

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0081_改2
提出年月日	2021年11月5日

VI-2-4-2-4 使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震性についての計算書

2021年11月  
東北電力株式会社

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.	検出器保護管の評価	8
4.1	検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1.1	検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.1.2	検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力	8
4.1.3	検出器保護管の解析モデル及び諸元	11
4.1.4	検出器保護管の固有周期	13
4.1.5	検出器保護管の設計用地震力	15
4.1.6	検出器保護管の計算方法	16
4.1.7	検出器保護管の計算条件	17
4.1.8	検出器保護管の応力の評価	17
5.	検出器架台の評価	17
5.1	検出器架台の固有周期	17
5.1.1	検出器架台の固有値解析方法	17
5.1.2	検出器架台の解析モデル及び諸元	18
5.1.3	検出器架台の固有値解析結果	19
5.2	検出器架台の構造強度評価	20
5.2.1	検出器架台の構造強度評価方法	20
5.2.2	検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力	20
5.2.3	検出器架台の設計用地震力	22
5.2.4	検出器架台の計算方法	23
5.2.5	検出器架台の計算条件	26
5.2.6	検出器架台の応力の評価	27
6.	機能維持評価	28
6.1	電氣的機能維持評価方法	28
7.	評価結果	29
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	29

## 1. 概要

本計算書は、添付書類「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、使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）は、設計基準対象施設においてはCクラス施設に、重大事故等対処設備においては、**常設耐震重要重大事故防止設備以外の**常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器保護管は、<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> を検出器架台梁 <input type="checkbox"/> に接続する。</p> <p>検出器保護管は使用済燃料プール壁面のワーキングテーブルラグ及び使用済燃料プール床に据付ける検出器サポートで固定する。</p> <p>また、検出器架台は、取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは、基礎ボルトにより基礎に設置する。</p>	<p>測温抵抗体式温度検出器及びガイドパルス式水位検出器（検出器保護管は検出器架台に固定する構造)</p>	

2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 2.2 評価方針

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の応力評価は、添付書類「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」にて示す使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、検出器保護管については「4.1.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元」及び「4.1.4 検出器保護管の固有周期」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、「4.1 検出器保護管の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し、検出器架台については「5.1 検出器架台の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5.2 検出器架台の構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の機能維持評価は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣的機能確認済加速度以下であることを「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

