

本資料のうち、枠囲みの内容は、  
営業秘密又は防護上の観点から  
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-828 改 4
提出年月日	平成 30 年 9 月 18 日

#### V-2-4-2-4 使用済燃料プール温度（S A）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	適用基準	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.	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	8
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	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
4.3	解析モデル及び諸元	11
4.4	固有周期	14
4.4.1	固有値解析方法	14
4.4.2	固有値解析結果	14
4.5	設計用地震力	15
4.6	計算方法	16
4.6.1	架構に生じる応力	16
4.6.2	基礎ボルトに生じる応力	18
4.7	計算条件	21
4.7.1	架構の応力計算条件	21
4.7.2	基礎ボルトの応力計算条件	21
4.8	応力の評価	21
4.8.1	架構における応力評価	21
4.8.2	基礎ボルトにおける応力評価	21
5.	機能維持評価	22
5.1	電氣的機能維持評価方法	22
6.	評価結果	23
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	23



## 1. 概要

本計算書は、添付書類「V-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、使用済燃料プール温度（S A）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。

使用済燃料プール温度（S A）は、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

使用済燃料プール温度（S A）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	
検出器は、架構に固定された保護管に収納されている。 架構は床に基礎ボルトで固定されている。また、架構は使用済燃料プールワークテーブル用フックに取付フックで固定されている。	熱電対式温度検出器	<p>The diagram illustrates the structural design of a temperature detector. It includes a side view (側面図) and a front view (正面図). The side view shows a vertical assembly with a total height of 8445.5 mm. The top section has a width of 739.5 mm and a height of 210.5 mm. The front view shows a vertical assembly with a total height of 5434.5 mm. The top section has a width of 200 mm and a height of 350 mm. The assembly is fixed to a base using foundation bolts (基礎ボルト) and a rear bracket (後打ち金物). The assembly is also fixed to a work table using a hook (取付フック) and a work table hook (ワークテーブル用フック). The assembly is housed in a protective pipe (検出器保護管) and supported by a frame (架構). A detail view (据付部拡大図) shows the base of the assembly with a rear bracket (後打ち金物) and a foundation bolt (基礎ボルト).</p> <p>側面図</p> <p>正面図</p> <p>後打ち金物② (□250×250)</p> <p>後打ち金物① (□180×180)</p> <p>取付フック</p> <p>ワークテーブル用フック</p> <p>架構</p> <p>検出器保護管</p> <p>基礎ボルト</p> <p>据付部拡大図</p> <p>(単位 : mm)</p>



## 2.2 評価方針

使用済燃料プール温度（S A）の応力評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 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、「2.1 構造計画」にて示す使用済燃料プール温度（S A）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。また、使用済燃料プール温度（S A）の機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」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、「5. 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「6. 評価結果」に示す。

