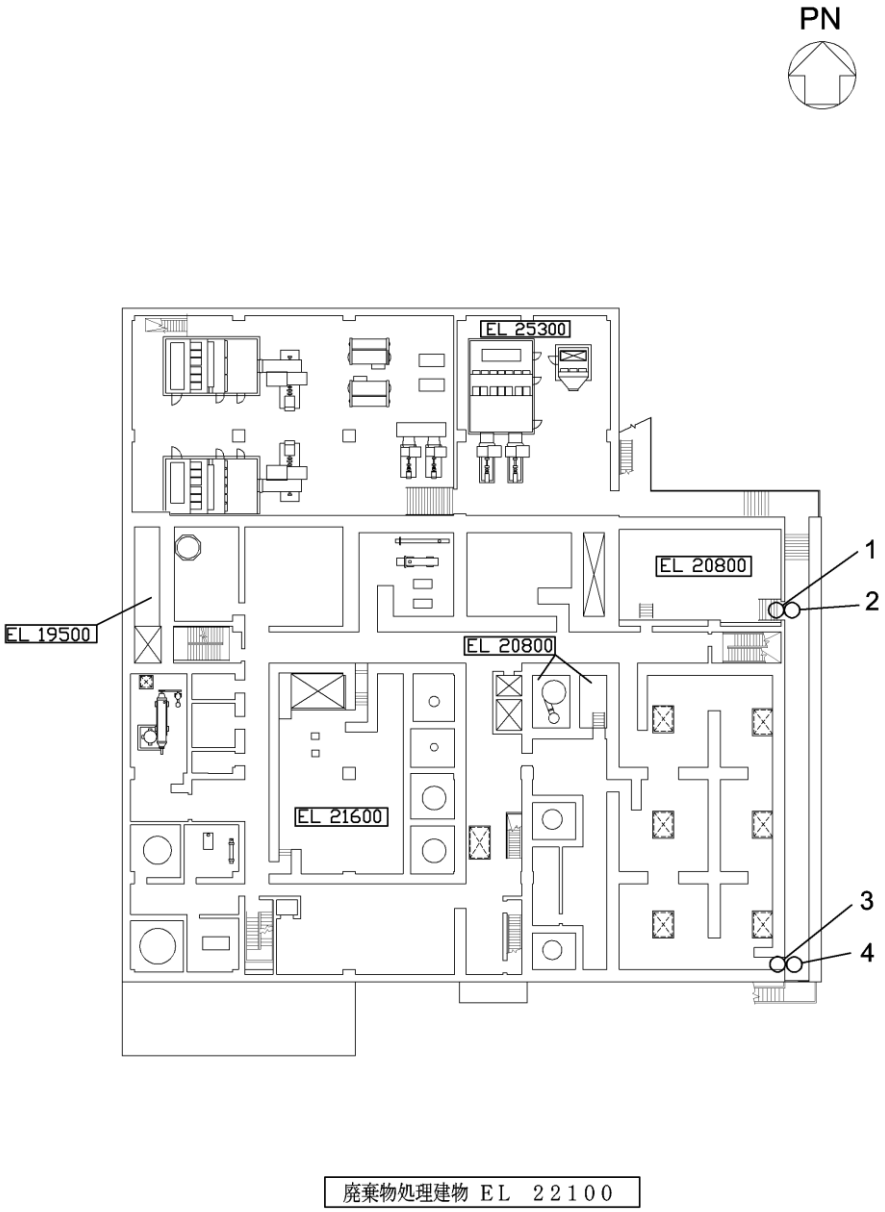
表 3－5　設置位置（溢水用防水板及び管理区域防水板）（2/3）

配置図


1	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）
2	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）

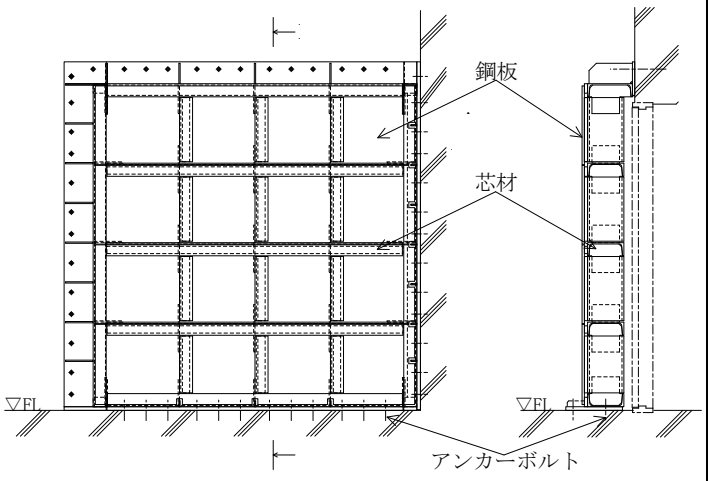
表 3－5　設置位置（溢水用防水板及び管理区域防水板）(3/3)

配置図



1	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）
2	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）
3	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）
4	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）

表 3－6　溢水用防水板及び管理区域防水板の構造計画

計画の概要		概略構造図
主体構造	支持構造	
鋼板，芯材及びアンカーボルトにより構成する。	芯材で補強した鋼板を建物床及び壁面にアンカーボルトにて固定する。	 正面図　　断面図

(4) 溢水用防水壁

a. 構造設計

溢水用防水壁は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

溢水用防水壁はディーゼル燃料移送ポンプエリア及び取水槽海水ポンプエリアに設置する。

ディーゼル燃料移送ポンプエリア防水壁は，鋼板，柱材，梁材，ブレース及びアンカーボルト等を主体構造とし，既設コンクリートを基礎として，アンカーボルトで固定し支持する構造とする。また，作用する荷重については，防水壁に作用し，アンカーボルトを介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

取水槽海水ポンプエリア防水壁は，鋼板，柱材，水平材及びアンカーボルト等を主体構造とし，既設コンクリートを基礎として，アンカーボルトで固定し支持する構造とする。また，作用する荷重については，防水壁に作用し，アンカーボルトを介し，既設コンクリートに伝達する構造とする。

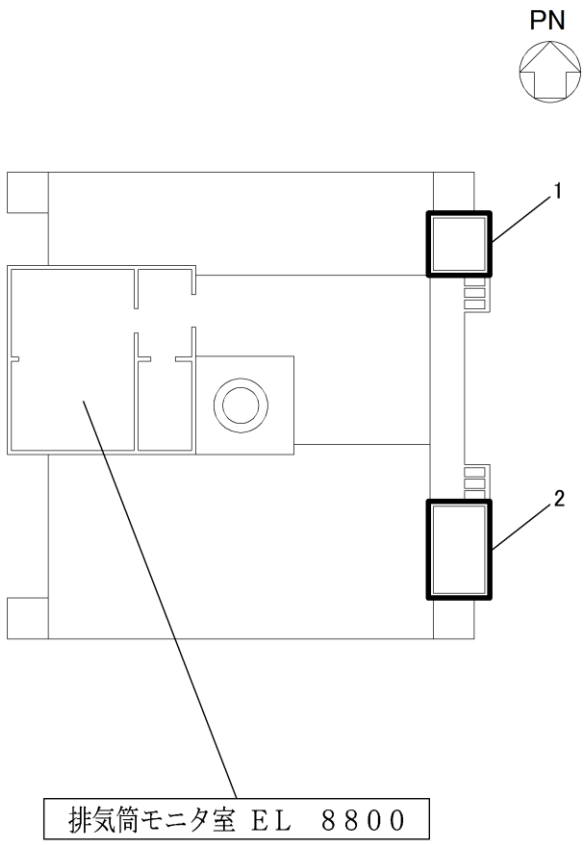
溢水用防水壁の設置位置を表3－7に示す。また，溢水用防水壁の構造計画を表3－8に示す。

b. 評価方針

溢水用防水壁は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

溢水用防水壁は，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，評価部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

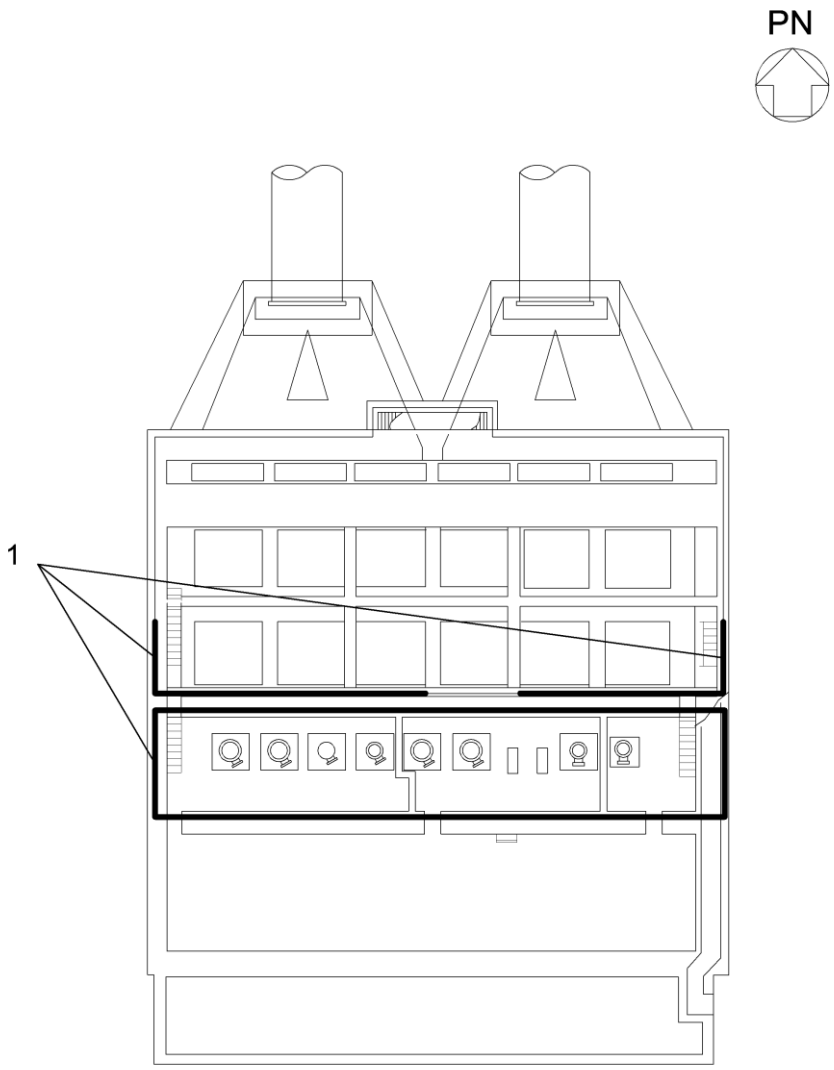
表 3－7　設置位置（溢水用防水壁）(1/2)

配置図


1	ディーゼル燃料移送ポンプエリア北側防水壁
2	ディーゼル燃料移送ポンプエリア南側防水壁

表 3－7　設置位置（溢水用防水壁）(2/2)

配置図



1	取水槽海水ポンプエリア防水壁

表 3－8　溢水用防水壁の構造計画（1/2）

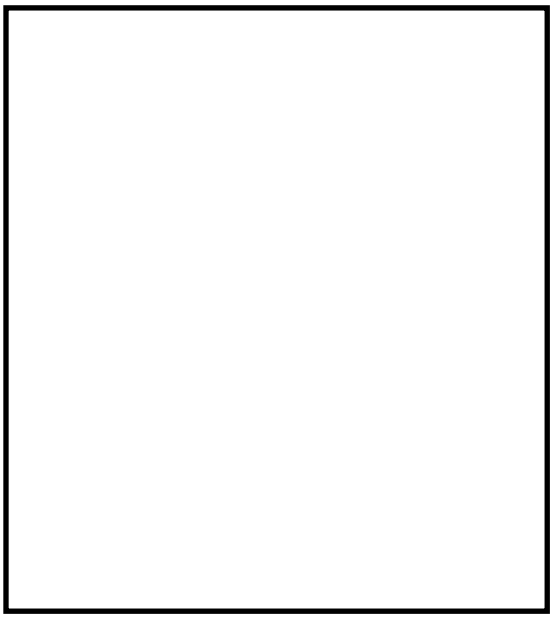
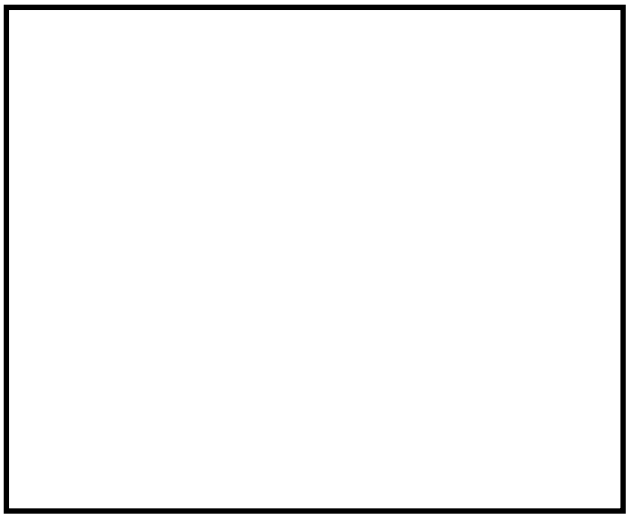
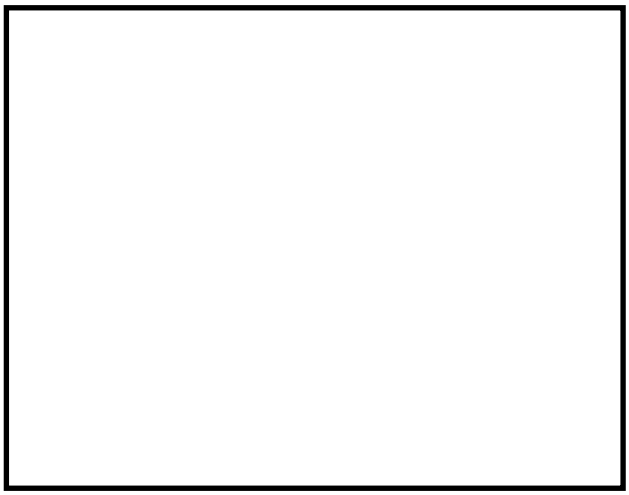
計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
ディーゼル燃料移送ポンプエリア防水壁	鋼板，梁，柱，ブレース及びアンカーボルトにより構成する。	梁，柱及びブレースで補強した鋼板を基礎にアンカーボルトにて固定する。	 平面図  軸組図

表 3－8　溢水用防水壁の構造計画（2/2）

計画の概要			概略構造図
	主体構造	支持構造	
取水槽海水ポンプエリア防水壁	鋼板，柱材，水平材，ベースプレート，アンカーボルトにより構成する。	水平材，柱材で補強した鋼板を基礎にアンカーボルトにて固定する。	 正面図  断面図

(5) 床ドレン逆止弁

a. 構造設計

床ドレン逆止弁は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

床ドレン逆止弁は，弁座を含む弁本体，弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成し，床面設置の床ドレン配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定する構造とする。また，作用する荷重は，床ドレン逆止弁に作用し，ねじ込みで固定した部分を介して建物内の床面に伝達する構造とする。

床ドレン逆止弁の設置位置を表 3－9 に示す。また，構造計画を表 3－10 に示す。

b. 評価方針

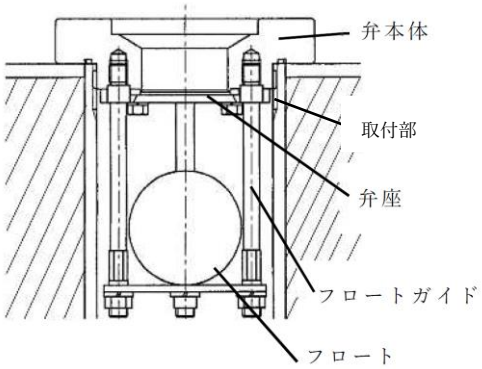
床ドレン逆止弁は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

床ドレン逆止弁は発生を想定する溢水による静水圧に対して，床ドレン逆止弁の評価部位に作用する応力がおおむね弾性状態にとどまることを確認する。

表 3－9 設置位置（床ドレン逆止弁）

建物名称	設置階	
原子炉建物	地下 2 階	EL 1300mm
		EL 2800mm

表 3－10　床ドレン逆止弁の構造計画

計画の概要			概略構造図
型式	主体構造	支持構造	
80A 型	弁座を含む弁本体,弁体であるフロート及びフロートを弁座に導くフロートガイドで構成する。	配管のねじ切り部に直接ねじ込み固定とする。	

(6) 貫通部止水処置

a. 構造設計

貫通部止水処置は，「3.1 構造強度の設計方針」で設定している設計方針及び「4.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重を踏まえ，以下の構造とする。

貫通部止水処置は，建物及び区画内の壁又は床面の貫通口と貫通物の隙間をシール材，ブーツ，モルタル及び金属製伸縮継手により止水する構造とする。

なお，電路貫通部の止水においては，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁，床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填する場合がある。

また，作用する荷重については，受圧面へ全面的に作用した場合に，止水処置部全体へ伝達する構造とする。

貫通部止水処置の設置位置を表 3－11 に示す。また，構造計画を表 3－12 に示す。

なお，貫通部止水処置の選定については，図 3－1 に示す貫通部止水処置の選定フローによる。

b. 評価方針

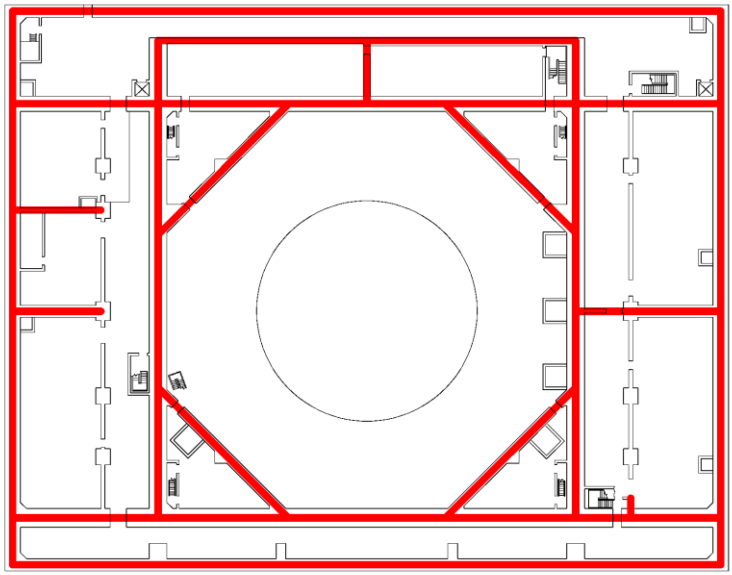
貫通部止水処置は，「a. 構造設計」を踏まえ，以下の強度評価方針とする。

シール材及びブーツによる止水処置については，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，有意な漏えいが生じないことを確認する。

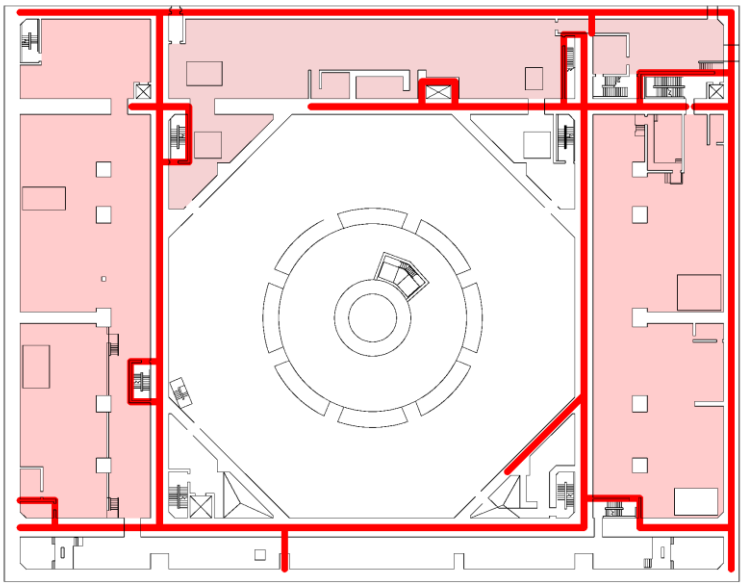
モルタル及び金属製伸縮継手による止水処置については，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する。

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（1/19）

配置図



原子炉建物 EL 1300



原子炉建物 EL 8800

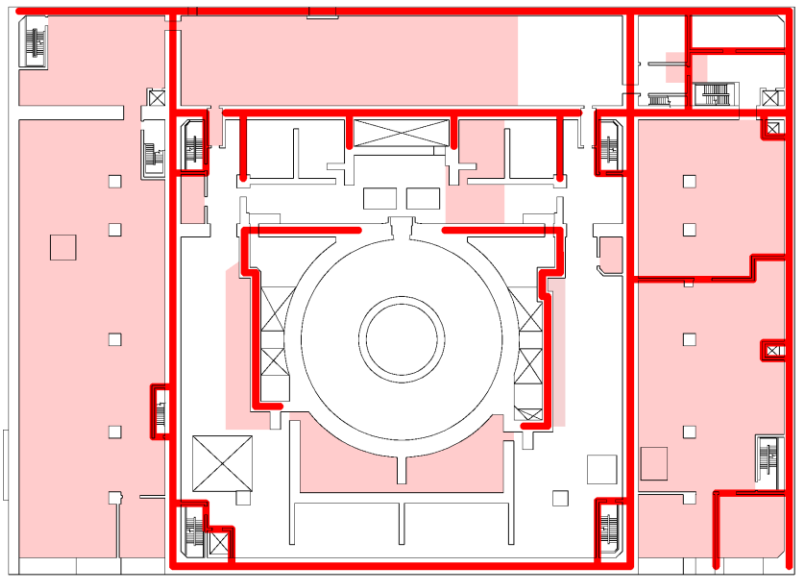
【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（2/19）

配置図



原子炉建物 EL 15300

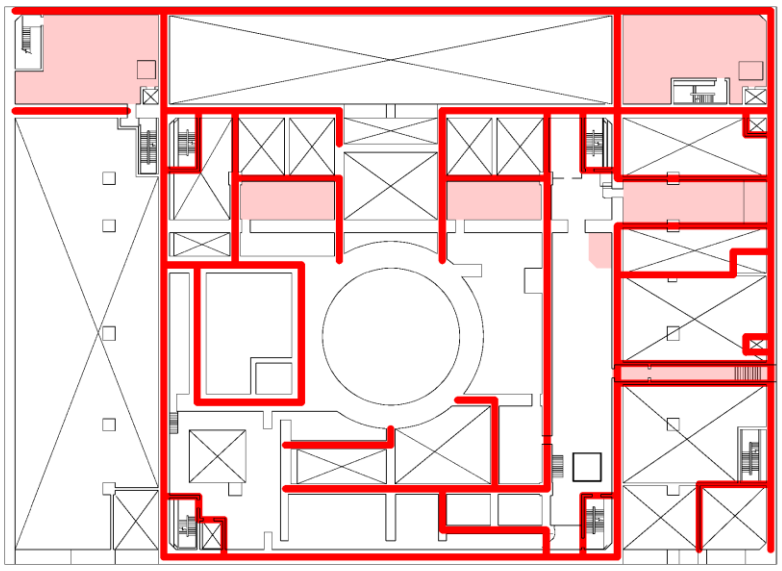


原子炉建物 EL 23800

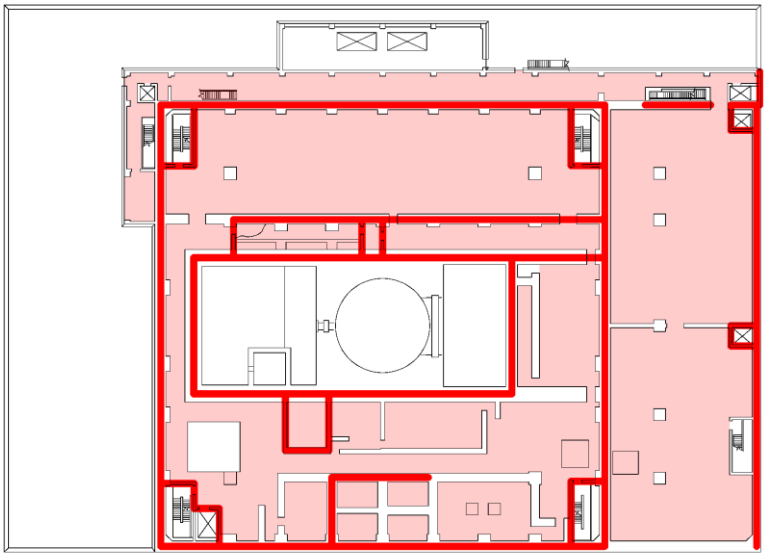
【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）(3/19)

配置図



原子炉建物 EL 30500



原子炉建物 EL 34800

【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（4/19）

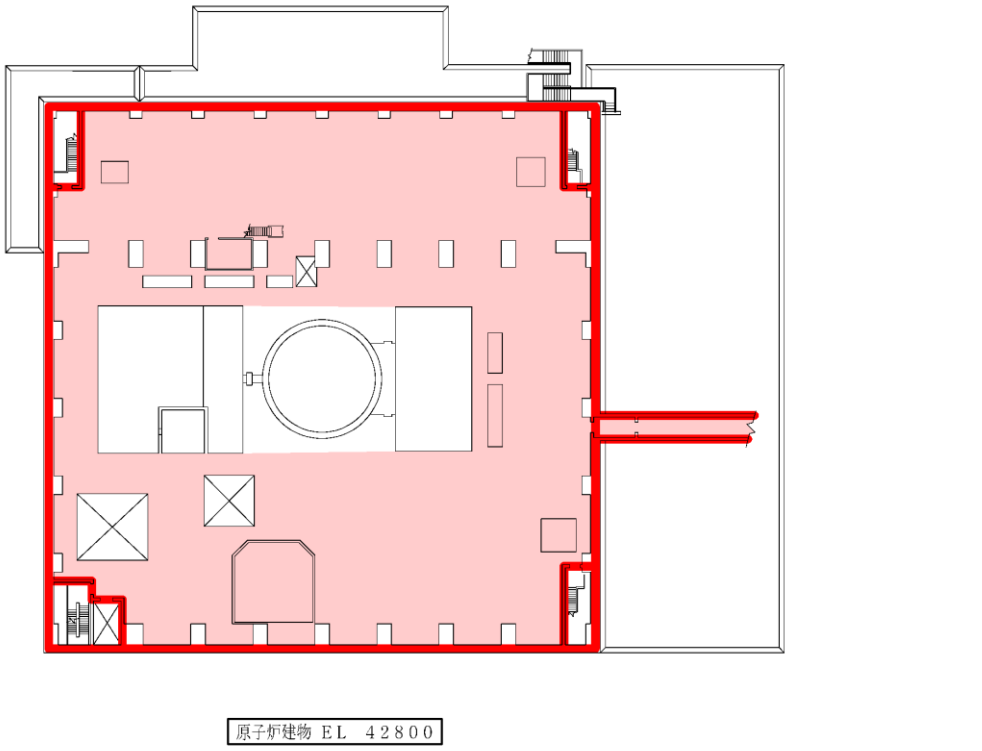
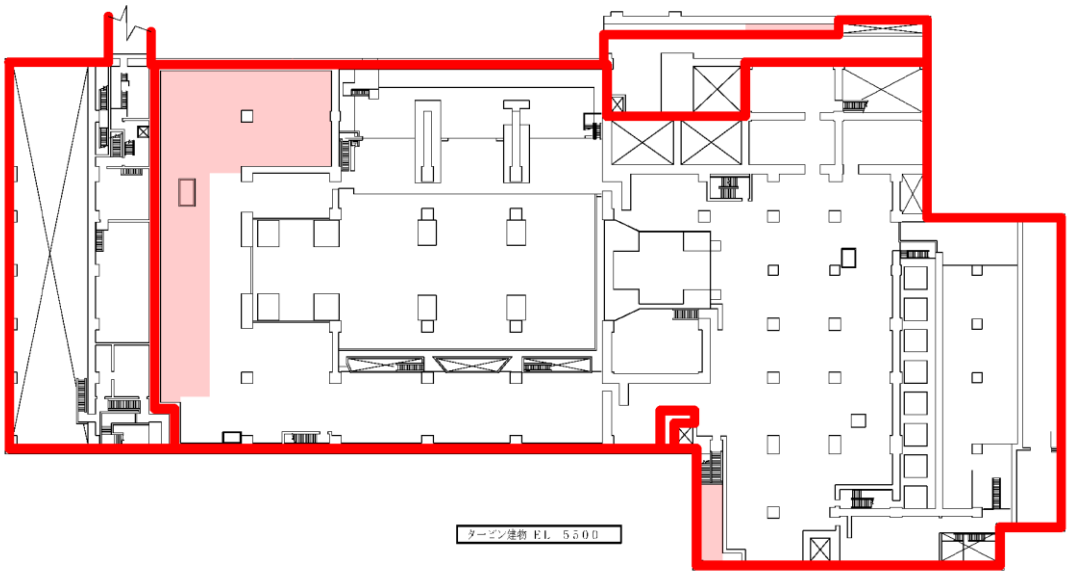
配置図


表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（5/19）

配置図





【凡例】
：施工対象の壁面　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（6/19）

配置図

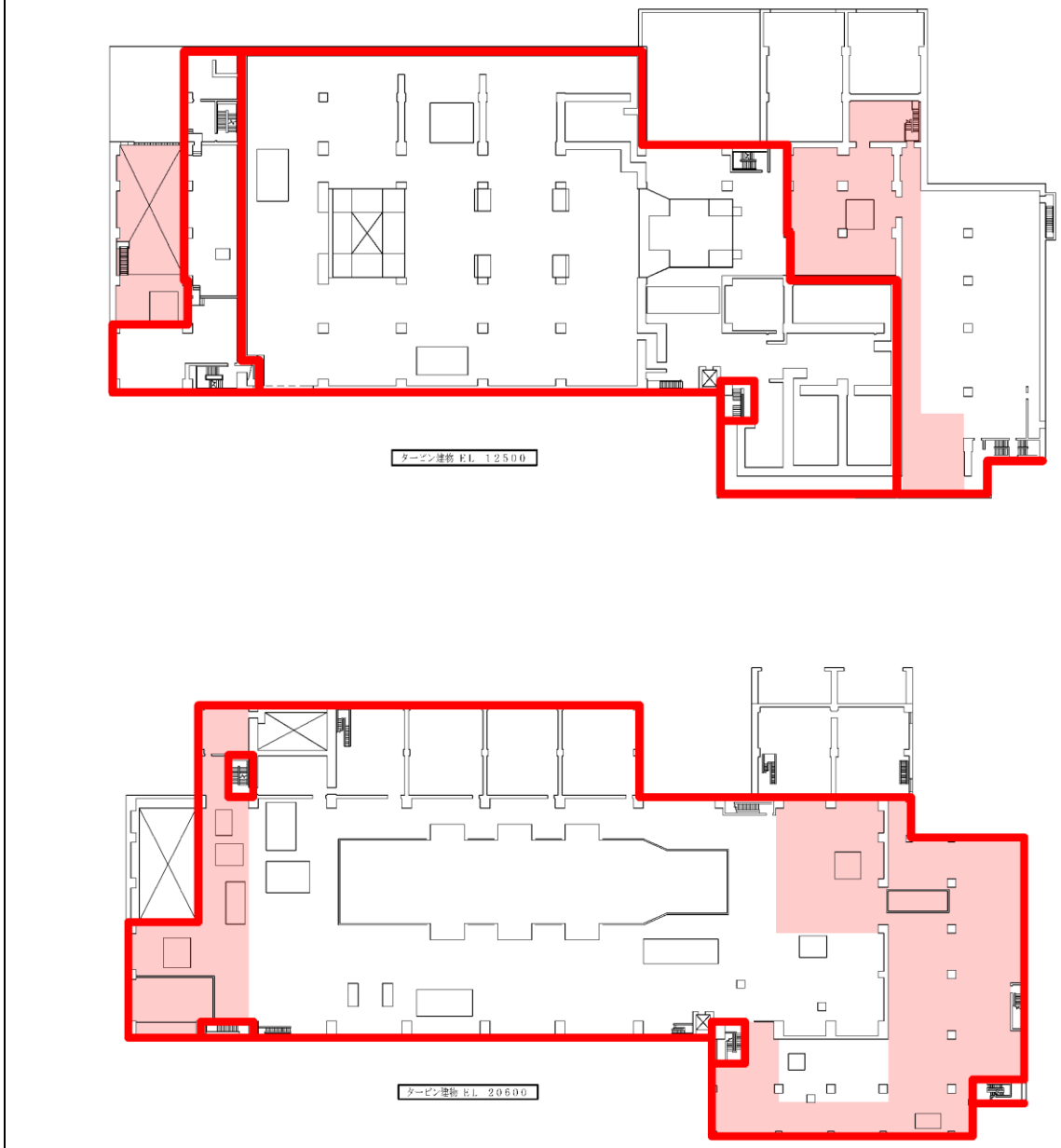


表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（7/19）

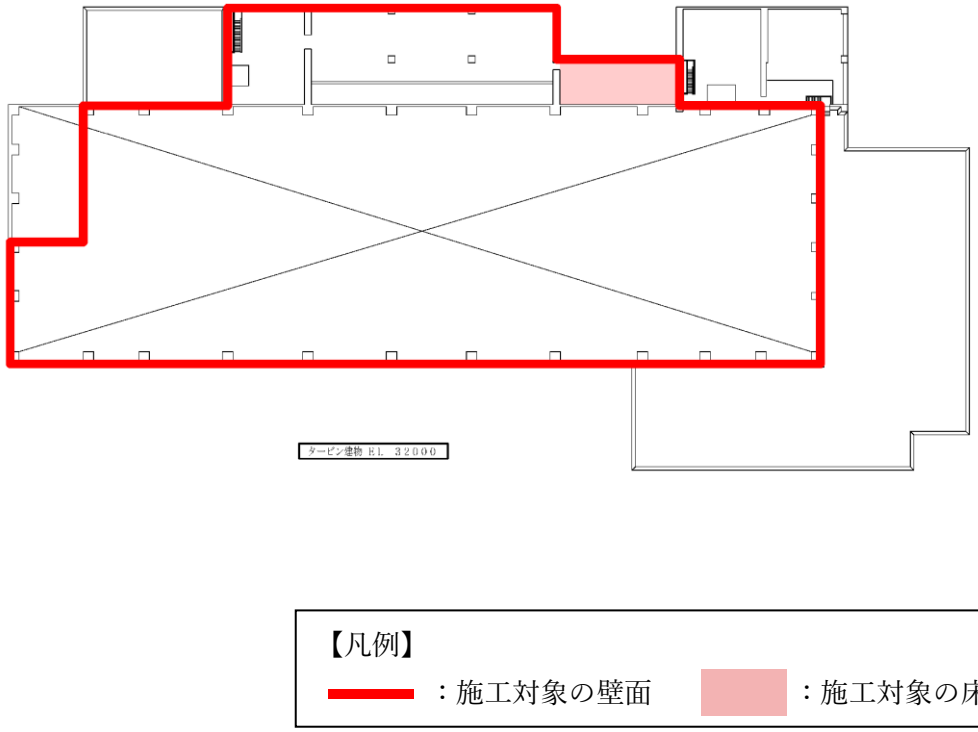
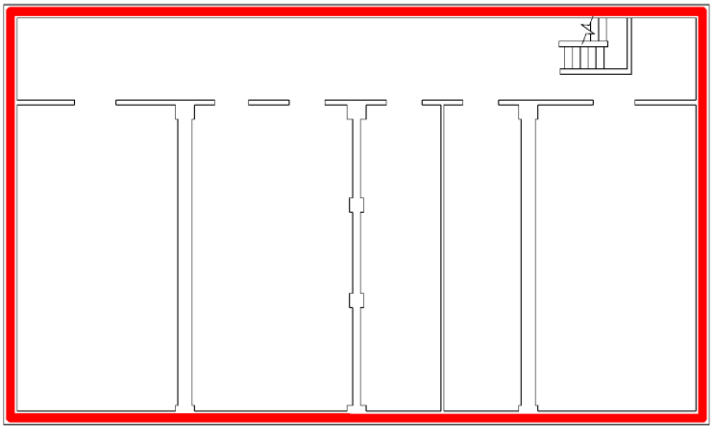
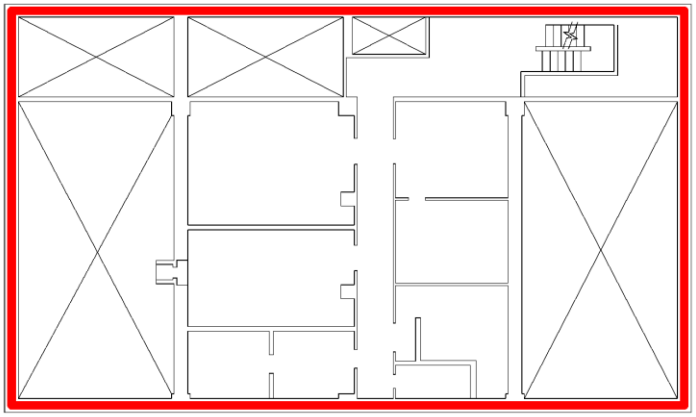
配置図