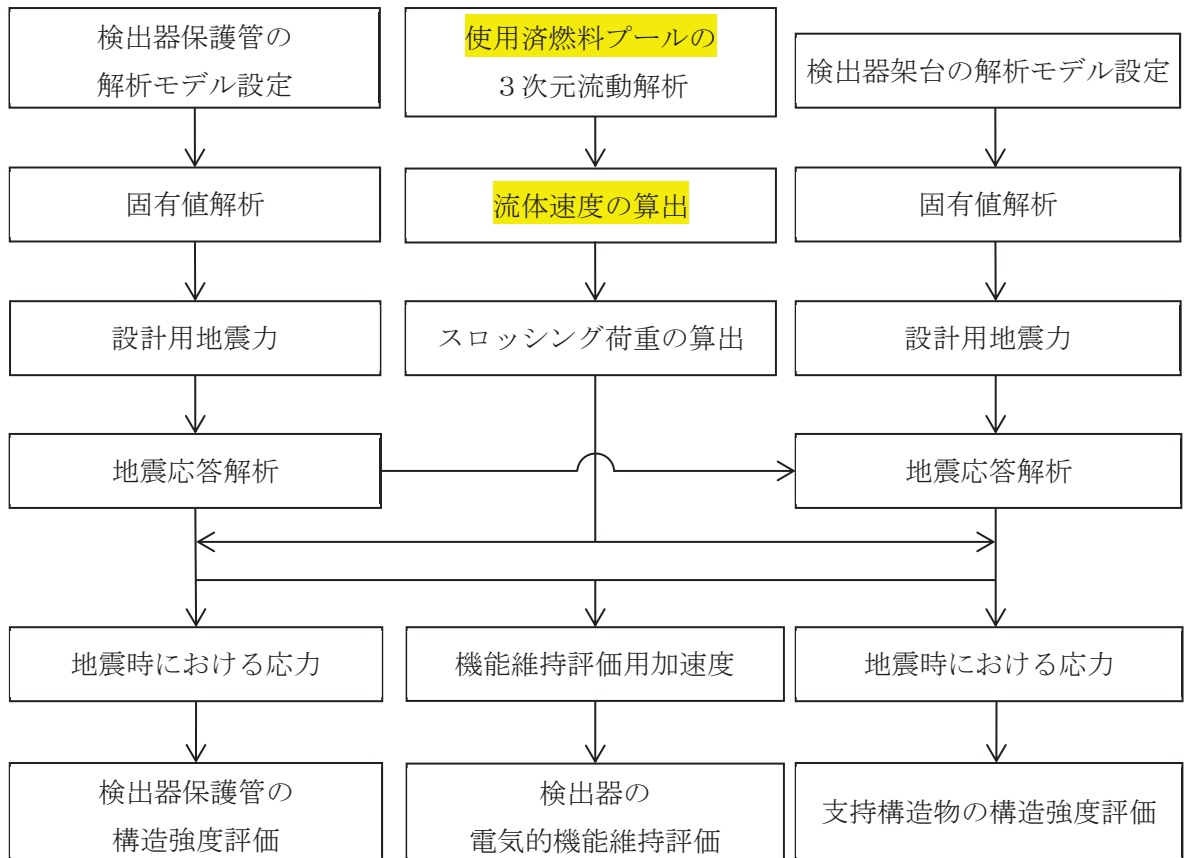


図 2-1 使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震評価フロー

### 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1987）
- (2) 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）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1－1991 追補版）
- (4) J S M E S N C 1－2005/2007 発電用原子力設備規格 設計・建設規格（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	$\text{mm}^2$
$A_s$	スロッシングによる検出器保護管の投影面積	$\text{mm}^2$
$C_d$	検出器保護管の抗力係数	—
$C_H$	水平方向設計震度	—
$C_V$	鉛直方向設計震度	—
$d$	基礎ボルトの呼び径	$\text{mm}$
$d_o$	検出器保護管外径	$\text{mm}$
$d_i$	検出器保護管内径	$\text{mm}$
$E$	縦弾性係数	$\text{MPa}$
$F$	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	$\text{MPa}$
$F^*$	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	$\text{MPa}$
$F_b$	基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	$\text{N}$
$F_s$	スロッシングにより検出器保護管に生じる抗力	$\text{N}$
$F_x$	検出器保護管取付部における水平方向に作用する力	$\text{N}$
$F_{x1}$	地震力による水平方向に作用する力	$\text{N}$
$F_{x11}$	地震力による X 方向に作用する力	$\text{N}$
$F_{x12}$	地震力による Y 方向に作用する力	$\text{N}$
$F_{x2}$	スロッシングによる水平方向に作用する力	$\text{N}$
$F_{x21}$	スロッシングによる X 方向に作用する力	$\text{N}$
$F_{x22}$	スロッシングによる Y 方向に作用する力	$\text{N}$
$F_z$	検出器保護管取付部における鉛直方向に作用する力	$\text{N}$
$F_{xB}$	検出器保護管取付部に作用する力 (水平方向)	$\text{N}$
$F_{zB}$	検出器保護管取付部に作用する力 (鉛直方向)	$\text{N}$
$f_{sb}$	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	$\text{MPa}$
$f_{to}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	$\text{MPa}$
$f_{ts}$	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	$\text{MPa}$
$g$	重力加速度 (=9.80665)	$\text{m/s}^2$
$h_1$	検出器架台の据付面から重心までの距離	$\text{mm}$
$h_2$	検出器保護管取付部から検出器架台の重心までの鉛直方向距離	$\text{mm}$
$l_1$	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離	$\text{mm}$
$l_2$	検出器架台の重心と基礎ボルト間の水平方向距離	$\text{mm}$
$l_b$	検出器保護管取付部中心から重心までの水平方向距離	$\text{mm}$
$l_p$	検出器保護管長さ	$\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
$M_x$	検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用するモーメント (X軸方向)	N・mm
$M_y$	検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用するモーメント (Y軸方向)	N・mm
$m_{b1}$	検出器架台質量	kg
$m_{b2}$	検出器架台梁質量	kg
$m_p$	検出器保護管質量	kg
$m_w$	検出器保護管内包水質量	kg
$n$	基礎ボルトの本数	—
$n_f$	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
$Q_b$	基礎ボルトに作用するせん断力	N
$S_u$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
$S_y$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
$t$	検出器保護管の厚さ	mm
$V$	スロッシングによる流速	m/s
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_p$	検出器保護管に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{p1}$	地震力による曲げ応力	MPa
$\sigma_{p11}$	地震力による軸応力	MPa
$\sigma_{p12}$	検出器保護管に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{p2}$	死荷重による軸応力	MPa
$\sigma_{p3}$	スロッシングにおける曲げ応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\rho$	水の密度	kg/m <sup>3</sup>
$\nu$	ポアソン比	—
X	EW方向	—
Y	NS方向	—
Z	鉛直方向	—



## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算精度は、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
刺激係数	—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* <sup>1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* <sup>2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位* <sup>3</sup>

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

\*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

### 3. 評価部位

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の耐震評価は、検出器保護管の上部取付部（検出器架台との接続部）がボール形状の回転方向を拘束しないソケットが組み込まれた振り子構造であること、また、検出器架台が剛体構造であり、検出器保護管を支持することを考慮し、検出器保護管とそれを支持する検出器架台についてそれぞれ評価を行う。

検出器保護管については、「4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価」に示す条件に基づき評価を実施する。また、検出器架台については、「5.2 検出器架台の構造強度評価」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評価を実施する。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）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. 検出器保護管の評価

#### 4.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価

##### 4.1.1 検出器保護管の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、検出器保護管に対して水平2方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 曲げの変形モードを考慮する。
- (3) 地震力における応力の算出は、スペクトルモーダル解析を用いる。
- (4) スロッシングは、検出器保護管に対して水平方向から作用するものとする。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

##### 4.1.2 検出器保護管の荷重の組合せ及び許容応力

###### 4.1.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器保護管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。

###### 4.1.2.2 検出器保護管の許容応力

検出器保護管の許容応力は、添付書類「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。

###### 4.1.2.3 検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件

検出器保護管の使用材料の許容応力評価条件のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
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	使用済燃料プール水位/ 温度（ガイドパルス式）	常設/防止 常設/緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3, *4	$IV_{AS}$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *4	$V_{AS}$ ( $V_{AS}$ として $IV_{AS}$ の許容限界 を用いる。)

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

\*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

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

\*4：地震荷重にはプール水のスロッシングによる荷重を含む。

表 4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				
	一次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	組合せ
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> * 1.5・f <sub>s</sub> * 1.5・f <sub>c</sub> * 1.5・f <sub>b</sub> * 1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> * 1.5・f <sub>c</sub> * 1.5・f <sub>b</sub> * 1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>c</sub> * 1.5・f <sub>b</sub> * 1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>b</sub> * 1.5・f <sub>t</sub> *	1.5・f <sub>t</sub> *
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの 許容限界を用いる。)					