使用済燃料プール温度（S A）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

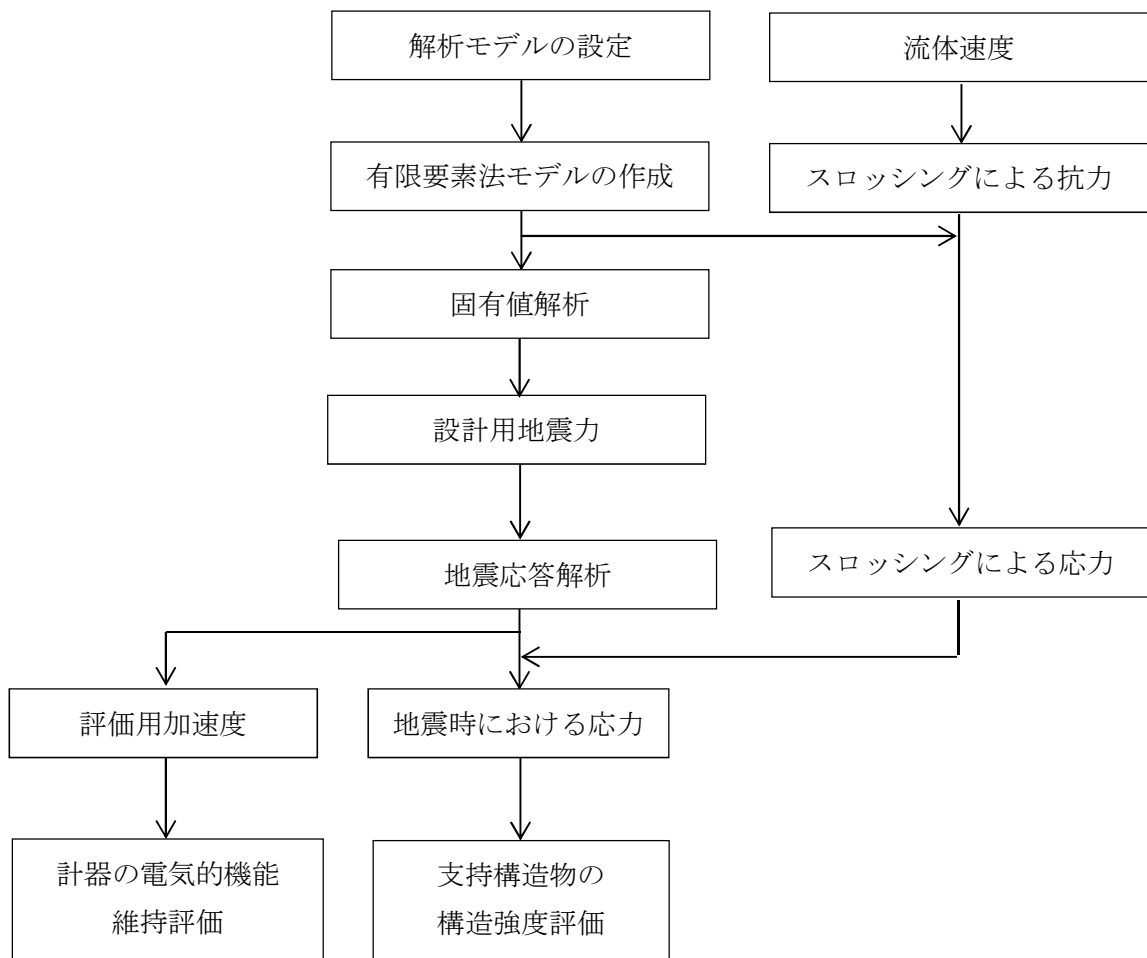


図 2-1 使用済燃料プール温度（S A）の耐震評価フロー



### 2.3 適用基準

適用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（日本電気協会）
- (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（日本電気協会）
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1－1991追補版（日本電気協会）
- (4) 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。）） J S M E S N C 1－2005/2007（日本機械学会）



