

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3
提出年月日	平成30年9月10日

V-2-4-2-5 使用済燃料プール水位・温度（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	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.	検出器の評価	8
4.1	検出器の地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1.1	検出器の地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.1.2	検出器の荷重の組合せ及び許容応力	8
4.1.3	検出器の解析モデル及び諸元	10
4.1.4	検出器の固有周期	12
4.1.5	検出器の設計用地震力	13
4.1.6	検出器の計算方法	14
4.1.7	検出器の計算条件	16
4.1.8	検出器の応力の評価	16
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	17
5.1.3	検出器架台の固有値解析結果	18
5.2	検出器架台の構造強度評価	19
5.2.1	検出器架台の構造強度評価方法	19
5.2.2	検出器架台の荷重の組合せ及び許容応力	19
5.2.3	検出器架台の設計用地震力	21
5.2.4	検出器架台の計算方法	22
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	26
6.	機能維持評価	27
6.1	電氣的機能維持評価方法	27
7.	評価結果	28
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	28

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（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（S A広域）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

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）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、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>また、検出器は使用済燃料プール壁面の埋込金物に検出器サポートで固定する。</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</p>	<p>The diagram illustrates the detector structure in three views: side view (側面), front view (正面), and a detailed side view of the detector assembly (側面). Dimensions are provided in millimeters (mm).</p> <ul style="list-style-type: none"> Side View (側面): Shows the vertical arrangement of components. The detector (検出器) is at the top, followed by the detector frame (検出器架台) with a height of 365 mm. Below it is the temperature-resistance body (測温抵抗体) with a total length of 11938 mm. The detector support (埋込金物・検出器サポート) is located at the bottom of the resistance body. Front View (正面): Shows the detector assembly mounted on a base plate (ベースプレート). The detector frame (検出器架台) is 1291 mm wide. The detector (検出器) is 152 mm wide. The base plate is 564 mm wide. The detector is secured to the base plate by a detector frame mounting bolt (検出器架台取付ボルト) and a mechanical anchor (基礎ボルト (メカニカルアンカ)). Detail Side View (側面): Shows the detector frame beam (検出器架台梁) with a socket (ソケット) at its end. The detector frame (検出器架台) is 345 mm high. The base plate (ベースプレート) is 645 mm wide. <p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

使用済燃料プール水位・温度計（SA広域）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水位・温度計（SA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、検出器については「4.1.3 検出器の解析モデル及び諸元」及び「4.1.4 検出器の固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力が許容限界内に収まることを、「4.1 検出器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・温度計（SA広域）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」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維持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（SA広域）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

