

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-424 改0
提出年月日	平成30年5月25日

V-2-4-2-5 使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）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	4
2.3 適用基準	5
2.4 記号の説明	6
2.5 計算精度の数値の丸め方	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
4.3 設計用地震力	11
4.4 解析モデル及び諸元	12
4.5 固有周期	14
4.6 計算方法	15
4.7 計算条件	18
4.8 応力の評価	18
5. 機能維持評価	19
5.1 電氣的機能維持評価方法	19
6. 評価結果	20
6.1 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、「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、使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）が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・温度計（S A広域）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、分類に応じた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

使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画

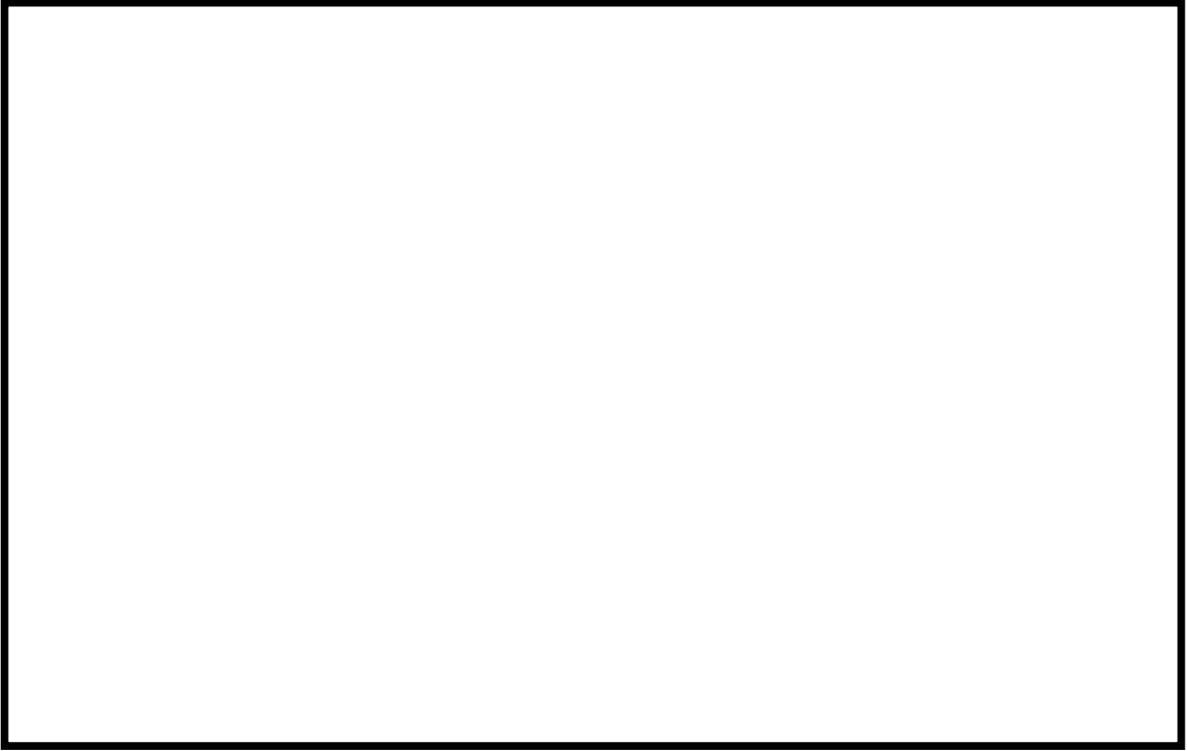
計画の概要		概略構造図（検出器架台図）
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、ボール形状の上端部を検出器架台梁先端のソケットに接続する。</p> <p>検出器架台梁及び検出器架台は、検出器架台取付ボルトによりベースプレートに固定され、ベースプレートは、基礎ボルトにより基礎に設置する。</p>	<p>検出器架台</p>	

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図（全体図）	
基礎・支持構造	基礎・支持構造		
<p>検出器は、使用済燃料プール壁面の埋込金物にサポートで固定する。</p>	<p>検出器サポート</p>		

2.2 評価方針

使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の応力評価は、「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水位・温度計（S A広域）の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.4 解析モデル及び諸元」及び「4.5 固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく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「6. 評価結果」に示す。

