

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-35
提出年月日	2022年8月5日

VI-2-11-2-10 耐火障壁の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-10 R0

2022年8月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

## 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	22
4.5 設計用地震力	24
4.6 計算方法	26
4.7 計算条件	29
4.8 応力の評価	29
5. 評価結果	31
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	31
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	31

## 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耐火障壁（Cクラス施設）**が基準地震動 $S_s$ による地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、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、構造強度の評価部位であるフレーム部材の裕度が最も厳しい耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）及び基礎ボルトの裕度が最も厳しい耐火障壁（中央制御室送風機）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。

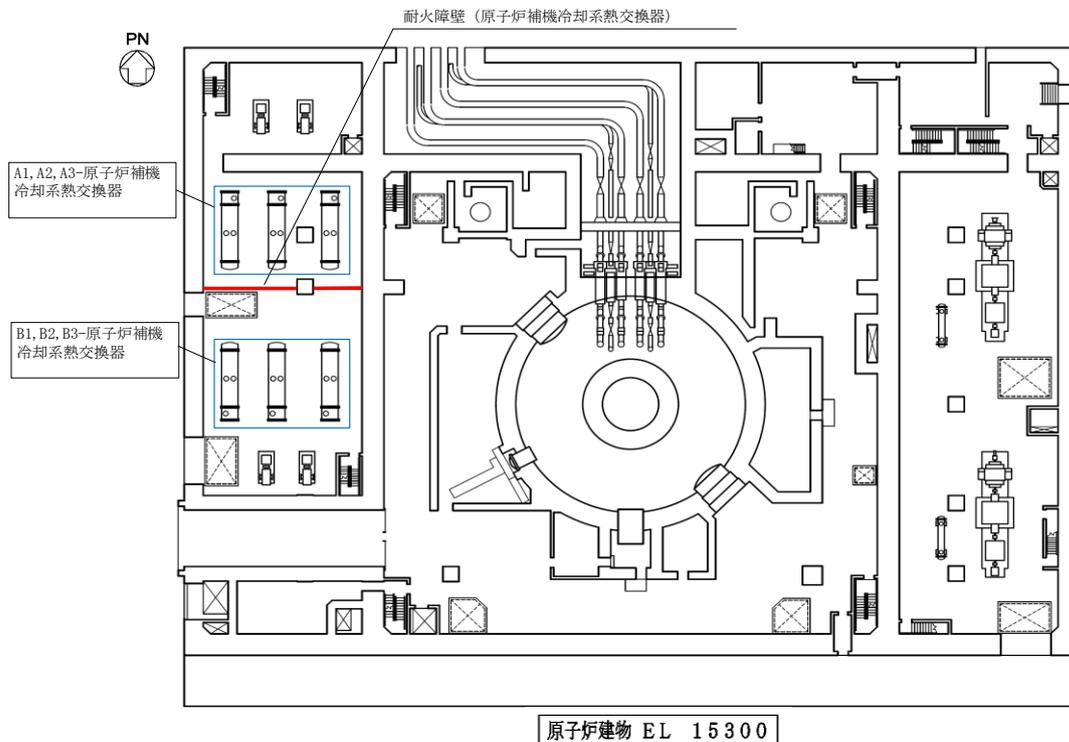


図2-1 耐火障壁（原子炉補機冷却系熱交換器）の設置位置

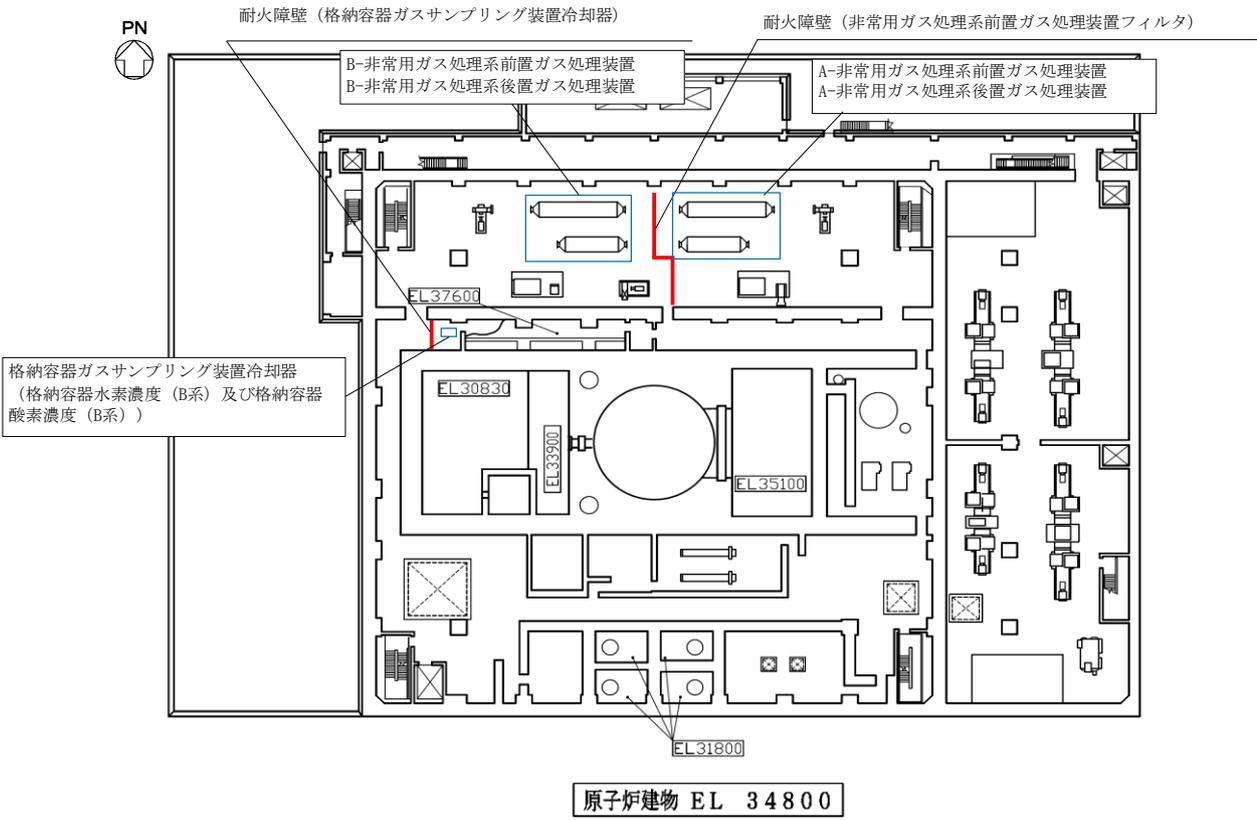


図2-2 耐火障壁 (格納容器ガスサンプリング装置冷却器, 非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ) の設置位置

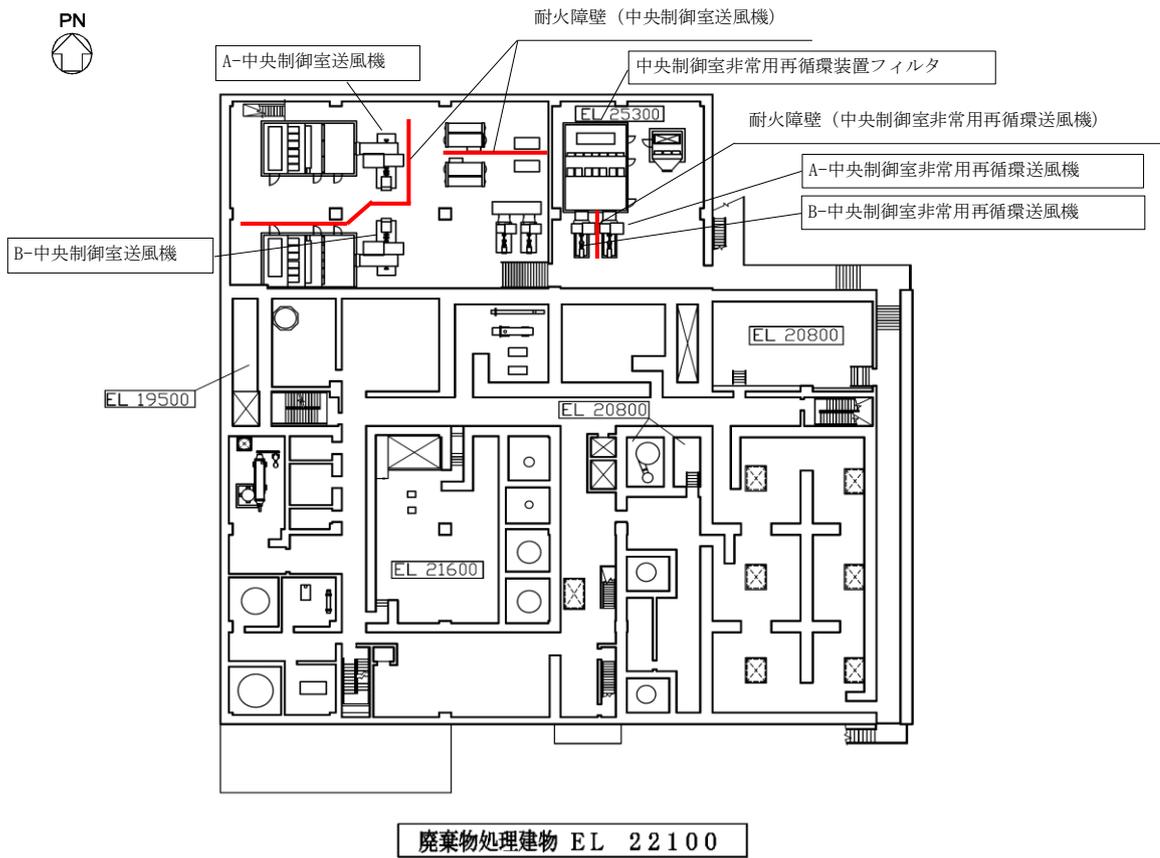
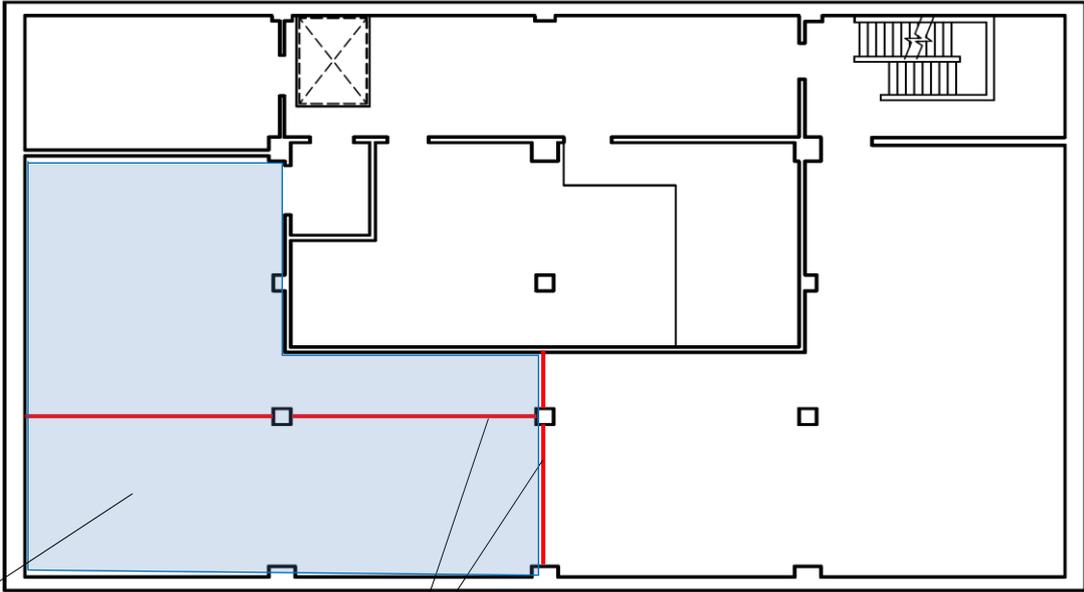