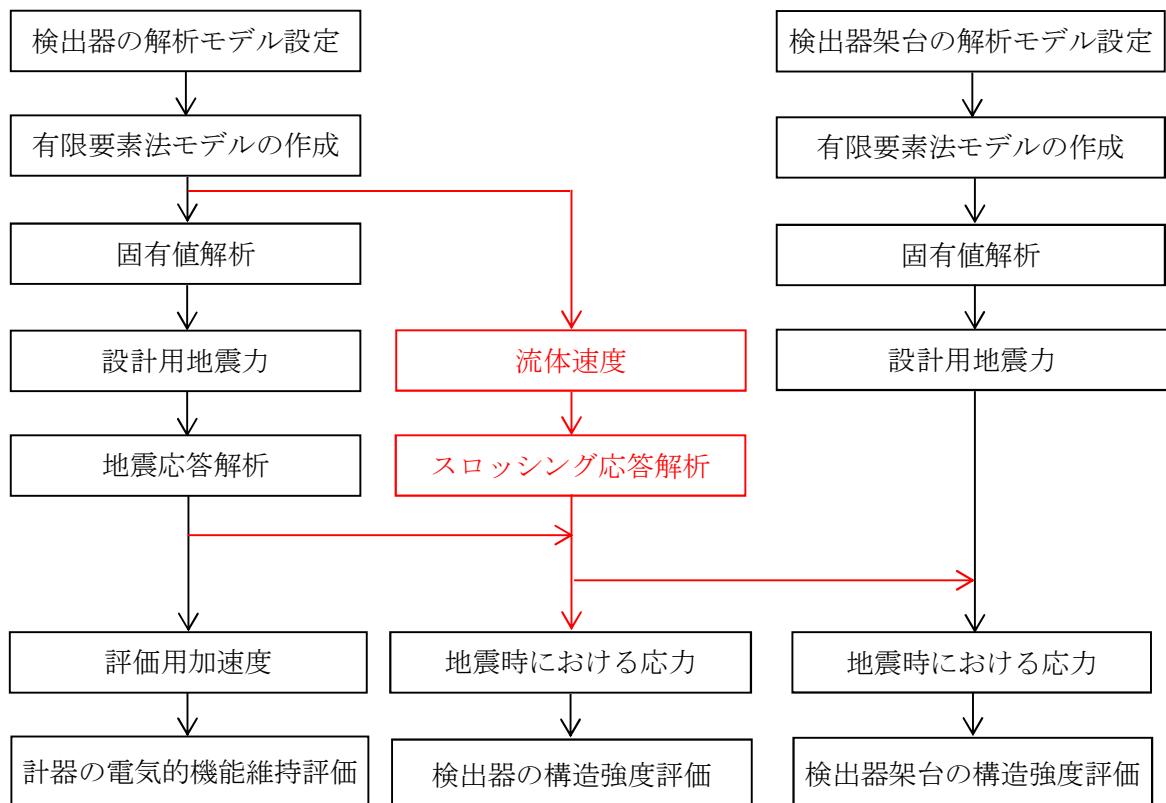


図 2-1 使用済燃料プール水位・温度（SA広域）の耐震評価フロー

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) (以下「設計・建設規格」という。)
- (5) 発電用原子力設備規格 材料規格 (2012年版) J S M E S N J 1 -2012
(日本機械学会)

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
A_p	スロッシングにおける検出器の投影面積	mm^2
C_d	検出器の抗力係数	—
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	mm
d_o	検出器保護管外径	mm
d_i	検出器保護管内径	mm
d_r	検出器芯棒外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
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_s	スロッシングにより検出器に生じる抗力	N
F_x	検出器取付部における水平方向荷重	N
F_{x1}	地震力における水平方向荷重	N
F_{x11}	地震力における X 方向荷重	N
F_{x12}	地震力における Z 方向荷重	N
F_{x2}	スロッシングにおける水平方向荷重	N
F_{x21}	スロッシングにおける X 方向荷重	N
F_{x22}	スロッシングにおける Z 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_{xB}	検出器取付部に作用する力 (水平方向)	N
F_{yB}	検出器取付部に作用する力 (鉛直方向)	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)	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)	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	検出器架台の据付面から重心までの距離	mm
h_2	検出器取付部から検出器架台の重心までの鉛直方向距離	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*	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*	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
l_p	検出器長さ	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取付部から作用するモーメント (X軸周り)	N・mm
M_z	検出器架台の重心における検出器取付部から作用するモーメント (Z軸周り)	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	検出器質量	kg
m_w	検出器内包水質量	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
V_p	スロッシングにおける流速により生じる検出器の速度	m/s
V_w	スロッシングにおける流速	m/s
π	円周率	—
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_p	検出器に生じる曲げ応力	MPa
σ_{p1}	地震力における曲げ応力	MPa
σ_{p2}	スロッシングにおける曲げ応力	MPa
σ_{p21}	スロッシングにおけるX方向曲げ応力	MPa
σ_{p22}	スロッシングにおけるZ方向曲げ応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa
ρ	水の密度	kg/m ³
ν	ポアソン比	—

注記 ※ : $\theta_1 \leq \theta_2$

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 2-2 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	—	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*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の場合は、小数点以下表示とする。

*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

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）の耐震評価は、検出器の上端部がボール形状であり、回転方向を拘束しない構造であることから、検出器と検出器架台についてそれぞれ評価を行う。検出器については、「4.1 検出器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評価を実施する。

4. 検出器の評価

4.1 検出器の地震応答解析及び構造強度評価

4.1.1 検出器の地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 地震力は、検出器に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) スロッシングは、検出器に対して、水平方向から作用するものとする。
- (3) 曲げの変形モードを考慮する。
- (4) 計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.1.2 検出器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

使用済燃料プール水位・温度（S A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。

4.1.2.2 検出器の許容応力

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器の評価に用いる許容応力は、「4.8.1 検出器の応力評価」に示す。