## 2.4 記号の説明

記号	表示内容	単位
A	架構の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	スロッシングによる架構の投影面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの有効断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>d</sub>	架構の抗力係数	—
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	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 <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F <sub>b</sub>	基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	MPa
F <sub>x</sub>	地震及びスロッシングにより基礎ボルトに生じる反力 (X 方向)	N
F <sub>y</sub>	地震及びスロッシングにより基礎ボルトに生じる反力 (Y 方向)	N
F <sub>z</sub>	地震及びスロッシングにより基礎ボルトに生じる反力 (Z 方向)	N
F <sub>x1</sub>	地震により基礎ボルトに生じる反力 (X 方向)	N
F <sub>y1</sub>	地震により基礎ボルトに生じる反力 (Y 方向)	N
F <sub>z1</sub>	地震により基礎ボルトに生じる反力 (Z 方向)	N
F <sub>x2</sub>	スロッシングにより基礎ボルトに生じる反力 (X 方向)	N
F <sub>y2</sub>	スロッシングにより基礎ボルトに生じる反力 (Y 方向)	N
F <sub>z2</sub>	スロッシングにより基礎ボルトに生じる反力 (Z 方向)	N
F <sub>s</sub>	スロッシングにより検出器に生じる抗力	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 ( $f_s$ を 1.5 倍した値 又は $f_s^*$ を 1.5 倍した値)	MPa
$f_{to}$	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力 ( $f_t$ を 1.5 倍した値又は $f_t^*$ を 1.5 倍した値)	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
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
I <sub>p</sub>	架構の断面二次極モーメント	mm <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	架構の断面二次モーメント (y 軸)	mm <sup>4</sup>
I <sub>z</sub>	架構の断面二次モーメント (z 軸)	mm <sup>4</sup>
ℓ <sub>a1</sub>	基礎ボルト間の水平方向距離	mm
ℓ <sub>a2</sub>	基礎ボルト間の水平方向距離	mm
ℓ <sub>b</sub>	後打ち金物から保護管支持架構までの水平方向距離	mm
m	検出器及び架構の総質量	kg
m <sub>a</sub>	検出器の質量	kg
n	後打ち金物 1 枚当たりの基礎ボルトの本数	—
p	後打ち金物のプレート枚数	—



記号	表示内容	単位
$Q_b$	基礎ボルトに作用するせん断力（1本当たり）	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 付録材料表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
$V$	スロッシングにおける流速	m/s
$Z_p$	架構のねじり断面係数	mm <sup>3</sup>
$Z_y$	架構の断面係数（y 軸）	mm <sup>3</sup>
$Z_z$	架構の断面係数（z 軸）	mm <sup>3</sup>
$\nu$	ポアソン比	—
$\pi$	円周率	—
$\sigma_b$	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_1$	地震により架構に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{11}$	地震により架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{12}$	地震により架構に生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{13}$	地震により架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_2$	スロッシングにより架構に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{21}$	スロッシングにより架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{22}$	スロッシングにより架構に生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{23}$	スロッシングにより架構に生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_3$	地震及びスロッシングにより架構に生じる組合せ応力	MPa
$\sigma_{31}$	地震及びスロッシングにより架構に生じる圧縮応力	MPa
$\sigma_{32}$	地震及びスロッシングにより架構に生じるせん断応力	MPa
$\sigma_{33}$	地震及びスロッシングにより架構に生じる曲げ応力	MPa
$\tau_b$	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
$\rho$	水の比重	kg/m <sup>3</sup>



## 2.5 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。表示する数値の丸め方は、表2-2に示すとおりとする。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	少数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量 <sup>*1</sup>	kg	—	—	整数位
長さ <sup>*1</sup>	mm	—	—	整数位
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*3</sup>
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 <sup>*3</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*2</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の場合は、小数点以下表示とする。

\*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降伏点及び引張強さ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：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。



### 3. 評価部位

使用済燃料プール温度（S A）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架構及び基礎ボルトについて実施する。

使用済燃料プール温度（S A）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) 地震力は、使用済燃料プール温度（S A）に対して、水平方向及び鉛直方向から同時に作用するものとする。
- (2) 使用済燃料プール温度（S A）は、基礎ボルトにより床面及びワークテーブル用フックにより使用済燃料プール内の壁面に固定されるものとする。
- (3) 使用済燃料プール温度（S A）の質量は、検出器、検出器保護管及び架構を考慮する。
- (4) 使用済燃料プール温度（S A）の架構及び基礎ボルトに対する発生応力については、地震及びスロッシングによる発生応力の絶対値和とすることにより算出し評価する。
- (5) 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

使用済燃料プール温度（S A）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

使用済燃料プール温度（S A）の許容応力は、添付書類「V-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

使用済燃料プール温度（S A）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 <sup>*1</sup>	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 温度（S A）	常設／防止 常設／緩和	— <sup>*2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s$ <sup>*3, *4</sup>	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ( $V_A S$ として、 $IV_A S$ の許容限界を用いる。)