使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の耐震評価フローを図2-1に示す。

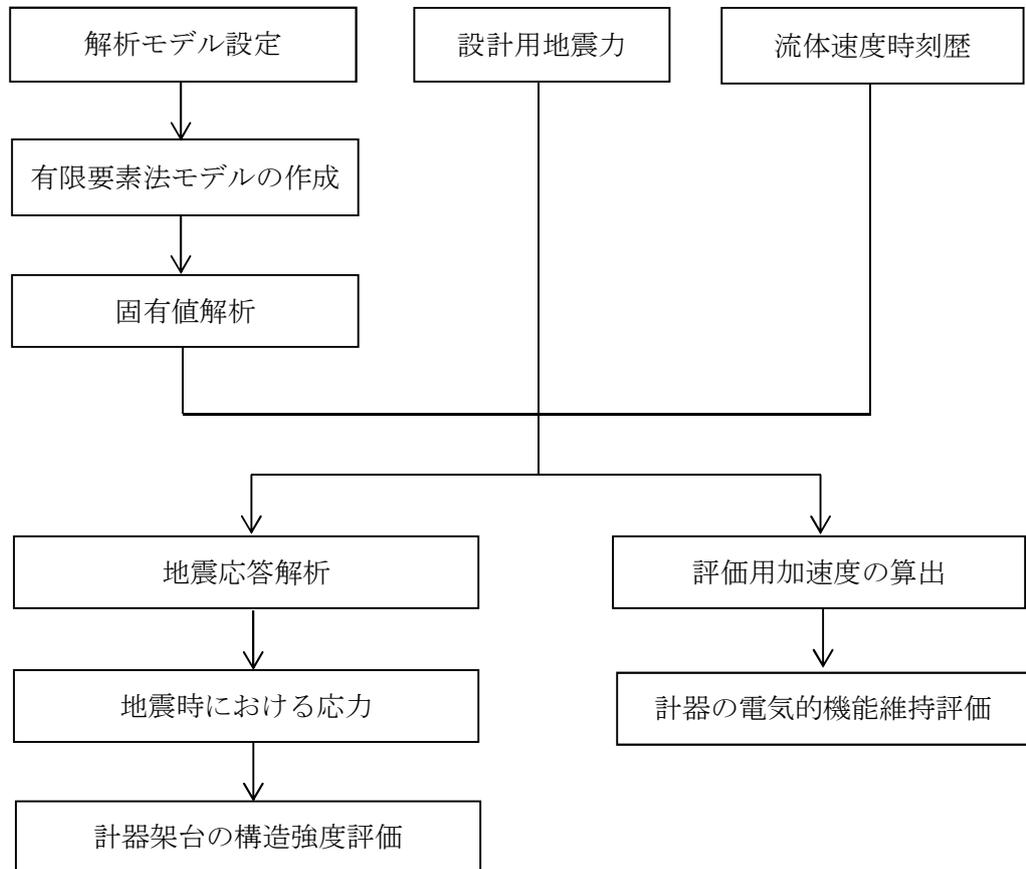


図2-1 使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の耐震評価フロー

2.3 適用基準

適用基準を以下に示す。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針(重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984, JEAG 4601-1987及びJEAG 4601-1991 追補版) (日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月, 昭和62年8月及び平成3年6月)
- (2) 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。)))
JSME S NC 1-2005/2007) (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_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力 (1 本当たり)	N
F_x	検出器取付部における水平方向荷重	N
F_y	検出器取付部における鉛直方向荷重	N
$F_x B$	重心における検出器からの水平方向作用力	N
$F_y B$	重心における検出器からの鉛直方向作用力	N
M_x	重心における検出器からの水平横軸回りのモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
M_z	重心における検出器からの水平縦軸回りのモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
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_{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
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	ベースプレート据付面から重心までの距離	mm
H_1	検出器取付部から重心までの鉛直方向距離	mm
ℓ_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
L_b	検出器取付部中心から重心までの水平方向距離	mm
m	検出器取付架台及びベースプレート質量	kg
W_b	検出器取付部梁質量	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
$S_y (R T)$	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
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記 ※ : $\ell_1 \leq \ell_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-3に示すとおりとする。

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
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積*2	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
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・温度計（SA広域）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基礎ボルトについて実施する。

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) 検出器の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 検出器架台は検出器架台取付ボルトでベースプレートに固定し、ベースプレートは基礎ボルトにて基礎に固定する。
- (3) 地震力は、検出器に対し水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (4) 基礎ボルトの評価において、検出器取付部における荷重（地震荷重、取付荷重及びスロッシング荷重の組合せ）が作用するものとする。
- (4) 転倒方向は、図 4-1 概要図における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を記載する。
- (5) 設計用地震力は「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。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。



図 4-1 概要図（検出器架台図）

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

使用済燃料プール水位・温度計（SA広域）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

使用済燃料プール水位・温度計（SA広域）の許容応力を表 4-2 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力