4.1.2.3 検出器の使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器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 4-2 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（SA広 域）	常設／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s^{*3, *4}$	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s^{*4}$	$V_A S$ ($V_A S$ 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 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		S_y (MPa)	S_u (MPa)	$S_y(RT)$ (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
		(°C)						
検出器	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	171	—	—	—	—

4.1.3 検出器の解析モデル及び諸元

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器の解析モデルの概要を以下に示す。また、解析モデルを図4-1に、機器の諸元を表4-3に示す。

- (1) 使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器は、図4-1に示す3次元はりモデルとして考える。
- (2) 拘束条件は、検出器上端の取付部でX Y Z方向を、検出器中部並びに下部サポート点でX Z方向を固定する。
- (3) 円柱形状の検出器に含まれる水の質量及び検出器周囲の流体の付加質量を考慮する。ただし、検出器周囲の流体の付加質量は、検出器の全長における3箇所でのX Z方向にのみ与えられる。
- (4) 検出器周囲の流体の付加質量は各質点に付加する。
- (5) 解析コードは、「ANSYS」を使用し、固有値及び応力を求める。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-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要・ANSYS」に示す。

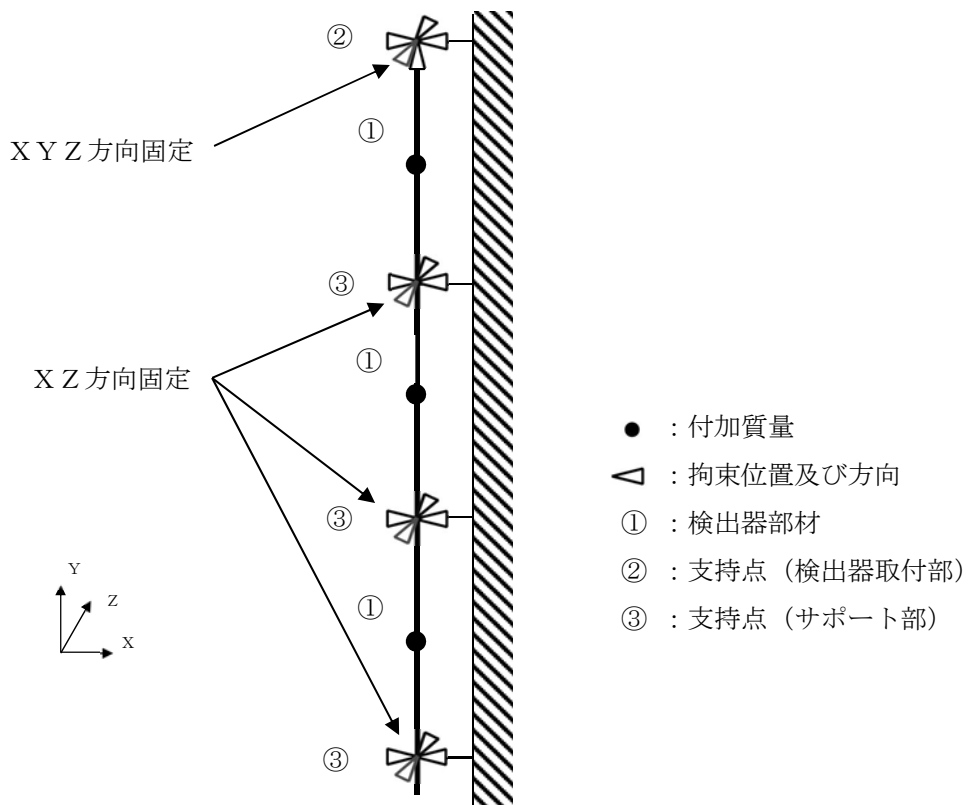


図 4-1 検出器の解析モデル

表4-3 検出器の機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
検出器質量	m_p	kg	
検出器内包水質量	m_w	kg	
保護管外径	d_o	mm	
保護管内径	d_i	mm	
検出器芯棒外径	d_r	mm	
検出器長さ	l_p	mm	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

4.1.4 検出器の固有周期

検出器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。固有値解析の結果、鉛直方向は剛であることを確認した。