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

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

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
検出器保護管		周囲環境温度		169	—	—

#### 4.1.3 検出器保護管の解析モデル及び諸元

検出器保護管の解析モデルを図 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【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201, TE202, TE203）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 検出器保護管は、図 4-1 に示す 3次元 FEM モデルを用いる。
- (2) 検出器保護管及び中間部サポートの拘束条件は、以下のとおり。



- (3) 円柱形状の検出器保護管に含まれる水の質量及び水中の機器の形状により排除される水の付加質量を考慮し、水の質量及び付加質量は、検出器保護管及び中間部サポートの全長にわたって水平方向に等分布に与えられる。
- (4) 検出器周囲の流体のスロッシング荷重は各質点に付加する。
- (5) 解析コードは、「ANSYS」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

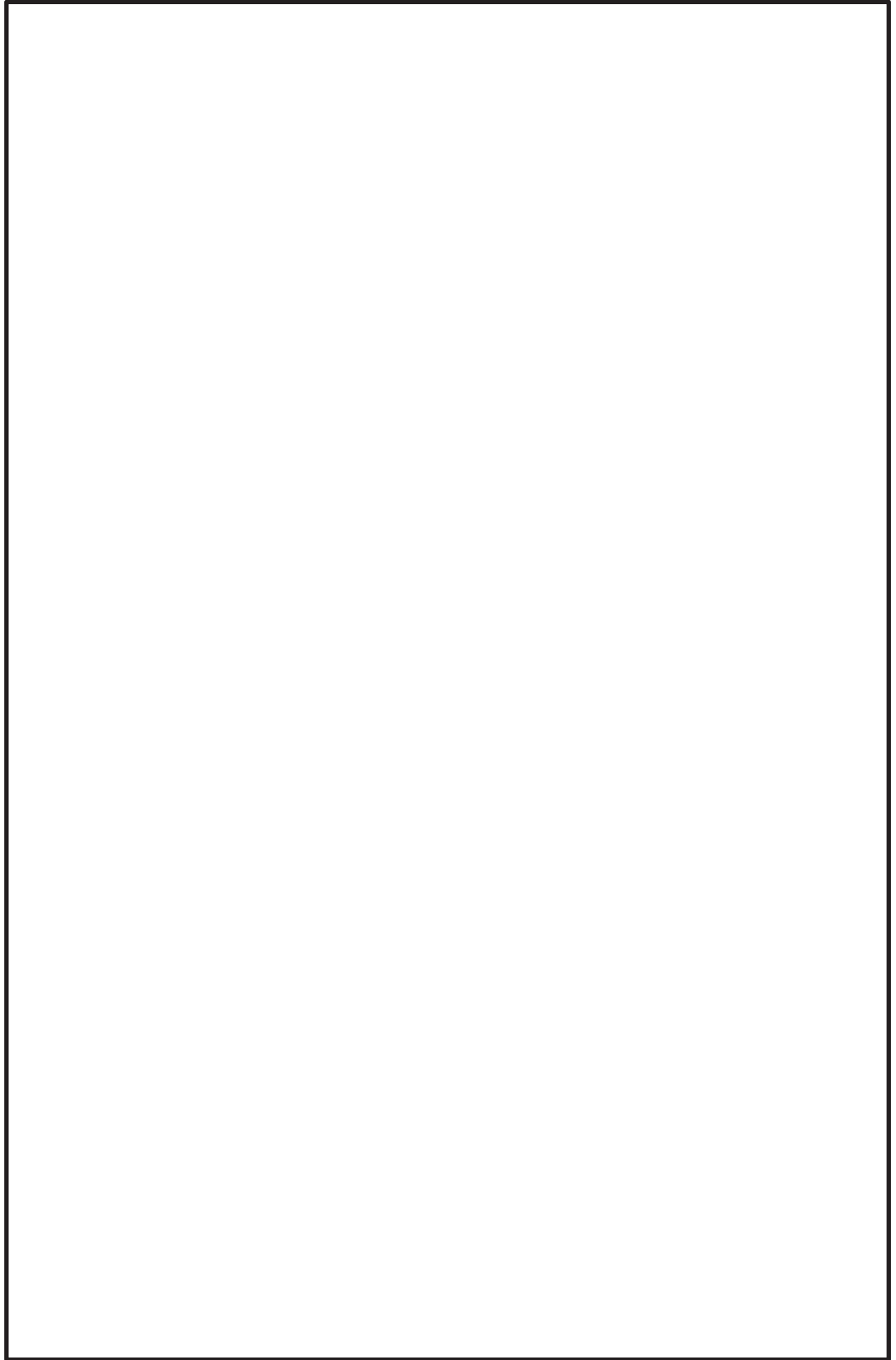


図4-1 検出器保護管の解析モデル

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.1.4 検出器保護管の固有周期

検出器保護管の固有値解析の結果を表 4-4 に、振動モード図を図 4-2 に示す。水平方向の固有周期は、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、16 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表4-4 検出器保護管の固有周期

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	水平方向				
2次	水平方向				
3次	水平方向				
4次	水平方向				
5次	水平方向		—	—	—
6次	水平方向		—	—	—
7次	水平方向		—	—	—
8次	水平方向		—	—	—
9次	水平方向		—	—	—
10次	水平方向		—	—	—
11次	水平方向		—	—	—
12次	水平方向		—	—	—
13次	水平方向		—	—	—
14次	水平方向		—	—	—
15次	水平方向		—	—	—
16次	鉛直方向		—	—	—

注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有値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。