表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）(8/19)

配置図



制御室建物 ＥＬ　１６００

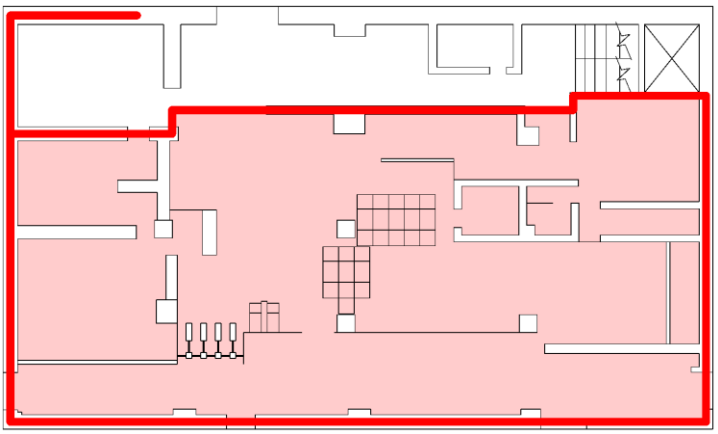


制御室建物 ＥＬ　５３００

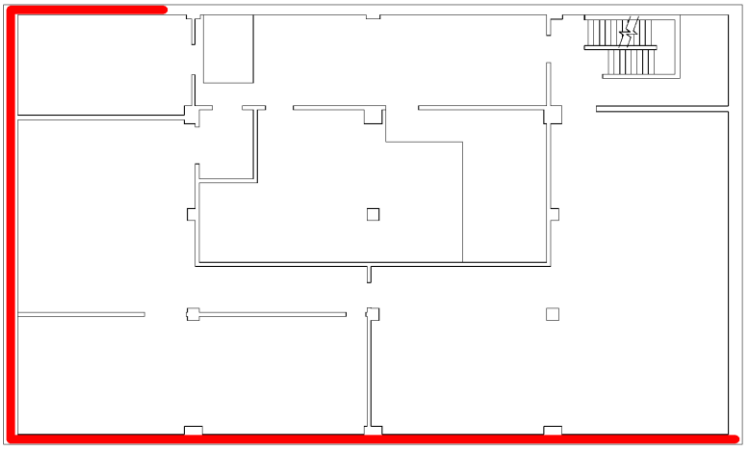
【凡例】
：施工対象の壁面　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）(9/19)

配置図



制御室建物 ＥＬ　８８００



制御室建物 ＥＬ　１２８００

【凡例】
：施工対象の壁面　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（10/19）

配置図

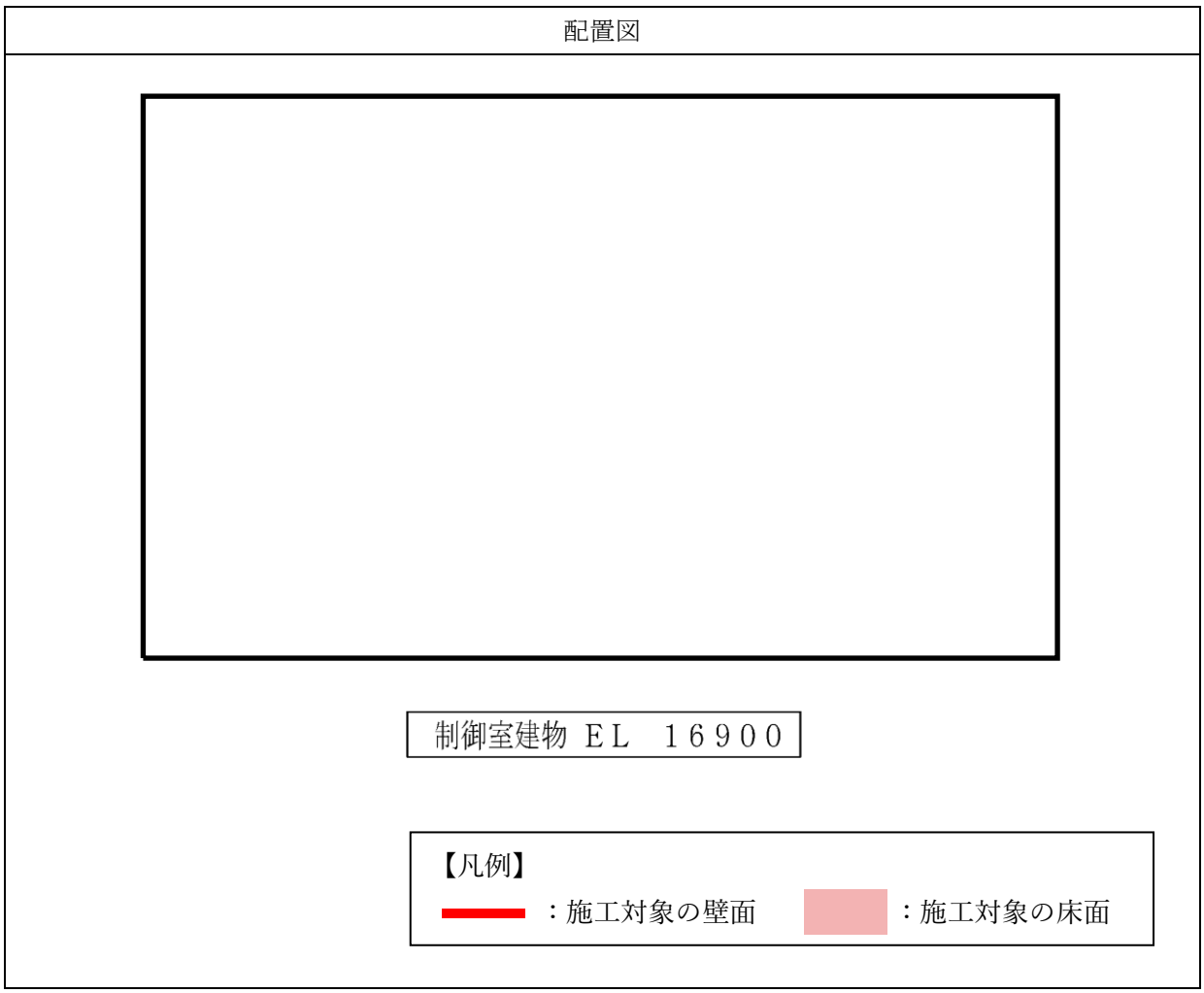
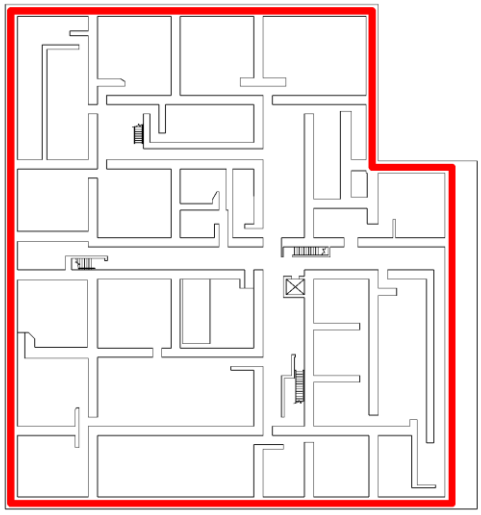
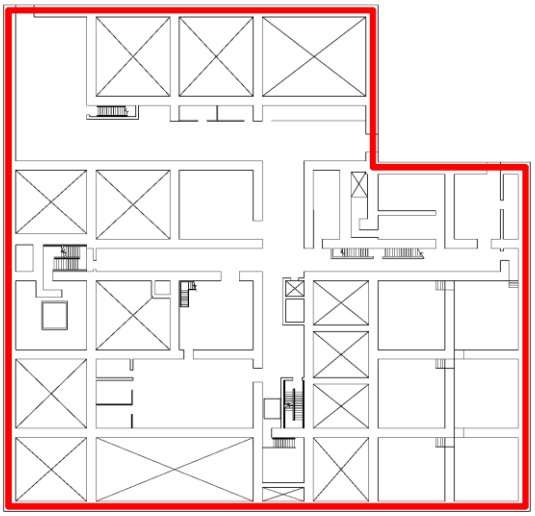


表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（11/19）

配置図



廃棄物処理建物 EL 3000

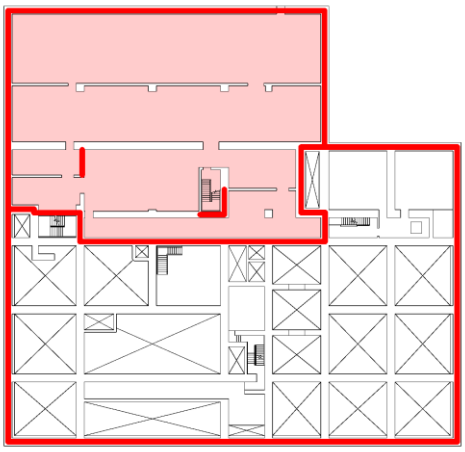


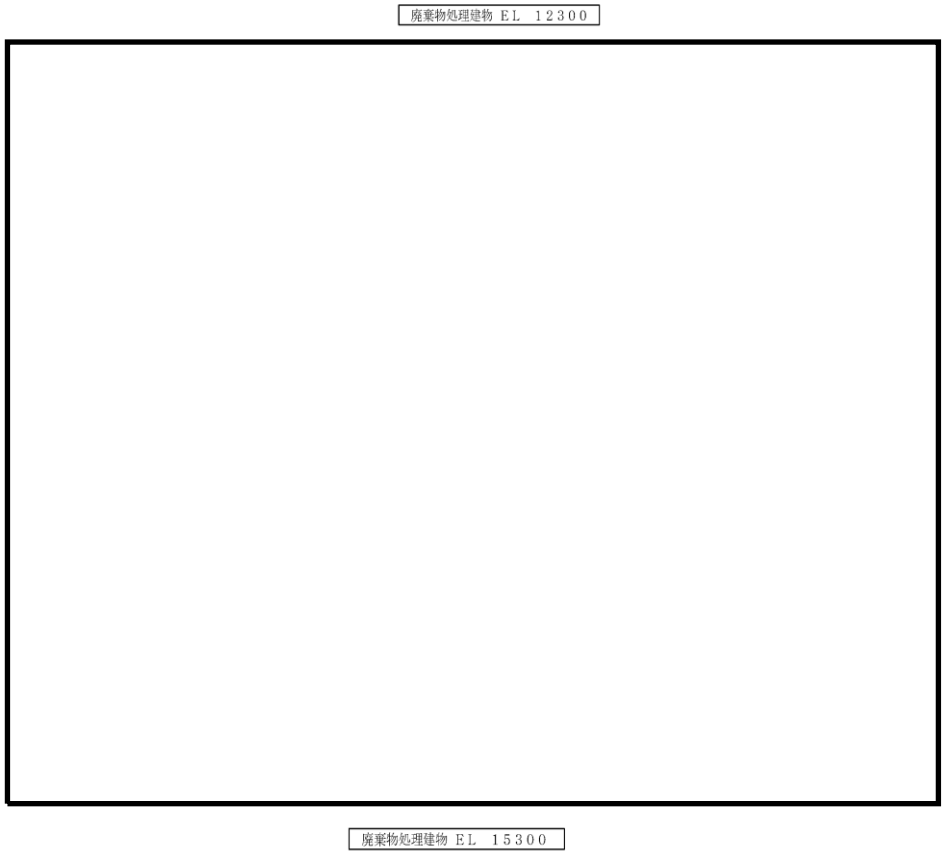
廃棄物処理建物 EL 8800

【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（12/19）

配置図

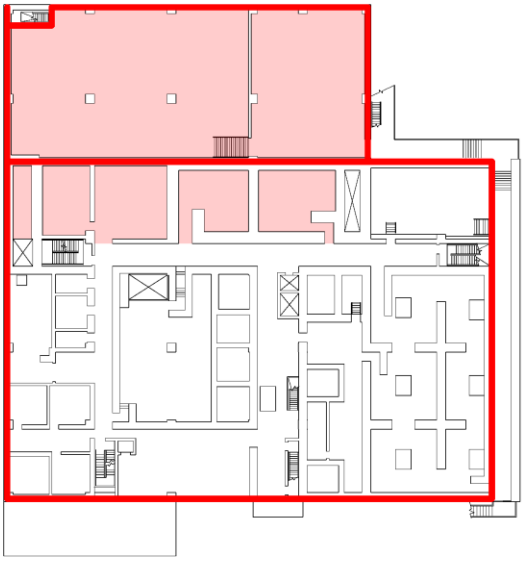




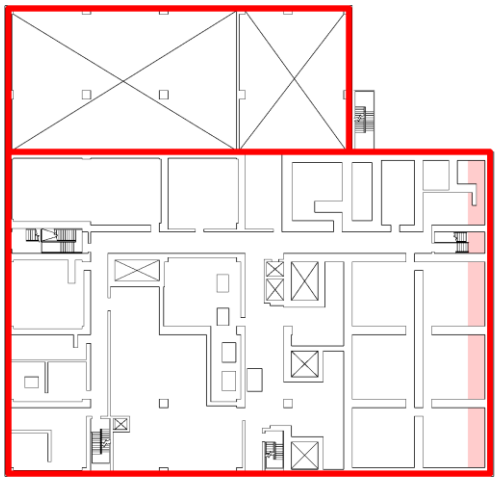
【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（13/19）

配置図



廃棄物処理建物 EL　22100

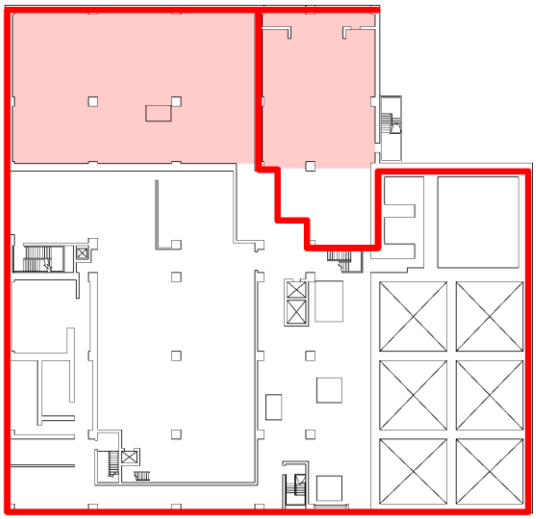


廃棄物処理建物 EL　26700

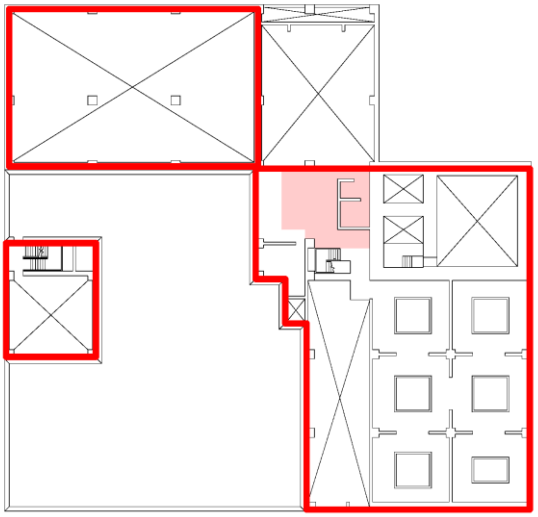
【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（14/19）

配置図



廃棄物処理建物 EL 32000

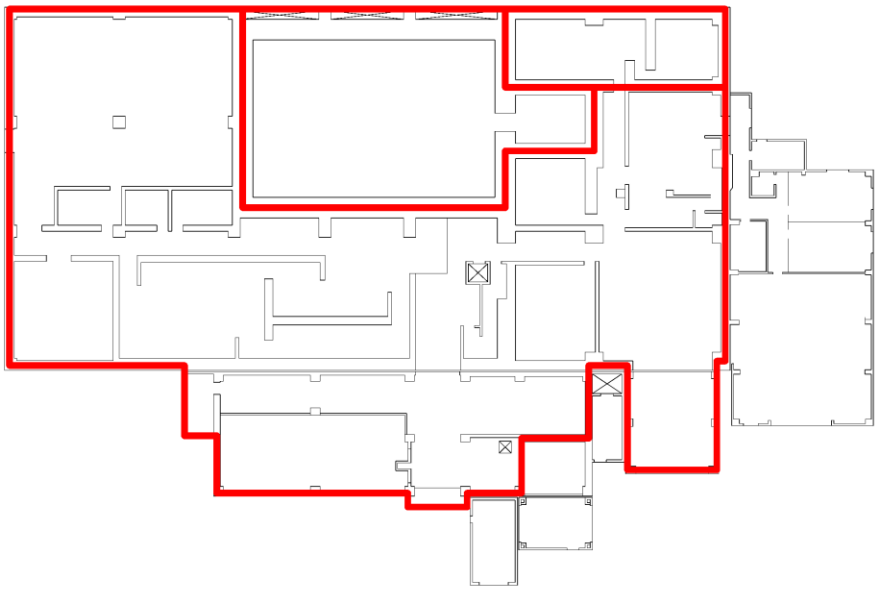


廃棄物処理建物 EL 37500

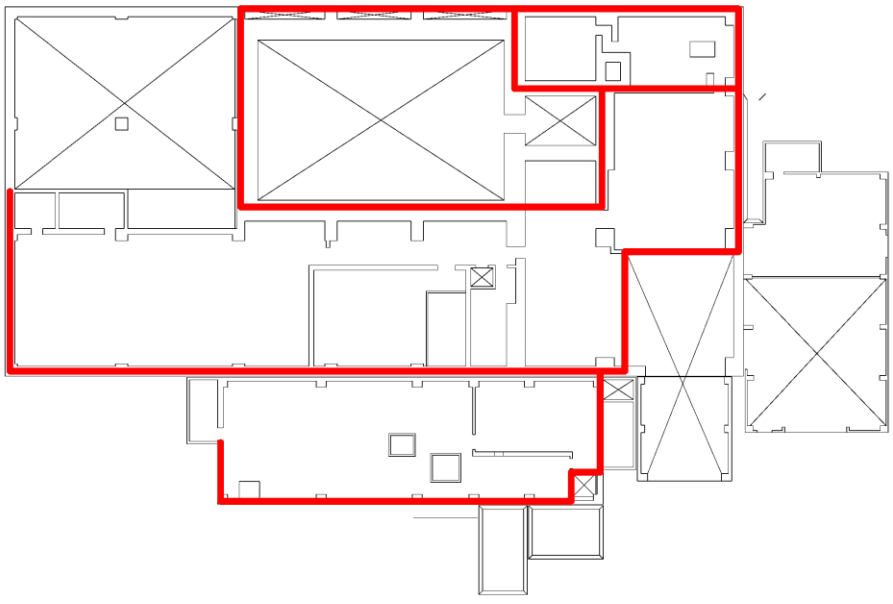
【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（15/19）

配置図



サイトバンカ建物　EL　8800

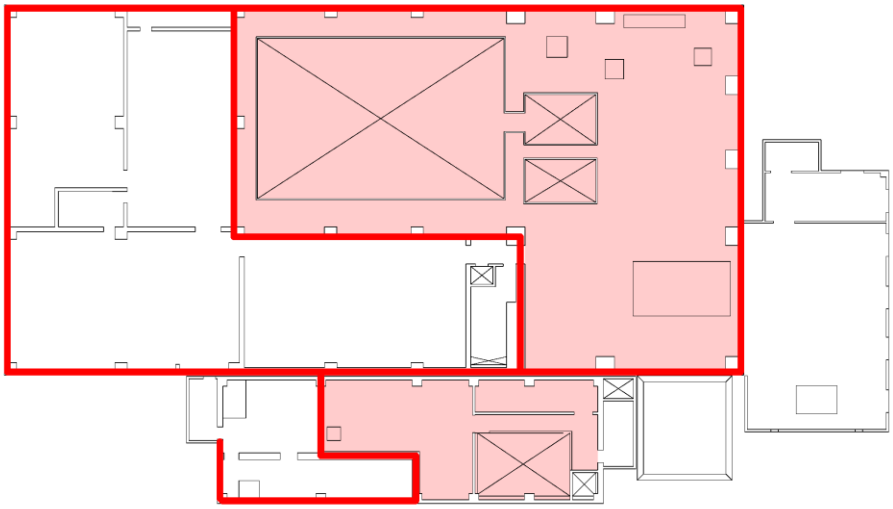


サイトバンカ建物　EL　14100

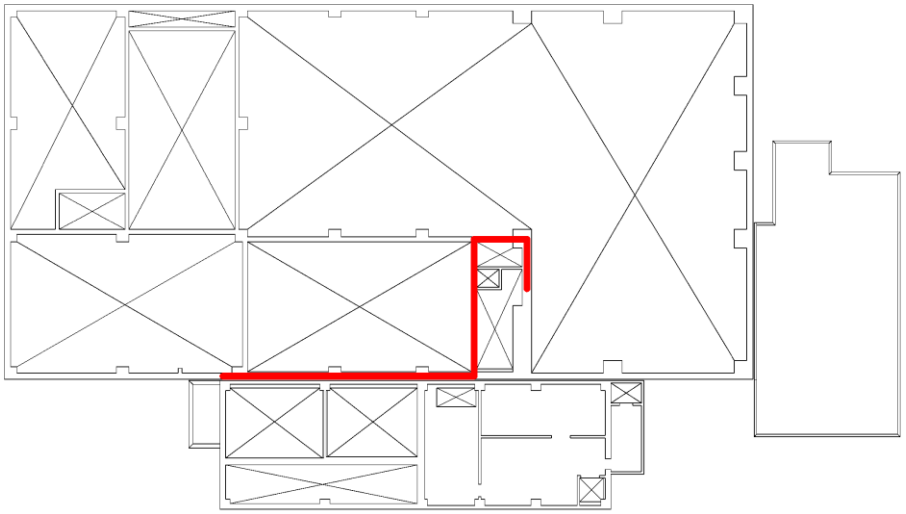
【凡例】
：施工対象の壁面　　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（16/19）

配置図



サイトバンカ建物　EL　19800



サイトバンカ建物　EL　23800

【凡例】
：施工対象の壁面　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（17/19）

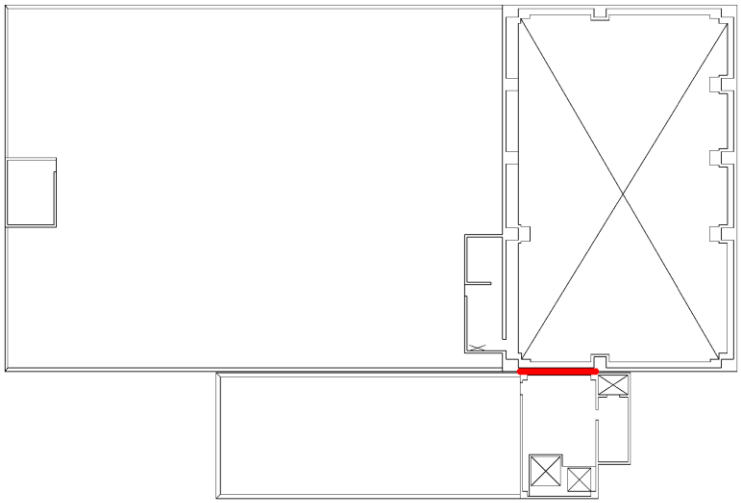
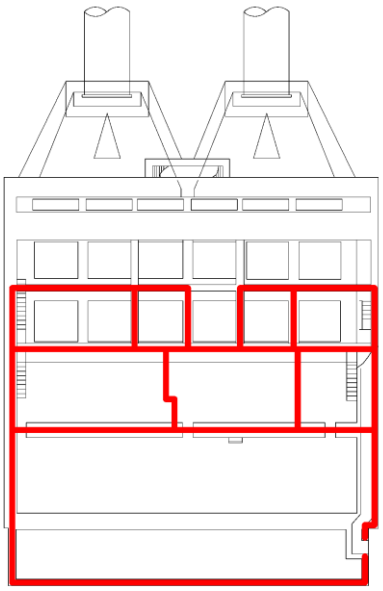
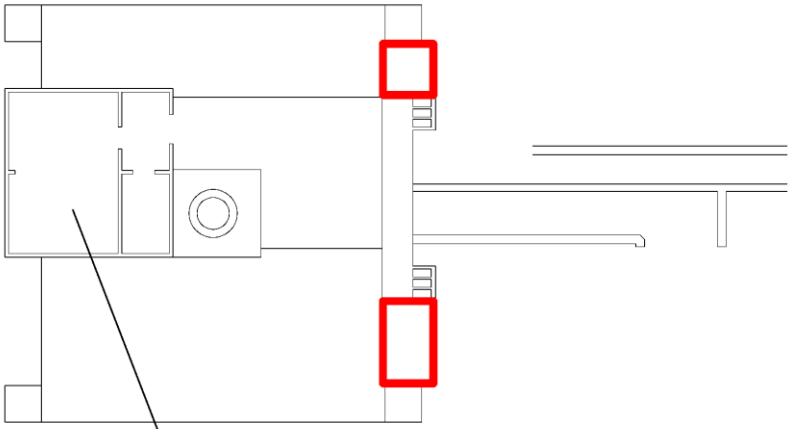
配置図


表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（18/19）

配置図



取水槽 EL　1100

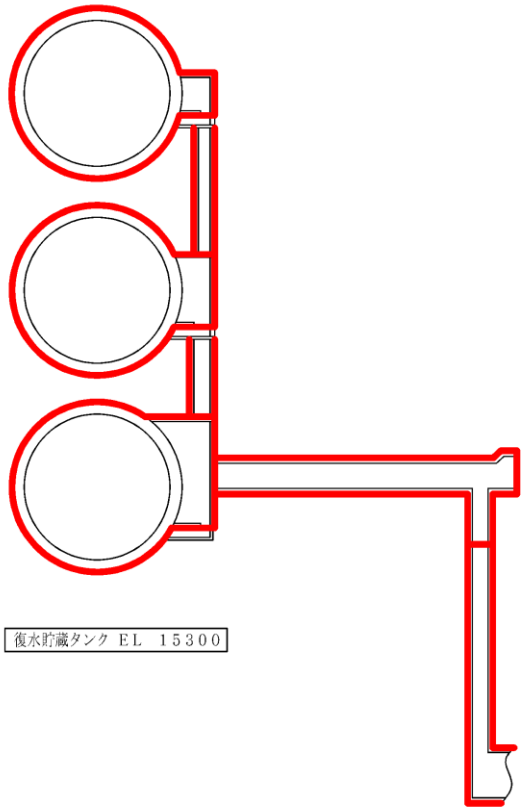


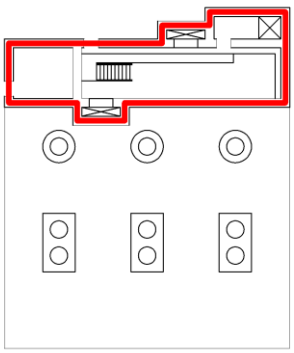
排気筒モニタ室 EL　8800

【凡例】
：施工対象の壁面　：施工対象の床面

表 3－11　設置位置（貫通部止水処置）（19/19）

配置図

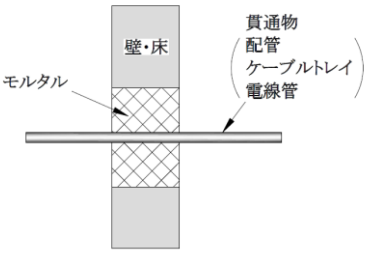
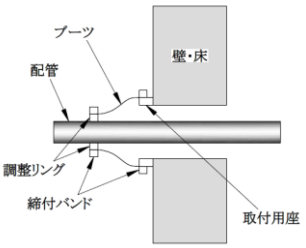
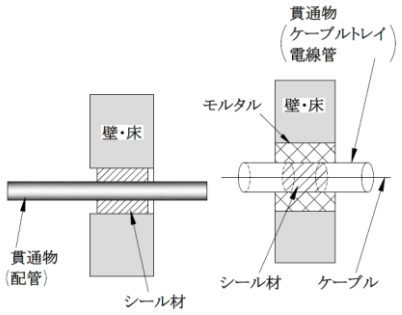
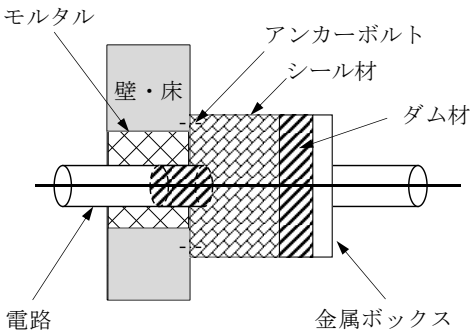
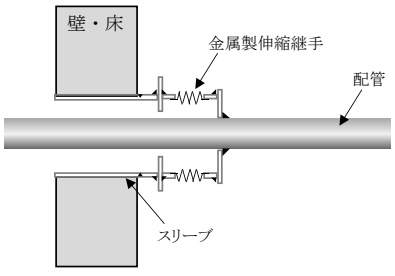




B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽 EL 15300

【凡例】
：施工対象の壁面　：施工対象の床面

表 3－12　貫通部止水処置の構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって融合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	配管変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁又は床面に溶接した取付用座と配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		電路貫通部については，シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁又は床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填する。シール材は，施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	
	金属製伸縮継手にて構成する。	配管変位を吸収できるよう金属製伸縮継手を用い，壁又は床面設置のスリーブと配管を溶接によって接合する。	