表4-4 検出器の固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X方向	Y方向	Z方向
1次		水平	0.316	-0.118×10^{-15}	-0.362×10^{-7}
2次		水平	0.362×10^{-7}	0.233×10^{-15}	0.316
3次		水平	0.344×10^{-2}	-0.411×10^{-15}	-0.270×10^{-8}
4次		水平	0.270×10^{-8}	-0.280×10^{-15}	0.344×10^{-2}
5次		水平	0.892	-0.126×10^{-14}	0.952×10^{-6}
6次		水平	-0.952×10^{-6}	-0.412×10^{-15}	0.892
7次		鉛直	—	—	—

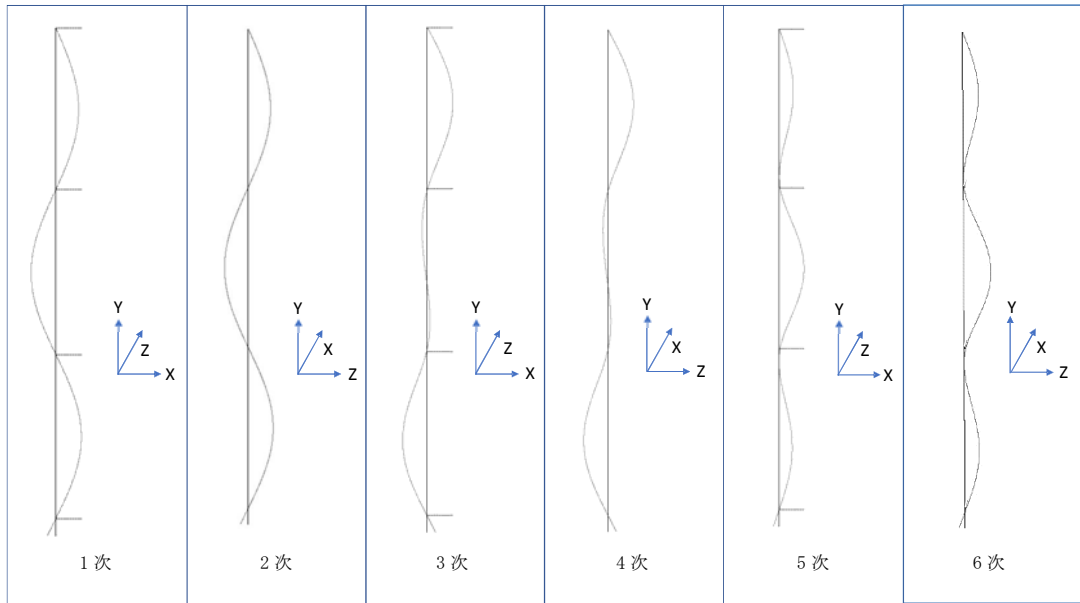


図4-2 検出器振動モード図

4.1.5 検出器の設計用地震力

「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、減衰定数は添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に基づき設定する。

検出器の評価に用いる設計用地震力を表4-5に示す。

表4-5 検出器の評価に用いる設計用地震力

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		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	鉛直
<div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> EL. 46.50 ^{*1}	<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 15px;"></div>		—	—	$C_H=1.74$ 又は*2	$C_V=1.52$	1.0	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：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

4.1.6 検出器の計算方法

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各節点の曲げモーメントを算出する。また、X及びZ方向の曲げモーメントはS R S S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、検出器に発生する曲げ応力を算出する。算出結果は表4-6に示す。

表4-6 地震力における曲げ応力

地震力における曲げ応力 σ_{p1} [MPa]
36

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「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を用いた時刻歴応答解析により検出器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1.2とする。なお、抗力の算出においては、抗力により生じる検出器の曲げによる変位から速度 V_p を算出し、時刻歴毎の流速と繰り返し計算を行うことで抗力の最大値を算出する。

$$F_s = \frac{1}{2} C_d \cdot \rho \cdot A_p (V_w - V_p)^2 \dots\dots\dots (4.1.6.2.1)$$

- (4) 抗力の算出から得られたX及びZ方向の曲げ応力について、SRSS法を用いて組み合わせる。各応力の算出結果を表4-7に示す。

表4-7 スロッシングにおける曲げ応力

基準地震動 S_s	X方向曲げ応力 σ_{p21} [MPa]	Z方向曲げ応力 σ_{p22} [MPa]	スロッシングにおける曲げ応力 σ_{p2} [MPa]
S_s -11	0	2	2
S_s -12	0	9	9
S_s -13	0	9	9*
S_s -14	0	7	7
S_s -21	0	3	3
S_s -22	0	4	4
S_s -31	0	1	1
S_s -D1	1	6	6