注記 \*1：「常設／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)					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	組合せ	引張り	せん断
IV <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_{to}^*$	$1.5 \cdot f_{sb}^*$
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)
架構		周囲環境温度	171	441	205
基礎ボルト		周囲環境温度	171	441	205



#### 4.3 解析モデル及び諸元


使用済燃料プール温度（S A）の解析モデルを3次元はりモデルとして図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。

検出器が設置される架構（①～⑥）は鋼材で構成され、架構④、⑤にて原子炉建屋の床面に固定されており、架構①は使用済燃料プールの側面に沿って深部に向かい敷設されている。なお、架構①に取り付けられたフックを使用済燃料プール内のワークテーブル用フックに取り付けることにより、使用済燃料プール内においても固定されるものとする。

また、検出器保護管⑦は、架構①の側面に設置しており、固定金具により9箇所架構に溶接し、固定されるものとする。

なお、検出器の質量は質点に集中するものとする。

機器の諸元を表4-4、部材の機器要目を表4-5に示す。

- (1) 図4-1中○内の数字は部材番号（要素番号）を示す。
- (2) 図4-1中の●は使用済燃料プール温度（S A）の質点を示し、 $m_a$ は□kgである。
- (3) 図4-1中の——は架構、--は仮想鋼材、は支持点を示す。
- (4) 拘束条件として、基礎部のXYZ方向及び回転方向を固定する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」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、添付書類「V-5-4 計算機プログラム（解析コード）の概要・HISAP及びNSAFE」に示す。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