図2-3 耐火障壁（中央制御室送風機，中央制御室非常用再循環送風機）の設置位置



2号ケーブル処理室

耐火障壁（制御室建物内電路）

制御室建物 EL 12800

S2 補 VI-2-11-2-10 R0

図2-4 耐火障壁（制御室建物内電路）の設置位置

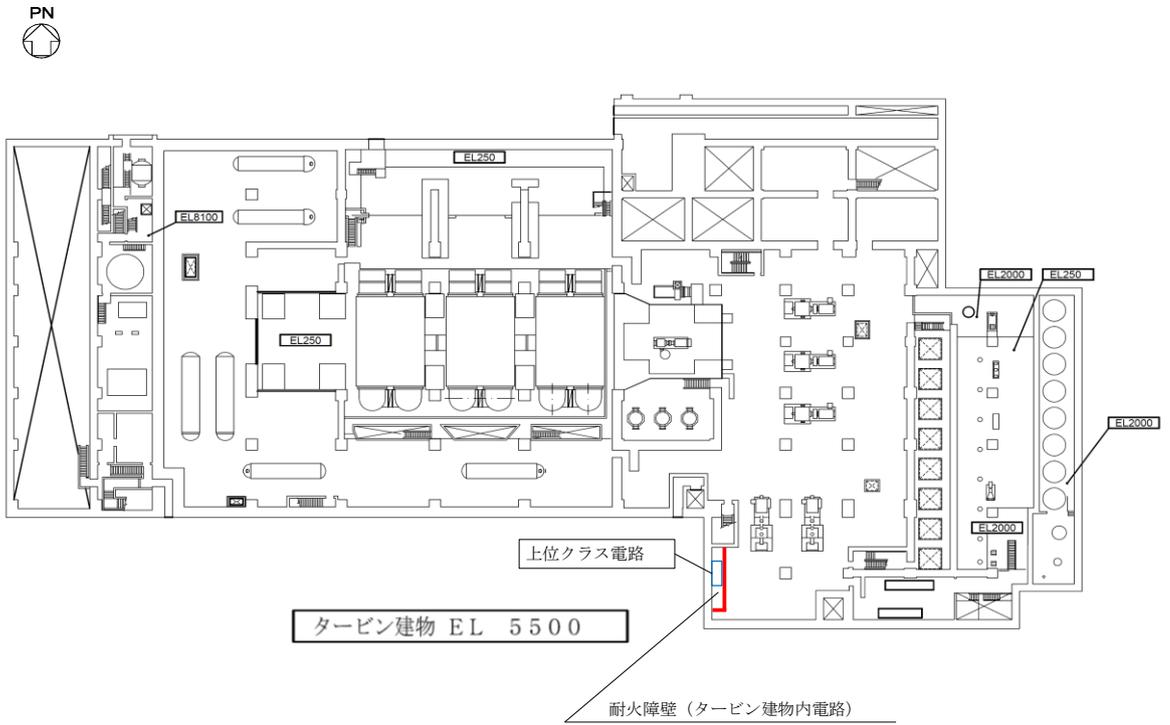


図2-5 耐火障壁 (タービン建物内電路) の設置位置

## 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

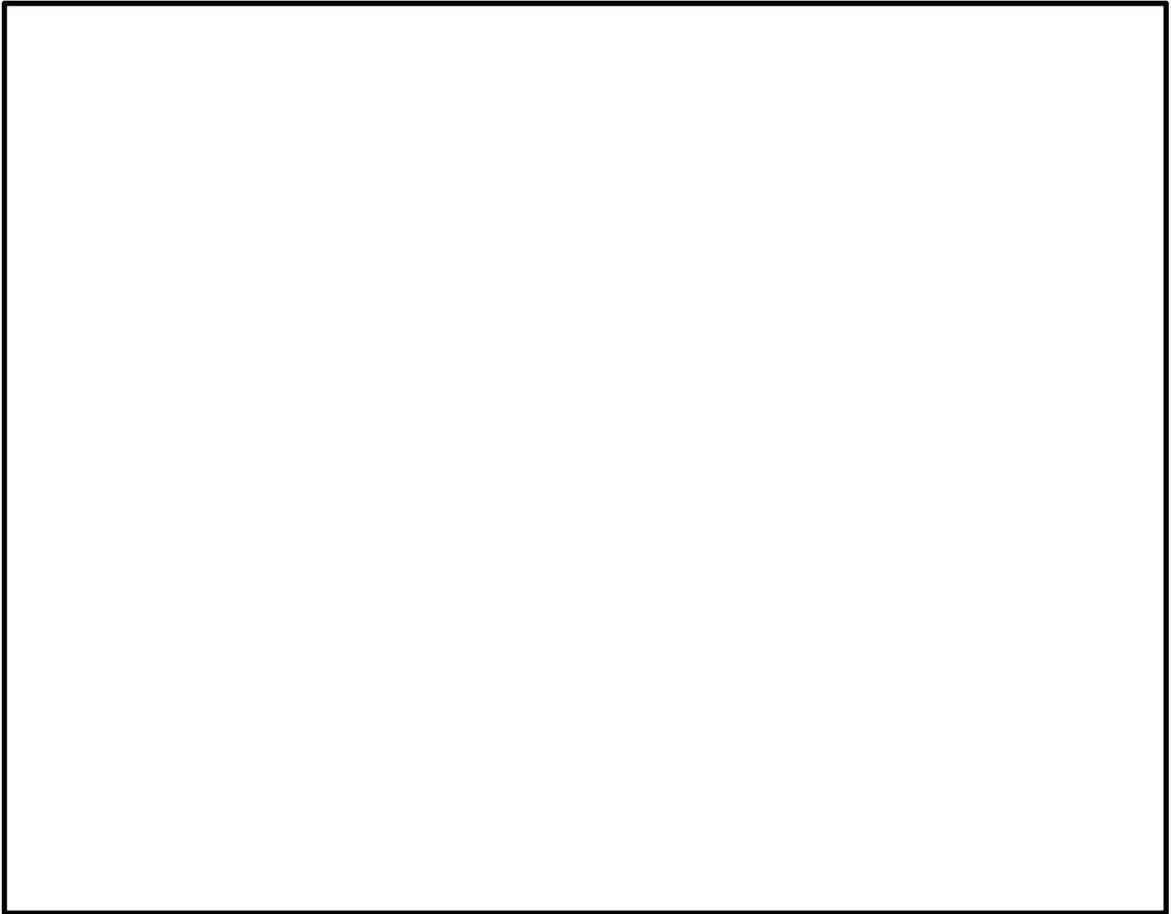
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
耐火障壁を形成する鋼板（発泡性耐火被覆貼付）は、鋼製のフレーム部材により支持され、鋼製のフレーム部材は基礎ボルトにより建屋躯体である床、壁、及び天井に固定される。	鋼板（発泡性耐火被覆貼付）	