注記 * : スロッシングにおける曲げ応力の最大値

4.1.6.3 最大曲げ応力の算出

地震力における曲げ応力及びスロッシングにおける曲げ応力の最大値を絶対値和することにより、検出器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 検出器に生じる曲げ応力

検出器に生じる曲げ応力 σ_p [MPa]
45

4.1.7 検出器の計算条件

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（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。

4.1.8 検出器の応力の評価

4.1.8.1 検出器の応力評価

4.1.6.3 項で求めた検出器に生じる曲げ応力は設計・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

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) 使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台は、5.1.2項に示すはり要素及びシェル要素として考える。

5.1.2 検出器架台の解析モデル及び諸元

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台の解析モデルの概要を以下に示す。

また、解析モデルを図5-1に、機器の諸元を表5-1に示す。

- (1) 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。
- (2) 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「V-5-48 計算機プログラム（解析コード）の概要・ANSYS」に示す。

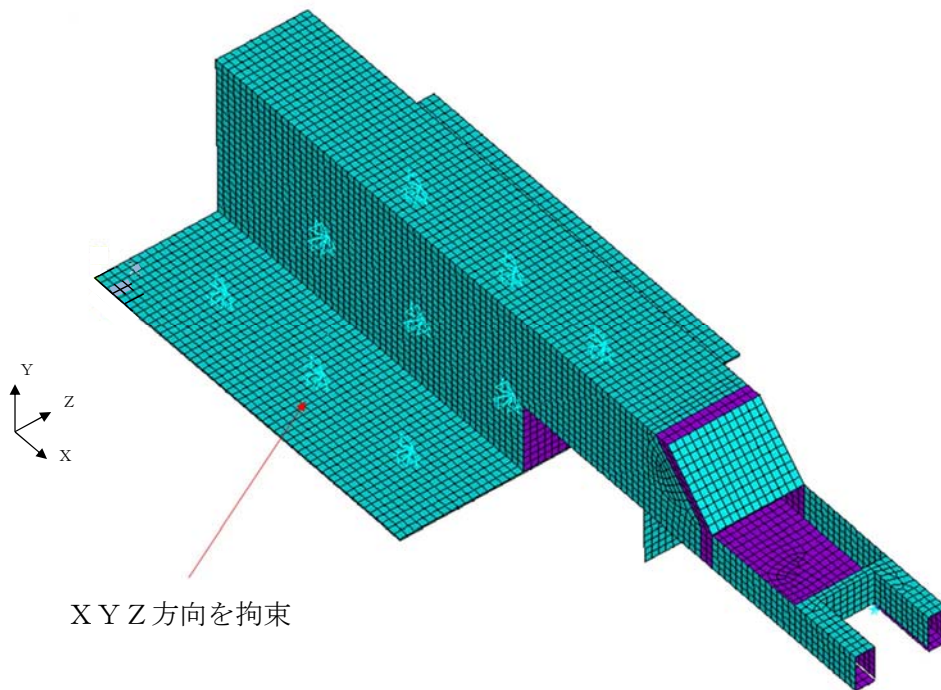


図5-1 検出器架台の解析モデル

表5-1 検出器架台の機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	
質量	m_{b1}	kg	
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	—	
要素数	—	個	
節点数	—	個	

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5-2に示す。

1次モードは水平方向に卓越し、固有周期が0.05秒以下であり剛であることを確認した。また、鉛直方向は2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5-2 検出器架台の固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次		水平

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

- (1) 地震力は、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 「4.1.6 検出器の計算方法」に示す検出器の解析により得られた検出器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5-2及び図5-3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) 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

使用済燃料プール水位・温度（S A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。

5.2.2.2 検出器架台の許容応力

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）検出器架台の許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 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

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）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 5-4 に示す。

表 5-3 許容応力（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 [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

8

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 5-4 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)	F (MPa)	F [*] (MPa)
基礎ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	<input type="text"/>	176	476	205	—	246

5.2.3 検出器架台の設計用地震力

「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。

検出器架台の評価に用いる設計用地震力を表5-5に示す。

表5-5 検出器架台の評価に用いる設計用地震力

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
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> EL. 46.50* ¹			—	—	$C_H=1.74$	$C_V=1.52$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

