

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2
提出年月日	平成30年9月13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	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
4.2.1	荷重の組合せ及び許容応力状態	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
4.3	解析モデル及び諸元	12
4.4	固有周期	15
4.4.1	固有値解析方法	15
4.4.2	固有値解析結果	15
4.5	設計用地震力	16
4.5.1	設計用地震力	16
4.6	計算方法	17
4.6.1	使用済燃料プール温度（S A）の架構における応力の計算方法	17
4.6.2	使用済燃料プール温度（S A）の基礎ボルトにおける応力の計算方法	19
4.7	計算条件	22
4.7.1	基礎ボルトの応力計算条件	22
4.8	応力の評価	22
4.8.1	使用済燃料プール温度（S A）の架構における応力評価	22
4.8.2	使用済燃料プール温度（S A）の基礎ボルトにおける応力評価	22
5.	機能維持評価	23
5.1	電氣的機能維持評価方法	23
6.	評価結果	24
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	24

## 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	
<p>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。</p>	<p>熱電対式温度検出器</p>	<p>The diagram illustrates the construction of a temperature detector assembly. It includes three views: a side view (側面図), a front view (正面図), and a detail view of the base (据付部拡大図). The side view shows a vertical assembly with a total height of 8445.5 mm. The front view shows the assembly's width and its connection to a work table hook. Key components and dimensions are labeled as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>後打ち金物② (□250×250)</b>: A square base plate at the top with a width of 250 mm.</li> <li><b>後打ち金物① (□180×180)</b>: A smaller square base plate with a width of 180 mm.</li> <li><b>検出器保護管 (Detector Protection Pipe)</b>: A vertical pipe housing the detector.</li> <li><b>架構 (Structure)</b>: The main vertical support frame.</li> <li><b>取付フック (Mounting Hook)</b>: A hook for securing the assembly to a work table.</li> <li><b>ワークテーブル用フック (Work Table Hook)</b>: The specific hook used for mounting.</li> <li><b>基礎ボルト (Foundation Bolt)</b>: Bolts used to secure the base to the floor.</li> <li><b>据付部拡大図 (Detail of Base)</b>: Shows the base plate and foundation bolts.</li> </ul> <p>Dimensions shown in the drawing include 739.5 mm, 210.5 mm, 5434.5 mm, 200 mm, and 350 mm. The unit is specified as (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。