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。

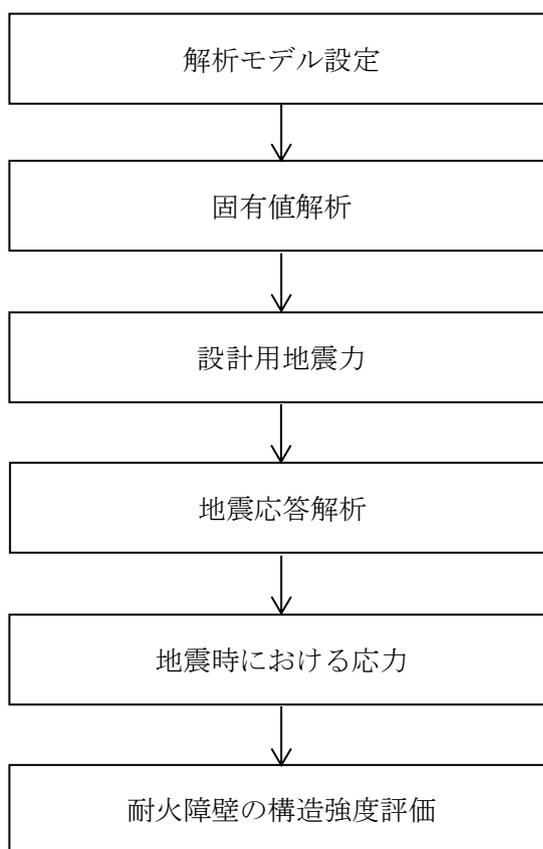


図2-6 耐火障壁の耐震評価フロー

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

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 <sup>2</sup>
$A_z$	フレーム部材のせん断断面積 (z 方向)	mm <sup>2</sup>
$Z_y$	フレーム部材の断面係数 (y 軸)	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	フレーム部材の断面係数 (z 軸)	mm <sup>3</sup>
$F_x$	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
$\Lambda$	フレーム部材の限界細長比	—
$\lambda$	フレーム部材の有効細長比	—
$\nu$	ポアソン比	—
$\nu'$	座屈に対する安全率	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma_t$	フレーム部材に生じる引張応力	MPa
$\sigma_c$	フレーム部材に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{by}$	フレーム部材に生じる曲げ応力 (y 軸)	MPa
$\sigma_{bz}$	フレーム部材に生じる曲げ応力 (z 軸)	MPa
$\tau$	フレーム部材に生じるせん断応力	MPa
$\sigma_f$	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
$f_{t o}$	基礎ボルトの許容引張応力	MPa
$f_{s b}$	基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
$f_{t s}$	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 <sup>2</sup>
$d_o$	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
$F_{b x}$	基礎ボルト部のせん断力 (x 方向)	N
$F_{b z}$	基礎ボルト部の引張力 (z 方向)	N
$M_{b y}$	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
$\sigma_{t b}$	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
$\tau_b$	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		°C	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 <sup>*2</sup>	四捨五入	小数点以下第 1 位 <sup>*3</sup>
面積		mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
モーメント		N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*4</sup>
縦弾性係数		MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*5</sup>		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

\*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

\*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

\*4：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の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を実施する。なお、耐火障壁は、構造物として十分な剛性を有しており、支持構造物のうち耐震評価上厳しくな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	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる)	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (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 (°C)		S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (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（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）はフレーム部材をはり要素でモデル化した 3 次元 F E M モデルを用いる。耐火障壁（中央制御室送風機）は構造の対称性を踏まえてフレーム部材をはり要素でモデル化した 2 次元 F E M 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、はり要素に分布荷重として付加する。
- (3) 耐火障壁の拘束条件を図 4-1～図 4-2 に示す。なお、耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）のフレーム部材の固定ボルト部は X 方向に長穴の形状とすることから、並進 2 成分拘束（全体座標 Y, Z 拘束）の拘束条件とする。その他の支点は並進 3 成分拘束（全体座標 X, Y, Z 拘束）を用いた解析モデルとする。
- (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。