5.2.4 検出器架台の計算方法

5.2.4.1 検出器取付部における荷重の算出

- (1) 「4.1.6 検出器の計算方法」に示す検出器の地震応答解析により得られた検出器取付部におけるX及びZ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及びZ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。算出結果は表5-6及び表5-7に示す。
- (3) 地震力における水平方向荷重及びスロッシングにおける水平方向荷重の最大値を絶対値和することにより、検出器取付部における水平方向荷重を算出する。
- (4) 検出器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取付部における鉛直方向荷重を算出する。検出器取付部における荷重の算出結果は表5-8に示す。

表5-6 地震力における水平方向荷重

X方向荷重 F_{x11} [N]	Z方向荷重 F_{x12} [N]	水平方向荷重 F_{x1} [N]
435.9	435.9	616.5

表5-7 スロッシングにおける水平方向荷重

基準地震動 S s	X方向荷重 F_{x21} [N]	Z方向荷重 F_{x22} [N]	水平方向荷重 F_{x2} [N]
Ss-11	0.9341	59.74	59.75
Ss-12	2.269	185.8	185.8
Ss-13	1.735	196.5	196.5*
Ss-14	1.512	173.8	173.8
Ss-21	4.270	71.39	71.52
Ss-22	2.669	120.9	120.9
Ss-31	2.713	32.29	32.41
Ss-D1	6.628	150.1	150.3

注記 * : スロッシングにおける水平方向荷重の最大値

表5-8 検出器取付部における荷重

水平方向荷重 F_x [N]	鉛直方向荷重 F_y [N]
813.0	4.423×10^3

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、検出器が架台の取付部にもたらす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。