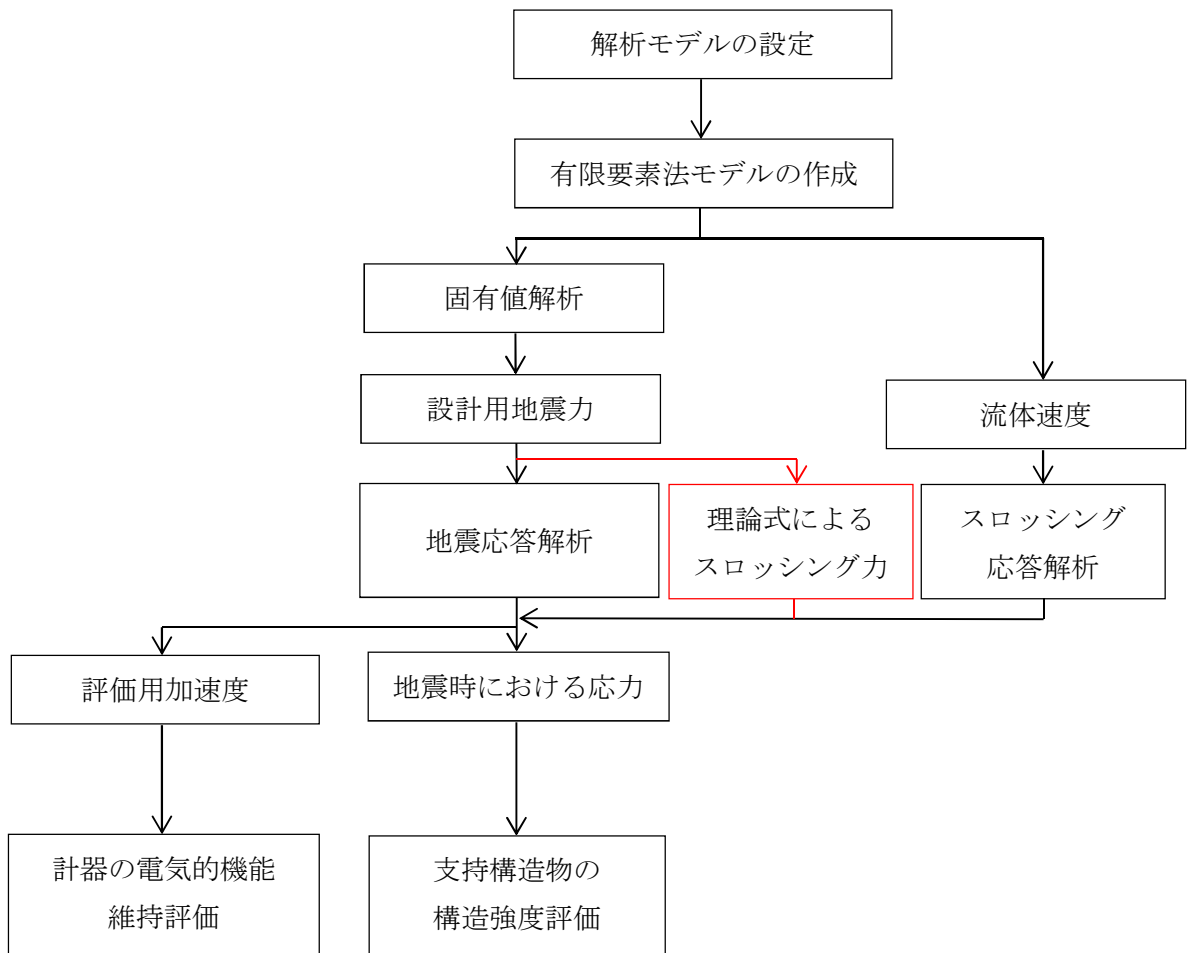


図 2-1 使用済燃料プール温度（S A）の耐震評価フロー

## 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 ・補一  
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>	使用済燃料プール温度(S A)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	使用済燃料プール温度(S A)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>	使用済燃料プール温度(S A)の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応答解析にて求められたX軸方向に作用する力	N
F <sub>y</sub>	地震及びスロッシング応答解析にて求められたY軸方向に作用する力	N
F <sub>z</sub>	地震及びスロッシング応答解析にて求められたZ軸方向に作用する力	N
F <sub>x1</sub>	地震応答解析にて求められた後打ち金物のX軸方向に作用する力	N
F <sub>y1</sub>	地震応答解析にて求められた後打ち金物のY軸方向に作用する力	N
F <sub>z1</sub>	地震応答解析にて求められた後打ち金物のZ軸方向に作用する力	N
F <sub>x2</sub>	スロッシング応答解析にて求められた後打ち金物のX軸方向に作用する力	N
F <sub>y2</sub>	スロッシング応答解析にて求められた後打ち金物のY軸方向に作用する力	N
F <sub>z2</sub>	スロッシング応答解析にて求められた後打ち金物のZ軸方向に作用する力	N
F <sub>y3</sub>	地震力による後打ち金物のY軸方向に作用する力	N
F <sub>s</sub>	スロッシングにより検出器に生じる動水圧荷重	N
f <sub>b</sub>	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) に定める値	MPa
f <sub>c</sub>	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) に定める値	MPa
f <sub>s</sub>	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) に定める値	MPa
f <sub>t</sub>	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) に定める値	MPa
F <sub>sb</sub>	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 (f <sub>s</sub> を1.5倍した値)	MPa
F <sub>to</sub>	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f <sub>t</sub> を1.5倍した値)	MPa

記号	表示内容	単位
$F_{ts}$	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	MPa
$g$	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
$I_p$	架構の断面二次極モーメント	mm <sup>4</sup>
$I_y$	架構の断面二次モーメント (y 軸)	mm <sup>4</sup>
$I_z$	架構の断面二次モーメント (z 軸)	mm <sup>4</sup>
$l_{a1}$	基礎ボルト間の水平方向距離	mm
$l_{a2}$	基礎ボルト間の水平方向距離	mm
$l_b$	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
$m_a$	検出器の質量	kg
$M_x$	地震及びスロッシング応答解析にて求められた X 軸方向に作用するモーメント	N・m
$M_y$	地震及びスロッシング応答解析にて求められた Y 軸方向に作用するモーメント 架構基礎部に作用するモーメント	N・m
$M_z$	地震及びスロッシング応答解析にて求められた Z 軸方向に作用するモーメント 架構基礎部に作用するモーメント	N・m
$M_{x1}$	地震応答解析にて求められた後打ち金物の X 軸方向に作用するモーメント	N・m
$M_{y1}$	地震応答解析にて求められた後打ち金物の Y 軸方向に作用するモーメント	N・m
$M_{z1}$	地震応答解析にて求められた後打ち金物の Z 軸方向に作用するモーメント	N・m
$M_{x2}$	スロッシング応答解析にて求められた後打ち金物の X 軸方向に作用するモーメント	N・m
$M_{y2}$	スロッシング応答解析にて求められた後打ち金物の Y 軸方向に作用するモーメント	N・m
$M_{z2}$	スロッシング応答解析にて求められた後打ち金物の Z 軸方向に作用するモーメント	N・m
$n$	使用済燃料プール温度(S A)の後打ち金物 1 枚当たりの基礎ボルトの本数	—
$p$	使用済燃料プール温度(S A)の後打ち金物のプレート枚数	—
$P_t$	スロッシングにおける動水圧	N/m <sup>2</sup>
$Q_b$	使用済燃料プール温度(S A)の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