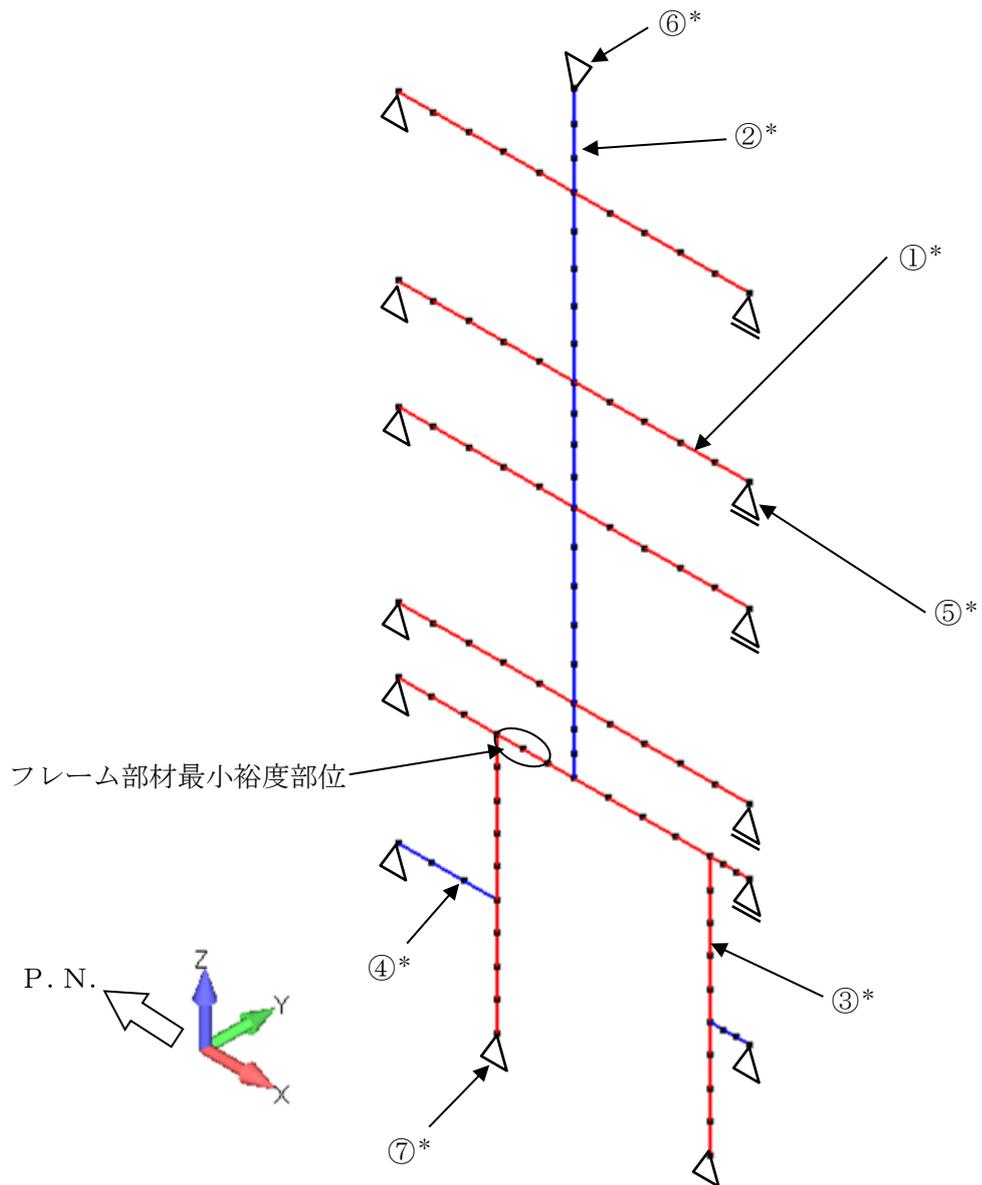
凡例

△ : 並進 3 成分拘束 (全体座標 X, Y, Z 拘束)

△ : 並進 2 成分拘束 (全体座標 Y, Z 拘束)

要素数 : 153

節点数 : 116



注記\* : 各部材の諸元については表 4-6 解析モデルの諸元に示す。

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

表 4-6 解析モデルの諸元

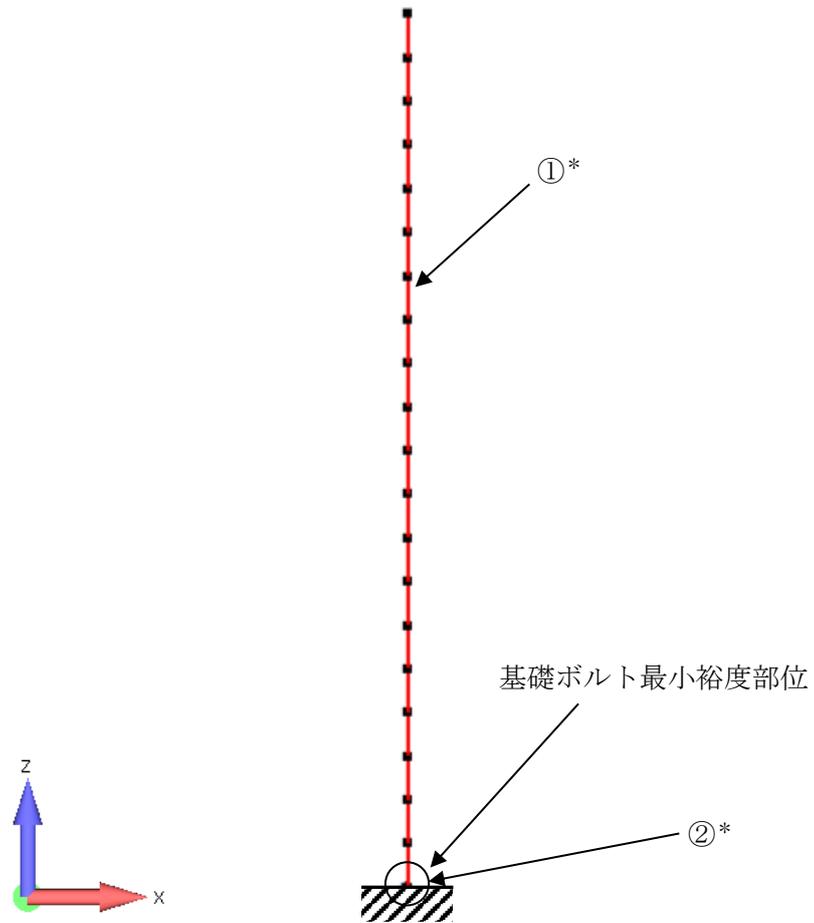
	番号	材料	諸元 (数値)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )	
					強軸	弱軸
フレーム 部材	①					
	②					
	③					
	④					
基礎ボルト	⑤					
	⑥					
	⑦					
質量 (kg)	—					

凡例

 : 完全拘束 (全体座標 X, Y, Z, R X, R Y, R Z 拘束)

要素数 : 28

節点数 : 23



注記\* : 部材の諸元については表 4-7 解析モデルの諸元に示す。

図 4-2 耐火障壁 (中央制御室送風機) 解析モデル

表 4-7 解析モデルの諸元

	番号	材料	諸元 (数値)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (mm <sup>4</sup> )	
					強軸	弱軸
フレーム 部材	①					
基礎ボルト	②					
質量 (kg)	—					