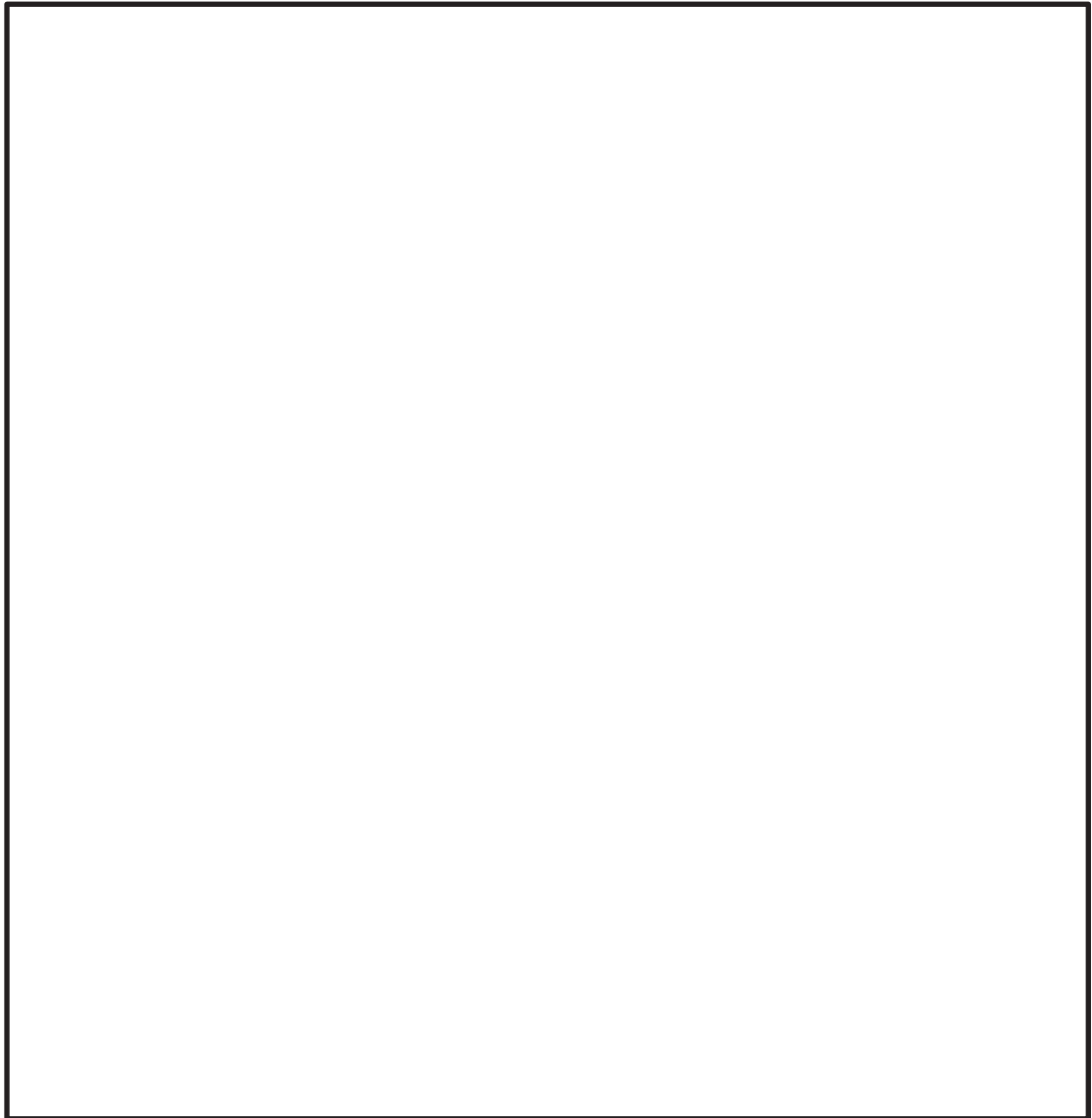


図4-2 振動モード図



4.1.5 検出器保護管の設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-5 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は添付書類「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 4-5 検出器保護管の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所及び 床面高さ(m)		原子炉建屋 O.P. 33.20*1					
固有周期(s) *2		水平 : <input type="text"/>		鉛直 : <input type="text"/>			
減衰定数 (%)		水平 : 1.0		鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	応答水平震度*4		応答鉛直 震度*4
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次		—	—	—	14.17	14.17	—
2次		—	—	—	14.17	14.17	—
3次		—	—	—	12.71	12.71	—
4次		—	—	—	12.71	12.71	—
5次		—	—	—	—	—	—
16次		—	—	—	—	—	—
動的地震力*5		—		—	2.65		1.77
静的地震力*6		—		—	—		—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：水平1次および鉛直16次の固有周期について記載。

\*3：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S d）より得られる震度を示す。

\*4：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線（S s）より得られる震度を示す。

\*5：S s 又は S d に基づく設計用最大床応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

\*6：静的震度（3.6・C<sub>i</sub>及び1.2・C<sub>v</sub>）を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 4.1.6 検出器保護管の計算方法

##### 4.1.6.1 地震力における応力の算出

- (1) 図4-1に示す解析モデルによりスペクトルモーダル解析を実施する。
- (2) スペクトルモーダル解析により水平方向のX方向及びY方向における各節点の曲げモーメントを算出する。また、X方向及びY方向の曲げモーメントは、SRSS法を用いて組み合わせる。
- (3) 組み合わせた曲げモーメントを用いて、検出器保護管の水平方向に発生する曲げ応力を算出する。算出結果を表4-6に示す。

なお、せん断応力、引張応力及び圧縮応力については、発生する応力が小さく、曲げ応力が支配的となり、曲げ応力で代表可能であることから、評価を省略する。

表4-6 地震力における曲げ応力

曲げ応力 $\sigma_{p1}$ (MPa)