記号	表示内容	単位
$S_y$	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°C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	—
$\sigma_b$	使用済燃料プール温度 (S A) の基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
$\sigma_x$	X 方向スロッシング応力	MPa
$\sigma_y$	Y 方向スロッシング応力	MPa
$\sigma_z$	Z 方向スロッシング応力	MPa
$\tau_b$	使用済燃料プール温度 (S A) の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、地震力及びスロッシング力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*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 温度（S A）	常設／防止 常設／緩和	—*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」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。

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・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>t0</sub> *	1.5・f <sub>sb</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> (RT) (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（SA）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（SA）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。

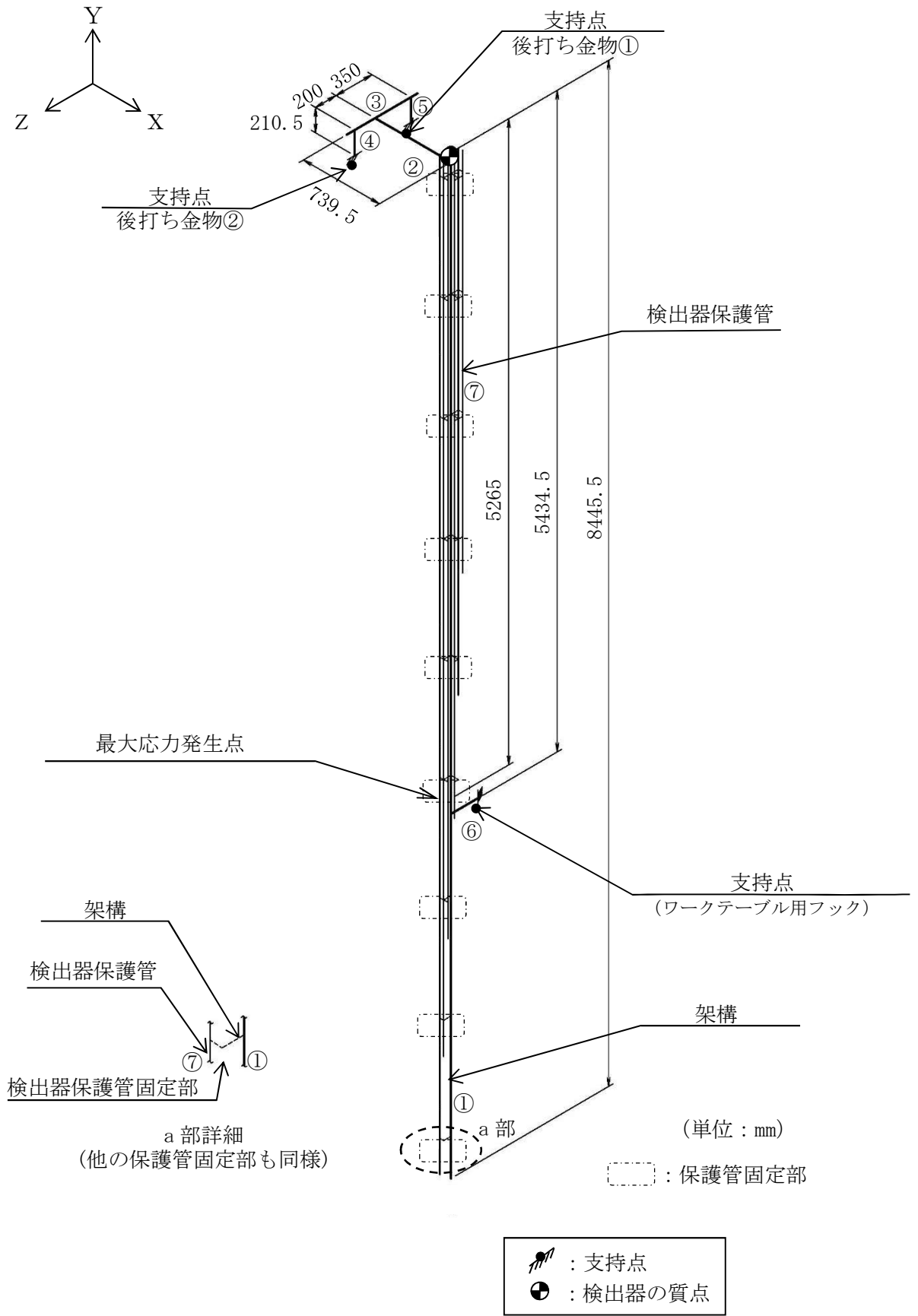


図 4-1 使用済燃料プール (S A) 解析モデル

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	°C	
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)					



#### 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（SA）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（SA） 振動モード図

#### 4.5 設計用地震力

##### 4.5.1 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
EL. 46.50 <sup>*1</sup>			—	—	$C_H =$ 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 使用済燃料プール温度（S A）の架構における応力の計算方法

##### 4.6.1.1 使用済燃料プール温度（S A）の架構における地震応答解析

- (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，**組合せ応力が最大となる**算出結果を表 4-8 に示す。