#### 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 4-8 に示す。



表 4-8 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				
10次	鉛直				

S2 補 VI-2-11-2-10 R0

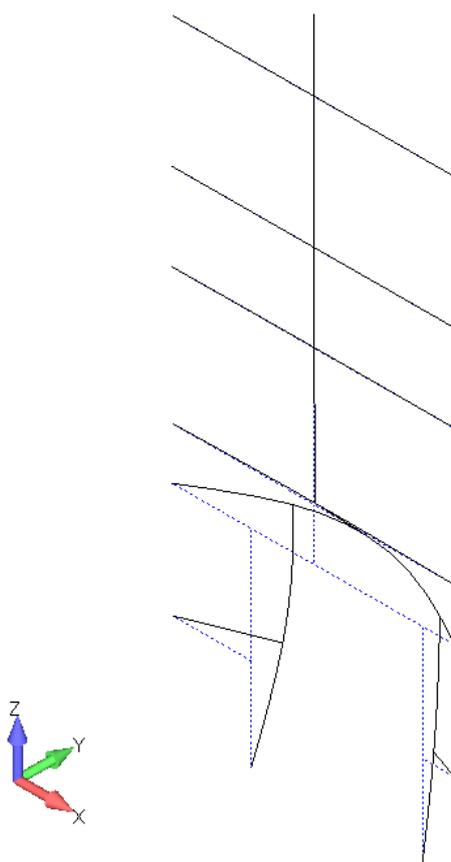


図 4-3 耐火障壁（格納容器ガスサンプリング装置冷却器）1次固有振動モード図



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 4-9 に示す

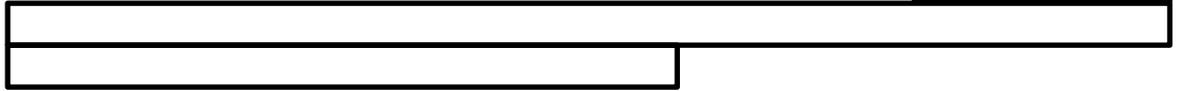


表 4-9 固有値解析結果

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*
1次	水平			
4次	鉛直			

注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

S2 補 VI-2-11-2-10 R0

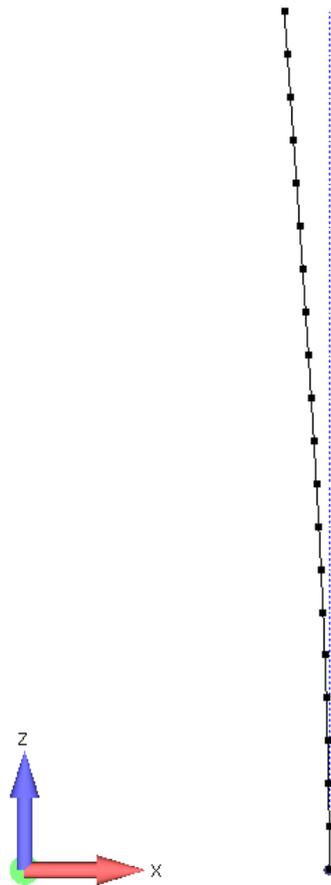


図 4-4 耐火障壁（中央制御室送風機）1次固有振動モード図

#### 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 4-10 に示す。

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

表 4-10 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 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL34.80 (EL42.80 <sup>*1</sup> )			—	—	$C_H=2.74^{*2}$	$C_V=2.46^{*3}$

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動  $S_s$ ）を上回る設計震度

\*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動  $S_s$ ）

#### 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 4-11 に示す。「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-11 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 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
モード*3	固有周期(s)	応答水平震度	応答鉛直震度	応答水平震度*4	応答鉛直震度*4
1次		—	—	8.09	—
動的震度*5, *6		—	—	1.31	1.10
静的震度*7		—	—	—	—

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：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 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*5：設計用震度 I（基準地震動 S s）

\*6：最大応答加速度を1.2倍した震度

\*7： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ 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。

$$\sigma_c = \frac{|F_x|}{A_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

#### (2) せん断応力

$$\tau = M_{ax} \left\{ \left( \frac{|F_z|}{A_z} \right), \left( \frac{|F_y|}{A_y} \right) \right\} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

#### (3) 曲げ応力

$$\sigma_{by} = \frac{|M_y|}{Z_y} \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

$$\sigma_{bz} = \frac{|M_z|}{Z_z} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

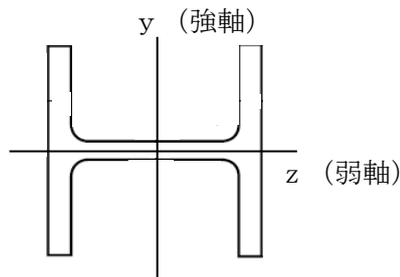


図 4—5 水平はり評価断面

## (4) 組合せ応力

## a. 垂直応力とせん断応力の組合せ

$$\sigma_f = \sqrt{(\sigma_{by} + \sigma_{bz} + \sigma_c)^2 + 3 \times \tau^2} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

## b. 圧縮力と曲げモーメントの組合せ

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 (4.6.1.1.6), (4.6.1.1.7) を満足することを確認する。

$$\frac{\sigma_{by}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_c}{f_{cm}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

かつ

$$\frac{\sigma_{by} + \sigma_{bz} - \sigma_c}{f_{tm}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

式 (4.6.1.1.6) 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。

$$\frac{\sigma_{by}}{f_{bm}} + \frac{\sigma_{bz}}{f_{bm}} = \frac{\left[ \frac{|M_y|}{Z_y} \right]}{1.5 f_{b^*}} + \frac{\left[ \frac{|M_z|}{Z_z} \right]}{1.5 f_{t^*}} \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

したがって、式 (4.6.1.1.6) は以下のとおり。

$$\frac{M_y}{Z_y \times 1.5 f_{b^*}} + \frac{M_z}{Z_z \times 1.5 f_{t^*}} + \frac{\sigma_c}{1.5 f_{c^*}} \leq 1 \quad \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