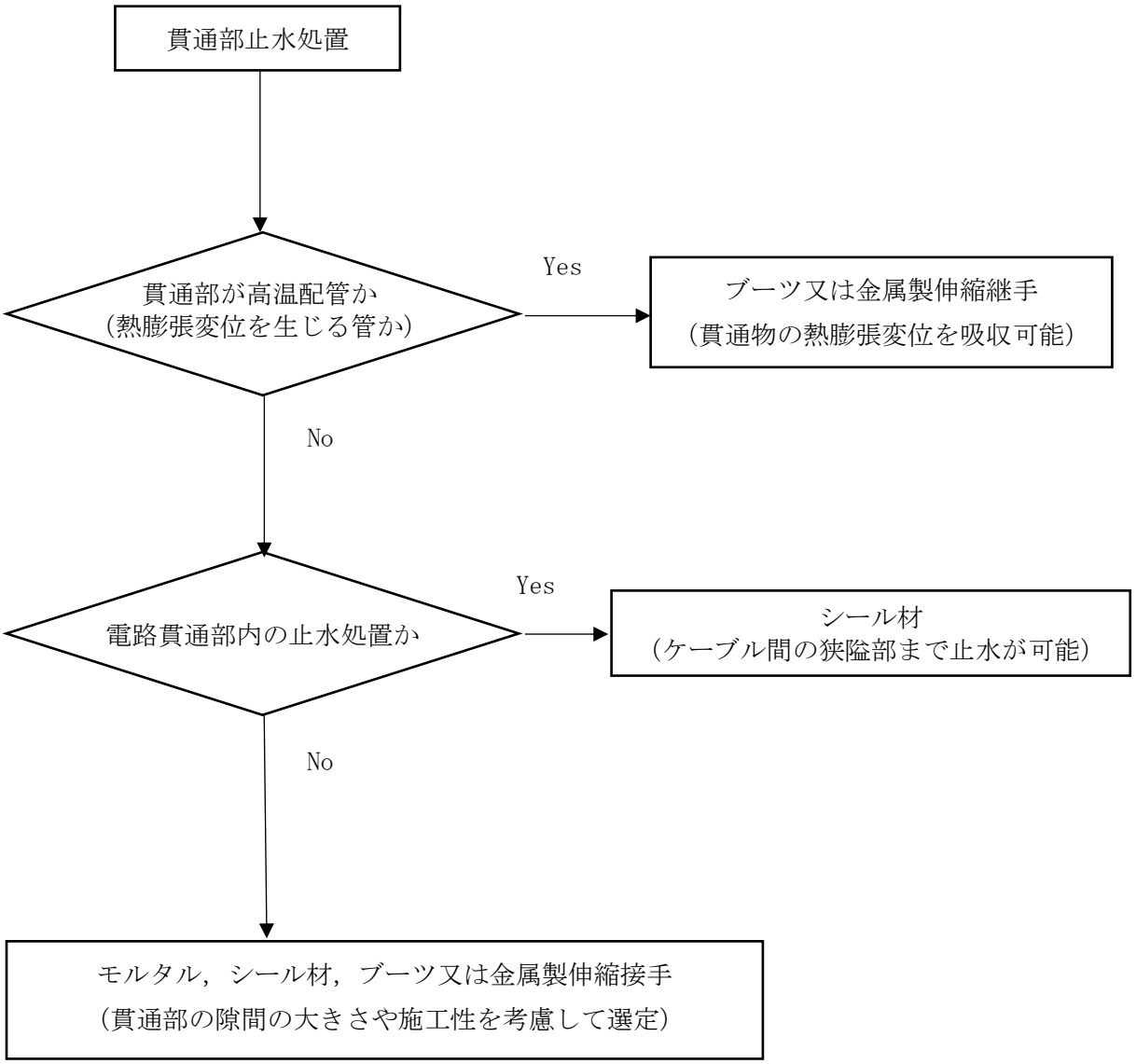


図 3－1　貫通部止水処置の選定フロー

4.　荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

溢水防護に関する施設の強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せを以下の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」に，許容限界を「4.2　許容限界」に示す。

4.1　荷重及び荷重の組合せ

(1)　荷重の種類

a.　自重（D）

常時作用する荷重は，自重とする。

b.　溢水による静水圧荷重（P_h）

発生を想定する溢水による静水圧荷重は，各施設の設置位置における溢水水位を用いて設計用の静水圧荷重(動水圧は考慮しない）として算出する。

(2)　荷重の組合せ

溢水防護に関する施設の強度評価では，発生を想定する溢水による静水圧荷重（P_h）を考慮する。

溢水防護に関する施設の荷重の組合せを表 4－1 に示す。

表 4－1　溢水防護に関する施設の荷重の組合せ

評価対象施設	自重（D）	静水圧荷重（P_h）
溢水用水密扉及び管理区域水密扉	－	○
溢水用堰及び管理区域堰	－	○
溢水用防水板及び管理区域防水板	－	○
溢水用防水壁	－	○
床ドレン逆止弁	○	○
貫通部止水処置	○	○

a.　溢水による静水圧荷重（P_h）

溢水による静水圧荷重（P_h）は，次式を用いて算出する。なお，荷重の算出に用いる密度（ρ）は，想定される溢水源から純水又は海水とする。

溢水による動水圧荷重の説明図を図 4－1 に，強度評価に用いる溢水の密度を表 4－2 に示す。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

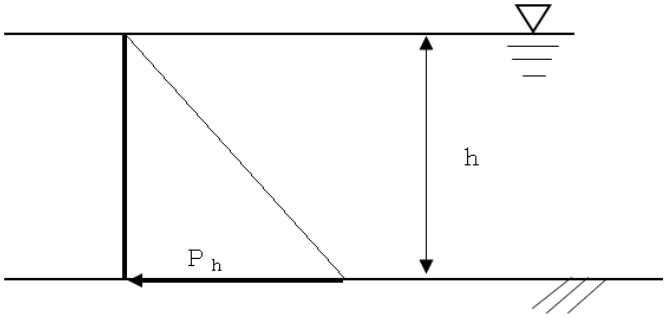


図 4－1　溢水による静水圧荷重の説明図

表 4－2　強度評価に用いる溢水の密度

溢水の性状	溢水の密度(kg/m³)
純水	1000
海水	1030

4.2　許容限界

許容限界は，溢水による静水圧荷重を考慮した施設ごとの構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえて，評価部位ごとに設定する。

「4.1　荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた，施設ごとの評価部位における許容限界を表 4－3 に示す。

各施設の許容限界の詳細は，各計算書で評価部位の機能損傷モードを踏まえ評価項目を選定し，評価部位ごとに許容限界を設定する。

4.2.1　施設ごとの評価部位における許容限界

(1)　溢水用水密扉及び管理区域水密扉

溢水用水密扉及び管理区域水密扉の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a.　扉板，芯材及びカンヌキ部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，扉板，芯材及びカンヌキ部が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ,「鋼構造設計規準−許容応力度設計法−((社)日本建築学会，2005 改定)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b.　アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(2) 溢水用堰及び管理区域堰

溢水用堰及び管理区域堰の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板，梁材及び柱材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼板，梁材及び柱材がおおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準−許容応力度設計法−((社) 日本建築学会，2005 改定)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. コンクリート，アンカー筋及び主筋

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，コンクリート，アンカー筋及び主筋が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，コンクリートについては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説−許容応力度設計法−（(社) 日本建築学会，1999 年改定)」を踏まえた短期許容応力度を許容限界とし，アンカー筋及び主筋については「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

c. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(3) 溢水用防水板及び管理区域防水板

溢水用防水板及び管理区域防水板の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板及び芯材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼板及び芯材が，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準−許容応力度設計法−((社) 日本建築学会，2005 改定)」を踏まえた，短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(4) 溢水用防水壁

溢水用防水壁の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 鋼板，柱材，梁材，水平材，ブレース及びベースプレート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，鋼板，柱材，梁材，水平材，ブレース及びベースプレートが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることを踏まえ，「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社) 日本建築学会, 2005 改定)」を踏まえた，短期許容応力度を許容限界として設定する。

b. アンカーボルト

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の健全性を維持する設計とするために，アンカーボルトが，おおむね弾性状態にとどまることを計算により確認する評価方針としていることから，「各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 改定)」に基づき算定し，許容限界として設定する。

(5) 床ドレン逆止弁

床ドレン逆止弁の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. 弁本体，フロートガイド及び取付部

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするために弁本体，フロートガイド及び取付部が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，「発電用原子力設備規格　設計・建設規格ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007 ((社) 日本機械学会)」(以下「設計・建設規格」という。)に準じた供用状態Ｃの許容応力状態ⅢＡＳを許容限界として設定する。

b. フロート

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，構造部材の構造健全性を維持する設計とするためにフロートがおおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

(6) 貫通部止水処置

貫通部止水処置の許容限界は，構造強度設計上の性能目標及び機能維持の評価方針を踏まえ評価部位ごとに設定する。

a. シール材

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するシール材が，有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

b. ブーツ

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するブーツが，有意な漏えいが生じないことを確認する評価方針としていることから，水圧試験で確認した水圧を許容限界として設定する。

c. モルタル

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工するモル

タルが，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，許容限界は，「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（(社) 土木学会，2002 年制定)」に基づき算定し，許容付着荷重として設定する。

d. 金属製伸縮継手

発生を想定する溢水による静水圧荷重に対し，貫通口と貫通物の隙間に施工する伸縮接手が，おおむね弾性状態にとどまることを確認する評価方針としていることから，許容限界は，「設計・建設規格」に基づき算定した圧力を許容圧力として設定する。

表 4－3　施設ごとの評価部位の許容限界(1/3)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
溢水用水密扉及び管理区域水密扉	P_h	扉板，芯材	曲げ せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社) 日本建築学会，2005 年改定）」を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		カンヌキ部	曲げ せん断 引張		
		アンカーボルト	引張 せん断		「各種合成構造設計指針・同解説((社) 日本建築学会，2010 年改定）」に基づき算定した，許容耐力以下とする。
溢水用堰及び管理区域堰	P_h	鋼板	曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社) 日本建築学会，2005 年改定）」を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		梁材，柱材	曲げ せん断		
		アンカーボルト	引張 せん断		「各種合成構造設計指針・同解説((社) 日本建築学会，2010 年改定）」に基づき算定した，許容耐力以下とする。
		コンクリート	圧縮， せん断		「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-((社)日本建築学会,1999 年改定)」に基づき算定した，許容耐力以下とする。
		アンカー筋，主筋	引張， せん断		「各種合成構造設計指針・同解説((社) 日本建築学会，2010 年改定）」に基づき算定した，許容耐力以下とする。

表 4－3　施設ごとの評価部位の許容限界(2/3)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
溢水用防水板及び管理区域防水板	Ｐｈ	鋼板	曲げ	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社) 日本建築学会，2005 年改定）」を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		芯材	曲げ せん断		
		アンカーボルト	せん断		「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）」に基づき算定した，許容耐力以下とする。
溢水用防水壁	Ｐｈ	鋼板	曲げ せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「鋼構造設計規準-許容応力度設計法-((社) 日本建築学会，2005 年改定）」を踏まえ短期許容応力度以下とする。
		梁材	曲げ せん断		
		水平材	曲げ せん断		
		柱材	曲げ せん断		
		ブレース	引張		
		ベースプレート	曲げ せん断		
		アンカーボルト	引張 せん断		「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）」に基づき算定した，許容耐力以下とする。

表 4－3　施設ごとの評価部位の許容限界(3/3)

施設名	荷重の組合せ	評価部位	機能損傷モード		許容限界
			応力等の状態	限界状態	
床ドレン逆止弁	D＋Ph	弁本体，フロートガイド	圧縮	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「設計・建設規格」に準じた供用状態Cの許容応力状態ⅢAS以下とする。
		取付部	引張		
		フロート	圧縮	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
貫通部止水処置	D＋Ph	シール材	せん断	有意な漏えいが生じる状態	水圧試験で確認した水圧以下とする。
		ブーツ	引張		水圧試験で確認した水圧以下とする。
		モルタル	圧縮 せん断	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「コンクリート標準示方書［構造性能照査編］（(社) 土木学会，2002 年制定）」に基づき算定した許容付着荷重以下とする。
		金属製伸縮継手	引張	部材が弾性域にとどまらず塑性域に入る状態	「設計・建設規格」PVE-3810 に基づき算定した許容圧力以下とする。

4.2.2　許容限界設定方法

(1)　モルタルの許容限界式

a.　記号の定義

モルタルの許容限界式に用いる記号を，表 4－4 に示す。

表 4－4　モルタルの許容限界式に用いる記号

記号	単位	定義
f'_{bok}	MPa	モルタルの付着強度
f'_{ck}	MPa	モルタルの圧縮強度
f_s	N	モルタルの許容付着荷重
L_w	mm	モルタルの充填深さ
d	mm	貫通物の直径
γ_c	―	材料定数

b.　許容限界式

「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]」（(社) 土木学会，2002 年制定）より，貫通物がせん断荷重を受ける場合のモルタルの許容付着荷重を求める式を以下に示す。

$$f_s = f'_{bok} \cdot \pi \cdot d \cdot L_w / \gamma_c$$

ここで

$$f'_{bok} = 0.28 \cdot f'^{2/3}_{ck} \cdot 0.4$$

5. 強度評価方法

評価手法は，以下に示す解析法により，適用性に留意の上，規格及び基準類や既往の文献において適用が妥当とされる手法に基づき実施することを基本とする。

・定式化された評価式を用いた解析法

5.1 溢水用水密扉及び管理区域水密扉

(1) 評価方針

溢水用水密扉及び管理区域水密扉の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a. 構造上の特徴,発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b. 荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c. 評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2) 評価部位

評価部位及び評価内容を表 5－1 に示す。

表 5－1 評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
扉板・芯材	曲げ，せん断
カンヌキ部	曲げ，せん断，引張
アンカーボルト	引張，せん断

(3) 強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅵ-3-別添 3-4-2「水密扉の強度計算書（溢水）」に示す。

5.2　溢水用堰及び管理区域堰

(1)　評価方針

溢水用堰及び管理区域堰の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5－2 に示す。

表 5－2　評価部位及び評価内容

種別	評価部位	評価内容
鋼製堰	鋼板	曲げ
	梁材，柱材	曲げ，せん断
	アンカーボルト	引張，せん断
鉄筋コンクリート製堰	コンクリート	圧縮，せん断
	アンカー筋，主筋	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅵ-3-別添 3-4-4「堰の強度計算書」に示す。

5.3　溢水用防水板及び管理区域防水板

(1)　評価方針

溢水用防水板及び管理区域防水板の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5－3 に示す。

表 5－3　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼板	曲げ
芯材	曲げ，せん断
アンカーボルト	せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅵ-3-別添 3-4-5「防水板の強度計算書」に示す。

5.4　溢水用防水壁

(1)　評価方針

溢水用防水壁の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5－4 に示す。

表 5－4　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
鋼板	曲げ，せん断
梁材	曲げ，せん断
水平材	曲げ，せん断
柱材	曲げ，せん断
ブレース	引張
ベースプレート	曲げ，せん断
アンカーボルト	引張，せん断

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅵ-3-別添 3-4-1「防水壁の強度計算書（溢水）」に示す。

5.5　床ドレン逆止弁

(1)　評価方針

床ドレン逆止弁の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5－5 に示す。

表 5－5　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
弁本体，フロートガイド	圧縮
フロート	
取付部	引張

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅵ-3-別添 3-4-3「床ドレン逆止弁の強度計算書（溢水）」に示す。

5.6　貫通部止水処置

(1)　評価方針

貫通部止水処置の評価を行う場合，以下の条件に従うものとする。

a.　構造上の特徴，発生を想定する溢水による静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。

b.　荷重及び荷重の組合せは，発生を想定する溢水による静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

c.　評価に用いる寸法については，公称値とする。

(2)　評価部位

評価部位及び評価内容を表 5－6 に示す。

表 5－6　評価部位及び評価内容

評価部位	評価内容
シール材	せん断
ブーツ	引張
モルタル	圧縮，せん断
金属製伸縮継手	引張

(3)　強度評価方法

強度計算の方法及び結果については，Ⅵ-3-別添 3-4-6「貫通部止水処置の強度計算書（溢水）」に示す。

6. 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（(社) 日本機械学会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針重要度分類・許容応力編ＪＥＡＧ４６０１・補－1984（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針ＪＥＡＧ４６０１-1991 追補版（(社) 日本電気協会）

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

・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説-許容応力度設計法-(社) 日本建築学会，1999 年改定）

・鋼構造設計規準-許容応力度設計法-(社) 日本建築学会，2005 年改定）

・各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会，2010 年改定）

・建築基準法・同施行令

・機械工学便覧　基礎編α2　機械力学（(社) 日本機械学会，2004 改訂）

・日本産業規格（ＪＩＳ）

Ⅵ-3-別添 3-4　溢水への配慮が必要な施設の強度計算書

Ⅵ-3-別添3-4-4　堰の強度計算書

目　　次

1.　概要 1
2.　一般事項 1
2.1　検討対象堰一覧 1
2.2　配置概要 2
2.3　構造計画 22
2.3.1　柱支持型堰の構造 22
2.3.2　鋼板折曲げ型堰の構造 23
2.3.3　鉄筋コンクリート製堰の構造 24
2.4　評価方針 25
2.5　適用規格 26
3.　強度評価方法 26
3.1　記号の説明 27
3.2　評価対象部位及び評価対象設備 30
3.2.1　柱支持型堰 30
3.2.2　鋼板折曲げ型堰 35
3.2.3　鉄筋コンクリート製堰 37
3.3　荷重及び荷重の組合せ 38
3.3.1　溢水による静水圧荷重 38
3.3.2　荷重の組合せ 38
3.4　許容限界 39
3.4.1　柱支持型堰の許容限界 39
3.4.2　鋼板折曲げ型堰の許容限界 41
3.4.3　鉄筋コンクリート製堰の許容限界 42
3.5　評価方法 43
3.5.1　柱支持型堰の評価方法 43
3.5.2　鋼板折曲げ型堰の評価方法 51
3.5.3　鉄筋コンクリート製堰の評価方法 54
3.6　評価条件 58
4.　評価結果 60

1. 概要

本資料は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防護施設である溢水用堰及び管理区域堰（以下「堰」という。）が，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 検討対象堰一覧

検討対象の堰の建物ごとの数を表 2－1 に示す。

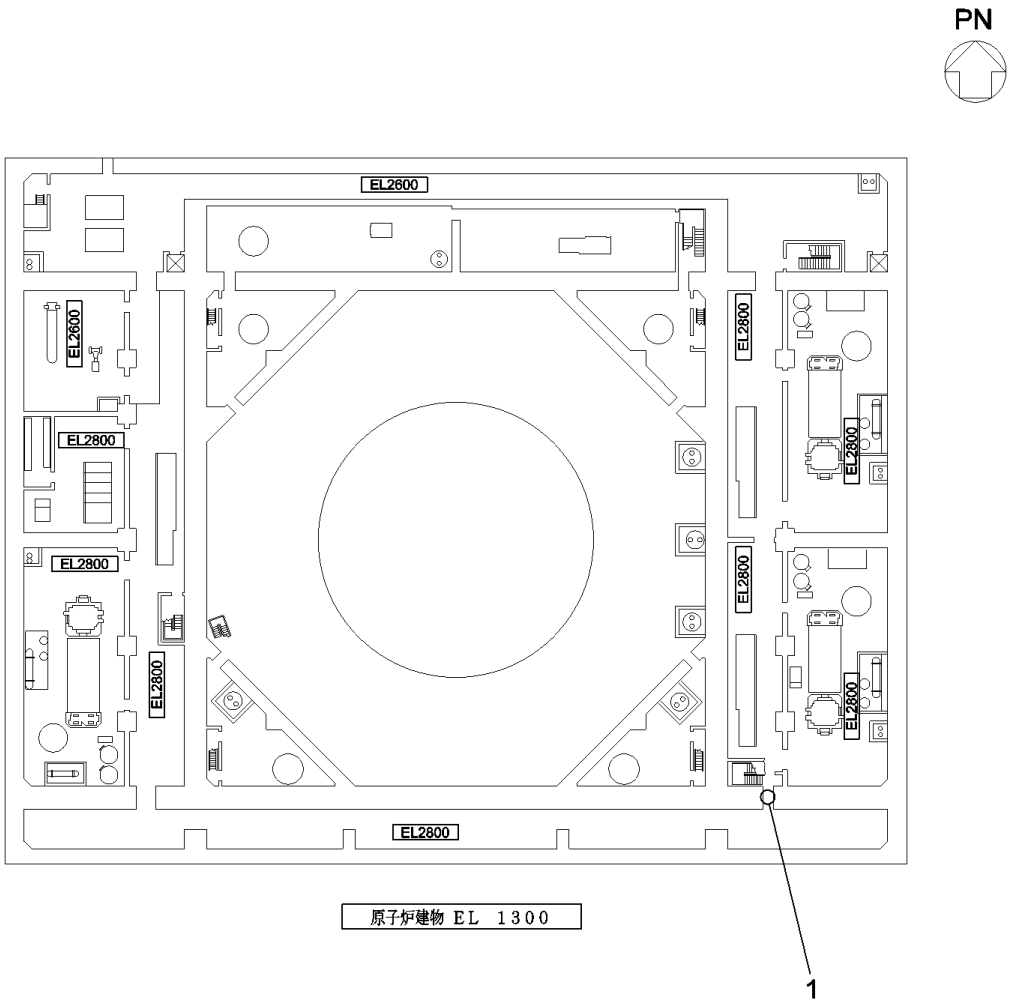
表 2－1 検討対象堰

設置建物	対象堰数
原子炉建物	49
タービン建物	11
廃棄物処理建物	13
制御室建物	5
サイトバンカ建物	13
合計	91

2.2　配置概要

堰は，Ⅵ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.2　溢水用堰の設計方針」及び「4.1.5　管理区域水密扉，堰及び防水板の設計方針」に示すとおり，原子炉建物，タービン建物，廃棄物処理建物，制御室建物及びサイトバンカ建物に設置する。堰の設置位置及び堰の名称を図2－1に示す。

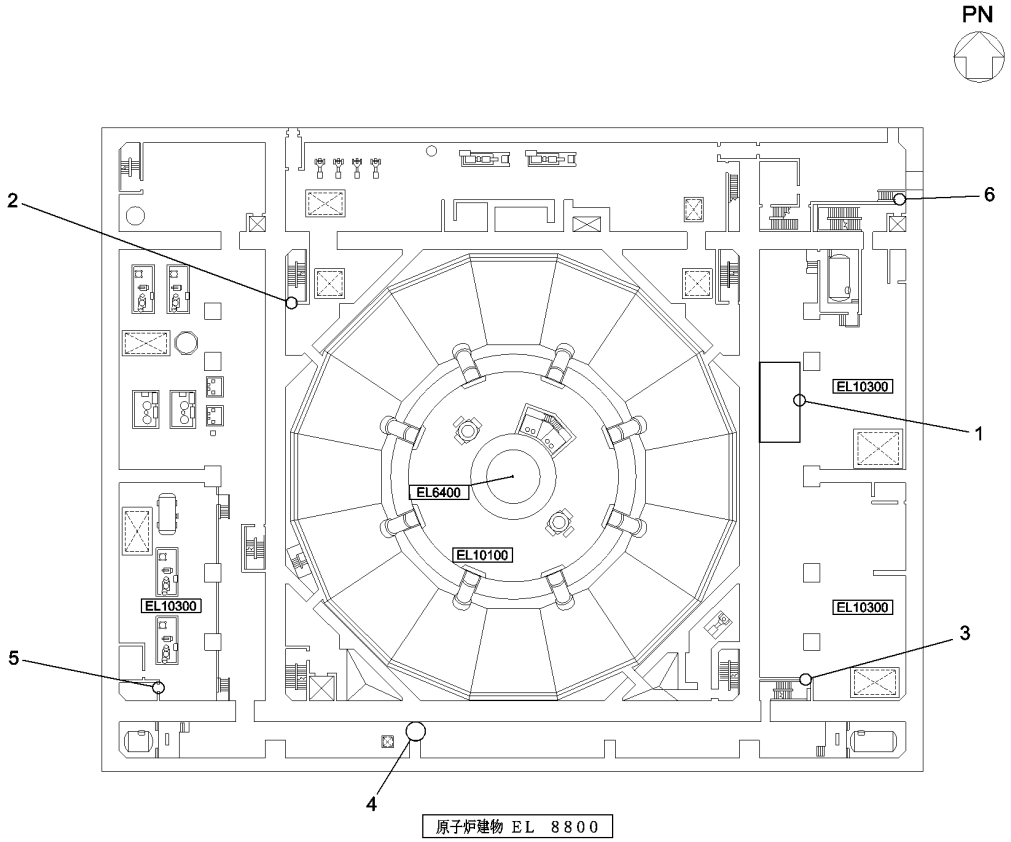
配置図



1	原子炉建物 地下 2 階 B-非常用 DG 電気室南側浸水防止堰

図 2－1(1)　設置位置図

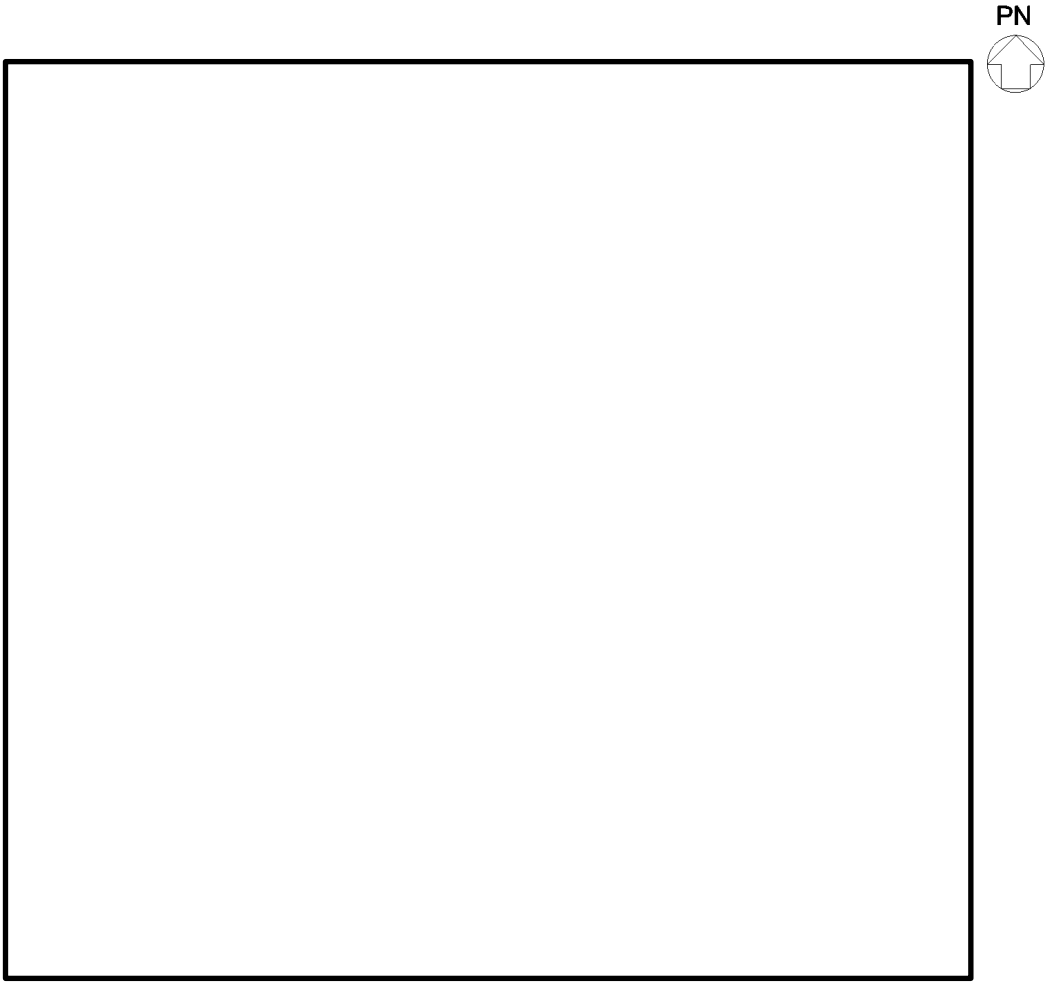
配置図



1	原子炉建物 地下 1 階 RCIC 直流 C/C 浸水防止堰
2	原子炉建物 地下 1 階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 地下 1 階 DG 室給気ダクト室南側階段浸水防止堰
4	原子炉建物 地下 1 階 南側通路浸水防止堰
5	原子炉建物 地下 1 階 HPCS 給気消音器フィルタ室浸水防止堰
6	原子炉建物 地下 1 階 第 3 チェックポイント浸水防止堰

図 2－1(2)　設置位置図

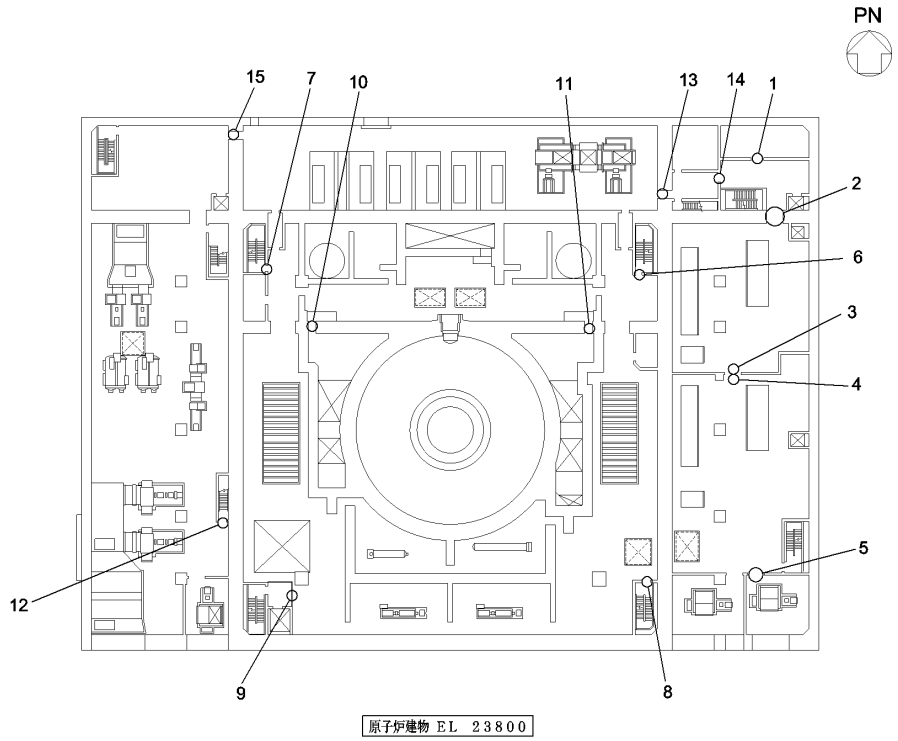
配置図



1	原子炉建物 1階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 1階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 1階 南東階段浸水防止堰
4	原子炉建物 1階 南西階段浸水防止堰
5	原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰
6	原子炉建物 1階 エアロック前浸水防止堰
7	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（非管理区域側）
8	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（管理区域側）

図 2－1(3)　設置位置図

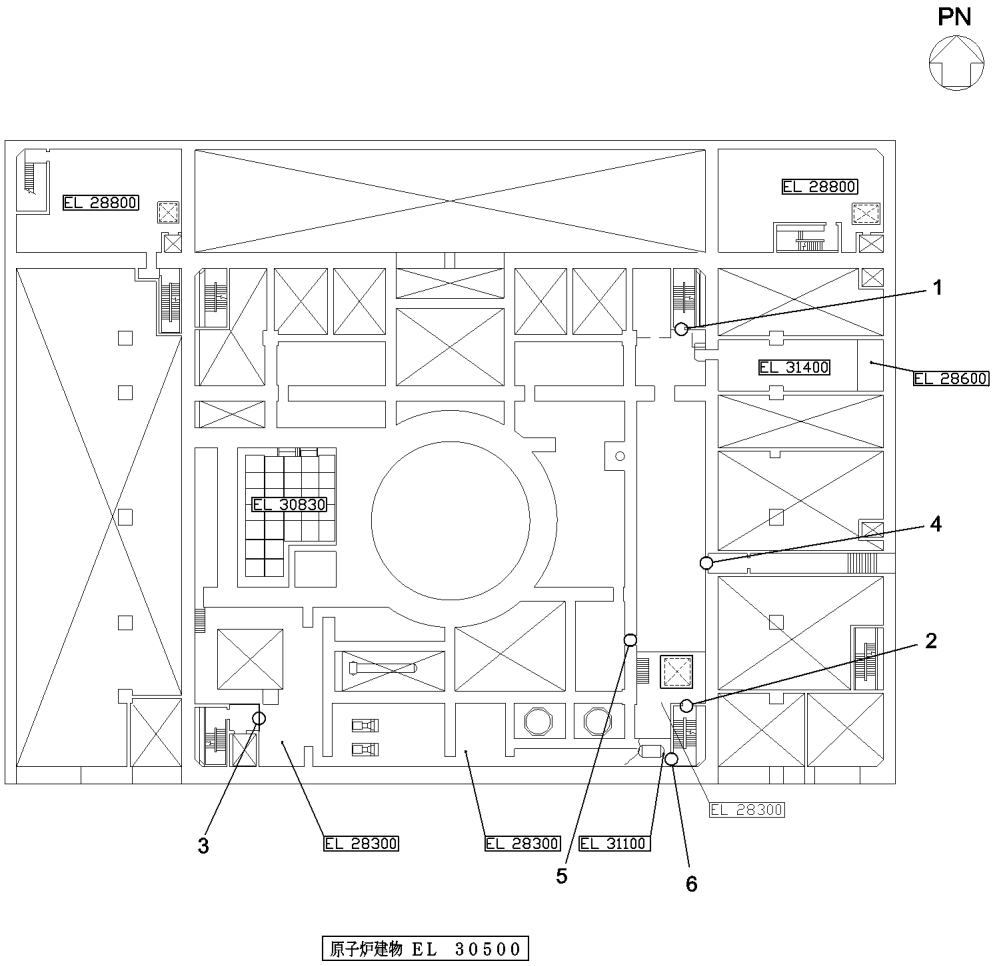
配置図



1	原子炉建物 2階 A-逃がし安全弁窒素ガス供給装置横浸水防止堰
2	原子炉建物 2階 非常用電気室北側浸水防止堰
3	原子炉建物 2階 A-非常用電気室南側浸水防止堰
4	原子炉建物 2階 B-非常用電気室北側浸水防止堰
5	原子炉建物 2階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰
6	原子炉建物 2階 北東階段浸水防止堰
7	原子炉建物 2階 北西階段浸水防止堰
8	原子炉建物 2階 南東階段浸水防止堰
9	原子炉建物 2階 南西階段浸水防止堰
10	原子炉建物 2階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰
11	原子炉建物 2階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰
12	原子炉建物 2階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰
13	原子炉建物 2階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰
14	原子炉建物 2階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰
15	原子炉建物 2階 RCW バルブ室東側浸水防止堰