- (4) 静的解析により検出器保護管の鉛直方向のZ方向に発生する軸応力を算出する。
- (5) 水平方向の曲げ応力にZ方向の軸応力を絶対値和することにより組み合わせる。

##### 4.1.6.2 スロッシングにおける応力の算出

- (1) スロッシングにおける応力の算出においては、添付書類「VI-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」に示す基準地震動  $S_s$  ( $S_s - D1$  波：応答スペクトルに基づく地震動) の3方向入力による使用済燃料プールの3次元流動解析により得られた流体速度時刻歴データを用いる。
- (2) 流体速度時刻歴データを用いて検出器保護管に生じる抗力を算出する。
- (3) 抗力の算出には以下の式を用い、抗力係数  $C_d$  は機械工学便覧 日本機械学会編 (2007) より検出器保護管が円柱形状であるため1.2とする。なお、抗力の算出においては、流体速度時刻歴データより燃料プール内の高さレベルごとの流体速度の最大値  $V$  を抽出し、以下の式を用い抗力  $F_s$  を算出する。流体速度時刻歴データは検出器保護管に対し支配的となるZ方向のデータを適用するものとする。

$$F_s = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot A_s \cdot V^2$$

- (4) 抗力の算出から得られた高さレベルごとの抗力により検出器保護管に生じる動水圧荷重を付加し、検出器保護管に発生する曲げ応力を算出する。算出結果を表4-7に示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

表4-7 スロッシングにおける曲げ応力

スロッシングにおける曲げ応力 $\sigma_{p3}$ (MPa)

4.1.6.3 地震力及びスロッシングによる応力の算出

地震力及びスロッシングによる曲げ応力を合算することにより、検出器保護管に生じる曲げ応力を算出する。算出結果を表 4-8 に示す。

表4-8 検出器保護管に生じる曲げ応力

曲げ応力 $\sigma_p$ (MPa)

4.1.7 検出器保護管の計算条件

解析に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201, TE202, TE203）の耐震性についての評価結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.1.8 検出器保護管の応力の評価

4.1.6項で求めた検出器保護管に生じる応力は、設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める使用材料の設計降伏点  $S_y$  以下であること。

5. 検出器架台の評価

5.1 検出器架台の固有周期

5.1.1 検出器架台の固有値解析方法

検出器架台の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 検出器架台は「5.1.2 検出器架台の解析モデル及び諸元」に示すシェル要素及びソリッド要素として考える。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

5.1.2 検出器架台の解析モデル及び諸元

検出器架台の解析モデルを図 5-1 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【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201，TE202，TE203）の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 拘束条件として、基礎ボルト部でXYZ方向の並進を固定する。



- (4) 解析コードは「ANSYS」を使用し、固有値を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