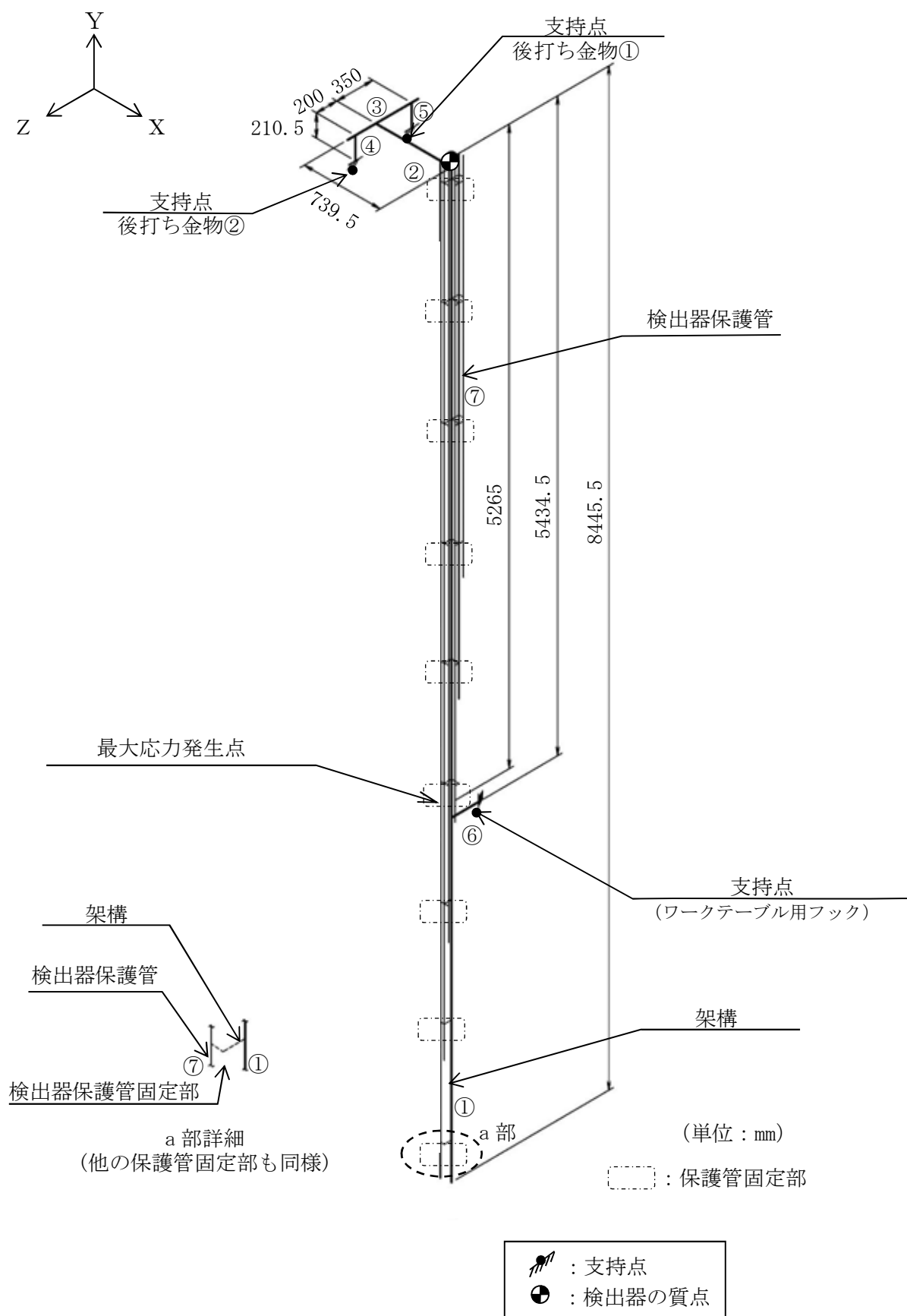


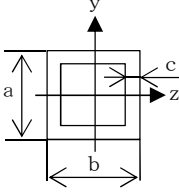
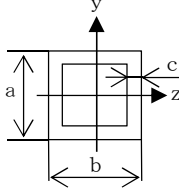
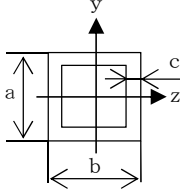
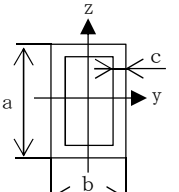
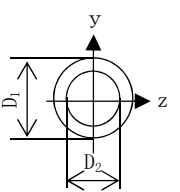
図 4-1 使用済燃料プール (S A) 解析モデル



表 4-4 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	$m_a$	kg	
温度条件（雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	$\nu$	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

表 4-5 部材の機器要目

材料					
対象要素	①	②～④	⑤	⑥	⑦
A (mm <sup>2</sup> )					
I <sub>y</sub> (mm <sup>4</sup> )					
I <sub>z</sub> (mm <sup>4</sup> )					
I <sub>p</sub> (mm <sup>4</sup> )					
Z <sub>y</sub> (mm <sup>3</sup> )					
Z <sub>z</sub> (mm <sup>3</sup> )					
Z <sub>p</sub> (mm <sup>3</sup> )					
断面形状 (mm)	 <div>125×125×4 (a × b × c)</div>	 <div>125×125×6 (a × b × c)</div>	 <div>100×100×6 (a × b × c)</div>	 <div>125×75×4 (a × b × c)</div>	 <div>D<sub>1</sub> = 17.3 D<sub>2</sub> = 12.7</div>



4.4 固有周期

4.4.1 固有値解析方法

使用済燃料プール温度（S A）の固有値解析方法を「4.3 解析モデル及び諸元」に示す。

4.4.2 固有値解析結果

固有値解析結果を表 4-6、振動モード図を図 4-2 に示す。なお、鉛直方向は 6 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 4-6 固有値解析結果(s)

モード	固有周期	卓越方向	刺激係数		
			X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次		水平	0.211	-0.060	-0.003
2 次		水平	0.112	0.099	0.142
3 次		水平	0.552	0.024	0.147
4 次		水平	-0.129	-0.076	0.526
5 次		水平	—	—	—