図 2－1(4)　設置位置図

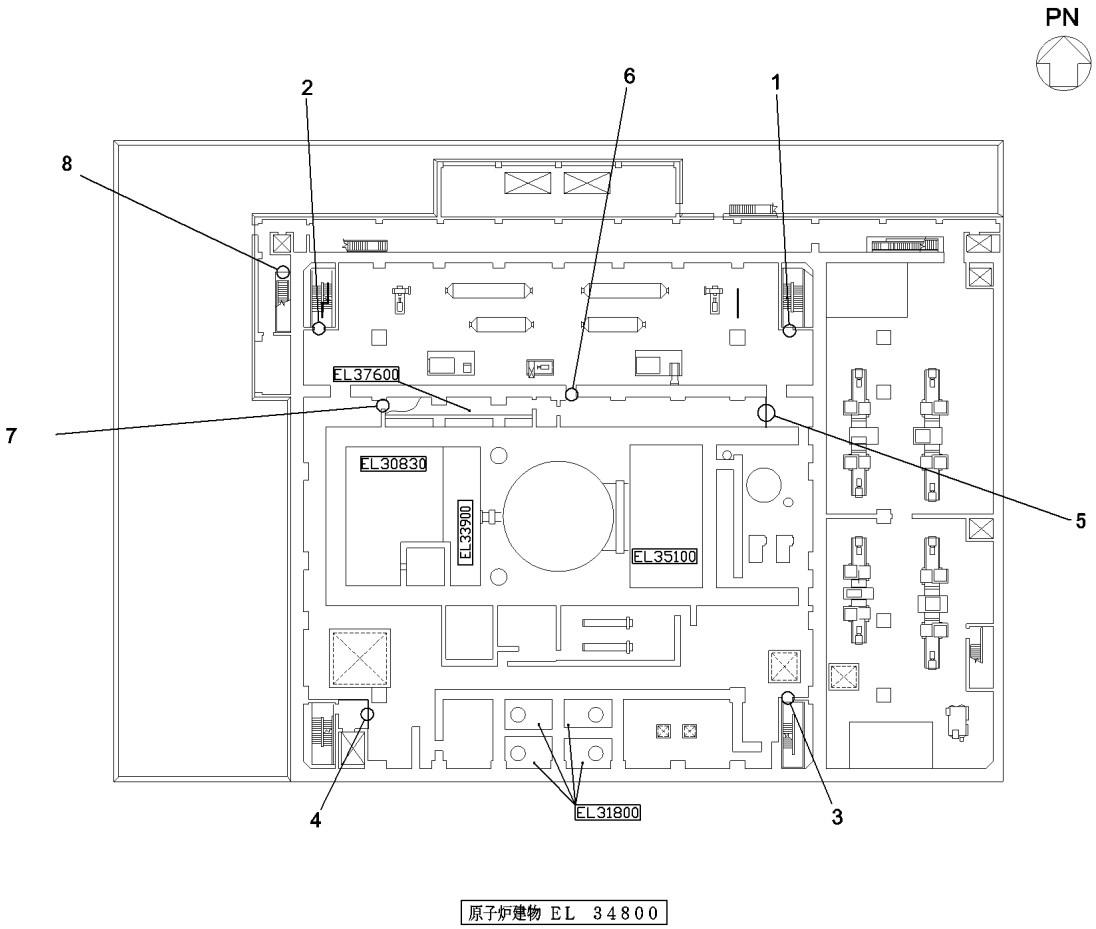
配置図



1	原子炉建物 中2階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 中2階 南東階段浸水防止堰
3	原子炉建物 中2階 南西階段浸水防止堰
4	原子炉建物 中2階 エアロック前浸水防止堰
5	原子炉建物 中2階 CUW バルブ室東側浸水防止堰
6	原子炉建物 中2階 CUW サージタンク室浸水防止堰

図 2－1(5)　設置位置図

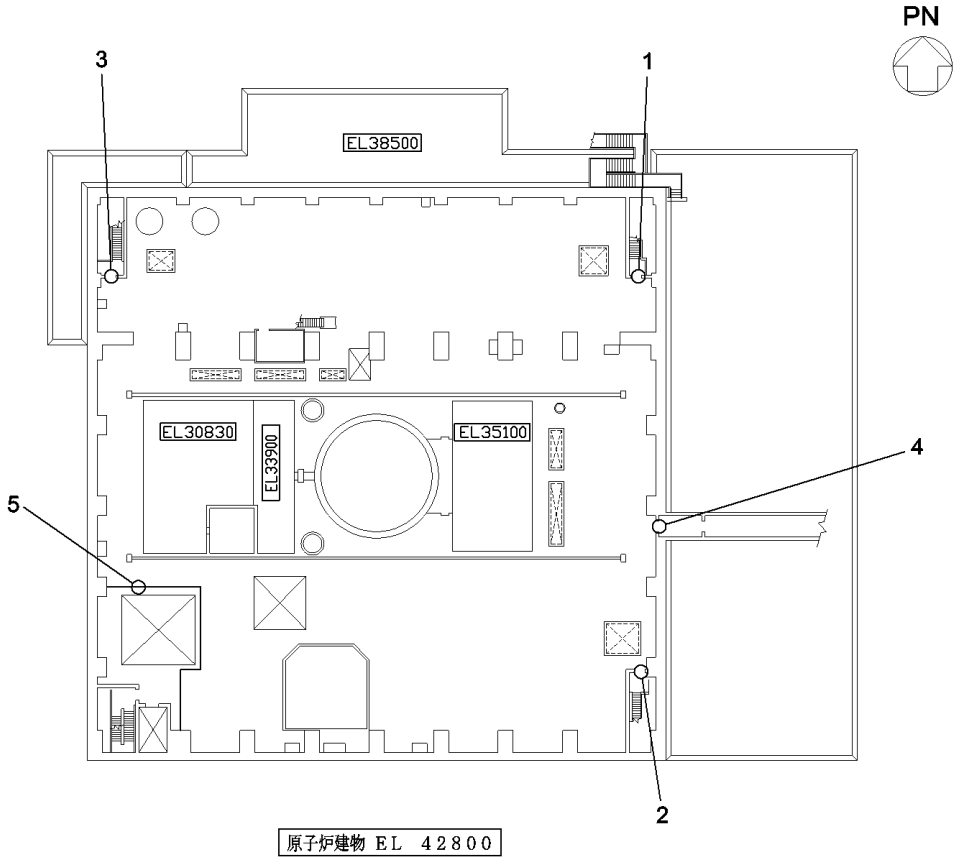
配置図



1	原子炉建物 3階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 3階 北西階段浸水防止堰
3	原子炉建物 3階 南東階段浸水防止堰
4	原子炉建物 3階 南西階段浸水防止堰
5	原子炉建物 3階 A-CAMS 室前浸水防止堰（通路側）
6	原子炉建物 3階 A-CAMS 室前浸水防止堰（SGT 室側）
7	原子炉建物 3階 B-CAMS 室前浸水防止堰
8	原子炉建物 3階 北西側階段室浸水防止堰

図 2－1(6)　設置位置図

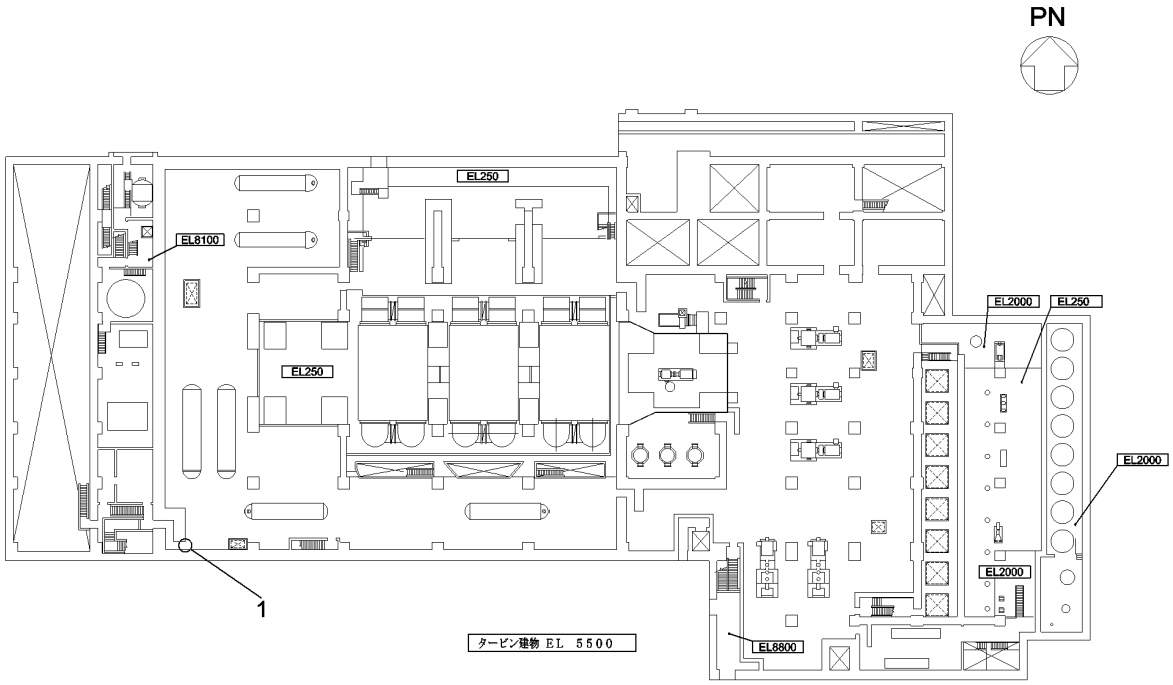
配置図



1	原子炉建物 4階 北東階段浸水防止堰
2	原子炉建物 4階 南東階段浸水防止堰
3	原子炉建物 4階 北西階段浸水防止堰
4	原子炉建物 4階 エアロック浸水防止堰
5	原子炉建物 4階 大物搬入口浸水防止堰

図 2－1(7)　設置位置図

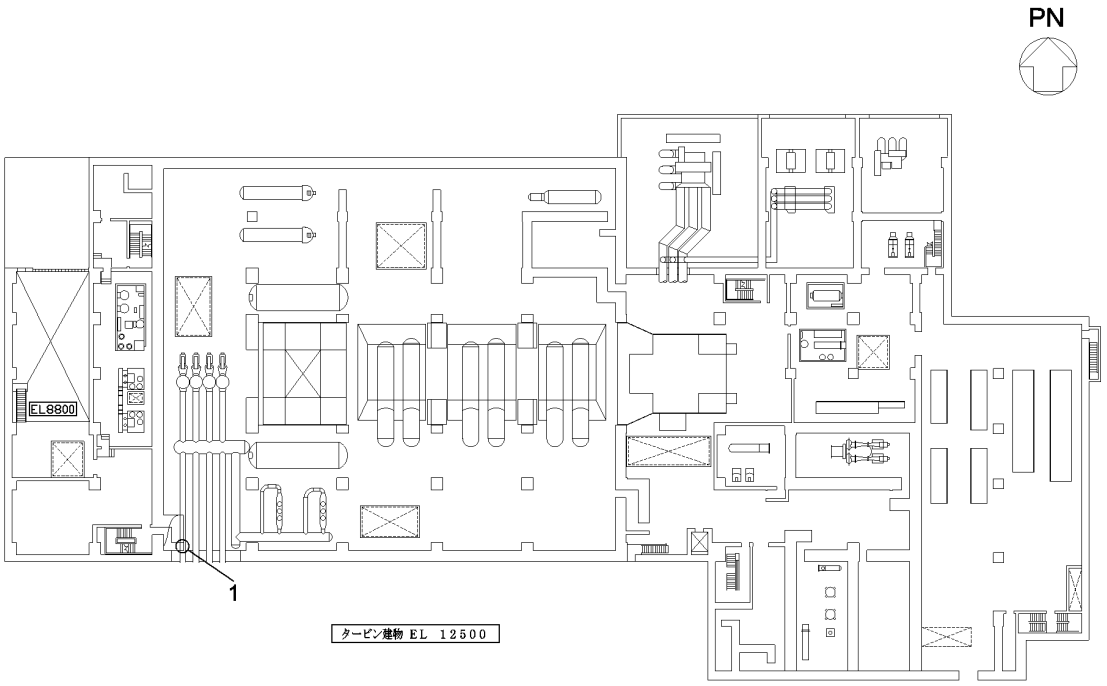
配置図



1	タービン建物 1階 給水加熱器室南西浸水防止堰

図 2－1(8)　設置位置図

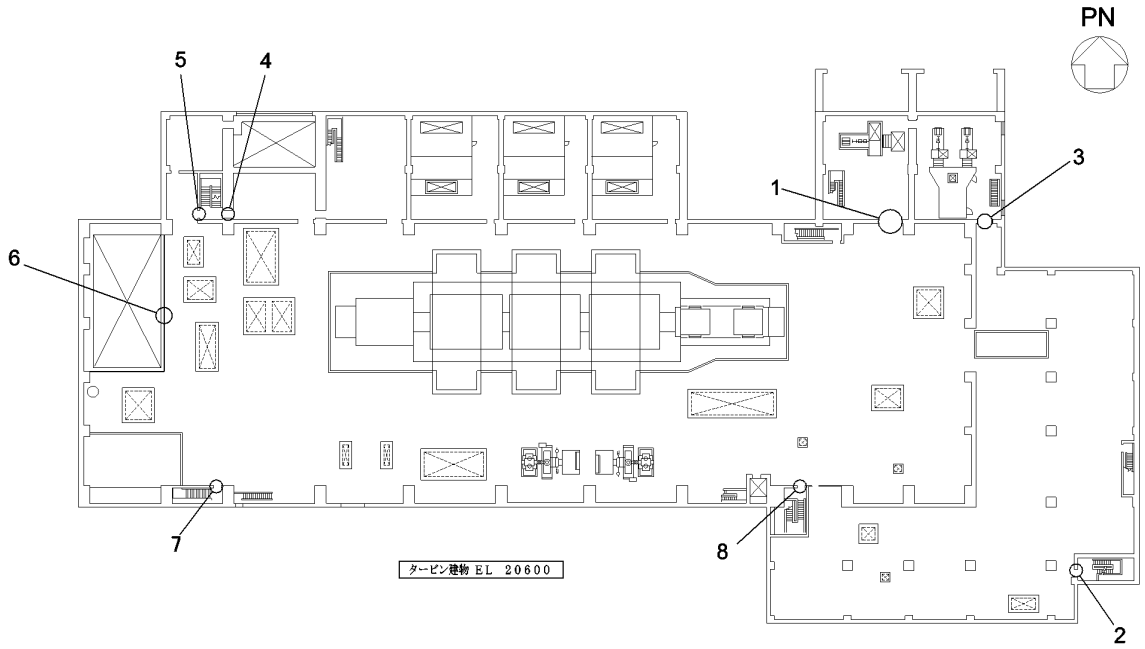
配置図



1	タービン建物 2 階 復水器室南西階段浸水防止堰

図 2－1(9)　設置位置図

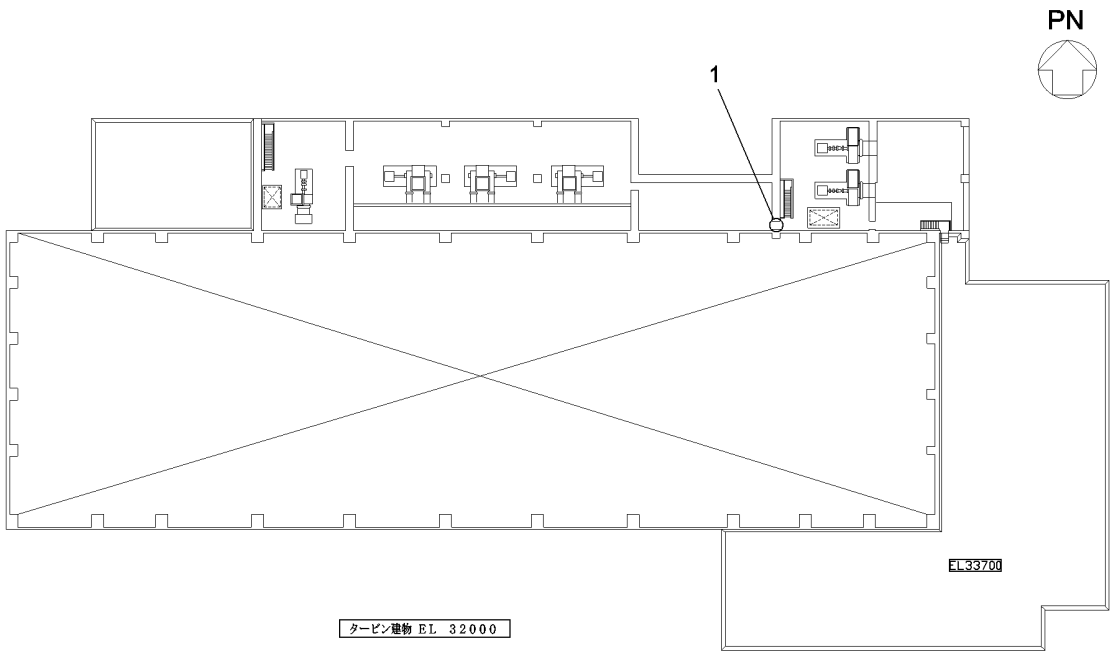
配置図



1	タービン建物 3 階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰
2	タービン建物 3 階 オペフロ南東階段浸水防止堰
3	タービン建物 3 階 常用電気室送風機室南側浸水防止堰
4	タービン建物 3 階 タービン建物ダストサンプラ室西側浸水防止堰
5	タービン建物 3 階 オペフロ北西階段浸水防止堰
6	タービン建物 3 階 大物搬入口浸水防止堰
7	タービン建物 3 階 オペフロ南西階段浸水防止堰
8	タービン建物 3 階 オペフロ南側階段浸水防止堰

図 2－1(10)　設置位置図

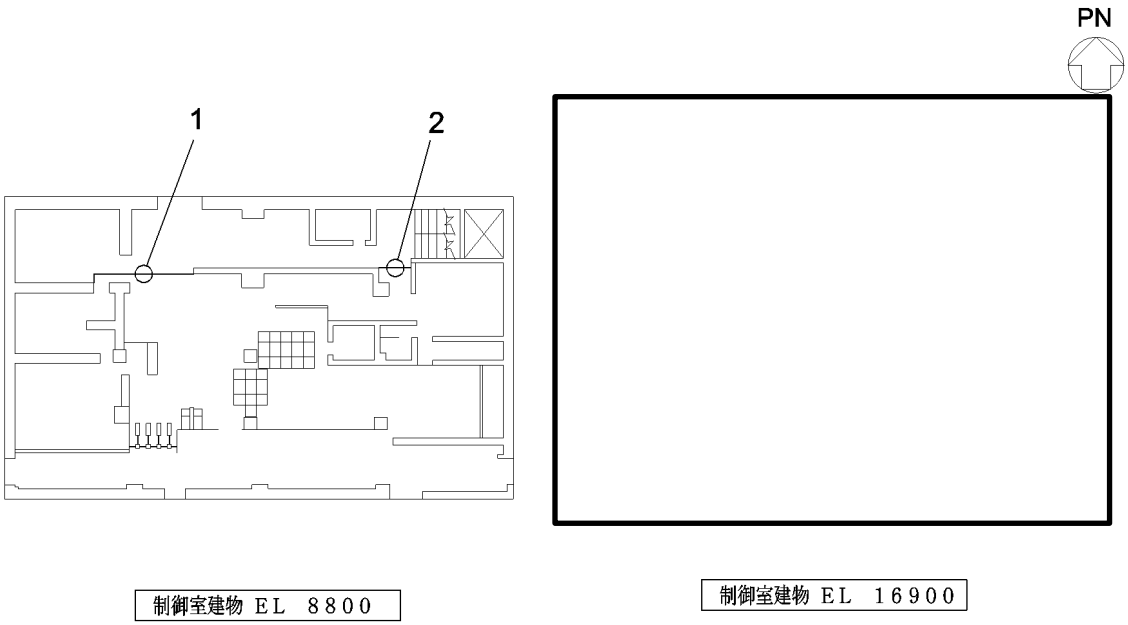
配置図



1	タービン建物 4階 工具室浸水防止堰

図 2－1(11)　設置位置図

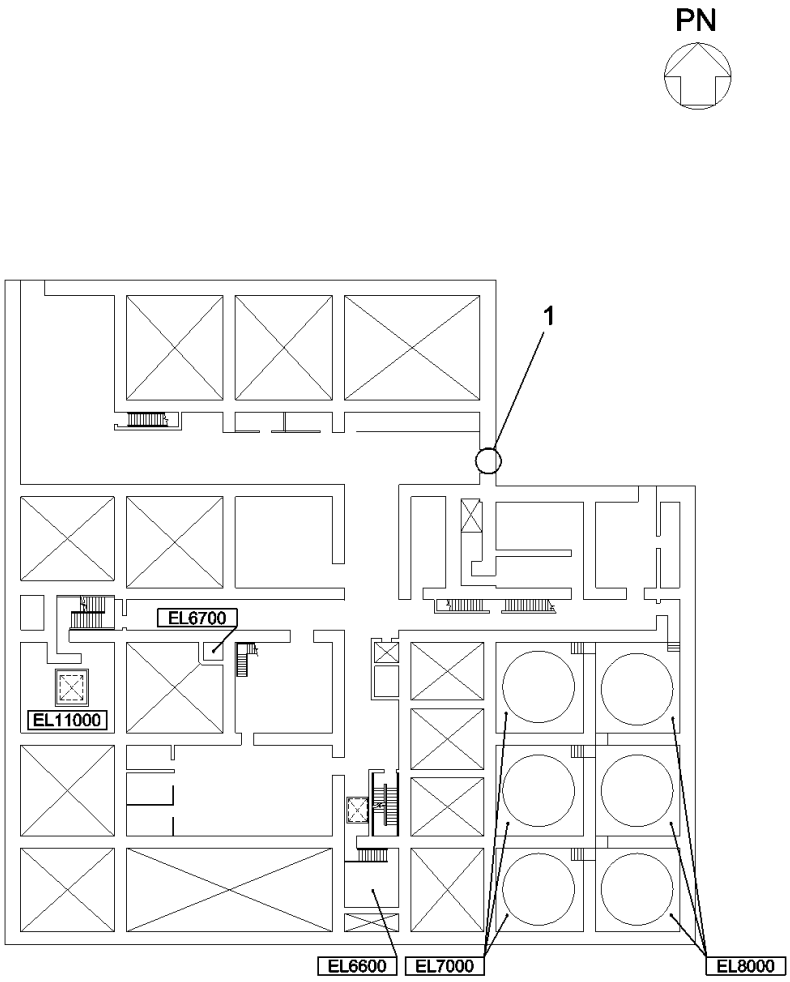
配置図



1	制御室建物 2階 第1チェックポイント中央浸水防止堰
2	制御室建物 2階 第1チェックポイント東側浸水防止堰
3	
4	
5	

図 2－1(12)　設置位置図

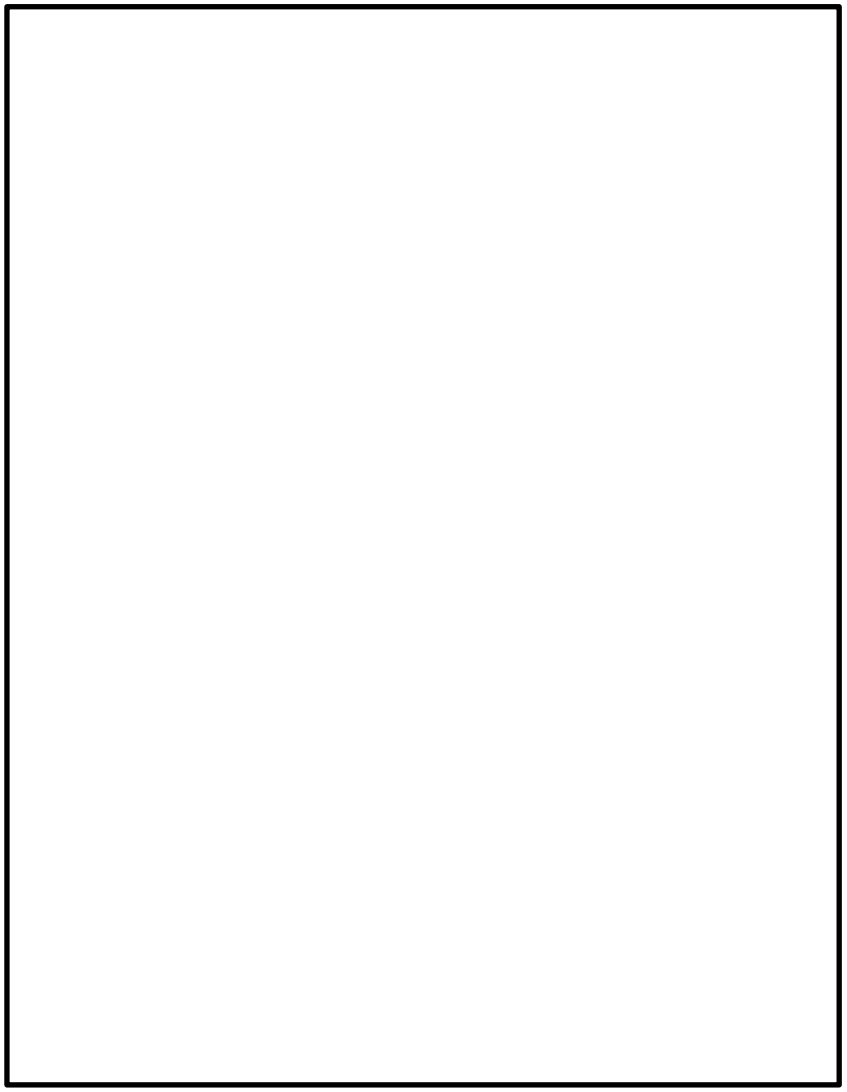
配置図



1	廃棄物処理建物 地下1階 通路東側浸水防止堰

図 2－1(13)　設置位置図

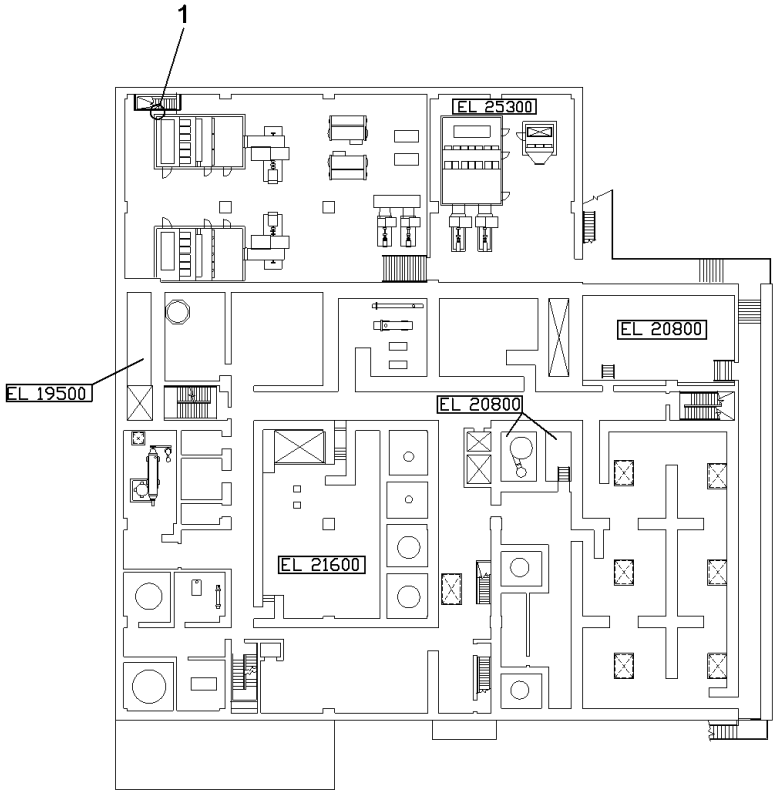
配置図



1	廃棄物処理建物 2階 計算機室連絡扉前浸水防止堰
2	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（北）浸水防止堰
3	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（中）浸水防止堰
4	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（南）浸水防止堰
5	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰
6	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（運転員控室側）
7	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（予備室側）
8	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（補助盤室側）

図 2－1(14)　設置位置図

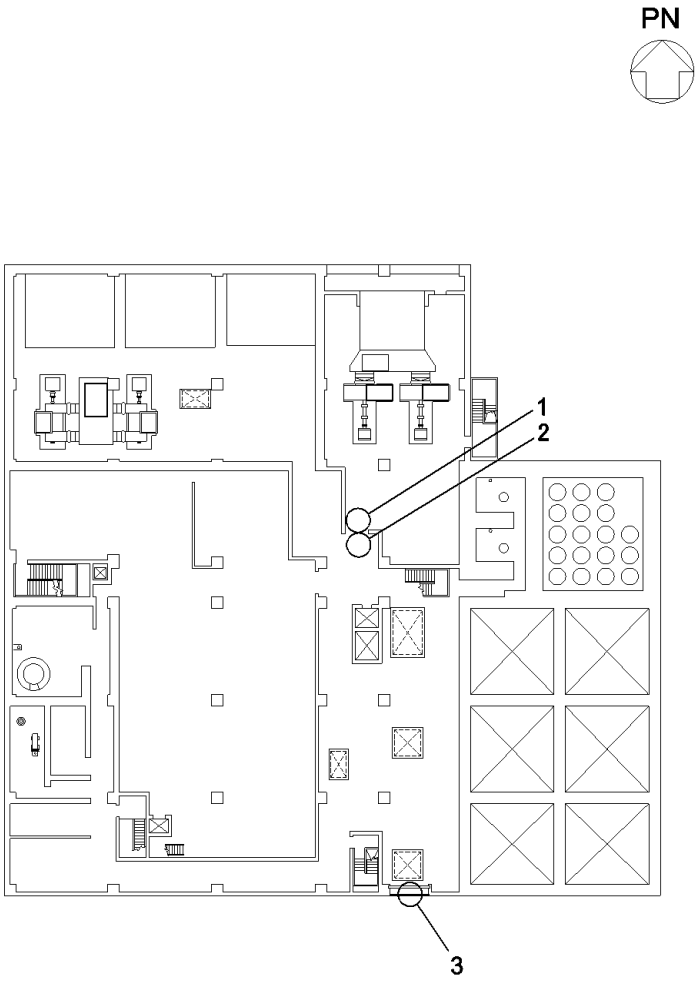
配置図



1	廃棄物処理建物 2階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰

図 2－1(15)　設置位置図

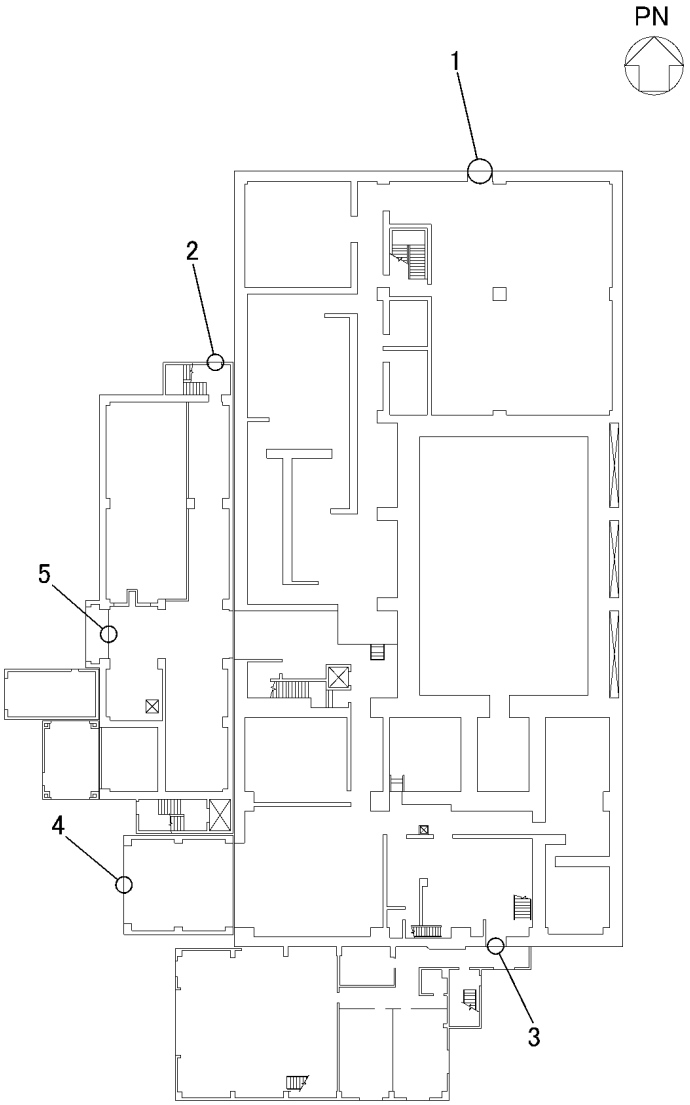
配置図



1	廃棄物処理建物 4階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（非管理区域側）
2	廃棄物処理建物 4階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（管理区域側）
3	廃棄物処理建物 4階 南側シャッター前浸水防止堰