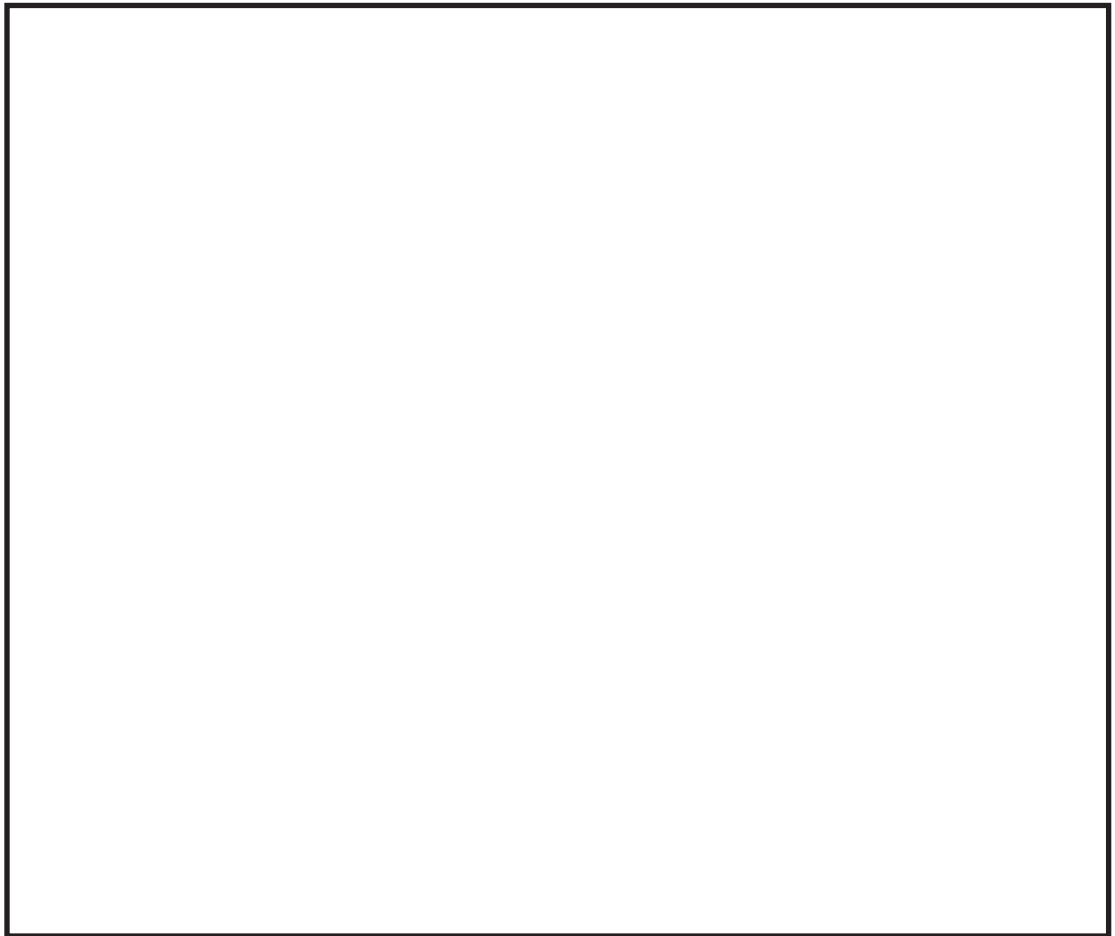


図 5-1 検出器架台の解析モデル

### 5.1.3 検出器架台の固有値解析結果

検出器架台の固有値解析結果を表 5-1, 振動モード図を図 5-2 に示す。水平方向及び鉛直方向の固有周期は 0.05 秒以下であり, 剛であることを確認した。

表5-1 検出器架台の固有周期

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	鉛直		—	—	—
2次	水平		—	—	—

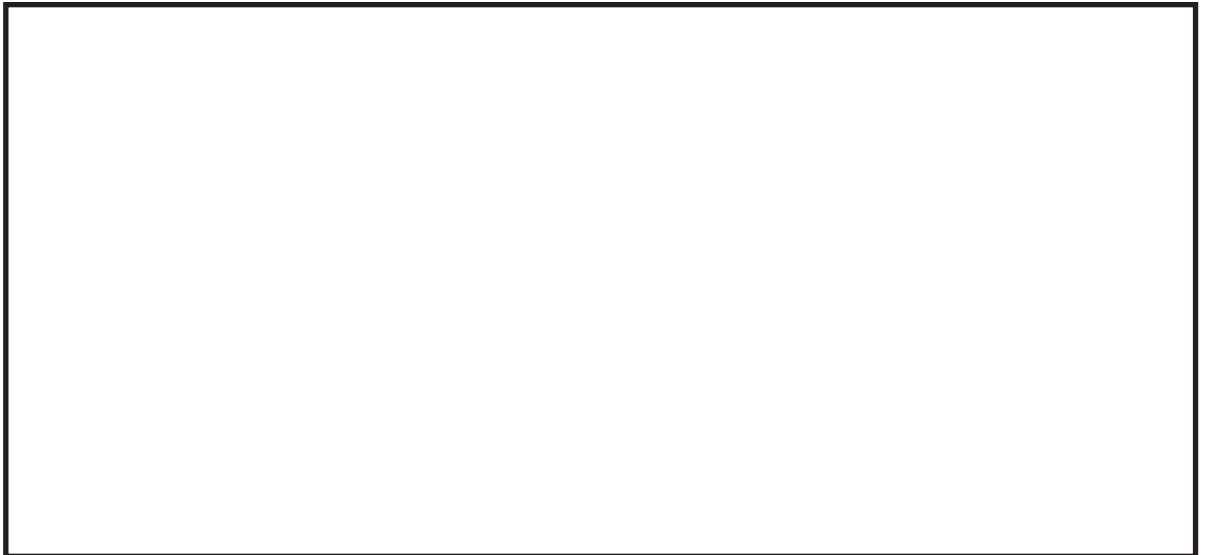


図 5-2 検出器架台の振動モード図

## 5.2 検出器架台の構造強度評価

### 5.2.1 検出器架台の構造強度評価方法

5.1.2 項(1)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、検出器架台に対して水平 2 方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 「4.1.6 検出器保護管の計算方法」に示す検出器保護管の解析により得られた検出器保護管取付部における荷重を、基礎ボルトの応力計算において組み合わせて評価するものとする。
- (3) 検出器架台の質量は、重心に集中するものとする。
- (4) 検出器架台の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心を設定するものとする。
- (5) 検出器架台の転倒方向は、図 5-3 及び図 5-4 に示す左右方向及び前後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) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

### 5.2.2 検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

検出器架台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。

#### 5.2.2.2 検出器架台の許容応力

検出器架台の許容応力は、添付書類「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。

#### 5.2.2.3 検出器架台の使用材料の許容応力評価条件

検出器架台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 5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	1.5・f <sub>t</sub> * 1.5・f <sub>s</sub> *	1.5・f <sub>s</sub> *
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてIV <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)		

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

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

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	174	472	205

5.2.3 検出器架台の設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

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

表 5-4 検出器架台の評価に用いる設計用地震力（重大事故等対処施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 O.P. 33.20*			—	—	$C_H=2.65$	$C_V=1.77$

注記\*：基準床レベルを示す。



## 5.2.4 検出器架台の計算方法

### 5.2.4.1 地震力における応力の算出

- (1) 検出器保護管の地震応答解析及びスロッシング影響解析により得られた検出器保護管取付部における水平方向のX方向及びY方向の荷重を用いる。
- (2) 地震力及びスロッシングにおけるそれぞれのX方向及びY方向の荷重をS R S S法を用いて水平方向荷重を算出する。算出結果を表5-5及び表5-6に示す。

表5-5 地震力における水平方向荷重 (単位：N)

X方向荷重 $F_{x11}$	Y方向荷重 $F_{x12}$	水平方向荷重 $F_{x1}$

表5-6 スロッシングにおける水平方向荷重 (単位：N)

X方向荷重 $F_{x21}$	Y方向荷重 $F_{x22}$	水平方向荷重 $F_{x2}$

- (3) 地震力及びスロッシングにおけるそれぞれの水平方向荷重の最大値を絶対値和することにより，検出器保護管取付部における水平方向荷重を算出する。
- (4) 検出器保護管は鉛直方向において剛構造であることから，取付床面高さにおける鉛直方向設計震度を用いて検出器保護管取付部における鉛直方向荷重を算出する。
- (5) 地震における鉛直方向荷重及び死荷重の最大値を絶対値和することにより，検出器保護管取付部における鉛直方向荷重を算出する。検出器保護管取付部における荷重の算出結果を表5-7に示す。

