

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-262 改1
提出年月日	平成30年6月26日

V-2-10-2-9-3 取水ピット水位計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	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
4.1 固有周期の算出方法	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
5.2.2 許容応力	7
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	7
5.3 計算方法	10
5.3.1 応力の計算方法	10
5.4 計算条件	11
5.5 応力の評価	11
6. 機能維持評価	12
6.1 電氣的機能維持評価方法	12
7. 評価結果	13
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	13

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、取水ピット水位計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。

取水ピット水位計は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、分類に応じた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

取水ピット水位計の構造計画を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 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>検出器本体は、取付ボルトにより取水ピット水位計検出器取付座に設置する。</p>	<p>検出器</p>	

2.2 評価方針

取水ピット水位計の応力評価は、「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、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「5. 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、計器スタンスの機能維持評価は、「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、「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。

取水ピット水位計の耐震評価フローを図 2.2-1 に示す。

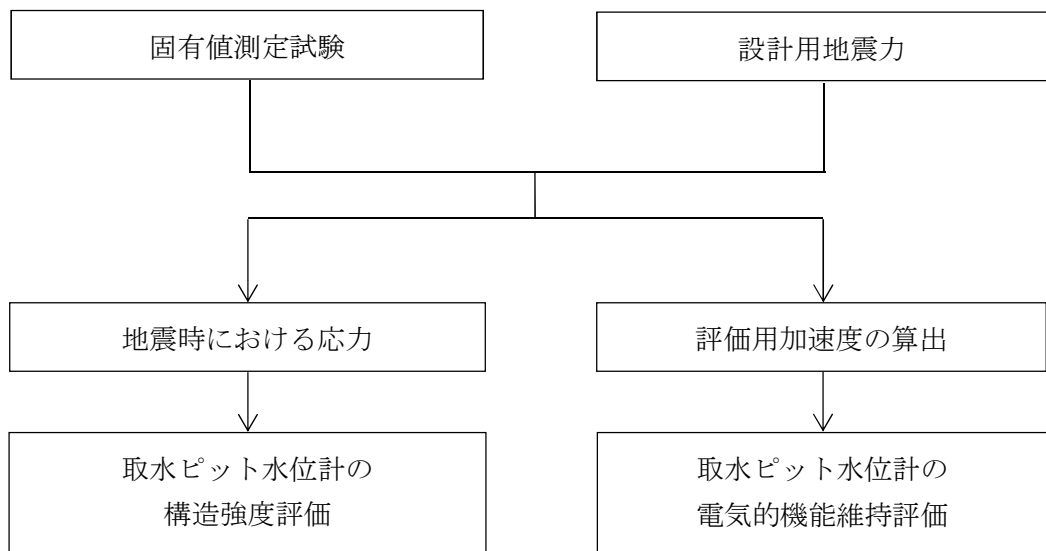


図 2.2-1 取水ピット水位計の耐震評価フロー

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 NC1-2005/2007）（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	取付ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	取付ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値	MPa
F_b	取付ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付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取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h	取付面から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と取付ボルト間の水平方向距離*1	mm
ℓ_2	重心と取付ボルト間の水平方向距離*1	mm
m	運転時質量	kg
n	取付ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する取付ボルトの本数	—
Q_b	取付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
π	円周率	—
σ_b	取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

*1 : $\ell_1 \leq \ell_2$

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2.5-1に示すとおりとする。

表2.5-1 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	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積	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

取水ピット水位計の耐震評価は、「5.1 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取付ボルトについて実施する。取水ピット水位計の耐震評価部位については、表 2.1-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の算出方法。

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。固有周期を表 4.1-1 に示す。

表 4.1-1 固有周期

評価部位	方向	固有周期(s)
取水ピット水位計	水平	□
	鉛直	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 取水ピット水位計の質量は先端に集中するものとする。
- (2) 地震力は取水ピット水位計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。
- (3) 転倒方向は、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。
- (4) 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。
- (5) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

取水ピット水位計は取水ピット上部のコンクリート躯体内に設置するため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に示す通り、風荷重及び積雪荷重を考慮しない。取水ピット水位計の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5.2-1 に示す。

5.2.2 許容応力

取水ピット水位計の許容応力を表 5.2-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

取水ピット水位計の使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5.2-3 に示す。

表 5.2-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電 用原子炉の 附属施設	浸水防 護施設	取水ピット水位計	S	—*1	$D + P_D + M_D + S_s$ *2	Ⅲ _A S

注記 *1：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。

*2： S_s と組合せ、Ⅲ_ASの評価を実施する。

表 5.2-2 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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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 5.2-3 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		取付ボルト		周囲環境温度	40	235