図 2－1(16)　設置位置図

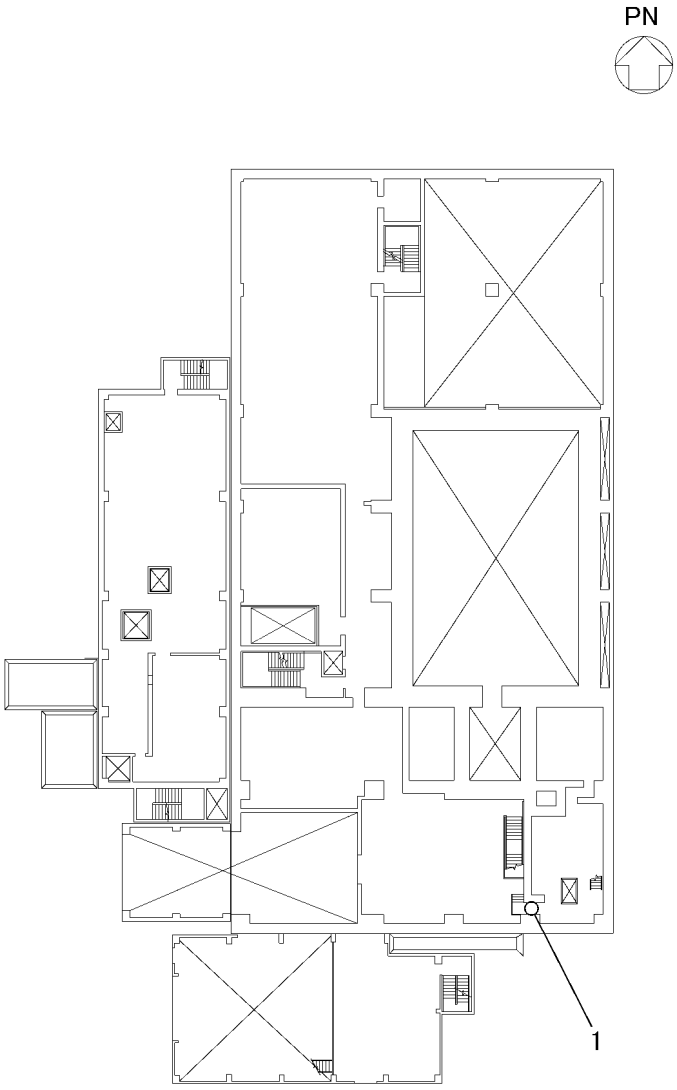
配置図



1	サイトバンカ建物 1階 排風機室北側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 1階 北西側階段室浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰

図 2－1(17)　設置位置図

配置図

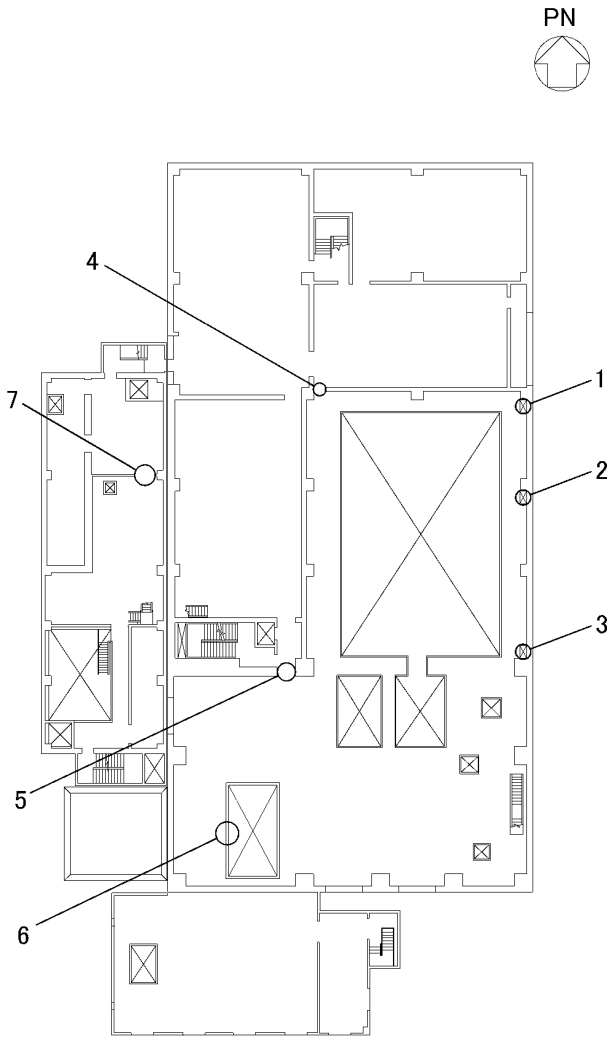


サイトバンカ建物 EL 14100

1	サイトバンカ建物 2階 プリコート室浸水防止堰

図 2－1(18)　設置位置図

配置図



サイトバンカ建物 EL 19800

1	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰
2	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰
3	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰
4	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰
5	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰
6	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰
7	サイトバンカ建物 3階 溶融物搬入機室浸水防止堰

図 2－1(19)　設置位置図

2.3　構造計画

堰の構造は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3. 構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。堰は，柱支柱型堰，鋼板折曲げ型堰及び鉄筋コンクリート製堰に分類される構造とする。

2.3.1　柱支持型堰の構造

柱支持型堰は，鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。柱支持型堰の構造計画を表 2－2 に，概略構造図を図 2－2 に示す。

表 2－2　柱支持型堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
柱材を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトにて構成する。	図2－2

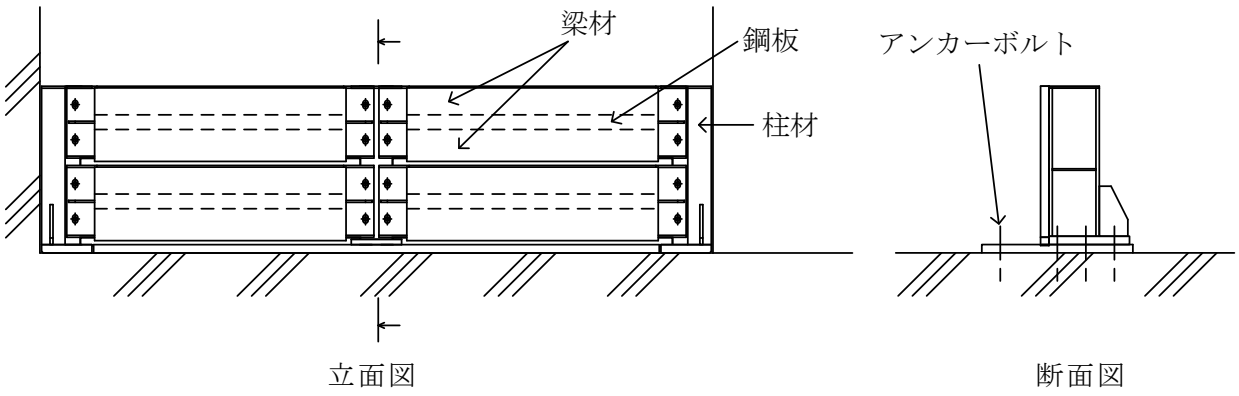


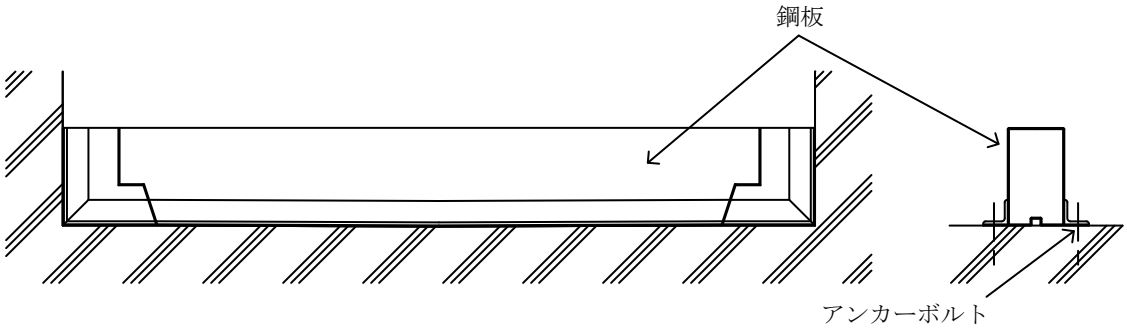
図2－2　柱支持型堰の概略構造図

2.3.2　鋼板折曲げ型堰の構造

鋼板折曲げ型堰は，鋼板及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより床面及び必要に応じ壁面と接合する構造とする。鋼板折曲げ型堰の構造計画を表 2－3 に，概略構造図を図 2－3 に示す。

表 2－3　鋼板折曲げ型堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鋼板を床面及び必要に応じ壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板及びアンカーボルトにて構成する。	図2－3



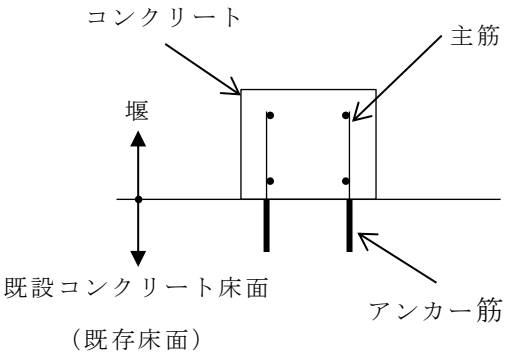
立面図　　断面図

図 2－3　鋼板折曲げ型堰の概略構造図

2.3.3　鉄筋コンクリート製堰の構造

鉄筋コンクリート製堰は，アンカー筋により既存躯体と堰を一体化させた鉄筋コンクリート構造物である。鉄筋コンクリート製堰の構造計画を表 2－4 に示す。

表 2－4　鉄筋コンクリート製堰の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
堰を既設コンクリート床面にアンカー筋で固定する。	コンクリート，主筋及びアンカー筋により構成する。	

2.4　評価方針

堰の強度評価は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2　許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，堰の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内にあることを「3.　強度評価方法」に示す方法により，「3.6　評価条件」に示す評価条件を用いて評価し，「4.　評価結果」にて確認する。堰の強度評価フローを図2－4に示す。

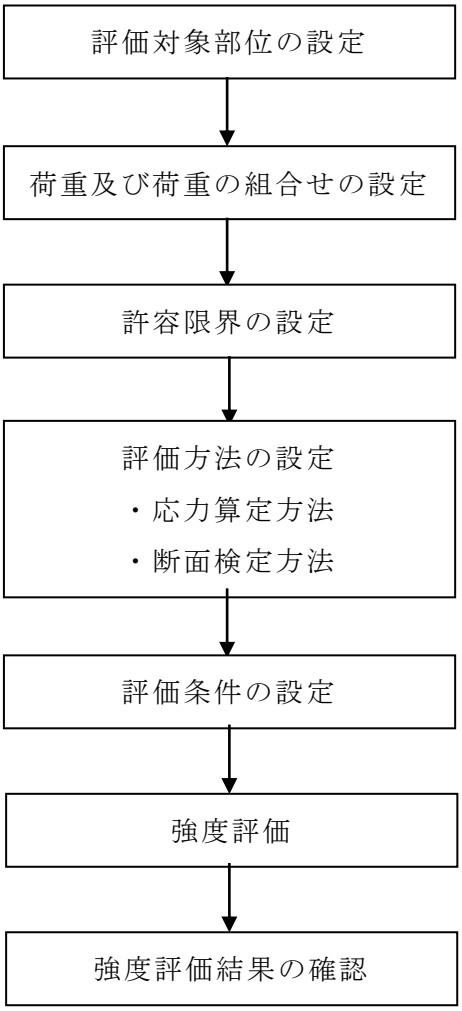


図 2－4　堰の強度評価フロー

2.5　適用規格

適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－
（（社）日本建築学会，1999 改定）

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）

・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 年改定）

・日本産業規格（ＪＩＳ）（日本規格協会）

3.　強度評価方法

堰の強度評価は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて，強度評価を実施する。

堰の強度評価は，「3.2　評価対象部位及び評価対象設備」に示す評価対象部位に対し，「3.3　荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4　許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，「3.5　評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1　記号の説明

柱支持型堰の強度評価に用いる記号を表3－1に,鋼板折曲げ型堰の強度評価に用いる記号を表3－2に,鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる記号を表3－3に示す。

表3－1(1)　柱支持型堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	堰の高さ
Ｐｈ	kN/m^2	堰最下端の静水圧荷重
L_1	mm	梁材間距離
Z	mm^3/mm	鋼板の断面係数
σ_ρ	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度
L_1’	mm	梁材１本当たりが負担する鋼板の幅
ｗｆ	kN/m	梁材の平均水圧による分布荷重
L_2	mm	梁材の長さ
Z_f	mm^3	梁材の断面係数
σ_f	N/mm^2	梁材に生じる曲げ応力度
A_f	mm^2	梁材のせん断断面積
τ_f	N/mm^2	梁材に生じるせん断応力度
σ_{ef}	N/mm^2	梁材の組合せ応力度
L_2’	mm	柱材１本当たりが負担する梁材の長さ
wf_2	kN/m	柱材の平均水圧による分布荷重
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数
σ_Y	N/mm^2	柱材に生じる曲げ応力度
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積
τ_Y	N/mm^2	柱材に生じるせん断応力度
σ_{eY}	N/mm^2	柱材の組合せ応力度
L_3	mm	ベースプレートの幅
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離
N_1	本	引張を受けるアンカーボルトの本数
N_2	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルトに生じる引張力

表 3－1(2)　柱支持型堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
q	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
Ｔａ	kN	アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重
Ｑａ	kN	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重

表 3－2　鋼板折曲げ型堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	堰の高さ
Ｐｈ	kN/m^2	静水圧荷重
M	kN・m	鋼板の曲げモーメント
Z	mm^3	鋼板の断面係数
σ	N/mm^2	鋼板の曲げ応力度
R_V	kN	支点反力（鉛直方向）
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数
T	kN	アンカーボルトに生じる引張力
R_H	kN	支点反力（水平方向）
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数
q	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
Ｔａ	kN	アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重
Ｑａ	kN	アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重
B	mm	堰の幅

表 3－3(1)　鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
H	mm	堰の高さ
Ｐｈ	kN/m^2	静水圧荷重
b_1’	m	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離

表 3－3(2)　鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数
T_1	kN	アンカー筋に生じる引張力
q_1	kN	アンカー筋に生じるせん断力
Ta_1	kN	アンカー筋に生じる引張に対する短期許容荷重
Qa_1	kN	アンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
b_2'	m	主筋の重心位置から躯体端部までの距離
N_3	本	引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数
N_4	本	せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数
T_2	kN	主筋に生じる引張力
q_2	kN	主筋に生じるせん断力
Ta_2	kN	主筋に生じる引張に対する短期許容荷重
Qa_2	kN	主筋に生じるせん断に対する短期許容荷重
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅
τ'	N/mm^2	堰底部のコンクリートに生じるせん断応力度
ρ	kN/m^3	コンクリートの単位体積重量
W_1	kN/m	単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量
Z	mm^3/m	堰の断面係数
σ_c	N/mm^2	堰底部のコンクリートに生じる圧縮応力度

3.2　評価対象部位及び評価対象設備

堰の評価対象部位は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，「2.3　構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき，溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

また，柱支持型堰，鋼板折曲げ型堰及び鉄筋コンクリート製堰において，結果が厳しい評価対象部位を有する堰を代表として評価する。

3.2.1　柱支持型堰

柱支持型堰の評価対象部位は，堰に作用する静水圧荷重が，鋼板，梁材及び柱材からアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトとする。

評価の対象となる柱支持型堰の選定結果を表 3－4 に示す。

表 3－4(1)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 2800mm	原子炉建物 地下 2 階 B-非常用 DG 電気室南側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 8800mm	原子炉建物 地下 1 階 南側通路浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 HPCS 給気消音器フィルタ室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1 階 南西階段浸水防止堰	

表 3－4(2)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 PLR ポンプ MG セット室南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 エアロック前浸水防止堰	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（非管理区域側）	
原子炉建物 EL 15300mm	原子炉建物 1階 第2チェックポイント浸水防止堰（管理区域側）	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-逃がし安全弁窒素ガス供給装置横浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 非常用電気室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-非常用電気室南側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 B-非常用電気室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 A-非常用 DG 室送風機室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 西側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2階 東側 PCV ペネトレーション室北側浸水防止堰	

表 3－4(3)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 原子炉棟送風機室南側階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室西側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 A-原子炉格納容器 H2・O2 分析計ボンベラック室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 23800mm	原子炉建物 2 階 RCW バルブ室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 28300mm	原子炉建物 中 2 階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 エアロック前浸水防止堰	
原子炉建物 EL 30500mm	原子炉建物 中 2 階 CUW バルブ室東側浸水防止堰	
原子炉建物 EL 31100mm	原子炉建物 中 2 階 CUW サージタンク室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 南西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（通路側）	

表 3－4(4)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 A-CAMS 室前浸水防止堰（SGT 室側）	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 B-CAMS 室前浸水防止堰	
タービン建物 EL 5500mm	タービン建物 1 階 給水加熱器室南西浸水防止堰	
タービン建物 EL 12500mm	タービン建物 2 階 復水器室南西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン建物送風機室南側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南東階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 常用電気室送風機室南側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 タービン建物ダストサンプラ室西側浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ北西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 大物搬入口浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南西階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 20600mm	タービン建物 3 階 オペフロ南側階段浸水防止堰	
タービン建物 EL 32000mm	タービン建物 4 階 工具室浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 8800mm	廃棄物処理建物 地下 1 階 通路東側浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4 階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（非管理区域側）	○*

注記＊：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

表 3－4(5)　評価対象とする柱支持型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4階 廃棄物処理建物送風機室南側浸水防止堰（管理区域側）	
廃棄物処理建物 EL 32000mm	廃棄物処理建物 4階 南側シャッター前浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 10200mm	サイトバンカ建物 1階 排風機室北側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 北西側階段室浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 14800mm	サイトバンカ建物 2階 プリコート室浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南東側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室北西側浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室機器搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 20300mm	サイトバンカ建物 3階 溶融物搬入機室浸水防止堰	

3.2.2　鋼板折曲げ型堰

鋼板折曲げ型堰の評価対象部位は，堰に作用する静水圧荷重が，鋼板からアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して躯体に伝わることから，鋼板及びアンカーボルトとする。

評価の対象となる鋼板折曲げ型堰の選定結果を表 3－5 に示す。

表 3－5(1)　評価対象とする鋼板折曲げ型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 RCIC 直流 C/C 浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 DG 室給気ダクト室南側階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 10300mm	原子炉建物 地下 1 階 第 3 チェックポイント浸水防止堰	
原子炉建物 EL 34800mm	原子炉建物 3 階 北西側階段室浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北東階段浸水防止堰	○*
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 南東階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 北西階段浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 エアロック浸水防止堰	
原子炉建物 EL 42800mm	原子炉建物 4 階 大物搬入口浸水防止堰	
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント中央浸水防止堰	
制御室建物 EL 8800mm	制御室建物 2 階 第 1 チェックポイント東側浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 21150mm	廃棄物処理建物 2 階 計算機室連絡扉前浸水防止堰	

注記＊：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

表 3－5(2)　評価対象とする鋼板折曲げ型堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（北）浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（中）浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側（南）浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 補助盤室東側通路南側扉浸水防止堰	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（運転員控室側）	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（予備室側）	
廃棄物処理建物 EL 16900mm	廃棄物処理建物 1階 中央制御室横会議室浸水防止堰（補助盤室側）	
廃棄物処理建物 EL 22100mm	廃棄物処理建物 2階 中央制御室送風機室階段浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 建物出入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8900mm	サイトバンカ建物 1階 南側大物搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 8800mm	サイトバンカ建物 1階 北側大物搬入口浸水防止堰	
サイトバンカ建物 EL 19800mm	サイトバンカ建物 3階 固体廃棄物貯蔵プール室南西側浸水防止堰	

3.2.3　鉄筋コンクリート製堰

鉄筋コンクリート製堰の評価対象部位は，堰に作用する静水圧荷重により応力が発生することから，堰と既存躯体の取合い部分の堰底部のコンクリート，アンカー筋及び主筋とした。

評価の対象となる鉄筋コンクリート製堰の選定結果を表 3－6 に示す。

表 3－6　評価対象とする鉄筋コンクリート製堰の選定結果

設置場所	設備名称	評価対象設備（代表）
制御室建物 EL 16900mm		
制御室建物 EL 16900mm		
制御室建物 EL 16900mm		○*

注記＊：評価結果が厳しい評価対象部位を有する堰を選定

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1　溢水による静水圧荷重

溢水による静水圧荷重として，発生を想定する溢水による浸水高さを用いた静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は次式により算定する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ph　：堰最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0　：水の密度(t/m^3)
g　：重力加速度(m/s^2)
H　：堰の高さ(mm)

3.3.2　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重を踏まえて設定する。荷重の組合せを表 3－7 に示す。

表 3－7　荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ
堰	Ｐｈ

3.4　許容限界

堰の許容限界は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.2　評価対象部位及び評価対象設備」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し短期許容応力度または，短期許容荷重とする。代表として評価する堰の許容限界を以下に示す。

3.4.1　柱支持型堰の許容限界

(1)　鋼板

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」（以下「Ｓ規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度を表 3－8 に示す。

表 3－8　鋼板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm^2)
SS400	271

(2)　梁材

「Ｓ規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 3－9 に示す。

表 3－9　梁材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	組合せ (N/mm^2)
SS400	235	135	235

(3) 柱材

「S規準」に基づき算定した短期許容応力度を表3－10に示す。

表3－10　柱材の短期許容応力度

材料	短期許容応力度		
	曲げ (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	組合せ (N/mm^2)
SS400	235	135	235

(4) アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010改定）」（以下「各種合成構造設計指針・同解説」という。）に基づき算定した短期許容荷重を表3－11に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とアンカーボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表3－11　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SS400（M22）	36	49

3.4.2　鋼板折曲げ型堰の許容限界

(1)　鋼板

「Ｓ規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 3－12 に示す。

表 3－12　鋼板の短期許容応力度

材料	短期許容応力度
	曲げ (N/mm^2)
SS400	271

(2)　アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した短期許容荷重を表 3－13 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカーボルトの降伏により決まる許容荷重とアンカーボルトの付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－13　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SS400 (M12)	11	13

3.4.3　鉄筋コンクリート製堰の許容限界

(1)　コンクリート

「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，1999 改定）」（以下「ＲＣ規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度を表 3－14 に示す。

表 3－14　コンクリートの短期許容応力度

材料		短期許容応力度	
		圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
コンクリート	Fc22.1	14.6	1.06

(2)　鉄筋

「ＲＣ規準」に基づき算定した短期許容応力度を表 3－15 に示す。

表 3－15　鉄筋の短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SD345（D13）	43	43

(3)　アンカー筋

「各種合成構造設計指針・同解説」に基づき算定した短期許容荷重を表 3－16 に示す。

なお，引張力を受ける場合においては，アンカー筋の降伏により決まる許容荷重とアンカー筋の付着力により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。せん断力を受ける場合においては，アンカー筋母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－16　アンカー筋の短期許容荷重

材料	短期許容荷重	
	引張 (kN)	せん断 (kN)
SD345（D13）	34	29

3.5　評価方法

堰の強度評価は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

3.5.1　柱支持型堰の評価方法

静水圧荷重を受けるはりモデルに置き換え，鋼板，梁材，柱材及びアンカーボルトに発生する応力を算定し，各許容限界との比較により強度評価を行う。

(1)　応力算定

静水圧荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力，梁材及び柱材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定する。

柱支持型堰に生じる力の概念図を図 3－1～図 3－6 に示す。

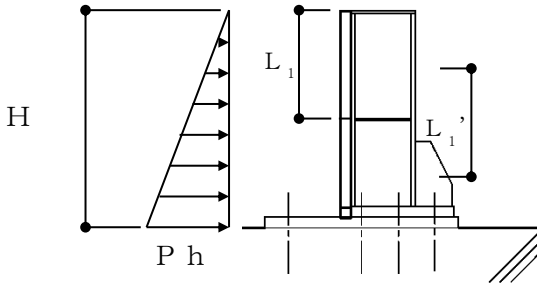


図 3－1　溢水時の鋼板に生じる力の断面概念図

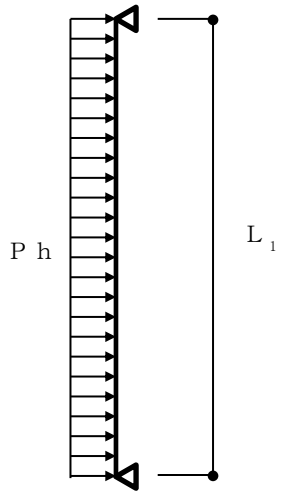


図 3－2　溢水時の鋼板に生じる力の断面概念図

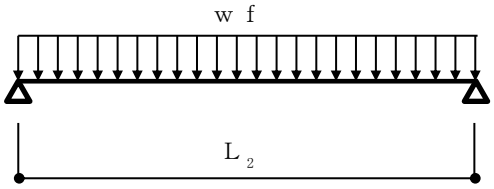


図 3－3　溢水時の梁材に生じる力の断面概念図

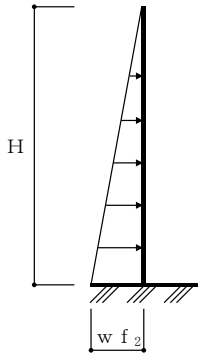


図 3－4　溢水時の柱材に生じる力の断面概念図

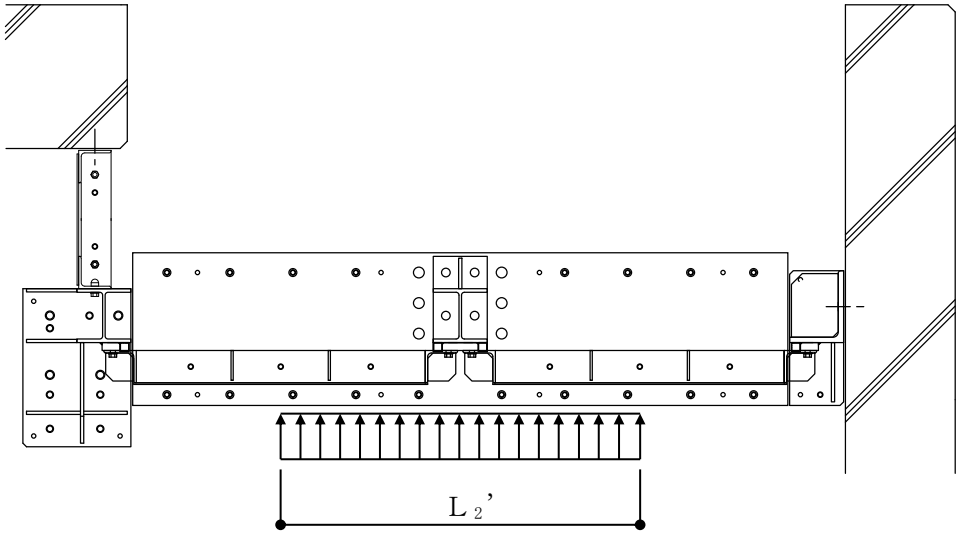


図 3－5　溢水時の柱材に生じる力の平面概念図

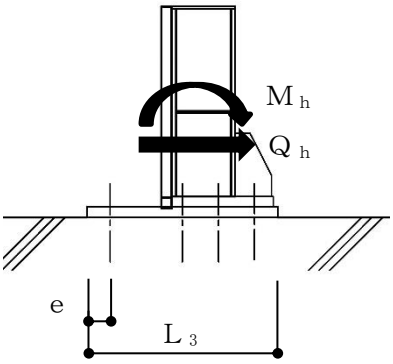


図 3－6　溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ph ：堰最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0 ：水の密度(t/m^3)
g ：重力加速度(m/s^2)
H ：堰の高さ(mm)

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる曲げ応力度は，鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，鋼板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。このとき，実際に作用する静水圧荷重は，台形分布若しくは，三角形分布であるが，堰最下端の最大静水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。

$$\sigma_\rho = Ph \cdot 10^{-3} \cdot L_1^2/8/Z$$

σ_ρ ：鋼板に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
Ph ：堰最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
L_1 ：梁材間距離(mm)
Z ：鋼板の断面係数(mm^3/mm)

b.　梁材

(a)　単位長さ当たりの静水圧荷重

梁材に作用する単位長さ当たりの静水圧荷重は次式により算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ｐｈ　：堰最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0　：水の密度(t/m^3)
ｇ　：重力加速度(m/s^2)
Ｈ　：堰の高さ(mm)

(b)　平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式により算出する。

$$wf = Ph \cdot L_1' \cdot 10^{-3}$$

ｗｆ　：梁材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
Ｐｈ　：堰最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
L_1'　：梁材1本当たりが負担する鋼板の幅(mm)

(c)　曲げ応力度に対する検定

梁材に生じる曲げ応力度は梁材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，梁材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = wf \cdot L_2^2/8/Z_f$$

σ_f　：梁材に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
ｗｆ　：梁材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
L_2　：梁材の長さ(mm)
Z_f　：梁材の断面係数(mm^3)

(d)　せん断応力度に対する検定

梁材に生じるせん断応力度は梁材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，梁材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = w_f \cdot L_2/2/A_f$$

τ_f　：梁材に生じるせん断応力度(N/mm^2)
w_f　：梁材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
L_2　：梁材の長さ(mm)
A_f　：梁材のせん断断面積(mm^2)

(e)　曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

梁材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「Ｓ規準」に基づく次式により算出し，梁材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef} = \sqrt{\sigma_f^2 + 3 \cdot \tau_f^2}$$

σ_{ef}　：梁材の組合せ応力度(N/mm^2)
σ_f　：梁材に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
τ_f　：梁材に生じるせん断応力度(N/mm^2)

c. 柱材

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

柱材に作用する単位長さ当たりの静水圧荷重は次式により算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ph ：堰最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0 ：水の密度(t/m^3)
g ：重力加速度(m/s^2)
H ：堰の高さ(mm)

(b) 平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式により算出する。

$$wf_2 = Ph \cdot L_2' \cdot 10^{-3}$$

wf_2 ：柱材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
Ph ：堰最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
L_2' ：柱材1本当たりが負担する梁材の長さ(mm)

(c) 曲げ応力度に対する検定

柱材に生じる曲げ応力度は柱材を片持ちはりとして次式により算出し，柱材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_Y = wf_2 \cdot H^2/6/Z_Y$$

σ_Y ：柱材に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
wf_2 ：柱材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
H ：堰の高さ(mm)
Z_Y ：柱材の断面係数(mm^3)

(d)　せん断応力度に対する検定

柱材に生じるせん断応力度は柱材を片持ちはりとして次式により算出し，柱材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_Y = wf_2 \cdot H/2/A_Y$$

τ_Y　：柱材に生じるせん断応力度(N/mm^2)
wf_2　：柱材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
H　　：堰の高さ(mm)
A_Y　：柱材のせん断断面積(mm^2)

(e)　曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

柱材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「Ｓ規準」に基づく次式により算出し，柱材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{eY} = \sqrt{\sigma_Y^2 + 3 \cdot \tau_Y^2}$$

σ_{eY}　：柱材の組合せ応力度(N/mm^2)
σ_Y　：柱材に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
τ_Y　：柱材に生じるせん断応力度(N/mm^2)

d.　アンカーボルト

(a)　引張力に対する検定

アンカーボルト１本当たりに生じる引張力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T = M_h / ((L_3 - e) \cdot 10^{-3} \cdot N_1)$$
$$M_h = (wf_2 \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) /6$$