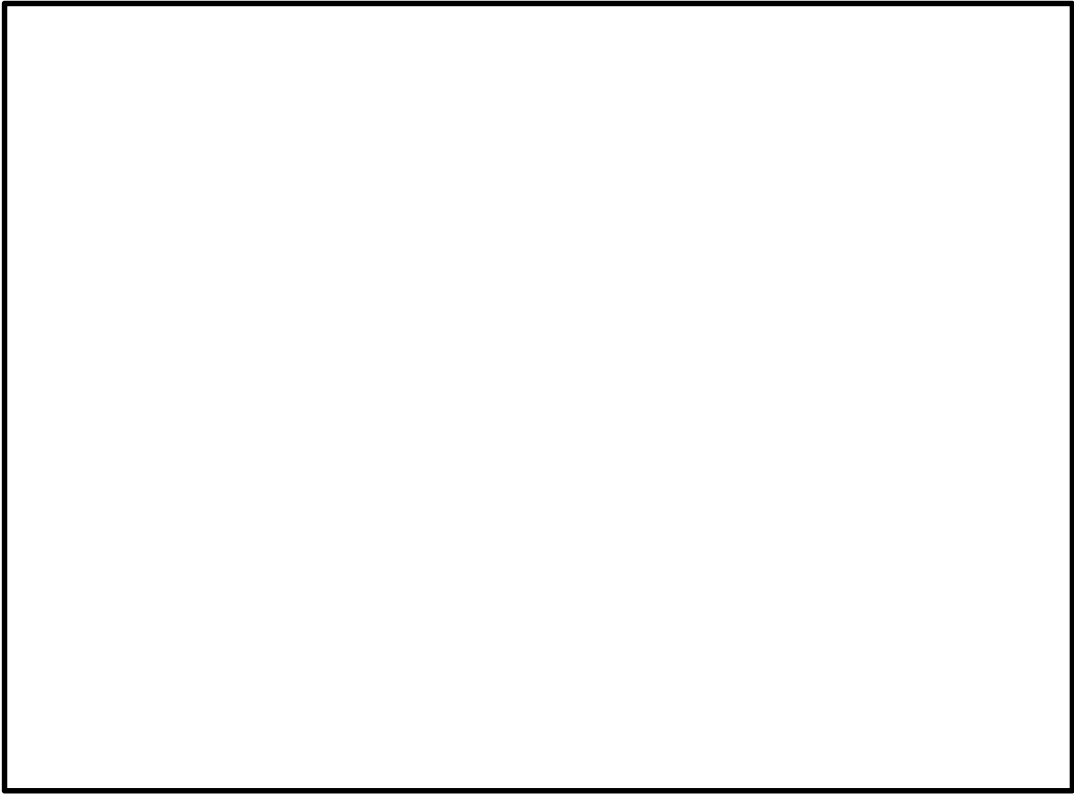


図 4-2 使用済燃料プール温度（S A） 振動モード図



#### 4.5 設計用地震力

「基準地震動  $S_s$ 」による地震力は、添付書類「V-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「V-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。

評価に用いる設計用地震力を表 4-7 に示す。

表 4-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$		減衰定数 (%)	
	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	水平 方向	鉛直 方向
<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">           EL. 46.50<sup>*1</sup> </div>			—	—	$C_H = 1.74$ 又は*3	$C_V = 1.52$	1.0 <sup>*4</sup>	—

注記 \*1：基準床レベルを示す。

\*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

\*3：基準地震動  $S_s$  に基づく設計用床応答曲線より得られる値。

\*4：溶接構造物に適用される減衰定数の値。



## 4.6 計算方法

### 4.6.1 架構に生じる応力

#### 4.6.1.1 地震により架構に生じる応力

- (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し、圧縮応力、せん断応力及び曲げ応力を算出する。
- (2) 架構は鉛直方向において剛構造であることから、取付床面高さの鉛直方向設計震度を用いて、以下の式により圧縮応力を算出する。

$$\sigma_{11} = \frac{m \cdot g \cdot C_v}{A}$$

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (4.6.1.1.1)