表 4-8 地震力による発生応力 (単位：MPa)

圧縮応力	せん断応力	曲げ応力	組合せ応力
9	12	131	142

##### 4.6.1.2 使用済燃料プール温度（S A）の架構におけるスロッシング応答解析

- (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。

$$P_t = \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \dots \dots \dots (4.6.1.2.1)$$

$$F_s = P_t \cdot A_s \cdot \dots \dots \dots (4.6.1.2.2)$$

- (4) 算出された動水圧荷重を付加したスロッシング応答解析により，**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 スロッシング力による発生応力 (単位：MPa)

発生応力	圧縮応力	せん断応力	曲げ応力	組合せ応力
X 方向スロッシング ( $\sigma_x$ )	1	1	2	4
Y 方向スロッシング ( $\sigma_y$ )	1	1	1	3
Z 方向スロッシング ( $\sigma_z$ )	1	1	2	4
スロッシングによる発生応力*	2	2	3	7

注記 \*：スロッシングによる発生力 =  $\text{Max} [\sigma_x, \sigma_z] + \sigma_y$

4.6.1.3 使用済燃料プール温度（S A）架構における地震力及びスロッシング力の発生応力の算出

表 4-8 において算出された地震力による発生応力及び表 4-9 において算出されたスロッシング力による発生応力を合算することにより、使用済燃料プール温度（S A）架構に生じる発生応力を算出する。算出結果を表 4-10 に示す。

表 4-10 使用済燃料プール温度（S A）の架構に生じる発生応力（単位：MPa）

圧縮応力	せん断応力	曲げ応力	組合せ応力
11	14	134	149

4.6.2 使用済燃料プール温度（S A）の基礎ボルトにおける応力の計算方法

4.6.2.1 使用済燃料プール温度（S A）の基礎ボルトにおける地震力による発生反力，モーメントの算出

- (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) 後打ち金物(1)及び後打ち金物(2)の基礎ボルトにおける地震力により発生する発生反力，モーメントを算出する。算出結果を表 4-11 に示す。

表 4-11 地震力による発生反力，モーメント

部材	反力 (N)			モーメント (N・m)		
	$F_{X1}$	$F_{Y1}$	$F_{Z1}$	$M_{X1}$	$M_{Y1}$	$M_{Z1}$
後打ち金物 (1) 基礎ボルト						
後打ち金物 (2) 基礎ボルト						

4.6.2.2 使用済燃料プール温度（S A）の基礎ボルトにおけるスロッシング力による発生反力，モーメントの算出

- (1) スロッシングによる応力の算出においては，添付書類「V-1-1-8-3 溢水評価条件の設定」に示す基準地震動 $S_s$ 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 4.6.1.2 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。
- (4) 算出された動水圧荷重を付加したスロッシング応答解析により，後打ち金物(1)及び後打ち金物(2)の基礎ボルトにおけるスロッシング力により発生する発生反力，モーメントを算出する。算出結果を表 4-9 に示す。