式 (4.6.1.1.7) については、許容引張応力  $f_{tm}$  が式 (4.6.1.1.6) の許容曲げ応力  $f_{bm}$  以上であること、 $\sigma_c / f_{tm}$  を減じていることから、式 (4.6.1.1.6) 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

$$P_1 = \frac{|M_{by}|}{n_1 \times \ell} \dots\dots\dots (4.6.1.2.1)$$

$$P_2 = \frac{|F_{bz}|}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.2.2)$$

$$F_b = P_1 + P_2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.3)$$

b. 引張応力

$$A_b = \frac{\pi}{4} \times d_o^2 \dots\dots\dots (4.6.1.2.4)$$

$$\sigma_{tb} = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.5)$$

(2) せん断応力

a. せん断力

$$Q_b = \frac{F_{bx}}{n_3} \dots\dots\dots (4.6.1.2.6)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

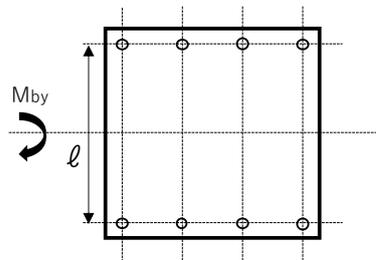


図4-6 基礎ボルト部の概要

#### 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（垂直応力とせん断応力）が許容引張応力  $f_{tm}$  以下であること。また、組合せ応力（圧縮力と曲げモーメント）が式（4.6.1.1.9）を満足すること。

	基準地震動 $S_s$ による荷重との組合せの場合
許容引張応力 $f_{tm}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 $f_{cm}$	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F^*}{\nu'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sm}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 $f_{bm}$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{0_k}{i} \dots \dots \dots (4.8.1.1)$$

基準地震動  $S_s$  による荷重との組合せの場合

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F^*}} \dots \dots \dots (4.8.1.2)$$

$$\nu' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left( \frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \dots \dots \dots (4.8.1.3)$$

#### 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 $\sigma_{tb}$ 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。

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

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

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



## 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 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
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* <sup>1</sup> )			$C_H=2.74^{*3}$	$C_V=2.46^{*4}$	—	40
耐火障壁 (中央制御室送風 機)	C	廃棄物処理建物 EL22.10* <sup>1</sup>			$C_H=1.31^{*2}$ 又は* <sup>5</sup>	$C_V=1.10^{*2}$	—	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 S s)

\*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計震度

\*4: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

\*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

1.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ <sub>k</sub> (mm)	i (mm)	λ	Λ	A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>z</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )
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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	ℓ (mm)	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>
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 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
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 S s	基準地震動 S s
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 $S_s$	基準地震動 $S_s$
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 $S_s$
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 $S_s$	基準地震動 $S_s$
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	
	10	鉛直	
耐火障壁（中央制御室送風機）	1	水平	
	4	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 S s		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	$\sigma_t = 21$	$f_{tm} = 342$	
			圧縮	$\sigma_c = 21^{*1}$	$f_{cm} = 282$	
			せん断	$\tau = 42$	$f_{sm} = 198$	
			曲げ	$\sigma_{by} = 122$	$f_{bm} = 342$	
				$\sigma_{bz} = 27$	$f_{bm} = 342$	
			組合せ（垂直+せん断）	$\sigma_f = 185$	$f_{tm} = 342$	
組合せ（圧縮+曲げ）	0.52	1 <sup>*2</sup>	単位：なし			
耐火障壁（中央制御室送風機）	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tb} = 118$	$f_{to} = 168$	
			せん断	$\tau_b = 21$	$f_{sb} = 129$	
			組合せ	$\sigma_{tb} = 118$	$f_{ts} = 168^{*3}$	

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

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
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 S s)

\*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s) を上回る設計震度

\*4: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

\*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

2.2 機器要目

2.2.1 フレーム部材

機器名称	材料	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	E (MPa)	ν	ℓ <sub>k</sub> (mm)	i (mm)	λ	Λ	A <sub>y</sub> (mm <sup>2</sup> )	A <sub>z</sub> (mm <sup>2</sup> )	Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )
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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F* (MPa)	ℓ (mm)	d <sub>o</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>
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 S s	基準地震動 S s	基準地震動 S s
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 S s	基準地震動 S s
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 $S_s$	基準地震動 $S_s$
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 $S_s$
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 $S_s$	基準地震動 $S_s$
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	
	10	鉛直	
耐火障壁（中央制御室送風機）	1	水平	
	4	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 S s		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	$\sigma_t = 21$	$f_{tm} = 307$	
			圧縮	$\sigma_c = 21^{*1}$	$f_{cm} = 258$	
			せん断	$\tau = 42$	$f_{sm} = 177$	
			曲げ	$\sigma_{by} = 122$	$f_{bm} = 307$	
				$\sigma_{bz} = 27$	$f_{bm} = 307$	
			組合せ（垂直+せん断）	$\sigma_f = 185$	$f_{tm} = 307$	
組合せ（圧縮+曲げ）	0.58	1 <sup>*2</sup>	単位：なし			
耐火障壁（中央制御室送風機）	基礎ボルト		引張	$\sigma_{tb} = 118$	$f_{to} = 168$	
			せん断	$\tau_b = 21$	$f_{sb} = 129$	
			組合せ	$\sigma_{tb} = 118$	$f_{ts} = 168^{*3}$	

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

## 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S s）											
		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。