- (3) スペクトルモーダル解析により組合せ応力が最大となる算出結果に、4.6.1.1.1 式による圧縮応力の算出値を足し合わせ、組合せ応力を算出する。算出結果を表 4-8 に示す。

表 4-8 地震により架構に生じる応力

(単位 : MPa)

圧縮応力 $\sigma_{11}$	せん断応力 $\sigma_{12}$	曲げ応力 $\sigma_{13}$	組合せ応力*
11	12	131	144

注記 \* : 組合せ応力  $\sigma_1 = \sqrt{(\sigma_{11} + \sigma_{13})^2 + 3 \cdot \sigma_{12}^2}$



#### 4.6.1.2 スロッシングにより架構に生じる応力

- (1) スロッシングによる応力の算出については、添付書類「V-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」に示す基準地振動  $S_s$  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より水平方向（X，Z 方向）における水深ごとの最大流速を用い、鉛直方向（Y 方向）については、架構底部高さにおける流速を用いて、架構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 2.0 とする。

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

・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ (4.6.1.2.1)

- (4) 算出した抗力を用いて、図 4-1 に示す解析モデルにより、架構に生じる応力を算出する。組合せ応力が最大となる算出結果を表 4-9 に示す。

表 4-9 スロッシングにより架構に生じる応力 (単位：MPa)

方向	圧縮応力 $\sigma_{21}$	せん断応力 $\sigma_{22}$	曲げ応力 $\sigma_{23}$	組合せ応力* $\sigma_2$
X	1	1	2	4
Y	1	1	1	3
Z	1	1	2	4
Max [X, Z] + Y	2	2	3	7

注記 \* : 組合せ応力  $\sigma_2 = \sqrt{(\sigma_{21} + \sigma_{23})^2 + 3 \cdot \sigma_{22}^2}$

#### 4.6.1.3 地震及びスロッシングにより架構に生じる応力

地震及びスロッシングにより架構に生じる応力を合算した結果を表 4-10 に示す。

表 4-10 地震及びスロッシングにより架構に生じる応力 (単位：MPa)

圧縮応力 $\sigma_{31}$	せん断応力 $\sigma_{32}$	曲げ応力 $\sigma_{33}$	組合せ応力* $\sigma_3$
13	14	134	149

注記 \* : 組合せ応力  $\sigma_3 = \sqrt{(\sigma_{31} + \sigma_{33})^2 + 3 \cdot \sigma_{32}^2}$



#### 4.6.2 基礎ボルトに生じる応力

##### 4.6.2.1 地震により基礎ボルトに生じる反力

- (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) Y 方向については、以下の式を用いて算出し、スペクトルモーダル解析による算出値と足し合わせる。各算出結果を表 4-11 に示す。

① 後打ち金物（1）基礎ボルト

$$F_{y1} = \frac{m(C_v - 1) \times \ell_b \times g}{(\ell_{a1} \times p)} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1.1)$$

② 後打ち金物（2）基礎ボルト

$$F_{y1} = \frac{m(C_v - 1) \times \ell_b \times g}{(\ell_{a2} \times p)} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.1.2)$$

表 4-11 地震により基礎ボルトに生じる反力

部材	方法	反力 (N)		
		F <sub>x1</sub>	F <sub>y1</sub>	F <sub>z1</sub>
後打ち金物（1） 基礎ボルト	スペクトル モーダル解析			
	計算式①			
後打ち金物（2） 基礎ボルト	スペクトル モーダル解析			
	計算式②			



## 4.6.2.2 スロッシングにより基礎ボルトに生じる反力

- (1) スロッシングにより基礎ボルトに生じる反力の算出は、「4.6.1.2 スロッシングにより架構に生じる応力」と同様とする。算出結果を表 4-12 に示す。