表5-7 検出器保護管取付部における荷重 (単位：N)

水平方向荷重 $F_x$	鉛直方向荷重 $F_z$

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

#### 5.2.4.2 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、検出器保護管が検出器架台の取付け部にもたらず荷重から算出された転倒モーメントにより生じる引張力とせん断力について計算する。

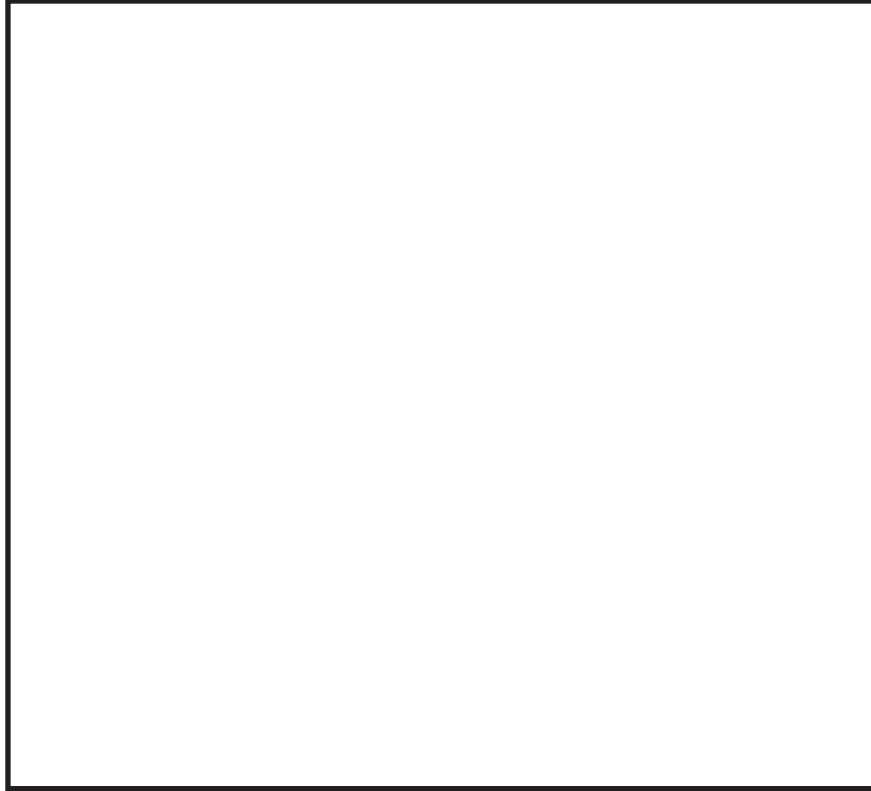


図 5-3 計算モデル（左右方向転倒）

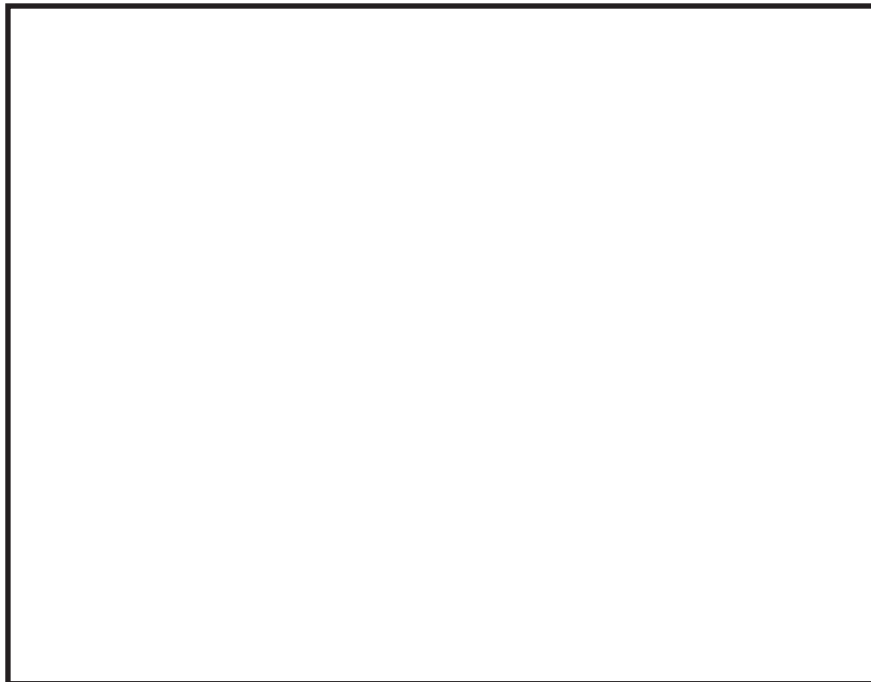


図 5-4 計算モデル（前後方向転倒）

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図5-3及び図5-4で最外列の基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

左右方向（計算モデル図5-3の場合）

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 + M_x}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.2.4.2.1)$$

前後方向（計算モデル図5-4の場合）

$$F_b = \frac{m_{b1} \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m_{b1} \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_1 + M_y}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (5.2.4.2.2)$$

ここで、水平及び鉛直方向の検出器保護管取付部に作用する力  $F_{xB}$  及び  $F_{zB}$  は次式で求める。

$$F_{xB} = C_H \cdot g \cdot m_{b2} + F_x \dots\dots\dots (5.2.4.2.3)$$

$$F_{zB} = (C_V - 1) \cdot g \cdot m_{b2} + F_z \dots\dots\dots (5.2.4.2.4)$$

また、検出器架台の重心における検出器保護管取付部から作用する X 軸及び Y 軸周りのモーメント  $M_x$  及び  $M_y$  は次式で求める。

$$M_x = F_{zB} \cdot \ell_1 + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.5)$$

$$M_y = F_{zB} \cdot (\ell_b + \ell_2) + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.6)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 $A_b$ は次式で求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (5.2.4.2.8)$$