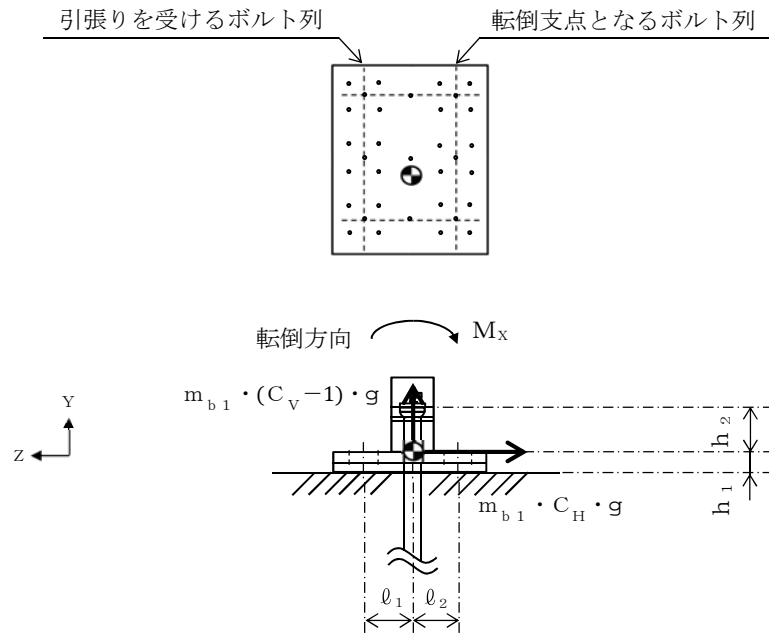


図5-2 計算モデル（左右方向転倒）

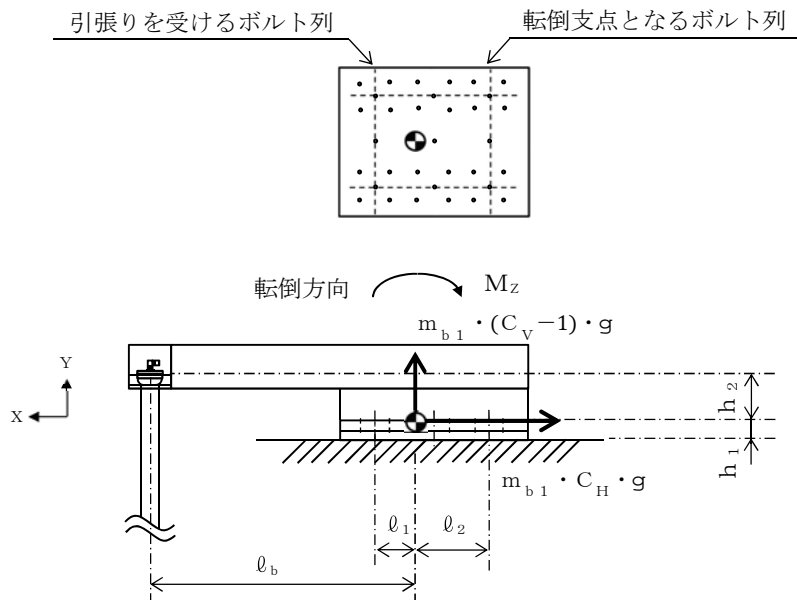


図5-3 計算モデル（前後方向転倒）

(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 5-2 及び図 5-3 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)

左右方向

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

前後方向

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

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

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

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

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

$$M_x = F_{yB} \cdot \ell_2 + F_{xB} \cdot (h_1 + h_2) \dots\dots\dots (5.2.4.2.5)$$

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

引張応力 (σ_b)

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

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

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)

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

せん断応力 (τ_b)

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

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（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。

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

5.2.4.2 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。

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

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}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

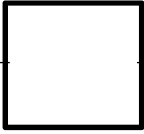
評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時又は地震後の電氣的機能維持を評価する。

評価用加速度は、水平方向については「4.1.6 検出器の計算方法」に示す解析により得られた検出器に生じる最大加速度を用い、鉛直方向については検出器が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。

使用済燃料プール水位・温度（S A広域）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、同形式の構成部位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加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 4-9 に示す。

表 4-9 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール水位・温度計 (S A広域)	水平	
	鉛直	

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（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（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 検出器

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)	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 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	<input type="text"/> EL. 46.50*1	—	—	$C_H=1.74$ 又は*2	$C_V=1.52$	<input type="text"/>

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 基準地震動 S_s 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_p (kg)	m_w (kg)	d_o (mm)	d_i (mm)	d_r (mm)	ℓ_p (mm)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
検出器	<input type="text"/>						171	—	—	—

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
2次		水平
3次		水平
4次		水平
5次		水平
6次		水平
7次		鉛直

1.1.4 計算数値

1.1.4.1 検出器に生じる曲げ応力 (単位: MPa)

方向	地震力における曲げ応力	スロッシングにおける曲げ応力*	検出器に生じる曲げ応力
X方向	—	$\sigma_{p21}=0$	—
Z方向	—	$\sigma_{p22}=9$	—
水平方向	$\sigma_{p1}=36$	$\sigma_{p2}=9$	$\sigma_p=45$

注記 * : スロッシングにおける曲げ応力の最大値

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_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 (SA広域)	常設/防止 常設/緩和	<div style="border: 1px solid black; width: 80px; height: 20px; margin: 0 auto;"></div> EL. 46.50*1	<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div>		-	-	$C_H=1.74$	$C_V=1.52$	<div style="border: 1px solid black; width: 60px; height: 30px; margin: 0 auto;"></div>

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

1.2.2 機器要目

部材	m_{b1} (kg)	m_{b2} (kg)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	ℓ_1^* (mm)	ℓ_2^* (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f^*
基礎ボルト	<div style="border: 1px solid black; width: 500px; height: 40px; margin: 0 auto;"></div>									3
										3

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_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	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	176	476	-	246	-	前後方向

1.2.3 計算数値

1.2.3.1 検出器取付部における荷重

(単位：N)

方向	地震における荷重	スロッシングにおける荷重*	検出器取付部における荷重
X方向			
Z方向			
水平方向			
鉛直方向			

注記 *：スロッシングにおける荷重の最大値

1.2.3.2 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{xB}		F_{yB}		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_z	
	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				

1.3 結論

1.3.1 使用済燃料プール水位・温度（S A 広域）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	SUS304	曲 げ	—	—	$\sigma_p=45$	$S_y=171$
基礎ボルト	SUS316	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

1.3.2 電気的機能の評価結果

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール 水位・温度（S A 広域）	水平方向	5.20	□
	鉛直方向	1.26	

評価用加速度（水平：検出器に生じる最大加速度、鉛直：1.0ZPA）は機能確認済加速度以下である。