使用済燃料プール水位・温度計（SA広域）の使用材料の許容応力のうち、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・温度計（SA広域）	常設／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／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)	
	一次応力	
	引張り	せん断
IV _A S	1.5・f _t * 1.5・f _s *	1.5・f _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：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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		174	472	—

4.3 設計用地震力

検出器架台の評価に用いる設計用地震力を表4-4に示す。

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 4-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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	
		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
常設／防止 常設／緩和				—	—	C _H =1.74	C _V =1.52

注記 *1:基準床レベルを示す。

4.4 解析モデル及び諸元

使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）の解析モデルを図4-2及び図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4-5に示す。

- (1) 使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）検出器を、梁要素でモデル化したFEMモデルによって求める。
- (2) 計算機コードは、「ANSYS」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、「V-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要・ANSYS」に示す。

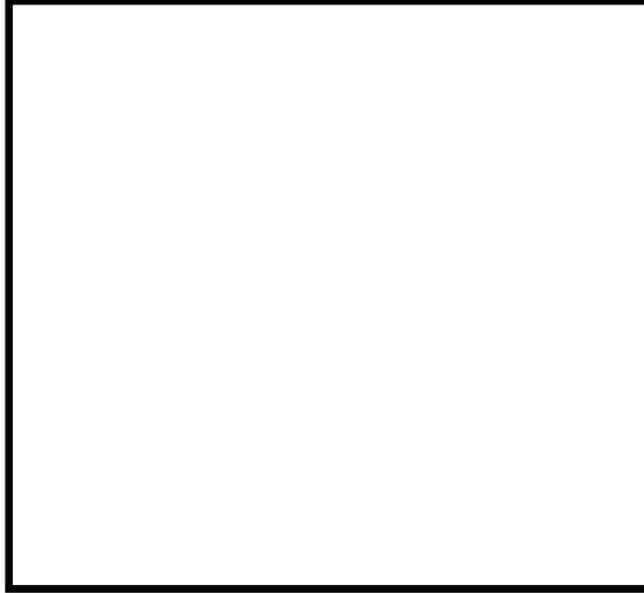


図4-2 解析モデル（固有値解析）

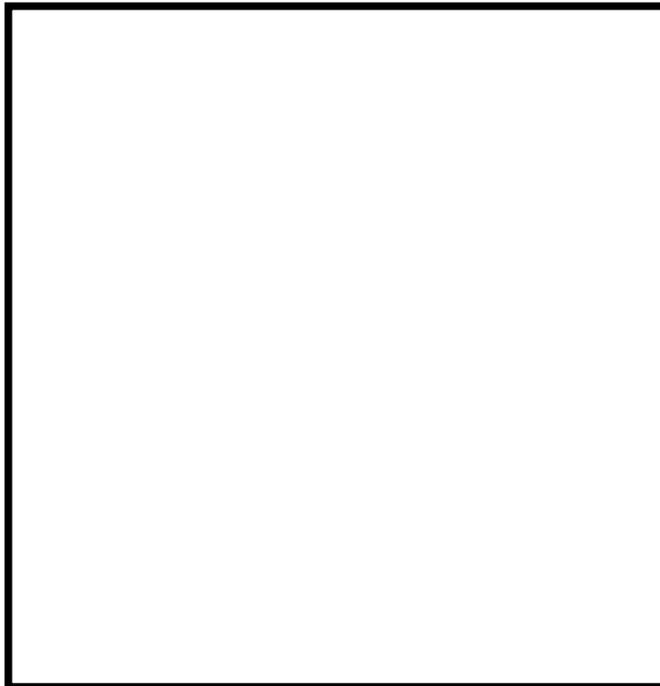


図4-3 解析モデル（地震応答及びスロッシング解析）

表4-5 機器諸元 (検出器)

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	<input type="text"/>
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	<input type="text"/>
縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
ポアソン比	ν	—	<input type="text"/>
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>

4.5 固有周期

計算機コード「ANSYS」により求めた固有値解析の結果を表4-6に示す。

表4-6 検出器固有周期 (s)

モード	卓越方向	固有周期
1次	水平 (X)	
2次	水平 (Z)	
3次	水平 (X)	
4次	水平 (Z)	
5次	水平 (X)	



図4-4 振動モード図

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 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，検出器が架台の取り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4-5 計算モデル（正面方向転倒）