5.3 計算方法

5.3.1 応力の計算方法

取付ボルトの応力は、地震による引張応力とせん断応力について計算する。図 5.3-1 に計算モデルを示す。

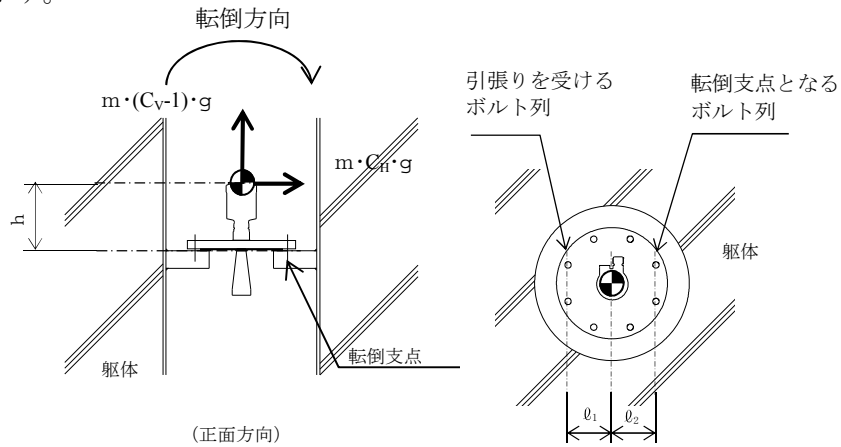


図 5.3-1 計算モデル

a. 引張応力

取付ボルトに作用する引張力 F_b は次式にて求める。

$$F_b = \frac{(m \cdot g \cdot CH \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - C_v)) \cdot l_2}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.3.1)$$

取付ボルトに作用する引張応力 σ_b は次式にて求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.3.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.3.3)$$

b. せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots \dots \dots (5.3.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.3.5)$$

5.4 計算条件

応力計算に使用する各諸元を表 5.4-1 に示す。

表 5.4-1 各諸元

記号	数値	単位
m		kg
A _b		mm ²
C _H	0.46	—
C _V	1.78	—
d		mm
g	9.80665	m/s ²
h		mm
ℓ ₁		mm
ℓ ₂		mm
n		—
nf		—

5.5 応力の評価

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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.5.1)$$

せん断応力 τ_bは、せん断力のみを受ける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

取水ピット水位計の電氣的機能維持評価について、以下に示す。

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により、地震時及び地震後の電氣的機能維持を確認する。

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。

機能確認済加速度は、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 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 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
取水ピット水位計 検出器	水平	
	鉛直	

7 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

取水ピット水位計（検出部）の設計基準対象施設として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。

【取水ピット水位計の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件（取水ピット水位計）

機器名称	耐震設計上の重要度分類	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	
取水ピット水位計	S	取水ピット 海水ポンプ室 EL. 0.3*1			—*2	—*2	$C_H=0.46$	$C_V=1.78$	40

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：Ⅲ_sSについては、基準地震動 S_s で評価する。

1.2 機器要目

1.2.1 取水ピット水位計

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	A_b (mm ²)	n	n_f
取付ボルト							

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
取付ボルト	235	400	235	—	—	正面方向

注記 *：重心位置を保守的な位置に設定して評価する。

1.3 計算数値

1.3.1 取水ピット水位計

(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
取付ボルト	—	64.90	—	77.59

1.4 結論

1.4.1 取水ピット水位計の応力

(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
取付ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=176^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=1$	$f_{sb}=135$

すべて許容応力以下である。

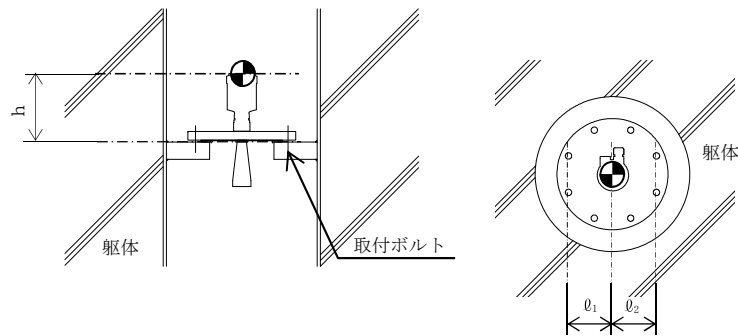
注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$ より算出

1.4.2 電氣的機能の評価結果

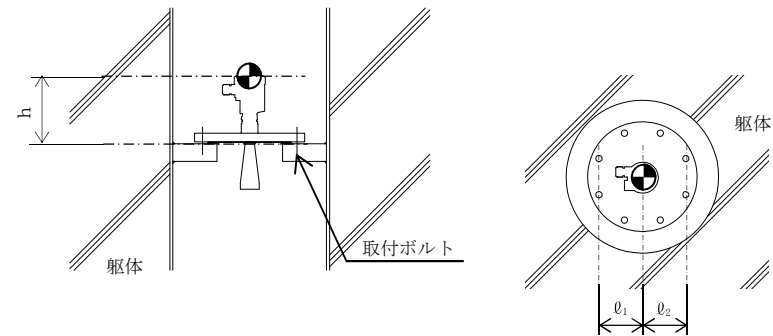
(単位： $\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	能確認済加速度
取水ピット水位計 検出器	水平方向	0.38	
	鉛直方向	1.48	

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。



(正面方向)



(側面方向)