表 4-12 スロッシングにより基礎ボルトに生じる反力

部材	方向	反力 (N)		
		$F_{x2}$	$F_{y2}$	$F_{z2}$
後打ち金物 (1) 基礎ボルト				
後打ち金物 (2) 基礎ボルト				

## 4.6.2.3 地震及びスロッシングにより基礎ボルトに生じる反力

地震及びスロッシングにより基礎ボルトに生じる反力を合算した結果を表 4-13 に示す。

表 4-13 地震及びスロッシングにより基礎ボルトに生じる反力

部材	反力 (N)		
	$F_x$	$F_y$	$F_z$
後打ち金物 (1) 基礎ボルト			
後打ち金物 (2) 基礎ボルト			



## 4.6.2.4 基礎ボルトに生じる応力の計算方法

基礎ボルトに生じる応力は、後打ち金物 1 枚当たりのボルト本数で受けるものとして計算する。

## (1) 引張応力

a. 引張力 ( $F_b$ )

$$F_b = \frac{F_y}{n} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3.1)$$

b. 引張応力 ( $\sigma_b$ )

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3.2)$$

ここで,

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3.3)$$

## (2) せん断応力

a. せん断力 ( $Q_b$ )

$$Q_b = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_z^2}}{n} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3.4)$$

b. せん断応力 ( $\tau_b$ )

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \quad \dots \dots \dots (4.6.2.3.5)$$



## 4.7 計算条件

### 4.7.1 架構の応力計算条件

応力の計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール温度（S A）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。

### 4.7.2 基礎ボルトの応力計算条件

応力の計算に用いる計算条件は、本計算書の【使用済燃料プール温度（S A）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 架構における応力評価

4.6.1項で求めた架構に生じる応力は、表 4-2 以下であること。

### 4.8.2 基礎ボルトにおける応力評価

4.6.2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。

$$f_{ts} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \dots \dots (4.8.2.1)$$

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。

	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. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

使用済燃料プール温度（S A）の電氣的機能維持評価について以下に示す。

評価用加速度は、水平方向については「4.6.1 架構に生じる応力」に示す解析により得られた検出器保護管に生じる最大加速度を用い、鉛直方向については剛構造であることから添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

使用済燃料プール温度（S A）の機能確認済加速度は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全を確認した評価部位の加速度を適用する

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 (×9.8 m/s<sup>2</sup>)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール温度（S A）	水平	<div></div>
	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

使用済燃料プール温度（S A）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

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。



[使用済燃料プール温度（S A）の耐震性についての計算結果]

1. 重大事故等対処施設

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 (℃)
			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 温度（S A）	常設／防止 常設／緩和	<div>EL. 46.50*1</div>	<div></div>		—	—	1.74 又は*3	1.52	<div></div>

注記 \*1：基準床レベルを示す。  
\*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。  
\*3：基準地震動 S<sub>s</sub>に基づく設計用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プール温度（S A）

部材	m (kg)	d (mm)	ℓ <sub>a1</sub> (mm)	ℓ <sub>a2</sub> (mm)	ℓ <sub>b</sub> (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n (-)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト								171	441	205	205



## 1.3 計算数値

## 1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_b$		$Q_b$	
	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は静的震度	基準地震動 $S_s$
後打ち金物（１）基礎ボルト				
後打ち金物（２）基礎ボルト				

注記 \*：応力評価は本値を基に実施する。

## 1.4 結論

## 1.4.1 架構の応力

(単位：MPa)

部材	圧縮応力		せん断応力		曲げ応力		組合せ応力	
	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力	発生 応力	許容 応力
架構	13	42	14	118	134	205	149	205

すべて許容応力以下である。

## 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 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_b = 24$	$f_{ts} = 123^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 17$	$f_{sb} = 94$

すべて許容応力以下である。

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



1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s<sup>2</sup>)

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール温度（S A）	水平方向	9.75	<div></div>
	鉛直方向	1.26	

評価用加速度（水平：検出器保護管に生じる最大加速度，鉛直：1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。