(2) せん断応力

せん断力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

$$Q_b = m_{b1} \cdot g \cdot C_H + F_{xB} \dots\dots\dots (5.2.4.2.9)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (5.2.4.2.10)$$

5.2.5 検出器架台の計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201, TE202, TE203）の耐震性についての評価結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.2.6 検出器架台の応力の評価

5.2.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.2.4項で求めた基礎ボルトの引張応力 $\sigma_b$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$ 以下であること。ただし、 $f_{to}$ は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \cdots \cdots (5.2.6.1.1)$$

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。

$f_{to}$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
$f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の電氣的機能時評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、水平方向については「4.1.6 検出器保護管の計算方法」に示す解析により得られた検出器保護管に生じる応答加速度とし、鉛直方向については検出器保護管が剛構造であることから、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき、基準地震動 S s により定まる応答加速度を設定する。

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の機能確認済加速度は、添付書類「VI-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、当該検出器と類似の検出器単体のビート波加振試験により電氣的機能の健全性を確認した器具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 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位／温度 （ガイドパルス式）* （G41-LE201, TE202, TE203）	水平方向	
	鉛直方向	

注記\*：機能確認済加速度は使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の温度検出器を記載。なお、使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の水位検出器は、電氣信号を伝搬する機能のみであり、検出器保護管が変形・破損しなければ、電氣信号の伝搬に影響が無いことから、検出器保護管の構造強度評価により電氣的機能維持評価とする。

O 2 ③ VI-2-4-2-4 R 3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

## 7. 評価結果

### 7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電氣的機能を有していることを確認した。

#### (1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

#### (2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）（G41-LE201，TE202，TE203）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 検出器保護管

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 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
使用済燃料プール水位／ 温度（ガイドパルス式） （G41-LE201，TE202， TE203）	常設／防止 常設／緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	C <sub>H</sub> =2.65 又は*2	C <sub>V</sub> =1.77	

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：基準地震動 S<sub>s</sub> に基づく設計用床応答スペクトルより得られる値

1.1.2 機器要目

部 材	m <sub>p</sub> (kg)	m <sub>w</sub> (kg)	d <sub>o</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>p</sub> (mm)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
検出器保護管						169	—	—	—

E (MPa)	ν (-)	要素数 (個)	節点数 (個)
1.896 × 10 <sup>5</sup>			

30

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



1.1.3 固有周期

(単位：s)

モード	固有周期	卓越方向
1次		水平方向
2次		水平方向
3次		水平方向
4次		水平方向
5次		水平方向
6次		水平方向
7次		水平方向
8次		水平方向
9次		水平方向
10次		水平方向
11次		水平方向
12次		水平方向
13次		水平方向
14次		水平方向
15次		水平方向
16次		鉛直方向

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.1.4 計算数値

1.1.4.1 検出器保護管に生じる応力

(単位：MPa)

方向	地震力における曲げ応力	地震力における軸応力	スロッシングにおける曲げ応力	死荷重における軸応力	検出器保護管に生じる曲げ応力	検出器保護管に生じる組合せ応力
X方向						
Y方向						
Z方向						
水平方向						
3方向						

1.2 検出器架台

1.2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
使用済燃料プール水位/温度 (ガイドパルス式) (G41-LE201, TE202, TE203)	常設/防止 常設/緩和	原子炉建屋 O.P. 33.20*1			—	—	C <sub>H</sub> =2.65	C <sub>V</sub> =1.77	

注記\*1: 基準床レベルを示す。

1.2.2 機器要目

部材	m <sub>b1</sub> (kg)	m <sub>b2</sub> (kg)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	ℓ <sub>1</sub> * (mm)	ℓ <sub>2</sub> * (mm)	ℓ <sub>b</sub> (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n	n <sub>f</sub> *
基礎ボルト											

注記\*: 基礎ボルトの機器要目における上段は左右方向転倒に対する評価時の要目を示し、  
下段は前後方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	174	472	205	205	205	—	前後方向

E (MPa)	ν (-)	要素数 (個)	節点数 (個)

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

1.2.3 計算数値

1.2.3.1 検出器保護管取付部における荷重 (単位：N)

方向	地震力における荷重	スロッシングにおける荷重	検出器保護管取付部における荷重
X方向			
Y方向			
水平方向			
Z方向			

1.2.3.2 基礎ボルトに作用する力 (単位：N)

部 材	$F_{xB}$		$F_{zB}$		$F_b$		$Q_b$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—		—		—		—	

1.2.3.3 基礎ボルトに作用するモーメント (単位：N・mm)

部 材	$M_x$		$M_y$	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
基礎ボルト	—		—	

34

1.3 結論

1.3.1 使用済燃料プール水位／温度（ガイドパルス式）の応力 (単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
検出器保護管		曲げ	—	—	$\sigma_p = 133$	$S_y = 169$
		組合せ	■	■	$\sigma_{p12} = 136$	$S_y = 169$
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b = 22$	$f_{ts} = 123^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 11$	$f_{sb} = 94$

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

すべて許容値応力以下である。

1.3.2 電氣的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位／温度 (ガイドパルス式) (G41-LE201, TE202, TE203)	水平方向	18.5 <sup>*1</sup>	
	鉛直方向	1.48 <sup>*2</sup>	

注記\*1：検出器保護管に生じる応答加速度とする。

\*2：基準地震動 S s による定まる応答加速度とする。

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。

35