T　　：アンカーボルトに生じる引張力(kN)
wf_2　：柱材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
H　　：堰の高さ(mm)
L_3　：ベースプレートの幅(mm)
e　　：アンカーボルトの穴縁端距離(mm)
N_1　：引張を受けるアンカーボルトの本数（本）

(b)　せん断力に対する検定

アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = Q_h / N_2$$

$$Q_h = (w f_2 \cdot (H \cdot 10^{-3})) / 2$$

Q_h　：堰下端の発生せん断力

q　：アンカーボルトに生じるせん断力(kN)

$w f_2$　：柱材の平均水圧による分布荷重(kN/m)

H　：堰の高さ(mm)

N_2　：せん断を受けるアンカーボルトの本数（本）

(c)　引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し，1以下であることを確認する。

$$(T/T_a)^2 + (q/Q_a)^2 \leqq 1$$

T　：アンカーボルトに生じる引張力(kN)

T_a　：アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重(kN)

q　：アンカーボルトに生じるせん断力(kN)

Q_a　：アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重(kN)

3.5.2　鋼板折曲げ型堰の評価方法

静水圧荷重を受ける単位幅の梁要素でモデル化し，実状に合わせて境界条件を定めた解析モデルに置き換え，鋼板及びアンカーボルトに発生する応力を応力解析により算定し，各許容限界との比較により強度評価を行う。

鋼板折曲げ型堰の評価モデル図を図 3－7 に示す。解析に使用するプログラムは，「ＫＡＮＳＡＳ２」である。なお，解析プログラムの検証及び妥当性の確認の概要については，Ⅵ-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

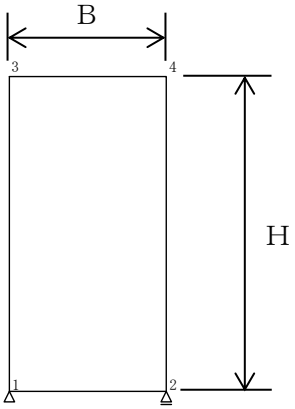


図 3－7　鋼板折曲げ型堰の評価モデル図

(1)　応力算定

静水圧荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力度並びにアンカーボルトに生じる引張力及びせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を応力解析により算定する。

鋼板折曲げ型堰に生じる力の概念図を図 3－8 に示す。

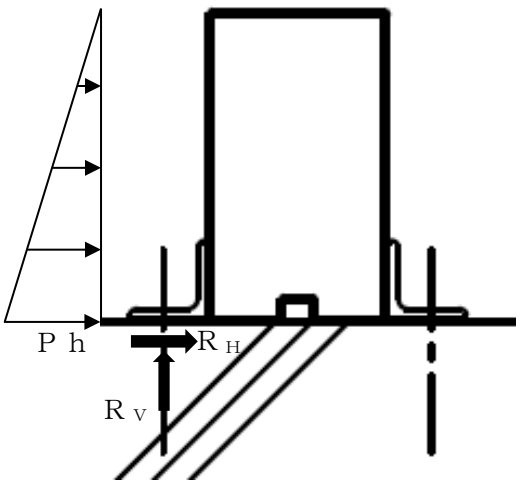


図 3－8　溢水時の鋼板及びアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ph ：静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0 ：水の密度(t/m^3)
g ：重力加速度(m/s^2)
H ：堰の高さ(mm)

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる曲げ応力度は，応力解析により求めた鋼板の最大曲げモーメントを用いて次式により算出し，鋼板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma = (M \cdot 10^6) / Z$$

σ ：鋼板の曲げ応力度(N/mm^2)
M ：鋼板の曲げモーメント(kN・m)
Z ：鋼板の断面係数(mm^3)

b. アンカーボルト

(a) 引張力に対する検定

アンカーボルト1本当たりに生じる引張力は，応力解析により求めた支点反力を用いて次式により算出し，アンカーボルトの短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$$T = R_V / N_1$$

T ：アンカーボルトに生じる引張力(kN)
R_V ：支点反力（鉛直方向）(kN)
N_1 ：引張を受ける1m当たりのアンカーボルトの本数（本）

(b)　せん断力に対する検定

アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力は，応力解析により求めた支点反力を用いて次式により算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q = R_H / N_2$$

q　　：アンカーボルトに生じるせん断力(kN)
R_H　：支点反力（水平方向）(kN)
N_2　：せん断を受ける1m当たりのアンカーボルトの本数（本）

(c)　引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を各種合成構造設計指針・同解説に基づく次式により算出し，１以下であることを確認する。

$$(T/Ta)^2 + (q/Qa)^2 \leqq 1$$

T　　：アンカーボルトに生じる引張力(kN)
Ta　：アンカーボルトに生じる引張に対する短期許容荷重(kN)
q　　：アンカーボルトに生じるせん断力(kN)
Qa　：アンカーボルトに生じるせん断に対する短期許容荷重(kN)

3.5.3　鉄筋コンクリート製堰の評価方法

鉄筋コンクリート製堰に生じる応力は,静水圧荷重を受ける片持ちはりとして,既存躯体との接合部に生じる圧縮力及びせん断力を算定し，鉄筋に生じる引張力及びせん断力並びにコンクリートに生じるせん断力及び圧縮力に対する確認を行う。

また，鉄筋に生じる引張力に対する確認においては，鉄筋コンクリート製堰が受ける静水圧荷重の曲げ成分を組み合わせるものとする。

(1)　応力算定

静水圧荷重を受けるアンカー筋，コンクリート，主筋に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる応力を算定する。

鉄筋コンクリート製堰に生じる力の概念図を図 3－9 に示す。

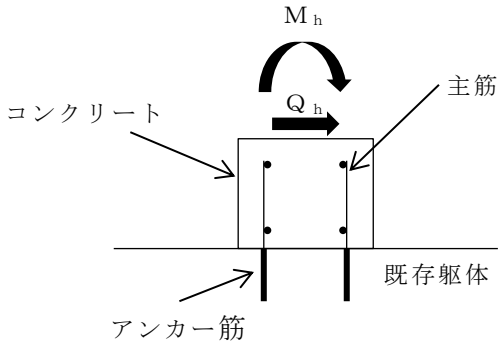


図 3－9　溢水時の鉄筋コンクリート製堰に生じる力の断面概念図

(2)　断面検定

a.　アンカー筋

(a)　単位長さ当たりの静水圧荷重

単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot H \cdot 10^{-3}$$

Ｐｈ　：静水圧荷重(kN/m^2)

ρ_0　：水の密度(t/m^3)

ｇ　　：重力加速度(m/s^2)

Ｈ　　：堰の高さ(mm)

(b)　引張力に対する検定

アンカー筋に作用する引張力を次式により算出し，アンカー筋の短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$T_1 = （Ph・（H・10^{-3}）^2）/6/（b_1' ・N_1）$

T_1　：アンカー筋に生じる引張力(kN)
Ｐｈ　：静水圧荷重(kN/m^2)
Ｈ　　：堰の高さ(mm)
b_1'　：アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離(m)
N_1　：引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数（本）

(c)　せん断力に対する検定

アンカー筋に作用するせん断力を次式より算出し，アンカー筋の短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$q_1 = Ph・H・10^{-3}/2/N_2$

q_1　：アンカー筋に生じるせん断力(kN)
Ｐｈ　：静水圧荷重(kN/m^2)
Ｈ　　：堰の高さ(mm)
N_2　：せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数（本）

(d)　引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$（T_1/Ta_1）^2+（q_1/Qa_1）^2 \leqq 1$

T_1　：アンカー筋に生じる引張力(kN)
Ta_1　：アンカー筋に生じる引張に対する短期許容荷重(kN)
q_1　：アンカー筋に生じるせん断力(kN)
Qa_1　：アンカー筋に生じるせん断に対する短期許容荷重(kN)

b．　主筋

(a)　引張力に対する検定

主筋に作用する引張力は，静水圧荷重による曲げモーメントより引張力を算出し，主筋に生じる引張力が短期許容引張荷重を下回ることを確認する。

$T_2 = (Ph \cdot (H \cdot 10^{-3})^2) / 6 / (b_2' \cdot N_3)$

T_2　：主筋に生じる引張力(kN)
Ph　：静水圧荷重(kN/m^2)
H　：堰の高さ(mm)
b_2'　：主筋の重心位置から躯体端部までの距離(m)
N_3　：引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数（本）

(b)　せん断力に対する検定

主筋に作用するせん断力を次式のより算出し，主筋に生じるせん断力が短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$q_2 = Ph \cdot H \cdot 10^{-3} / 2 / N_4$

q_2　：主筋に生じるせん断力(kN)
Ph　：静水圧荷重(kN/m^2)
H　：堰の高さ(mm)
N_4　：せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数（本）

(c)　引張力とせん断力の組合せに対する検定

組合せによる評価を「各種合成構造設計指針・同解説」に基づく次式により算出し，1 以下であることを確認する。

$(T_2/Ta_2)^2 + (q_2/Qa_2)^2 \leqq 1$

T_2　：主筋に生じる引張力(kN)
Ta_2　：主筋に生じる引張に対する短期許容荷重(kN)
q_2　：主筋に生じるせん断力(kN)
Qa_2　：主筋に生じるせん断に対する短期許容荷重(kN)

c. 堰底部のコンクリート

(a) せん断力に対する検定

堰底部に生じるせん断力が短期許容せん断荷重を下回ることを次式により確認する。

$$\tau' = Ph \cdot H \cdot 10^{-3}/2/(B \cdot 10^{3})$$

τ' ：堰底部のコンクリートに生じるせん断応力度(N/mm^2)

Ｐｈ ：静水圧荷重(kN/m^2)

Ｈ ：堰の高さ(mm)

Ｂ ：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)

(b) 圧縮力に対する検定

堰に生じる曲げモーメントによりコンクリートの圧縮力に生じる応力度が短期許容圧縮応力度を下回ることを次式により確認する。

$$\sigma_c = W_1/(B \cdot 10^{3}) + (Ph \cdot (H \cdot 10^{-3})^{2}/6 \cdot 10^{6})/Z$$

σ_c ：堰底部のコンクリートに生じる圧縮応力度(N/mm^2)

W_1 ：単位長さ当たりの鉄筋コンクリート製堰の重量

$(\rho \cdot B \cdot H \cdot 10^{-3})$ (kN/m)

ρ ：コンクリートの単位体積重量(kN/m^3)

Ｂ ：鉄筋コンクリート製堰の幅(m)

Ｈ ：堰の高さ(mm)

Ｐｈ ：静水圧荷重(kN/m^2)

Ｚ ：堰の断面係数(mm^3/m)

3.6　評価条件

柱支持型堰の強度評価に用いる入力値を表 3－17 に，鋼板折曲げ型堰の強度評価に用いる入力値を表 3－18 に，鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる入力値を表 3－19 に示す。

表 3－17　柱支持型堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	t/m^3	水の密度	1.03
g	m/s^2	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	1050
L_1	mm	梁材間距離	350
Z	mm^3/mm	鋼板の断面係数	3.375
L_1'	mm	梁材１本当たりが負担する鋼板の幅	175
L_2	mm	梁材の長さ	982.5
Z_f	mm^3	梁材の断面係数	14200
A_f	mm^2	梁材のせん断断面積	581
L_2'	mm	柱材１本当たりが負担する梁材の長さ	982.5
Z_Y	mm^3	柱材の断面係数	75100
A_Y	mm^2	柱材のせん断断面積	3000
L_3	mm	ベースプレートの幅	425
e	mm	アンカーボルトの穴縁端距離	200
N_1	本	引張を受けるアンカーボルトの本数	2
N_2	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数	6

表 3－18　鋼板折曲げ型堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	t/m^3	水の密度	1.03
g	m/s^2	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	300
M	kN・m	鋼板の曲げモーメント	0.02
Z	mm^3	鋼板の断面係数	1707
R_V	kN	支点反力（鉛直方向）	0.3030
N_1	本/m	引張を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数	5
R_H	kN	支点反力（水平方向）	0.4545
N_2	本/m	せん断を受ける 1m 当たりのアンカーボルトの本数	10
B	mm	堰の幅	150

表 3－19　鉄筋コンクリート製堰の強度評価に用いる入力値

記号	単位	定義	数値
ρ_0	t/m^3	水の密度	1.03
g	m/s^2	重力加速度	9.80665
H	mm	堰の高さ	200
b_1'	m	アンカー筋の重心位置から躯体端部までの距離	0.09
N_1	本	引張を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数	5
N_2	本	せん断を受ける 1m 当たりのアンカー筋の本数	5
b_2'	m	主筋の重心位置から躯体端部までの距離	0.09
N_3	本	引張を受ける 1m 当たりの主筋の本数	5
N_4	本	せん断を受ける 1m 当たりの主筋の本数	5
B	m	鉄筋コンクリート製堰の幅	0.18
ρ	kN/m^3	コンクリートの単位体積重量	24
Z	mm^3/m	堰の断面係数	5400000

4. 評価結果

柱支持型堰の強度評価結果を表4－1に,鋼板折曲げ型堰の強度評価結果を表4－2に,鉄筋コンクリート製堰の強度評価結果を表 4－3 に示す。発生値は許容限界値以下であり，静水圧荷重に対して，溢水伝播を防止する機能を維持するために，十分な構造強度を有することを確認した。

表 4－1　柱支持型堰の強度評価結果

評価対象部位		発生値（荷重または発生応力度）		許容限界		検定値
鋼板	曲げ	49	N/mm^2	271	N/mm^2	0.19＜1.0
梁材	曲げ	16	N/mm^2	235	N/mm^2	0.07＜1.0
	せん断	2	N/mm^2	135	N/mm^2	0.02＜1.0
	組合せ	17	N/mm^2	235	N/mm^2	0.08＜1.0
柱材	曲げ	26	N/mm^2	235	N/mm^2	0.12＜1.0
	せん断	2	N/mm^2	135	N/mm^2	0.02＜1.0
	組合せ	27	N/mm^2	235	N/mm^2	0.12＜1.0
アンカーボルト	引張	5	kN	36	kN	0.14＜1.0
	せん断	1	kN	49	kN	0.03＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.02＜1.0

表 4－2　鋼板折曲げ型堰の強度評価結果

評価対象部位		発生値（荷重または発生応力度）		許容限界		検定値
鋼板	曲げ	12	N/mm^2	271	N/mm^2	0.05＜1.0
アンカーボルト	引張	0.1	kN	11	kN	0.01＜1.0
	せん断	0.1	kN	13	kN	0.01＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.01＜1.0

表 4－3　鉄筋コンクリート製堰の強度評価結果

評価対象部位		発生値（荷重または発生応力度）		許容限界		検定値
アンカー筋	引張	0.1	kN	34	kN	0.01＜1.0
	せん断	0.1	kN	29	kN	0.01＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.01＜1.0
主筋	引張	0.1	kN	43	kN	0.01＜1.0
	せん断	0.1	kN	43	kN	0.01＜1.0
	組合せ	－	－	－	－	0.01＜1.0
堰底部のコンクリート	せん断	0.002	N/mm^2	1.06	N/mm^2	0.01＜1.0
	圧縮	0.008	N/mm^2	14.6	N/mm^2	0.01＜1.0

Ⅵ-3-別添 3-4-5　防水板の強度計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 2
2.1　検討対象防水板一覧 …… 2
2.2　配置概要 …… 3
2.3　構造計画 …… 6
2.4　評価方針 …… 7
2.5　適用規格・基準等 …… 9
3.　強度評価方法 …… 10
3.1　記号の説明 …… 10
3.2　評価対象部位 …… 11
3.3　荷重及び荷重の組合せ …… 12
3.3.1　溢水による静水圧荷重 …… 12
3.3.2　荷重の組合せ …… 13
3.4　許容限界 …… 14
3.4.1　使用材料 …… 14
3.4.2　許容限界 …… 14
3.5　評価方法 …… 16
3.6　評価条件 …… 21
4.　評価結果 …… 24

1. 概要

本資料は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に基づき，浸水防護施設である溢水用防水板及び管理区域防水板（以下「防水板」という。）が，発生を想定する溢水による静水圧荷重に対して，止水性の維持を考慮して，主要な構造部材が構造健全性を維持することを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　検討対象防水板一覧

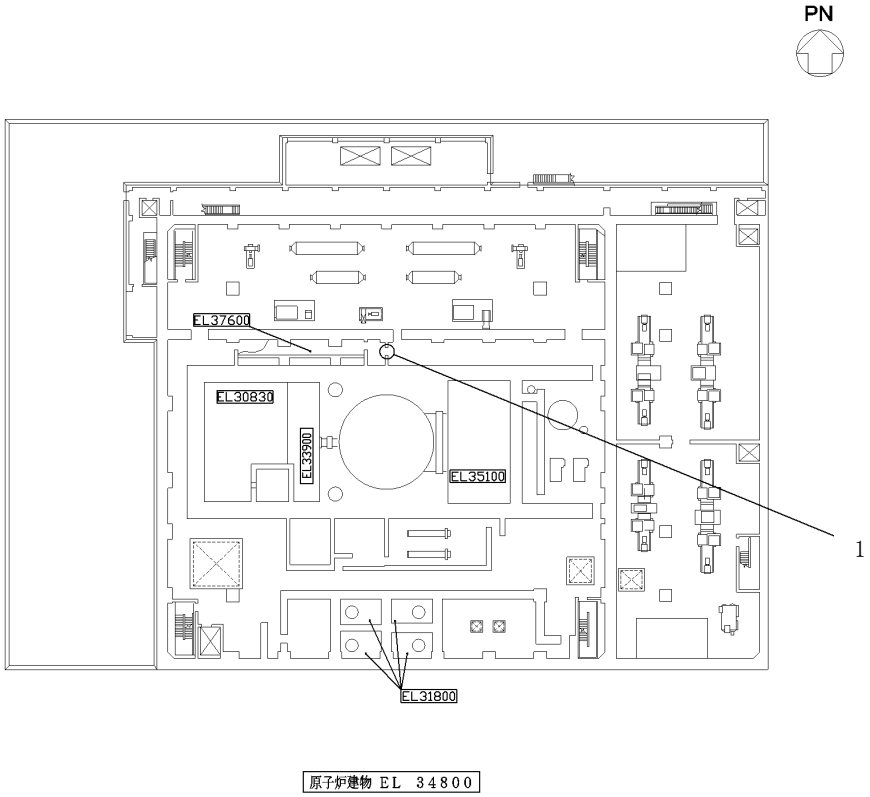
検討対象の防水板を表 2－1 に示す。

表 2－1　検討対象防水板一覧

防水板 No.	防水板名称
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板
2	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）
3	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）
4	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）
5	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）
6	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）
7	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）

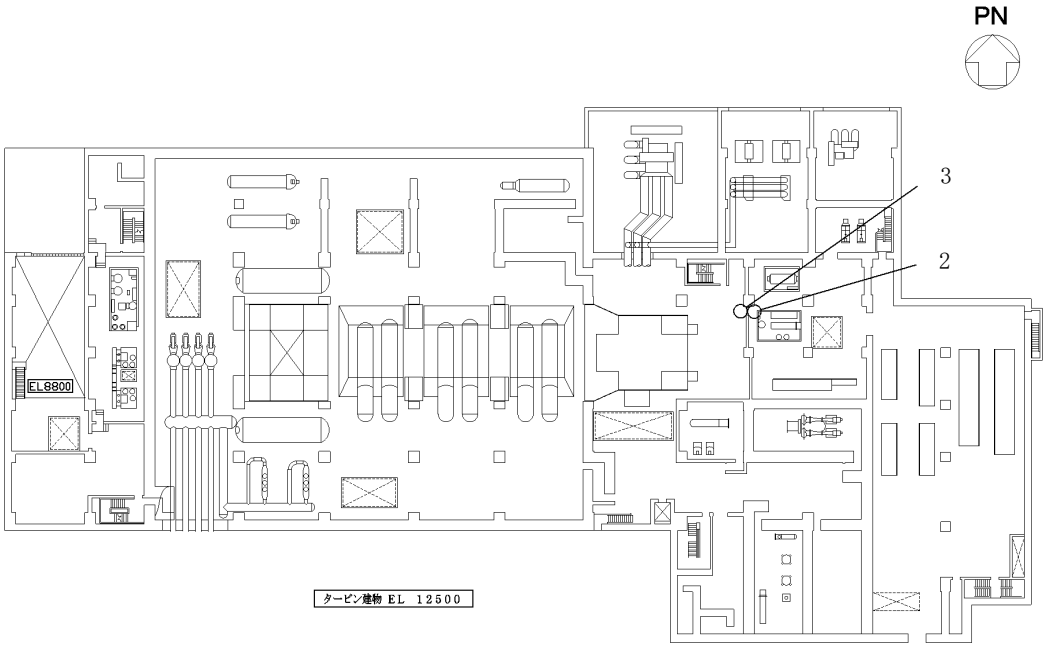
2.2　配置概要

防水板はⅥ-1-1-9-5「溢水防護に関する施設の詳細設計」の「4.1.3　溢水用防水板の設計方針」及び「4.1.5　管理区域水密扉，堰及び防水板の設計方針」に示すとおり，原子炉建物，タービン建物及び廃棄物処理建物に設置する。防水板の設置位置図を図 2－1 に示す。



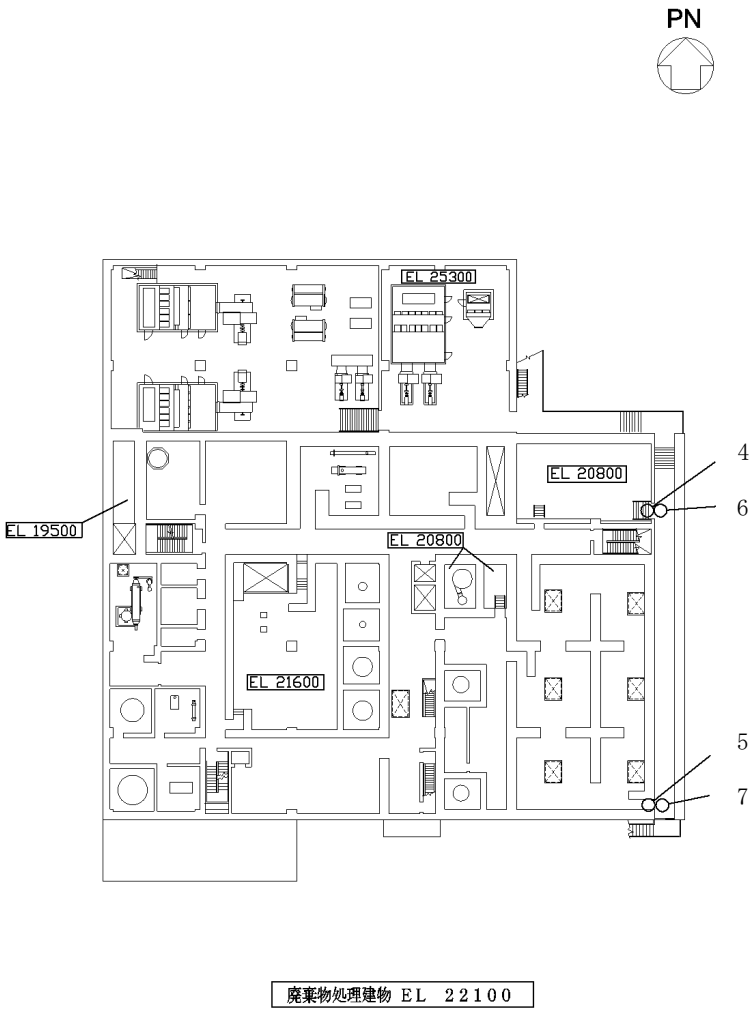
防水板 No.	防水板名称
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板

図 2－1(1)　防水板の設置位置図（原子炉建物 地上 3 階）



防水板 No.	防水板名称
2	タービン建物 2階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）
3	タービン建物 2階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）

図 2－1(2)　防水板の設置位置図（タービン建物 地上 2 階）



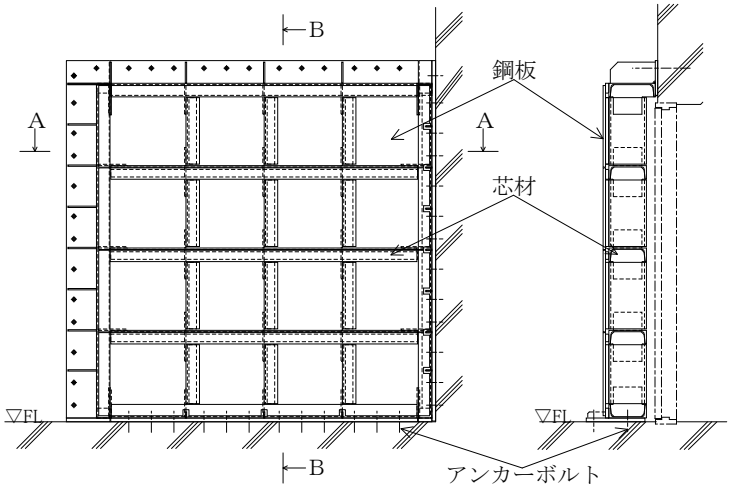
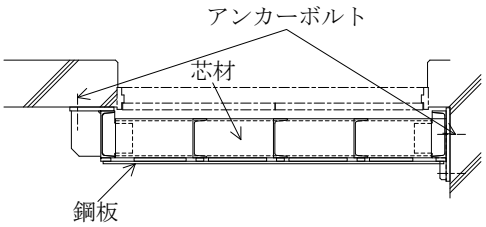
防水板 No.	防水板名称
4	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）
5	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）
6	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）
7	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）

図 2－1(3)　防水板の設置位置図（廃棄物処理建物 地上 2 階）

2.3　構造計画

防水板の構造はⅥ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「3.　構造強度設計」に示す構造計画を踏まえて，詳細な構造を設定する。防水板は，芯材，鋼板及びアンカーボルトから構成され，アンカーボルトにより建物床及び壁に固定する構造とする。防水板の構造計画を表 2－2 に示す。

表 2－2　防水板の構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
芯材で補強した鋼板を建物床及び壁面にアンカーボルトにて固定する。	鋼板，芯材及びアンカーボルトにより構成する。	 立面図　　Ｂ－Ｂ断面図  Ａ－Ａ断面図

2.4　評価方針

防水板の強度評価は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」及び「4.2　許容限界」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，防水板の評価対象部位に作用する応力等が許容限界内に収まることを，「3.　強度評価方法」に示す方法により，「3.6 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し，「4.　評価結果」にて確認する。

防水板の強度評価フローを図 2－2 に示す。

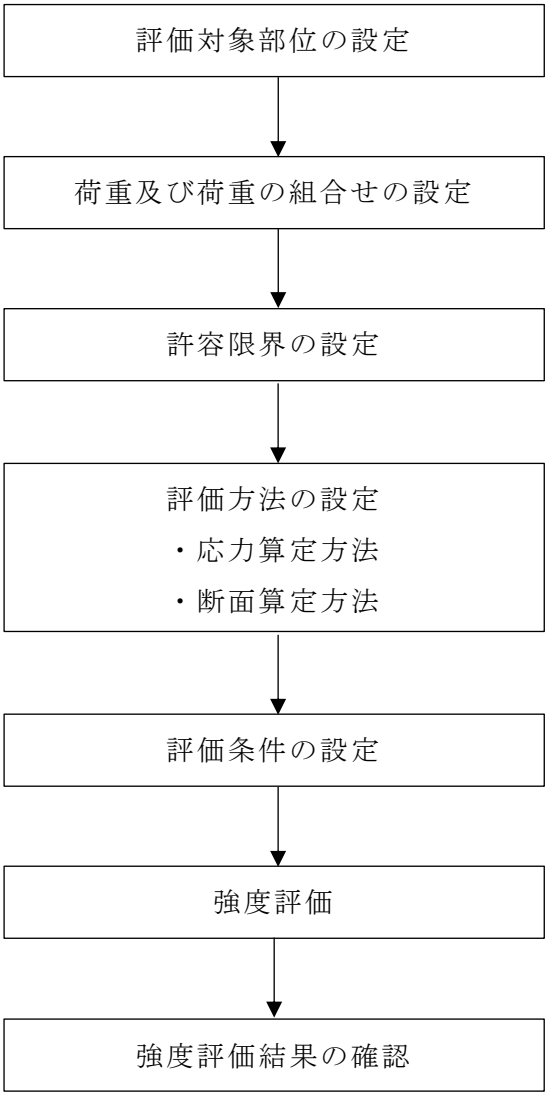


図 2－2　防水板の強度評価フロー

2.5　適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）

・各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）

・日本産業規格（ＪＩＳ）

3.　強度評価方法

防水板の強度評価はⅥ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している方法を用いて，強度評価を実施する。

防水板の強度評価は，「3.2　評価対象部位」に示す評価対象部位に対し，「3.3　荷重及び荷重の組合せ」及び「3.4　許容限界」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ，「3.5　評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

3.1　記号の説明

防水板の強度評価に用いる記号を表 3－1 に示す。

表 3－1　防水板の強度評価に用いる記号

記号	単位	定義
ρ_0	t/m^3	水の密度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	当該防水板の水圧作用高さ
Ｐｈ	kN/m^2	防水板最下端の静水圧荷重
L_1	mm	芯材間距離
Z	mm^3/m	鋼板の断面係数
σ_ρ	N/mm^2	鋼板に生じる曲げ応力度
L_1’	mm	芯材１本当たりが負担する鋼板の幅
ｗｆ	kN/m	芯材の平均水圧による分布荷重
L_2	mm	芯材の長さ
Z_f	mm^3	芯材の断面係数
σ_f	N/mm^2	芯材に生じる曲げ応力度
A_f	mm^2	芯材のせん断断面積
τ_f	N/mm^2	芯材に生じるせん断応力度
σ_{ef}	N/mm^2	芯材の組合せ応力度
N	本	せん断を受けるアンカーボルトの本数
L_3	mm	防水板の高さ
L_4	mm	防水板の幅
q	kN	アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力
Q_h	kN	アンカーボルトに生じるせん断力
F_h	kN	防水板に生じる静水圧荷重
t	mm	鋼板の板厚

3.2　評価対象部位

防水板の評価対象部位は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて示している評価対象部位を踏まえて，「2.3　構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき，溢水に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

防水板の評価対象部位は，防水板に作用する静水圧荷重が，鋼板及び芯材からアンカーボルトへ伝わり，アンカーボルトを介して開口部周囲の躯体に伝わることから，鋼板，芯材及びアンカーボルトとする。アンカーボルトについては，芯材から伝達された荷重をせん断力として負担する防水板の芯材を固定するアンカーボルトを，評価対象部位として選定する。

3.3　荷重及び荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」にて示している荷重及び荷重の組合せを踏まえて設定する。

3.3.1　溢水による静水圧荷重

溢水による静水圧荷重として，発生を想定する溢水による水圧作用高さまでの静水圧を考慮する。溢水による静水圧荷重は次式により算定する。

$$Ph = \rho_{。} \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

Ｐｈ：防水板最下端の静水圧荷重(kN/m^2)

$\rho_{。}$：水の密度(t/m^3)

ｇ　：重力加速度(m/s^2)

ｈ　：当該防水板の水圧作用高さ(mm)

静水圧荷重の算定に用いる水圧作用高さ及び水の密度を表 3－2 に示す。

表 3－2　水圧作用高さ及び水の密度

防水板 No.	防水板名称	水圧作用高さ (mm)	水の密度 (t/m^3)
1	原子炉建物 3 階 新燃料検査台ピット室防水板	8000	1.03
2	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（非管理区域側）	3580	1.03
3	タービン建物 2 階 固定子冷却装置室西側防水板（管理区域側）	3040	1.03
4	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（管理区域側）	6050	1.03
5	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（管理区域側）	3390	1.03
6	廃棄物処理建物 2 階 廃棄物処理建物 C/C 室防水板（非管理区域側）	3180	1.03
7	廃棄物処理建物 2 階 A-原子炉浄化樹脂貯蔵タンク水中ポンプ操作室防水板（非管理区域側）	3180	1.03

3.3.2　荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重の組合せは，VI-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.1　荷重及び荷重の組合せ」にて設定している荷重を踏まえて設定する。荷重の組合せを表 3－3 に示す。

表 3－3　荷重の組合せ

強度評価の対象施設	荷重の組合せ
防水板	Ｐｈ

3.4　許容限界

防水板の許容限界は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「4.2　許容限界」にて設定している許容限界を踏まえて，「3.2　評価対象部位」にて設定している評価対象部位ごとに，機能損傷モードを考慮し短期許容応力度又は，短期許容荷重とする。

3.4.1　使用材料

防水板を構成する，鋼板，芯材及びアンカーボルトの使用材料を表 3－4 に示す。

表 3－4　鋼板，芯材及びアンカーボルトの使用材料

評価対象部位	材質	仕様
鋼板	SS400	PL-22 PL-16
芯材	SS400	[-200×90×8×13.5 [-250×90×9×13
アンカーボルト	SS400	M16

3.4.2　許容限界

(1)　鋼板及び芯材

「鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（（社）日本建築学会，2005 改定）」（以下「S 規準」という。）に基づき算定した短期許容応力度を表 3－5 に示す。