表 4-12 スロッシング力による発生反力，モーメント

部材	方向	反力 (N)			モーメント (N・m)		
		$F_{X2}$	$F_{Y2}$	$F_{Z2}$	$M_{X2}$	$M_{Y2}$	$M_{Z2}$
後打ち金物(1) 基礎ボルト	水平						
	鉛直						
後打ち金物(2) 基礎ボルト	水平						
	鉛直						

4.6.2.3 使用済燃料プール温度（SA）の基礎ボルトにおける地震力（Y方向）による発生反力の算出

(1) 後打ち金物(1)及び後打ち金物(2)の基礎ボルトにおける地震力（Y方向）により発生する発生反力を以下の理論式を用いて算出する。算出結果を表 4-13 に示す。

① 後打ち金物（1）の基礎ボルトにおける地震力（Y方向）による発生反力算出式

$$F_{y3} = \frac{m(C_v - 1) \times \ell_b \times g}{(\ell_{a1} \times p)} \dots\dots\dots (4.6.2.1.1)$$

② 後打ち金物（2）の基礎ボルトにおける地震力（Y方向）による発生反力算出式

$$F_{y3} = \frac{m(C_v - 1) \times \ell_b \times g}{(\ell_{a2} \times p)} \dots\dots\dots (4.6.2.1.1)$$

表 4-13 地震力（Y方向）による発生反力

部材	反力 (N)	
	F <sub>y3</sub>	
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 使用済燃料プール温度（SA）の基礎ボルトにおける地震力及びスロッシング力の発生反力の算出

4.6.2.1にて算出された地震力(X, Z方向)による発生反力, モーメント及び4.6.2.2にて算出されたスロッシング力(X, Z方向)による発生反力, モーメントの算出結果を合算することにより, 使用済燃料プール温度(SA)の基礎ボルトに生じるX, Z方向の発生反力, モーメントを算出する。また, 地震力(Y方向)については, 4.6.2.1にて算出された地震力(Y方向)による発生反力, モーメントの算出結果及び4.6.2.3にて算出された地震力(Y方向)による発生反力, モーメントの値の大きい方を用い, 4.6.2.2にて算出されたスロッシング力(Y方向)による発生反力, モーメントと合算することでY方向の発生反力, モーメントを算出する。算出結果を表 4-14 に示す。

表 4-14 基礎ボルト部の発生反力, モーメント

部材	反力 (N)			モーメント (N・m)		
	F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
後打ち金物（1） 基礎ボルト						
後打ち金物（2） 基礎ボルト						

## (1) 引張応力

使用済燃料プール温度（SA）の基礎ボルトに対する引張力は，使用済燃料プール温度（SA）の後打ち金物1枚当たりのボルト本数で受けるものとして計算する。

a. 引張力（ $F_b$ ）

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

b. 引張応力（ $\sigma_b$ ）

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

ここで，

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

## (2) せん断応力

使用済燃料プール温度（SA）の基礎ボルトに対するせん断力は，使用済燃料プール温度（SA）の後打ち金物1枚当たりのボルト本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力（ $Q_b$ ）

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

b. せん断応力（ $\tau_b$ ）

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

4.7 計算条件

4.7.1 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 使用済燃料プール温度（S A）の架構における応力評価

使用済燃料プール温度（S A）の架構における発生応力は、表 4-2 以下であること。

4.8.2 使用済燃料プール温度（S A）の基礎ボルトにおける応力評価

4.6.2.3 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。

$f_{to}$	基準地震動 $S_s$ による 荷重との組合せの場合  $\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
$f_{sb}$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$



## 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。

なお、評価用加速度は添付書類「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。

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

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	
	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 $S_d$ 又は静的震度		基準地震動 $S_s$		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 温度 (S A)	常設/防止 常設/緩和	<input type="text"/> EL. 46.50*1	<input type="text"/>		—	—	1.74 又は*3	1.52	<input type="text"/>

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。

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)	$l_{a1}$ (mm)	$l_{a2}$ (mm)	$l_b$ (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	n (-)	$S_y$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	$S_y$ (RT) (MPa)	$F^*$ (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>							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 <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	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>	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>
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	11	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	□	引張り	—	—	σ <sub>b</sub> = 14	f <sub>ts</sub> = 123*
		せん断	—	—	τ <sub>b</sub> = 17	f <sub>sb</sub> = 94

すべて許容応力以下である。

注記 \*：f<sub>ts</sub> = Min [1.4 · f<sub>to</sub> - 1.6 · τ<sub>b</sub>, f<sub>to</sub>] より算出

## 1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

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

		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	7.87	
	鉛直方向	7.25	

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。