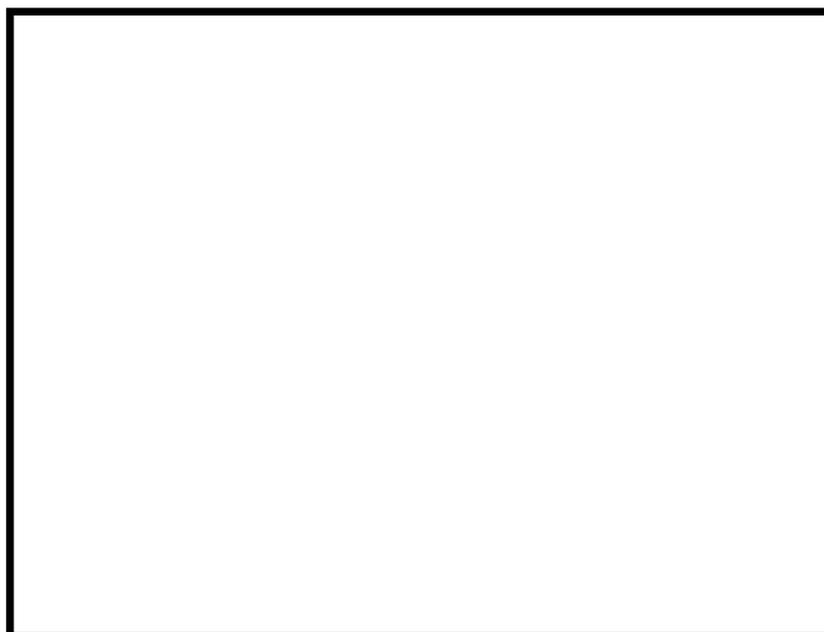


図4-6 計算モデル（側面方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 4-5 及び図 4-6 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 (F_b)

正面方向

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 + M_x}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

側面方向

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot C_H \cdot h_1 - m \cdot g \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 + M_z}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

ここで、検出器架台及びベースプレート全体の重心における各水平及び鉛直方向の検出器からの作用力 F_xB 及び F_yB は次式で求める。

$$F_x B = C_H \cdot g \cdot W_b + F_x \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

$$F_y B = (C_V - 1) \cdot g \cdot W_b + F_y \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

また、検出器架台及びベースプレート全体の重心における水平横軸及び水平縦軸回りの検出器からのモーメント M_x 及び M_z は次式で求める。

$$M_x = F_y B \cdot \ell_2 + F_x B \cdot (H_1 + h_1) \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

$$M_z = F_y B \cdot (L_b + \ell_2) + F_x B \cdot (H_1 + h_1) \dots\dots\dots (4.6.1.1.6)$$

引張応力 (σ_b)

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.1.7)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式で求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d \dots\dots\dots (4.6.1.1.8)$$

(2) せん断応力

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。

せん断力 (Q_b)

$$Q_b = m \cdot g \cdot C_H + F_x B \dots\dots\dots (4.6.1.1.9)$$

せん断応力 (τ_b)

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (4.6.1.1.10)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（検出器架台）及び荷重（地震荷重，取付荷重及びスロッシング荷重の組合せ）は，本計算書の【使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）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。

4.8 応力の評価

4.8.1 基礎ボルトの応力評価

4.6.1.1 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

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} 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 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	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}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
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. 機能維持評価

5.1 電氣的機能維持評価方法

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氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は「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。

使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）に設置される検出器の機能確認済加速度には、検出器の正弦波加振試験において、電氣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 4-1 に示す。

表 5-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位・温度計 (S A広域) (L/TE-G41-N200)	コネクタ	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

使用済燃料プール水位・温度計（S A広域）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・温度計（S A 広域）の耐震性についての評価結果】

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 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 水位・温度計 (S A 広域)	常設/防止 常設/緩和				—	—	$C_H=1.74^{*2}$	$C_V=1.52^{*2}$	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S s の震度と同等以上の設計震度

1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プール水位・温度計（S A 広域）（L/TE-G41-N200）

部材	m (kg)	W _b (kg)	h ₁ (mm)	H ₁ (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	L _b (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f
基礎ボルト								113.1 (M12)	9	3

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	F _x (N)	F _y (N)	転倒方向	
							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	174	472	—	246			—	側面方向

1.3 計算数値

1.3.1 使用済燃料プール水位・温度計（S A 広域）（L/TE-G41-N200）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
基礎ボルト	—	5.911×10^3	—	6.627×10^3

1.4 結論

1.4.1 使用済燃料プール水位・温度計（S A 広域）（L/TE-G41-N200）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	—	—	$\sigma_b=53$	$f_{ts}=147^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=7$	$f_{sb}=113$

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

1.4.2 電氣的機能の評価結果 (単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール 水位・温度計（S A 広域） （L/TE-G41-N200）	水平方向	1.46	□
	鉛直方向	1.26	□

評価用加速度（1.0ZPA）は機能確認済加速度以下である。