表 3－5　鋼板及び芯材の短期許容応力度

材質	短期許容応力度(N/mm^2)			
	引張	圧縮	曲げ	せん断
SS400	235	235	235*	135

注記＊：上限値であり，座屈長さ等を勘案して設定する。

(2)　アンカーボルト

「各種合成構造設計指針・同解説（（社）日本建築学会，2010 改定）」に基づき算定した短期許容荷重を表 3－6 に示す。

なお，せん断力に対する許容荷重は，アンカーボルト母材のせん断強度より決まる許容荷重，定着したコンクリート躯体の支圧強度及びコーン状破壊により決まる許容荷重を比較して，いずれか小さい値を採用する。

表 3－6　アンカーボルトの短期許容荷重

材料	せん断 (kN)
M16	25.8

3.5　評価方法

防水板の強度評価は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」の「5.　強度評価方法」にて設定している評価式を用いる。

(1)　応力算定

静水圧荷重を受ける鋼板に生じる曲げ応力，芯材に生じる曲げ応力度及びせん断応力度並びにアンカーボルトに生じるせん断力に対する確認を行うに当たり，各荷重により生じる曲げ応力度，せん断応力度を算定する。

防水板に生じる力の概念図を図 3－1～図 3－4 に示す。

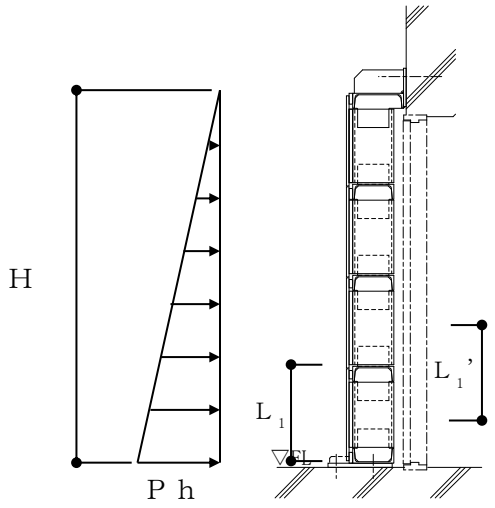


図 3－1　溢水時の防水板に生じる力の断面概念図

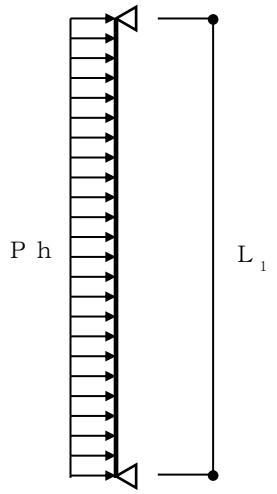


図 3－2　溢水時の鋼板に生じる力の断面概念図

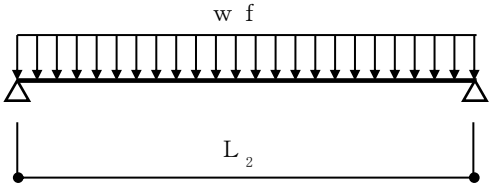


図 3－3　溢水時の芯材に生じる力の断面概念図

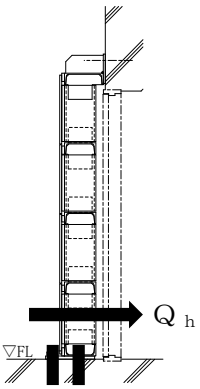


図 3－4　溢水時のアンカーボルトに生じる力の断面概念図

(2) 断面検定

a. 鋼板

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

単位長さ当たりの静水圧荷重は次式より算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

Ph ：防水板最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0 ：水の密度(t/m^3)
g ：重力加速度(m/s^2)
h ：当該防水板の水圧作用高さ(mm)

(b) 曲げ応力度に対する検定

鋼板に生じる曲げ応力度は，鋼板を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，鋼板の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。このとき，実際に作用する静水圧荷重は，台形分布若しくは，三角形分布であるが，防水板最下端の最大静水圧が等分布に作用するものとして安全側に評価する。

$$\sigma_\rho = Ph \cdot L_1^2/8/Z$$

σ_ρ ：鋼板に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
Ph ：防水板最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
L_1 ：芯材間距離(mm)
Z ：鋼板の断面係数(mm^3/m)

b. 芯材

(a) 単位長さ当たりの静水圧荷重

芯材に作用する単位長さ当たりの静水圧荷重は次式により算出する。

$$Ph = \rho_0 \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3}$$

Ph ：防水板最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
ρ_0 ：水の密度(t/m^3)
g ：重力加速度(m/s^2)
h ：当該防水板の水圧作用高さ(mm)

(b)　平均水圧による分布荷重

平均水圧による分布荷重は次式により算出する。

$$wf = Ph \cdot L_1' \cdot 10^{-3}$$

wf　：芯材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
Ph　：防水板最下端の静水圧荷重(kN/m^2)
L_1'　：芯材1本当たりが負担する鋼板の幅(mm)

(c)　曲げ応力度に対する検定

芯材に生じる曲げ応力度は芯材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，芯材の短期許容曲げ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_f = wf \cdot L_2^2/8/Z_f$$

σ_f　：芯材に生じる曲げ応力度(N/mm^2)
wf　：芯材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
L_2　：芯材の長さ(mm)
Z_f　：芯材の断面係数(mm^3)

(d)　せん断応力度に対する検定

芯材に生じるせん断応力度は芯材を両端ピンの単純はりとして次式により算出し，芯材の短期許容せん断応力度を下回ることを確認する。

$$\tau_f = wf \cdot L_2/2/A_f$$

τ_f　：芯材に生じるせん断応力度(N/mm^2)
wf　：芯材の平均水圧による分布荷重(kN/m)
L_2　：芯材の長さ(mm)
A_f　：芯材のせん断断面積(mm^2)

(e)　曲げ応力度とせん断応力度の組合せに対する検定

芯材に生じる曲げ応力度とせん断応力度の組合せ応力度を「S 規準」に基づく次式により算出し，芯材の短期許容組合せ応力度を下回ることを確認する。

$$\sigma_{ef}=\sqrt{\sigma_f^{\,2}+3\cdot\tau_f^{\,2}}$$

σ_{ef}　：芯材の組合せ応力度(N/mm^2)
σ_f　：芯材の曲げ応力度(N/mm^2)
τ_f　：芯材のせん断応力度(N/mm^2)

c.　アンカーボルト

(a)　せん断力に対する検定

アンカーボルト１本当たりに生じるせん断力は次式より算出し，アンカーボルトの短期許容せん断荷重を下回ることを確認する。

$$q=Q_h/N$$
$$Q_h=F_h/2$$
$$F_h=Ph\cdot L_3\cdot L_4\cdot 10^{-6}$$

q　：アンカーボルトに1本当たりに生じるせん断力(kN)
Q_h　：アンカーボルトに生じるせん断力(kN)
F_h　：防水板に生じる静水圧荷重(kN)
N　：せん断を受けるアンカーボルトの本数（本）
Ph　：防水板下端に作用する静水圧荷重(kN/m^2)
L_3　：防水板の高さ(mm)
L_4　：防水板の幅(mm)

3.6　評価条件

強度評価に用いる入力値を表 3－7 に示す。

表 3－7(1)　強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.		
				1	2	3
共通	h	mm	当該防水板の水圧作用高さ	8000	3580	3040
	ρ_o	t/m^3	水の密度	1.03	1.03	1.03
	g	m/s^2	重力加速度	9.80665	9.80665	9.80665
鋼板	L_1	mm	芯材間距離	532	585	545
	t	mm	鋼板の板厚	22	16	16
	Z	mm^3/m	鋼板の断面係数	80670	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	526	565	545
	L_2	mm	芯材の長さ	965	2230	2229
	Z_f	mm^3	芯材の断面係数	249000	334000	334000
	A_f	mm^2	芯材のせん断断面積	1384	2016	2016
アンカーボルト	L_3	mm	防水板の高さ	2092	2390	2296
	L_4	mm	防水板の幅	965	2455	2345
	N	本	片側*（左右若しくは上下）のアンカーボルトの本数	8	24	16

注記＊：左右若しくは上下でせん断力を受けるアンカーボルトの本数が異なる場合は，検定比が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 3－7(2)　強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				4	5
共通	h	mm	当該防水板の水圧作用高さ	6050	3390
	ρ_o	t/m^3	水の密度	1.03	1.03
	g	m/s^2	重力加速度	9.80665	9.80665
鋼板	L_1	mm	芯材間距離	581	570
	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	Z	mm^3/m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材１本当たりが負担する鋼板の幅	579	570
	L_2	mm	芯材の長さ	1770	958
	Z_f	mm^3	芯材の断面係数	334000	249000
	A_f	mm^2	芯材のせん断断面積	2016	1384
アンカーボルト	L_3	mm	防水板の高さ	3080	2374
	L_4	mm	防水板の幅	1970	990
	N	本	片側*（左右若しくは上下）のアンカーボルトの本数	－	19

注記＊：左右若しくは上下でせん断力を受けるアンカーボルトの本数が異なる場合は，検定比が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

表 3－7(3)　強度評価に用いる入力値

対象部位	記号	単位	定義	防水板 No.	
				6	7
共通	h	mm	当該防水板の水圧作用高さ	3180	3180
	ρ_o	t/m^3	水の密度	1.03	1.03
	g	m/s^2	重力加速度	9.80665	9.80665
鋼板	L_1	mm	芯材間距離	581	520
	t	mm	鋼板の板厚	16	16
	Z	mm^3/m	鋼板の断面係数	42670	42670
芯材	L_1'	mm	芯材 1 本当たりが負担する鋼板の幅	579	520
	L_2	mm	芯材の長さ	1770	958
	Z_f	mm^3	芯材の断面係数	249000	249000
	A_f	mm^2	芯材のせん断断面積	1384	1384
アンカーボルト	L_3	mm	防水板の高さ	3102	2090
	L_4	mm	防水板の幅	2170	990
	N	本	片側*（左右若しくは上下）のアンカーボルトの本数	-	14

注記＊：左右若しくは上下でせん断力を受けるアンカーボルトの本数が異なる場合は，検定比が最大となるアンカーボルトが取り付く側とする。

4. 評価結果

防水板の強度評価結果を表 4－1 に示す。防水板の各部材の断面検定を行った結果，発生応力度又は荷重は許容限界以下であることから，防水板が構造健全性を有することを確認した。

表 4－1(1) 防水板の強度評価結果

防水板 No.	評価対象部位		発生値（応力度又は荷重）		許容限界		検定値
1	鋼板	曲げ	36	N/mm^2	235	N/mm^2	0.16＜1.0
	芯材	曲げ	20	N/mm^2	233	N/mm^2	0.09＜1.0
		せん断	15	N/mm^2	135	N/mm^2	0.12＜1.0
		組合せ	33	N/mm^2	235	N/mm^2	0.15＜1.0
	アンカーボルト	せん断	10.2	kN	25.8	kN	0.40＜1.0
2	鋼板	曲げ	37	N/mm^2	235	N/mm^2	0.16＜1.0
	芯材	曲げ	39	N/mm^2	232	N/mm^2	0.17＜1.0
		せん断	12	N/mm^2	135	N/mm^2	0.09＜1.0
		組合せ	45	N/mm^2	235	N/mm^2	0.20＜1.0
	アンカーボルト	せん断	4.5	kN	25.8	kN	0.18＜1.0
3	鋼板	曲げ	27	N/mm^2	235	N/mm^2	0.12＜1.0
	芯材	曲げ	32	N/mm^2	232	N/mm^2	0.14＜1.0
		せん断	10	N/mm^2	135	N/mm^2	0.08＜1.0
		組合せ	37	N/mm^2	235	N/mm^2	0.16＜1.0
	アンカーボルト	せん断	5.2	kN	25.8	kN	0.21＜1.0
4	鋼板	曲げ	61	N/mm^2	235	N/mm^2	0.26＜1.0
	芯材	曲げ	42	N/mm^2	228	N/mm^2	0.19＜1.0
		せん断	16	N/mm^2	135	N/mm^2	0.12＜1.0
		組合せ	51	N/mm^2	235	N/mm^2	0.22＜1.0
	アンカーボルト	せん断	－	kN	－	kN	－

表 4－1(2)　防水板の強度評価結果

防水板 No.	評価対象部位		発生値（応力度又は荷重）		許容限界		検定値
5	鋼板	曲げ	33	N/mm^2	235	N/mm^2	0.15＜1.0
	芯材	曲げ	9	N/mm^2	233	N/mm^2	0.04＜1.0
		せん断	7	N/mm^2	135	N/mm^2	0.06＜1.0
		組合せ	16	N/mm^2	235	N/mm^2	0.07＜1.0
	アンカーボルト	せん断	2.2	kN	25.8	kN	0.09＜1.0
6	鋼板	曲げ	32	N/mm^2	235	N/mm^2	0.14＜1.0
	芯材	曲げ	30	N/mm^2	229	N/mm^2	0.14＜1.0
		せん断	12	N/mm^2	135	N/mm^2	0.09＜1.0
		組合せ	37	N/mm^2	235	N/mm^2	0.16＜1.0
	アンカーボルト	せん断	－	kN	－	kN	－
7	鋼板	曲げ	26	N/mm^2	235	N/mm^2	0.12＜1.0
	芯材	曲げ	8	N/mm^2	233	N/mm^2	0.04＜1.0
		せん断	6	N/mm^2	135	N/mm^2	0.05＜1.0
		組合せ	14	N/mm^2	235	N/mm^2	0.06＜1.0
	アンカーボルト	せん断	2.4	kN	25.8	kN	0.10＜1.0

Ⅵ-3-別添 3-4-6　貫通部止水処置の強度計算書（溢水）

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 7
2.5　記号の説明 ····· 7
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 7
3.　評価部位 ····· 8
4.　構造強度評価 ····· 9
4.1　構造強度評価方法 ····· 9
4.2　荷重の組合せ ····· 9
4.3　許容限界 ····· 9
4.4　計算方法 ····· 10
4.5　計算条件 ····· 10
5.　評価結果 ····· 11

1. 概要

本計算書は，VI-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している構造強度に示すとおり，貫通部止水処置が発生を想定する内部溢水による静水圧荷重に対して，主要な構造部材が構造健全性を有することを説明するものである。

2. 一般事項

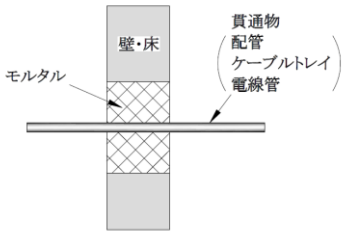
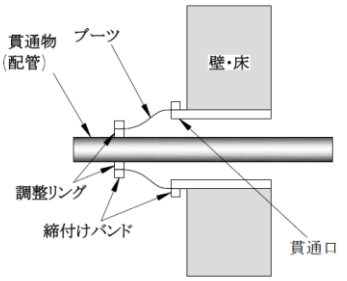
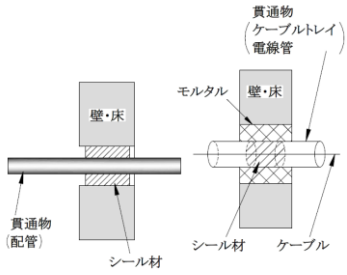
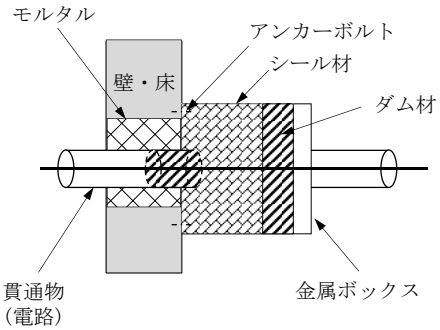
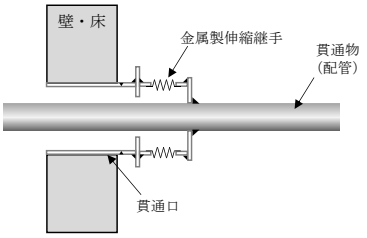
2.1 配置概要

貫通部止水処置は各建物及び区画の貫通口と貫通物とのすき間又は貫通部の周囲に施工する。

2.2 構造計画

貫通部止水処置は，貫通部の位置や条件に応じて，シール材，モルタル，ブーツ及び金属製伸縮継手を使用し，各貫通部止水処置の適用条件を考慮し施工する。シール材及びモルタルは壁又は床面の貫通口と貫通物のすき間に施工し，壁又は床面と貫通物を接合する構造とする。なお，シール材を電路貫通部の止水に用いる場合は，シール材が型崩れしないように金属ボックスをアンカーボルトで壁，床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填する場合がある。ブーツは，伸縮性ゴムを用い，壁又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて固定する構造とする。金属製伸縮継手は，壁又は床面設置の貫通口及び配管に溶接することで固定する構造とする。貫通部止水処置の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　貫通部止水処置の構造計画

設備名称	計画の概要		概略構造図
	主体構造	支持構造	
貫通部止水処置	モルタルにて構成する。	貫通部の開口部にモルタルを充填し，硬化後は貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって融合する。	
	ブーツと締付けバンドにて構成する。	配管変位を吸収できるよう伸縮性ゴムを用い，壁又は床面設置の貫通口と配管を締付けバンドにて締結する。	
	充填タイプのシール材にて構成する。	貫通部の開口部にシール材を充填する。施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成され，貫通部内面及び貫通物外面と一定の付着力によって接合する。	
		電路貫通部については，シール材が型崩れしないよう金属ボックスをアンカーボルトで壁又は床面に固定し，金属ボックスにシール材を充填する。シール材は，施工時は液状であり，反応硬化によって所定の強度を有する構造物が形成される。	
	金属製伸縮継手にて構成する。	配管変位を吸収できるよう金属製伸縮継手を用い，壁又は床面設置の貫通口と配管を溶接によって接合する。	

2.3　評価方針

貫通部止水処置の強度評価は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて，貫通部止水処置の評価部位に作用する荷重等が許容限界以下であることを確認する。

貫通部止水処置のシール材及びブーツ，金属製伸縮継手並びにモルタルの強度評価フローをそれぞれ，図 2－1，図 2－2 並びに図 2－3 に示す。

貫通部止水処置の強度評価においては，その構造を踏まえ，静水圧荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し，評価部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，静水圧荷重を考慮し，評価される最大荷重を設定する。

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは，静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重を考慮する津波への配慮が必要な貫通部止水処置の強度評価に包絡される。よって，津波への配慮が必要な貫通部止水処置の強度評価を実施しているシール材，ブーツ及びモルタルについては，本計算書での評価は不要とし，評価結果として，Ⅵ-3-別添 3-2-9「貫通部止水処置の強度計算書」に記載の評価結果を記載する。

なお，シール材（電路）及びブーツについては，内部溢水の影響の方が厳しい計算結果となるため，内部溢水の評価も記載する。

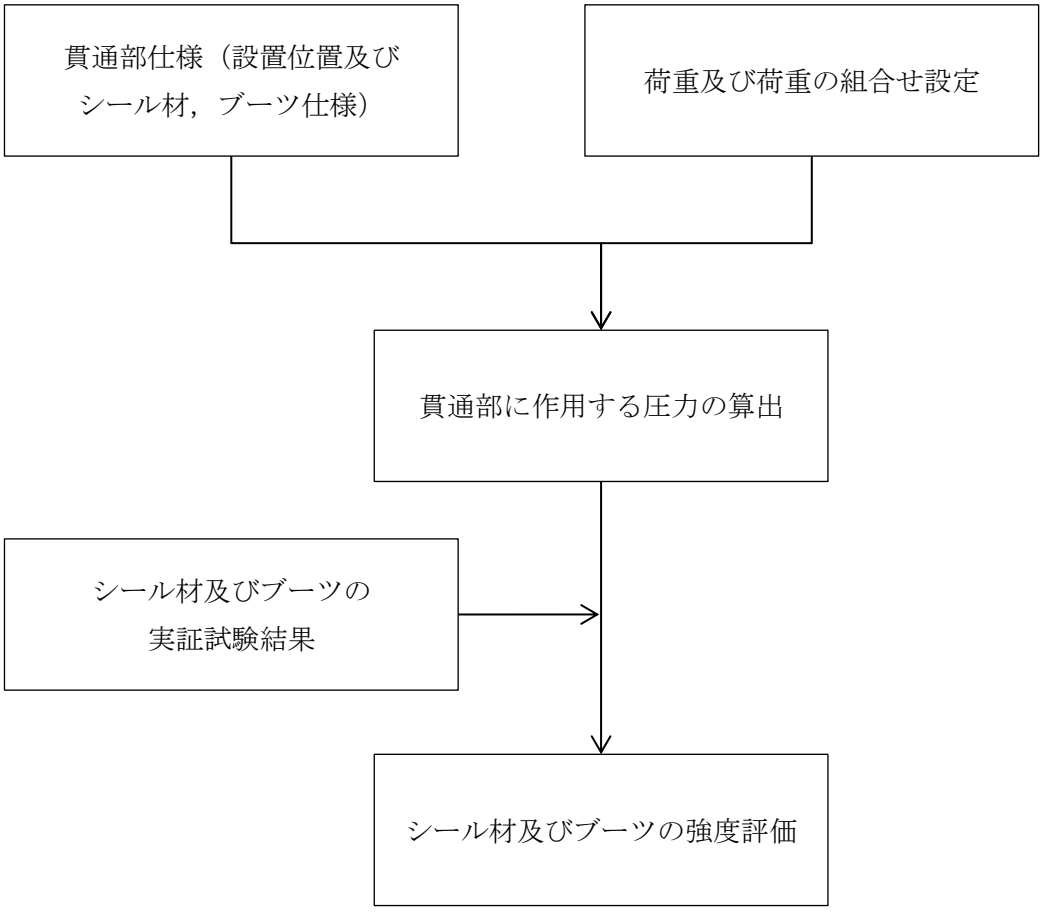


図 2－1　シール材及びブーツの強度評価フロー

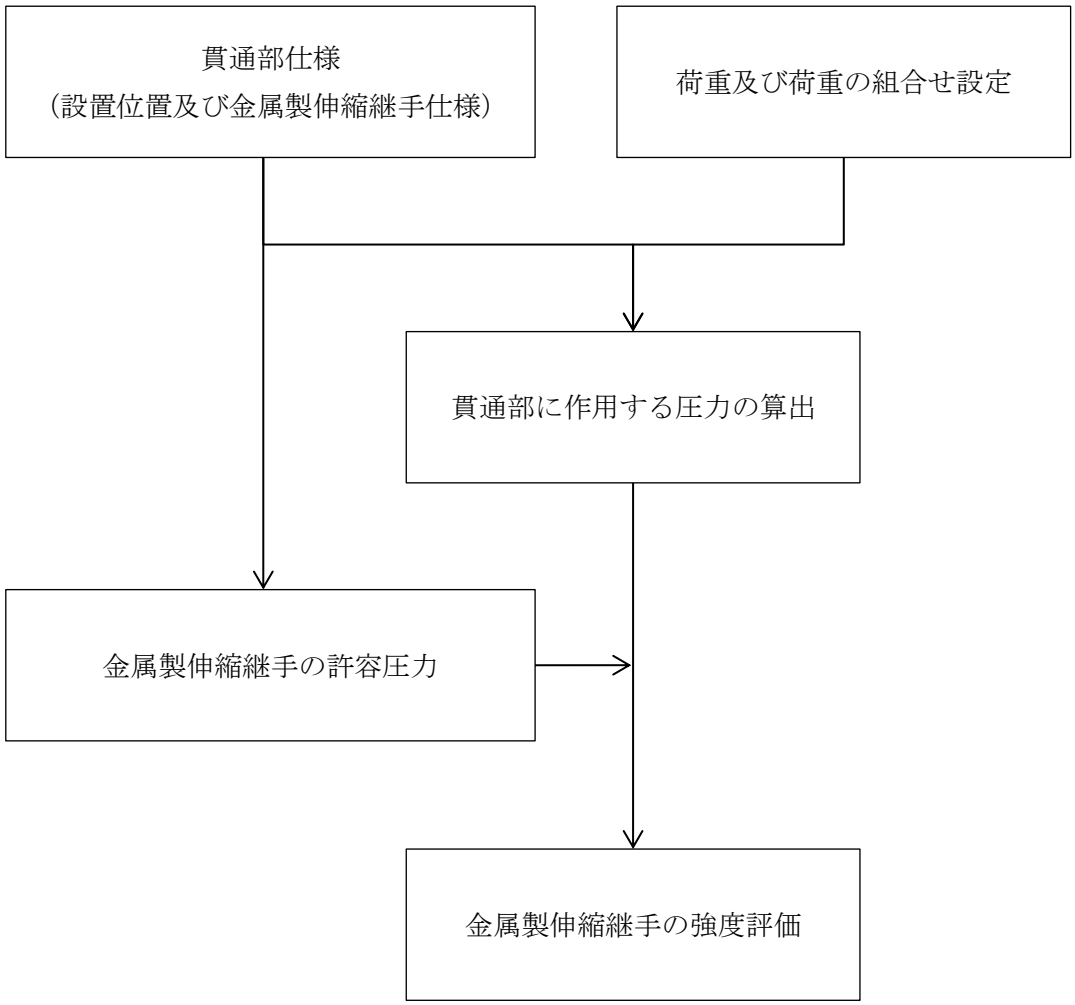


図 2－2　金属製伸縮継手の強度評価フロー

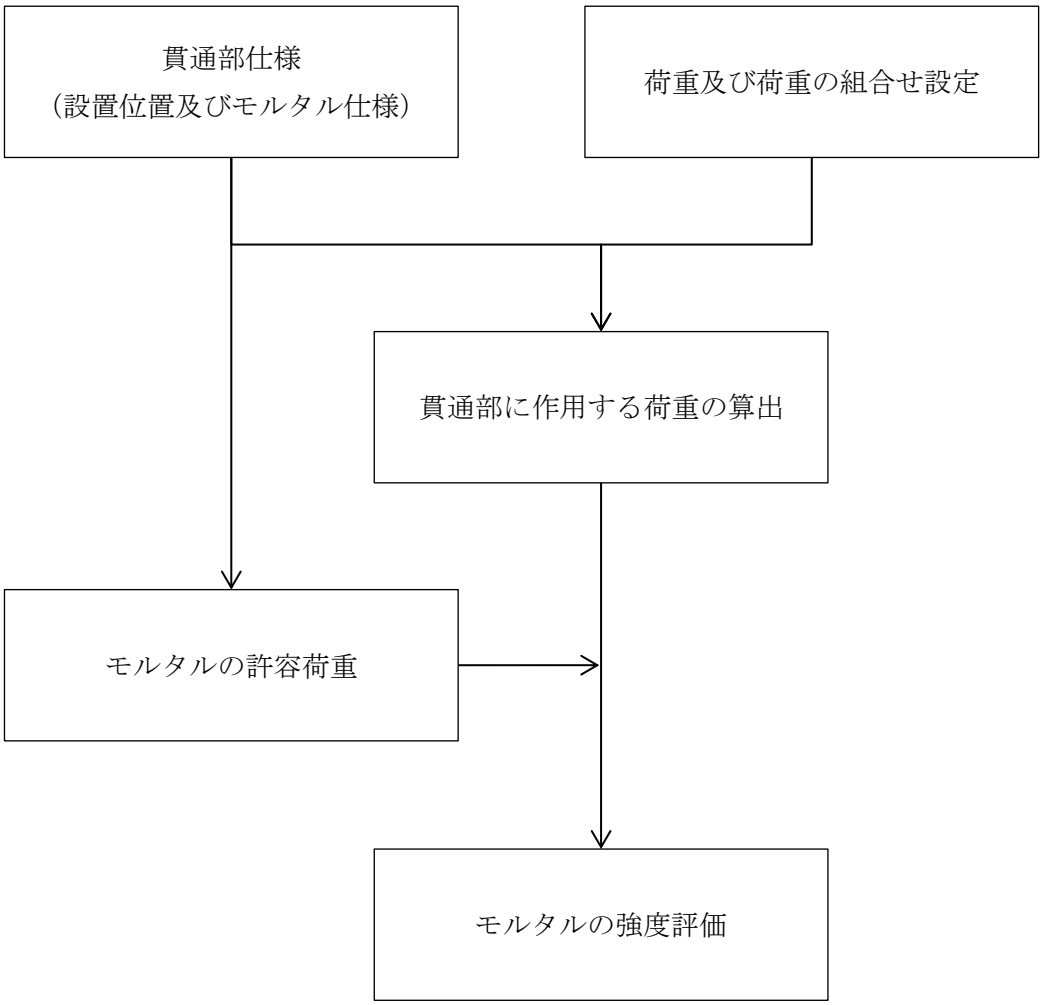


図 2－3　モルタルの強度評価フロー

2.4　適用規格・基準等

適用する規格，基準等を以下に示す。

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１-2005/2007（(社) 日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

2.5　記号の説明

金属製伸縮継手の強度評価に用いる記号を表 2－2 に示す。

表 2－2　強度評価に用いる記号

記号	定義	単位
c	継手部の層数	—
g	重力加速度	m/s^2
H	継手部の波の高さ	mm
h	貫通部位置における浸水深さ	m
P_h	静水圧	MPa
P_a	許容圧力	MPa
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表 5 に規定の最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
t	継手部の板の厚さ	mm
ρ	海水の密度	kg/m^3

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2－3 に示すとおりである。

表 2－3　表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	桁処理	処理方法	表示桁
厚さ，高さ	mm	—	—	整数位*1
水深	m	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
密度	kg/m^3	—	—	整数位
許容応力*2	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
発生荷重	kN	有効数字 4 桁目	切上げ	有効数字 3 桁
許容荷重	kN	有効数字 4 桁目	切捨て	有効数字 3 桁
発生圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
許容圧力	MPa	小数点以下第 3 位	切捨て	小数点以下第 2 位

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

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

3. 評価部位

本計算書における評価対象である金属製伸縮継手の評価部位は，Ⅵ-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示している評価部位を踏まえて，「2.2　構造計画」に示す構造計画にて設定している構造に基づき，荷重の方向及び伝達過程を考慮し設定する。

溢水による静水圧を考慮した荷重は，止水処置全体へ伝達されることから，止水処置全体を評価部位として設定し，作用する圧力が最も大きい貫通部を代表として評価を行う。

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

貫通部止水処置の強度評価は，VI-3-別添 3-3「溢水への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している方法を用いて実施する。

貫通部止水処置の強度評価は，「3. 評価部位」に示す評価部位に対し，「4.2 荷重の組合せ」及び「4.3 許容限界」に示す荷重の組合せ及び許容限界を踏まえ，「4.4 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 荷重の組合せ

貫通部止水処置の荷重の組合せを表 4－1 に示す。

表 4－1 荷重の組合せ

機器名称	荷重の組合せ*
貫通部止水処置	P_h

注記＊：P_hは静水圧による荷重を示す。

4.3 許容限界

貫通部止水処置の許容限界，許容限界評価条件及び許容限界算出結果をそれぞれ，表 4－2，表 4－3 及び表 4－4 に示す。また，金属製伸縮継手の施工例を図 4－1 に示す。

表 4－2 貫通部止水処置の許容限界

供用状態	評価部位	許容限界*
		許容圧力
A，B	金属製伸縮継手	P_a

注記＊：金属製伸縮継手の許容限界は，設計・建設規格により算出する。P_aは PVE-3810 の規定に基づき，次のとおり算出する。

$P_a = 2 \cdot t^2 \cdot c \cdot S / H^2$

表 4－3 貫通部止水処置の許容限界評価条件

継手部の層数 c	継手部の波の高さ H(mm)	許容引張応力 S(MPa)	継手部の板の厚さ t(mm)
[redacted]	[redacted]	[redacted]	[redacted]

表 4－4 貫通部止水処置の許容限界算出結果

供用状態	評価部位	許容限界
		許容圧力(MPa)
A，B	金属製伸縮継手	0.43

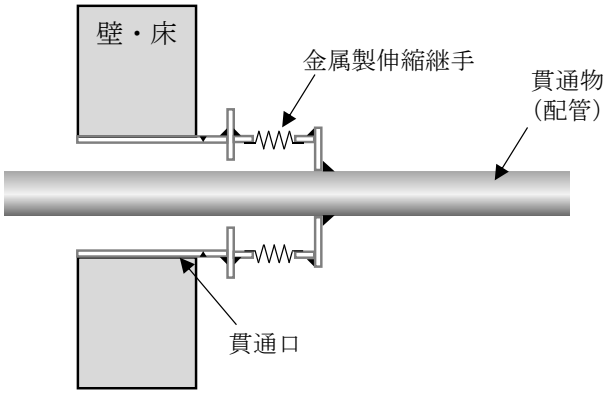


図 4－1　金属製伸縮継手の施工例

4.4　計算方法

貫通部止水処置に生じる発生圧力として，静水圧P_hを考慮する。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

4.5　計算条件

強度評価に用いる貫通部の仕様及び計算条件を表 4－5 に示す。

表 4－5　強度評価に用いる貫通部の仕様及び計算条件

評価部位	場所	貫通部位置における 浸水深さ h (m)	海水の密度 ρ (kg/m^3)
金属製伸縮継手	原子炉建物	6.47	1030

5. 評価結果

シール材，ブーツ及び金属製伸縮継手並びにモルタルの強度評価結果をそれぞれ，表 5－1 並びに表 5－2 に示す。なお，津波への配慮が必要な貫通部止水処置の強度評価を実施しているシール材，ブーツ及びモルタルについては，静水圧荷重並びに地震による動水圧及び余震荷重を考慮した保守的な評価結果として，VI-3-別添 3-2-9「貫通部止水処置の強度計算書」に記載の評価結果を記載している。

シール材，ブーツ及び金属製伸縮継手並びにモルタルの発生圧力又は発生荷重は，許容圧力又は許容荷重以下であることから，貫通部止水処置が構造健全性を有することを確認した。

表 5－1　シール材，ブーツ及び金属製伸縮継手の強度評価結果

評価部位	場所	発生圧力 (MPa)	許容圧力 (MPa)
シール材（配管）	タービン建物	0.09	□
シール材（電路）	タービン建物	0.04*	□
ブーツ	タービン建物	0.05*	□
金属製伸縮継手	原子炉建物	0.07	0.43

注記＊：シール材（電路）及びブーツについては，内部溢水による発生圧力が最も大きく，それぞれ 0.13MPa 及び 0.11MPa である。

表 5－2　モルタルの強度評価結果

評価部位	発生荷重 (kN)		許容荷重 (kN)
モルタル	付着荷重	6.86×10^{3}	8.21×10^{3}

Ⅵ-5　計算機プログラム（解析コード）の概要

Ⅵ-5-5　計算機プログラム（解析コード）の概要
・ＴＤＡＰⅢ

目　次

1.　はじめに ····· 1
1.1　使用状況一覧 ····· 2
2.　解析コードの概要 ····· 3
2.1　TDAPⅢ Ver.3.04 ····· 3
2.2　TDAPⅢ Ver.3.07 ····· 4
2.3　TDAPⅢ Ver.3.08 ····· 5

1. はじめに

本資料は，VI-2-2-18「取水槽の地震応答計算書」等において使用した計算機プログラム（解析コード）TDAPⅢについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅵ-2-2-18	取水槽の地震応答計算書	Ver.3.08
Ⅵ-2-2-30	第１ベントフィルタ格納槽の地震応答計算書	Ver.3.04
Ⅵ-2-2-32	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書	Ver.3.04
Ⅵ-2-2-34	緊急時対策所用燃料地下タンクの耐震性についての計算書	Ver.3.07
Ⅵ-2-2-37	屋外配管ダクト（ガスタービン発電機用軽油タンク～ガスタービン発電機）の地震応答計算書	Ver.3.04
Ⅵ-2-別添3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管エリア等における入力地震動	Ver.3.04

2. 解析コードの概要

2.1 TDAPⅢ Ver.3.04

コード名 / 項目	TDAPⅢ
使用目的	２次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver.3.04
コードの概要	TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は，２次元及び３次元有限要素解析の汎用プログラムである。 主として，地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。 また，土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしており，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。 本解析の主な特徴は，以下のとおりである。 ① ２次元及び３次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素，平面要素，立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は，以下のとおりである。 ・橋梁，橋脚，地盤～構造物連成，地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており，十分な使用実績があるため，信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第３号機において，海水ポンプ室，海水管トレンチ，海水取水トンネル，燃料油貯油そう基礎の２次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver.3.05）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは，高浜発電所第３号機の既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.2 TDAPⅢ Ver.3.07

コード名 / 項目	TDAPⅢ
使用目的	２次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver.3.07
コードの概要	TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は，２次元及び３次元有限要素解析の汎用プログラムである。 主として，地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。 また，土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしており，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。 本解析の主な特徴は，以下のとおりである。 ① ２次元及び３次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素，平面要素，立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は，以下のとおりである。 ・橋梁，橋脚，地盤～構造物連成，地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており，十分な使用実績があるため，信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第３号機において，海水ポンプ室，海水管トレンチ，海水取水トンネル，燃料油貯油そう基礎の２次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver.3.05）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは，高浜発電所第３号機の既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.3 TDAPⅢ Ver.3.08

コード名 / 項目	TDAPⅢ
使用目的	２次元有限要素法による地震応答解析
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム
開発時期	1994年
使用したバージョン	Ver.3.08
コードの概要	TDAPⅢ（以下「本解析コード」）は，２次元及び３次元有限要素解析の汎用プログラムである。 主として，地盤～構造物連成系の地震応答解析を行うものである。 また，土木・建築分野に特化した要素群，材料非線形モデルを数多くサポートしており，日本国内では，建設部門を中心として，官公庁，大学，民間問わず，多くの利用実績がある。 本解析の主な特徴は，以下のとおりである。 ① ２次元及び３次元有限要素プログラムである。 ② 地盤～構造物連成系モデルの相互作用解析が可能である。 ③ 線形要素，平面要素，立体要素等を用いることができる。 ④ 静的解析を引き継いだ動的解析を行うことができる。 ⑤ 地盤及び構造物の非線形性を考慮できる。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は，以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは，後述する妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は，以下のとおりである。 ・橋梁，橋脚，地盤～構造物連成，地中構造物等をはじめとする多数の解析において本解析コードが使用されており，十分な使用実績があるため，信頼性があると判断できる。 ・関西電力株式会社高浜発電所第３号機において，海水ポンプ室，海水管トレンチ，海水取水トンネル，燃料油貯油そう基礎の２次元有限要素法解析による地震応答解析に本解析コード（Ver.3.05）が使用された実績がある。 ・本工事計画において使用するバージョンは，高浜発電所第３号機の既工事計画において使用されているものと異なるが，バージョン変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事計画における構造に対して行う地震応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

Ⅵ-5-21　計算機プログラム（解析コード）の概要
・ＤＹＮＡ２Ｅ

目　次

1.　はじめに……　1
1.1　使用状況一覧……　2
2.　解析コードの概要……　3
2.1　DYNA2E Ver.7.2.48……　3
2.2　DYNA2E Ver.8.0.1……　5
2.3　DYNA2E Ver.8.1.0……　7

1. はじめに

本資料は，添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）DYNA2Eについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅵ-2-2-1	炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver.7.2.48 Ver.8.1.0
Ⅵ-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver.8.0.1

2. 解析コードの概要

2.1 DYNA2E Ver.7.2.48

コード名 / 項目	DYNA2E
使用目的	固有値解析，応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972 年（センチュリリサーチセンタ株式会社） 2007 年（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）
使用したバージョン	Ver.7.2.48
コードの概要	本解析コードは，土木・建築分野における骨組構造*を対象として開発された 2 次元／3 次元応答解析コードであり，市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値解析並びに静的解析（線形）及び動的解析（線形，非線形）による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し，3 種類の解析を行うことができる。 ＜構造＞ 1. 2 次元骨組構造 2. 3 次元骨組構造 ＜解析＞ 1. 固有値解析 2. 静的解析（線形） 3. 動的解析（線形，非線形）
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・一本棒の曲げせん断型モデルについて，本解析コード及び別解析コード MSC NASTRAN Ver.2008r1 を用いて得られた固有値解析結果及び応答解析結果を比較して検討し，本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証内容のとおり，固有値解析及び応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

	・日本原子力発電株式会社東海第二発電所工事計画認可申請書のⅤ-2-3-2「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」，東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第7号機工事計画認可申請書のⅤ-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及びⅤ-2-3-1「炉心，原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」において，固有値解析及び応答解析に使用された実績がある。 ・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する固有値解析及び応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

注記＊：本解析コードでは，主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。

2.2　DYNA2E Ver.8.0.1

コード名 / 項目	DYNA2E
使用目的	固有値解析，地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972 年（センチュリリサーチセンタ株式会社） 2007 年（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）
使用したバージョン	Ver.8.0.1
コードの概要	本解析コードは，土木・建築分野における骨組構造*を対象として開発された 2 次元／3 次元応答解析コードであり，市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値解析並びに静的解析（線形）及び動的解析（線形，非線形）による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し，3 種類の解析を行うことができる。 ＜構造＞ 1.　2 次元骨組構造 2.　3 次元骨組構造 ＜解析＞ 1.　固有値解析 2.　静的解析（線形） 3.　動的解析（線形，非線形）
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることが出来る体系について，本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・一本棒の曲げせん断型モデルについて，本解析コード及び別解析コードNX NASTRAN Ver.8.5 MP1を用いて得られた結果を比較して検討し，本解析コードによる解析結果が妥当であることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を 満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証内容のとおり，固有値解析及び応答解析について検

	証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 ・東京電力ホールディングス株式会社柏崎刈羽原子力発電所第 7 号機工事計画認可申請書の 5 号機タービン建屋において，固有値解析及び質点系モデル地震応答解析で本解析コード（Ver.8.0 及び Ver.8.0.4）が使用された実績がある。 ・今回の工認申請において使用するバージョンは，先行プラントにおいて使用されているものと異なるが，バージョンの変更において解析機能に影響のある変更が行われていないことを確認している。 ・本工事における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

注記＊：本解析コードでは，主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。

2.3　DYNA2E Ver.8.1.0

コード名 / 項目	DYNA2E
使用目的	固有値解析，応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972 年（センチュリリサーチセンタ株式会社） 2007 年（伊藤忠テクノソリューションズ株式会社）
使用したバージョン	Ver.8.1.0
コードの概要	本解析コードは，土木・建築分野における骨組構造*を対象として開発された 2 次元／3 次元応答解析コードであり，市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値解析並びに静的解析（線形）及び動的解析（線形，非線形）による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し，3 種類の解析を行うことができる。 ＜構造＞ 1.　2 次元骨組構造 2.　3 次元骨組構造 ＜解析＞ 1.　固有値解析 2.　静的解析（線形） 3.　動的解析（線形，非線形）
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析で使用した DYNA2E Ver.8.1.0 に対し，使用実績のある Ver.7.2.48 からのバージョンアップにおいて，本解析で使用するコマンドに関し解析結果に影響を及ぼす変更がないことをバージョンのリリースノートより確認している。 ・実績のある解析モデルデータでの固有値解析結果及び動的解析結果より，バージョンアップにより解析結果に相違が生じないことを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

	・検証内容のとおり，固有値解析及び応答解析について検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 ・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する固有値解析及び応答解析の使用目的に対し，使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

注記＊：本解析コードでは，主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。

Ⅵ-5-41　計算機プログラム（解析コード）の概要
・ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ

目　次

1.　はじめに ····· 1
1.1　使用状況一覧 ····· 2
2.　解析コードの概要 ····· 3
2.1　NX NASTRAN Ver.5mp1 ····· 3
2.2　NX NASTRAN Ver.7.1 ····· 4
2.3　NX NASTRAN Ver.8.1 ····· 5

1. はじめに

本資料は，添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NX NASTRANについて説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅵ-2-9-4-5-1-4	ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書	Ver.5mp1
Ⅵ-2-10-1-4-26	緊急時対策所　空気浄化装置接続盤の耐震性についての計算書	Ver.7.1
Ⅵ-2-10-1-4-27	緊急時対策所　空気浄化装置操作盤の耐震性についての計算書	Ver.7.1
Ⅵ-2-11-2-10	耐火障壁の耐震性についての計算書	Ver.7.1
Ⅵ-2-9-4-5-3-1	静的触媒式水素処理装置の耐震性についての計算書	Ver.8.1

2. 解析コードの概要

2.1 NX NASTRAN Ver.5mp1

コード名 / 項目	NX NASTRAN
使用目的	３次元有限要素法（はりモデル）による固有値解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年（The MacNeal-Schwendler Corporation） 2005年（Siemens PLM Software Inc.）
使用したバージョン	Ver.5mp1
コードの概要	本解析コードは，航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され，Siemens PLM Softoware Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり，MSC NASTRANと同じ機能を持つ。 適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・固有値解析 ３次元骨組構造物について，質点及び質量の無い弾性メンバーからなる等価な解析モデルを設定し，解析結果が公開文書*により求めた理論値（以下「理論解」という。）及び別コード（SOLVER）による解析結果とNX NASTRANによる解析結果とが同等であることを確認している。 ・応力解析 固有値解析で作成した二層ラーメン構造の解析モデルを使用して自重及び水平1Gを考慮した応力解析を行い，計算された部材応力と支点反力について別コード（SOLVER）による解析結果とNX NASTRANによる解析結果とが同等であることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，航空宇宙，自動車，造船，機械，土木及び建築等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する３次元有限要素法（はり要素）による固有値解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから，解析解と理論解の一致をもって，解析機能の妥当性を確認している。 ・本工事計画で行う３次元有限要素法（はり要素）による固有値解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

注記＊：「振動及び応答解析入門」（川井忠彦，藤谷義信共著　179頁　培風館）

2.2 NX NASTRAN Ver.7.1

コード名 / 項目	NX NASTRAN
使用目的	３次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971 年 (The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005 年 (Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver.7.1
コードの概要	本解析コードは，航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され，Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり，MSC NASTRANと同じ機能を持つ。 適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証（Verification）】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について，３次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，自動車，航空宇宙，防衛，重機，造船等様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する３次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析に本解析コードが適用できることを確認している。 ・検証の体系と本工事計画で使用する体系が同等であることから，解析解と理論解の一致をもって，解析機能の妥当性を確認している。 ・本工事計画で行う３次元有限要素法（はり要素）による固有値解析，地震応答解析の用途，適用範囲が，上述の妥当性確認範囲内にあることを確認している。 ・本工事計画において使用するバージョンは，他プラントの既工事計画において使用されているものと同じであることを確認している。

2.3 NX NASTRAN Ver.8.1

コード名 / 項目	NX NASTRAN
使用目的	３次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析及び応力解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年（The MacNeal-Schwendler Corporation） 2005年（Siemens PLM Software Inc.）
使用したバージョン	Ver.8.1
コードの概要	NX NASTRAN（以下「本解析コード」という。）は，航空機の機体強度解析を目的としてThe MacNeal-Schwendler Corporationにより開発され，Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解析用の汎用プログラムであり，MSC NASTRANと同じ機能を持つ。 適用モデル（主にはり要素，シェル要素，ソリッド要素）に対して，静的解析（線形，非線形），動的解析（過渡応答解析，周波数応答解析），固有値解析，伝熱解析（温度分布解析），熱応力解析，線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において，航空宇宙，自動車，造船，機械，建築，土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・材料力学分野における一般的な知見により解を求めることができる体系について，３次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析及び応力解析を行い，解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について，開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは，自動車，航空宇宙，防衛，重機，造船等の様々な分野における使用実績を有しており，妥当性は十分に確認されている。 ・開発機関が提示するマニュアルにより，本工事計画で使用する３次元有限要素法（シェル要素及びはり要素）による固有値解析及び応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。

Ⅵ-5-52　計算機プログラム（解析コード）の概要
・ＮＳＡＦＥ

目次

1. はじめに ····· 1
1.1 使用状況一覧 ····· 2
2. 解析コードの概要 ····· 3
2.1 NSAFE Ver.5 ····· 3

1. はじめに

本資料は，添付書類において使用した計算機プログラム（解析コード）NSAFE について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1　使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅵ-2-4-2-4	燃料プール水位・温度（ＳＡ）の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-27	ドライウェル温度（ＳＡ）の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-28	ペデスタル温度（ＳＡ）の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-29	ペデスタル水温度（ＳＡ）の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-30	サプレッションチェンバ温度（ＳＡ）の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-31	サプレッションプール水温度（ＳＡ）の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-42	ドライウェル水位の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-44	ペデスタル水位の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-45	原子炉建物水素濃度の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-5-47	スクラム排出水容器水位の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-6-7-1-10	静的触媒式水素処理装置入口温度の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-8-3-1-1	管の耐震性についての計算書（中央制御室空調換気系）	Ver.5
Ⅵ-2-10-2-15	貫通部止水処置の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-2-10-2-16	取水槽水位計の耐震性についての計算書	Ver.5
Ⅵ-3-別添3-2-10	取水槽水位計の強度計算書	Ver.5

2. 解析コードの概要

2.1 NSAFE Ver.5

コード名 / 項目	NSAFE
使用目的	3次元有限要素法（はりモデル）による支持構造物の固有値解析及び応力解析
開発機関	株式会社日立プラントコンストラクション
開発時期	1982年
使用したバージョン	Ver.5
コードの概要	本解析コードは，支持構造物の強度解析を目的として開発された計算機プログラムである。本解析コードは，汎用構造解析コード[redacted]をメインプログラムとし，応力評価プログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから成る。 任意の1次元，2次元あるいは3次元形状に対し，静的解析，動的解析を行うことが可能で，反力・モーメント・応力，固有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証（Verification）】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 [redacted] 【妥当性確認（Validation）】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 [redacted]

コード名 項目	NSAFE

注記＊1：日本機械学会「発電用原子力設備規格　設計・建設規格」

＊2：原子力発電所耐震設計技術指針

Ⅵ-5-55　計算機プログラム（解析コード）の概要
・ｄｍａｉｎ２

目　　次

1.　はじめに ····· 1
1.1　使用状況一覧 ····· 2
2.　解析コードの概要 ····· 3
2.1　dmain2 Ver.1.0 ····· 3
3.　解析手法 ····· 4
3.1　一般事項 ····· 4
3.2　解析コードの特徴 ····· 4
3.3　解析手法 ····· 4
3.4　解析フローチャート ····· 6
3.5　検証（Verification）及び妥当性確認（Validation） ····· 7
3.5.1　検証 ····· 7
3.5.2　妥当性確認 ····· 10
3.5.3　評価結果 ····· 10

1. はじめに

本資料は，VI-2-2-35「ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書」において使用した計算機プログラム（解析コード）dmain2について説明するものである。

本解析コードを使用した添付書類を示す使用状況一覧，解析コードの概要を以降に記載する。

1.1 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
Ⅵ-2-2-35	ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver.1.0

2. 解析コードの概要

2.1 dmain2 Ver.1.0

コード名 / 項目	dmain2
使用目的	振動アドミッタンス理論に基づく地盤ばね（実部，虚部）の算定
開発機関	中電技術コンサルタント株式会社
開発時期	2000年
使用したバージョン	Ver.1.0
コードの概要	dmain2は，振動アドミッタンス理論により，基礎の水平，鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 （Verification） 及び 妥当性確認 （Validation）	dmain2（以下「本解析コード」という。）は，ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析における水平，鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証の内容は以下のとおりである。 ・本解析コードを用いて評価した地盤ばねが文献（「基礎-地盤複素剛性解析コードSANBANEの保守に関する報告書(原子力発電技術機構，1998年)」）に記載されている理論モデルによる基礎底面の水平ばね，回転ばね及び鉛直ばねの評価例とよく一致していることを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり，水平，鉛直及び回転に対する地盤ばねについて検証していることから，解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 ・ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析における地盤ばねの算定に本解析コードを使用することは，本解析の適用範囲に対して検証されており，妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは，田治見の振動アドミッタンス理論に基づき，基礎の水平，鉛直及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。本解析コードは，ガスタービン発電機用軽油タンク基礎の地震応答解析及び3次元静的線形FEM解析における水平，鉛直及び回転に対する基礎底面地盤ばねを評価するために使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

・振動アドミッタンス理論に基づき，底面地盤ばねを振動数領域で算定できる。

・点加振解を用いているため，高振動数領域に対しても適用可能。

・任意の正方形要素を組み合わせて表現することができるため，任意の基礎形状にも対応可能。

3.3 解析手法

基礎底面の地盤ばねは，振動アドミッタンス理論に基づき，地盤を半無限弾性体と仮定した地盤の動きを弾性波動論に基づき解析した地表面の点加振解（力－変位関係）から算定する。

振動アドミッタンス理論では，半無限弾性体上の基礎マット面に，鉛直，水平，回転の動的な力$Pe^{i\omega t}$を加えたとき，それに対応する変位Wとの関係を下式で示している。

$$W = \frac{Pe^{i\omega t}}{K_f}\{g_1(\omega) - ig_2(\omega)\} \tag{3.1}$$

ここで，K_f：静的地盤ばね剛性

上式の比例係数$g_1(\omega) - ig_2(\omega)$を振動アドミッタンスと名付けており，地盤ばねは振動アドミッタンスの逆数の関係にあるため，次式によって求められる。

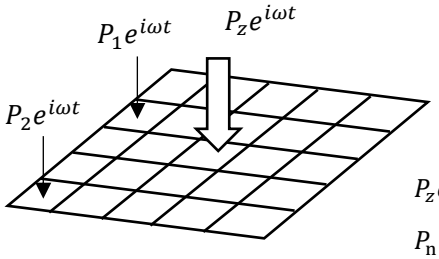
$$K(\omega) = K_f \cdot \frac{1}{g_1(\omega) - ig_2(\omega)} \tag{3.2}$$

ここで，$K(\omega)$：動的抵抗係数

（3.2）式を変形すると，地盤ばねは複素剛性の形にすることができ，実数部$K_R(\omega)$を剛性成分，虚数部$iK_I(\omega)$を減衰成分として，以下の式で表される。

$$K(\omega) = K_R(\omega) + iK_I(\omega) \tag{3.3}$$

振動アドミッタンス理論では，図3－1に示すように基礎を小領域に分割し，小領域に点加振した場合の変位を求めた後，基礎底面の応力分布（水平・鉛直ばねは一様分布，回転ばねは三角形分布）を仮定し，小領域の点加振解を基礎面について積分することによって，基礎全体加振力と基礎の代表変位（平均変位）の関係を求め，基礎の動的地盤ばねを評価する。



$P_ze^{i\omega t}$：基礎の加振力

$P_ne^{i\omega t}$：小領域の点加振力

図3－1　基礎の分割

振動アドミッタンス理論では，点加振した場合の変位は，妹沢の解として知られている3次元波動方程式の解を用い，境界条件を満たす点加振解を求めている。

図3－2に示すように，x方向の点加振$P_xe^{i\omega t}$が作用するときの地表面の任意点（r，θ）におけるx方向の変位u_x及びy方向の変位u_yは下式で与えられる。

$$u_x = \frac{P_xe^{i\omega t}}{4\pi G}\frac{1}{r}\{(2-\nu)(f_{H1}+if_{H2}) + \nu cos2\theta(g_{H1}+ig_{H2})\} \quad (3.4)$$

$$u_y = \frac{P_xe^{i\omega t}}{4\pi G}\frac{1}{r}\nu sin2\theta(g_{H1}+ig_{H2}) \quad (3.5)$$

同様にz方向の点加振$P_ze^{i\omega t}$が作用するときのz方向変位u_zは下式で与えられる。

$$u_z = \frac{P_ze^{i\omega t}}{2\pi G}\frac{1-\nu}{r}(f_{\nu 1}+if_{\nu 2}) \quad (3.6)$$

ここに，G：地盤のせん断剛性

ν：地盤のポアソン比

$(f_{H1}+if_{H2})$，$(g_{H1}+ig_{H2})$，$(f_{\nu 1}+if_{\nu 2})$：加振振動数ωの関数

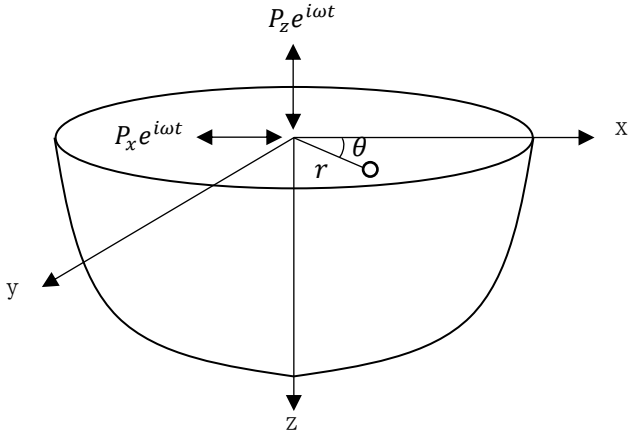


図3－2　座標系

S2 補 VI-5-55 R0

3.4　解析フローチャート

解析フローチャートを図 3−3 に示す。

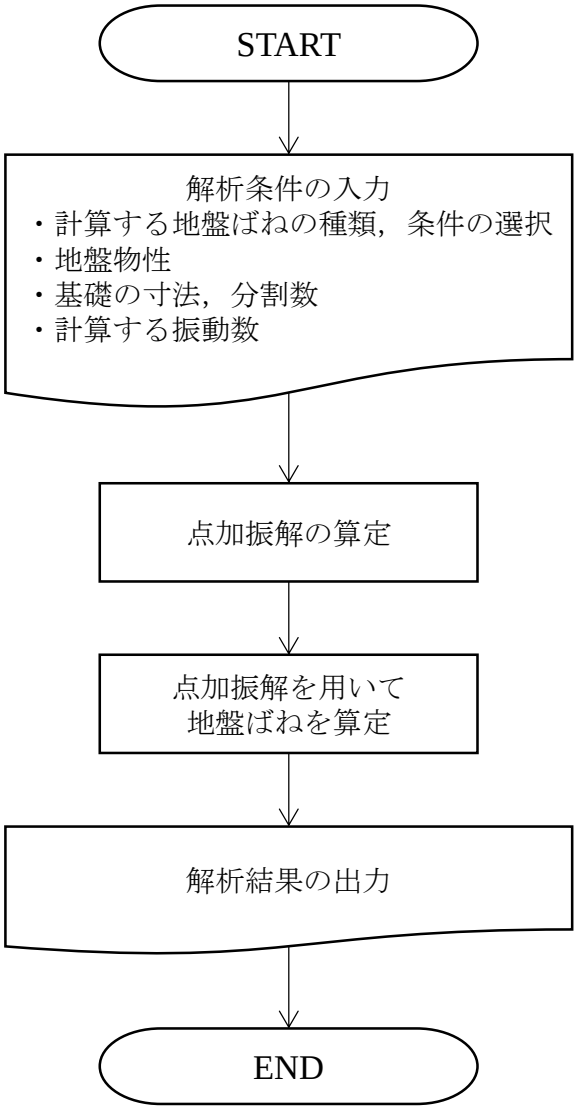


図 3−3　解析フローチャート

3.5　検証（Verification）及び妥当性確認（Validation）

3.5.1　検証

本解析コードの検証は，公開文献（「基礎-地盤複素剛性解析コード SANBANE の保守に関する報告書(原子力発電技術機構，1998 年)」）（以下，『文献』と記載）に示されている振動アドミタンス理論による理論解との比較により行う。

解析条件を表 3－1 に示す。地盤反力分布は，一様応力分布とし，基礎の代表変位は，鉛直及び水平ばねの場合は相加平均変位,回転ばねについては荷重重み付平均変位とする。

表 3－1　解析条件

地盤	ポアソン比	0.40
	重量密度 ρ (t/m^3)	2.00
	せん断波速度 Vs(m/s)	1,000
基礎	寸法(縦(m)×横(m))	72.0×100.0
	分割(縦(m)×横(m))	20 分割×20 分割

表 3－2 及び図 3－4 に文献の結果と本解析コードによる結果を比較したものを示す。両者はおおむね一致していることが確認できる。

表3－2　文献との比較結果

(a)　水平ばね（$\times 10^7$t/m）

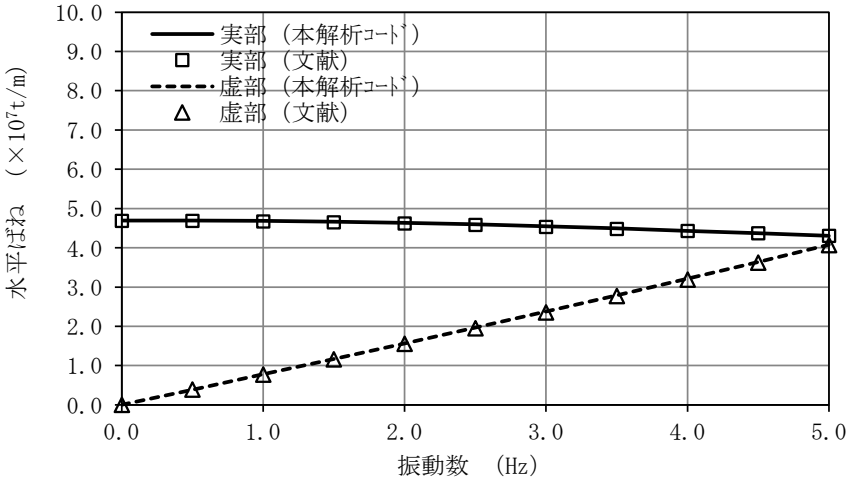
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析ｺｰﾄﾞ	4.694	4.694	4.684	4.664	4.634	4.595	4.547	4.492	4.431	4.369	4.306
	文献	4.686	4.682	4.668	4.646	4.615	4.577	4.532	4.480	4.424	4.365	4.304
虚部	本解析ｺｰﾄﾞ	0.000	0.387	0.776	1.169	1.566	1.968	2.375	2.789	3.210	3.638	4.077
	文献	0.000	0.385	0.771	1.159	1.552	1.949	2.354	2.767	3.189	3.623	4.069

(b)　回転ばね（$\times 10^{10}$t･m/rad）

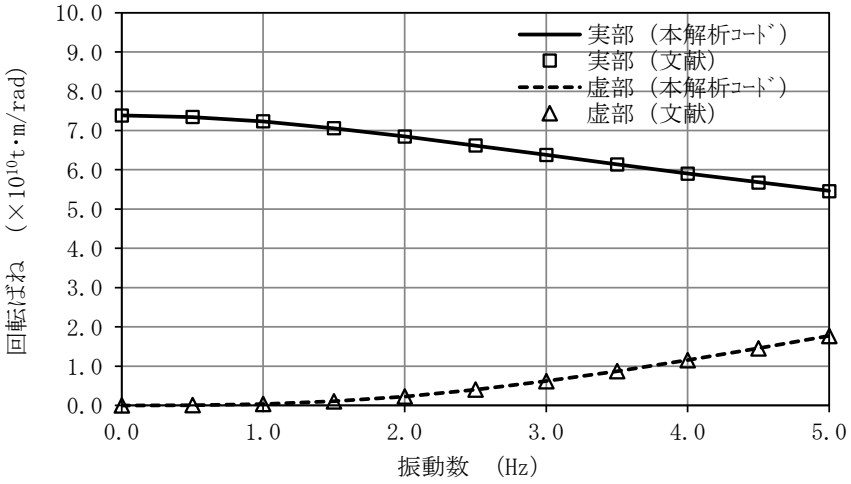
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析ｺｰﾄﾞ	7.383	7.344	7.230	7.058	6.848	6.616	6.378	6.140	5.908	5.682	5.462
	文献	7.385	7.346	7.232	7.060	6.849	6.616	6.376	6.137	5.903	5.675	5.453
虚部	本解析ｺｰﾄﾞ	0.000	0.004	0.033	0.104	0.226	0.399	0.616	0.870	1.152	1.455	1.774
	文献	0.000	0.005	0.034	0.106	0.228	0.400	0.617	0.869	1.150	1.451	1.768

(c)　鉛直ばね（$\times 10^7$t/m）

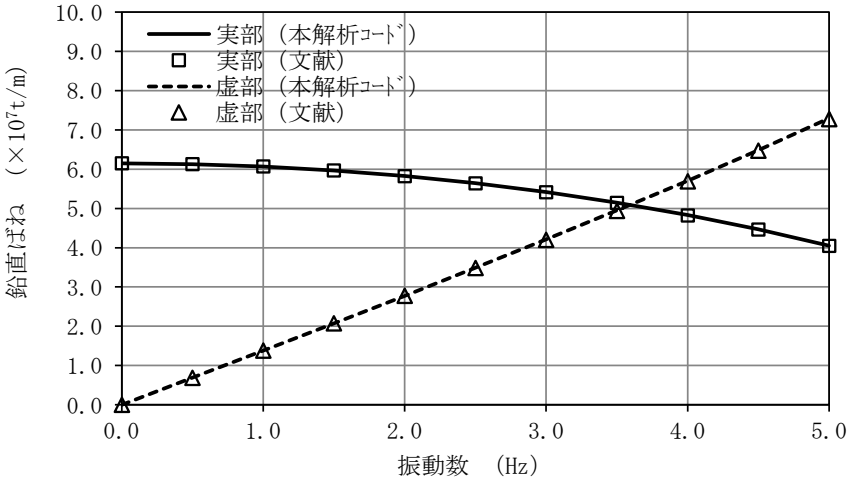
振動数 (Hz)		0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
実部	本解析ｺｰﾄﾞ	6.146	6.127	6.068	5.968	5.827	5.644	5.417	5.146	4.830	4.466	4.054
	文献	6.153	6.131	6.069	5.967	5.824	5.639	5.412	5.141	4.824	4.461	4.048
虚部	本解析ｺｰﾄﾞ	0.000	0.689	1.379	2.075	2.777	3.488	4.210	4.948	5.705	6.486	7.297
	文献	0.000	0.690	1.380	2.074	2.774	3.483	4.202	4.938	5.692	6.471	7.280



(a) 水平ばね



(b) 回転ばね



(c) 鉛直ばね

図3－4 文献との比較結果

3.5.2　妥当性確認

本解析コードの検証は，水平，鉛直及び回転に対する地盤ばねに対してなされており，本解析の適用範囲と合致している。したがって，検証結果より，本解析コードを今回の解析に使用することは，妥当である。

3.5.3　評価結果

水平，鉛直及び回転に対する地盤ばねに対する本解析コードの解析結果が，文献の理論解とおおむね一致していることを確認した。

上記，検証は，本解析の適用範囲に対して実施されたものであることから，本解析コードを今回の解析に使用することは妥当である。