

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-289 改2
提出年月日	平成30年7月17日

V-3-別添-3-2-8-2 取水ピット水位計の強度計算書

目次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	4
2.4 記号の説明	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. 強度評価	7
5.1 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	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
6. 設計用地震力	9
7. 計算方法	10
7.1 突き上げ津波荷重の計算方法	10
7.2 応力の計算方法	10
7.3 評価条件	11
7.4 応力の評価	12
8. 評価結果	13

1. 概要

本計算書は、「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に基づき、津波監視設備のうち取水ピット水位計が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し、主要な構造部材が構造健全性を有することを確認するものである。

2. 一般事項

2.1 位置

取水ピット水位計の構造計画を表 2.1-1 に示す。

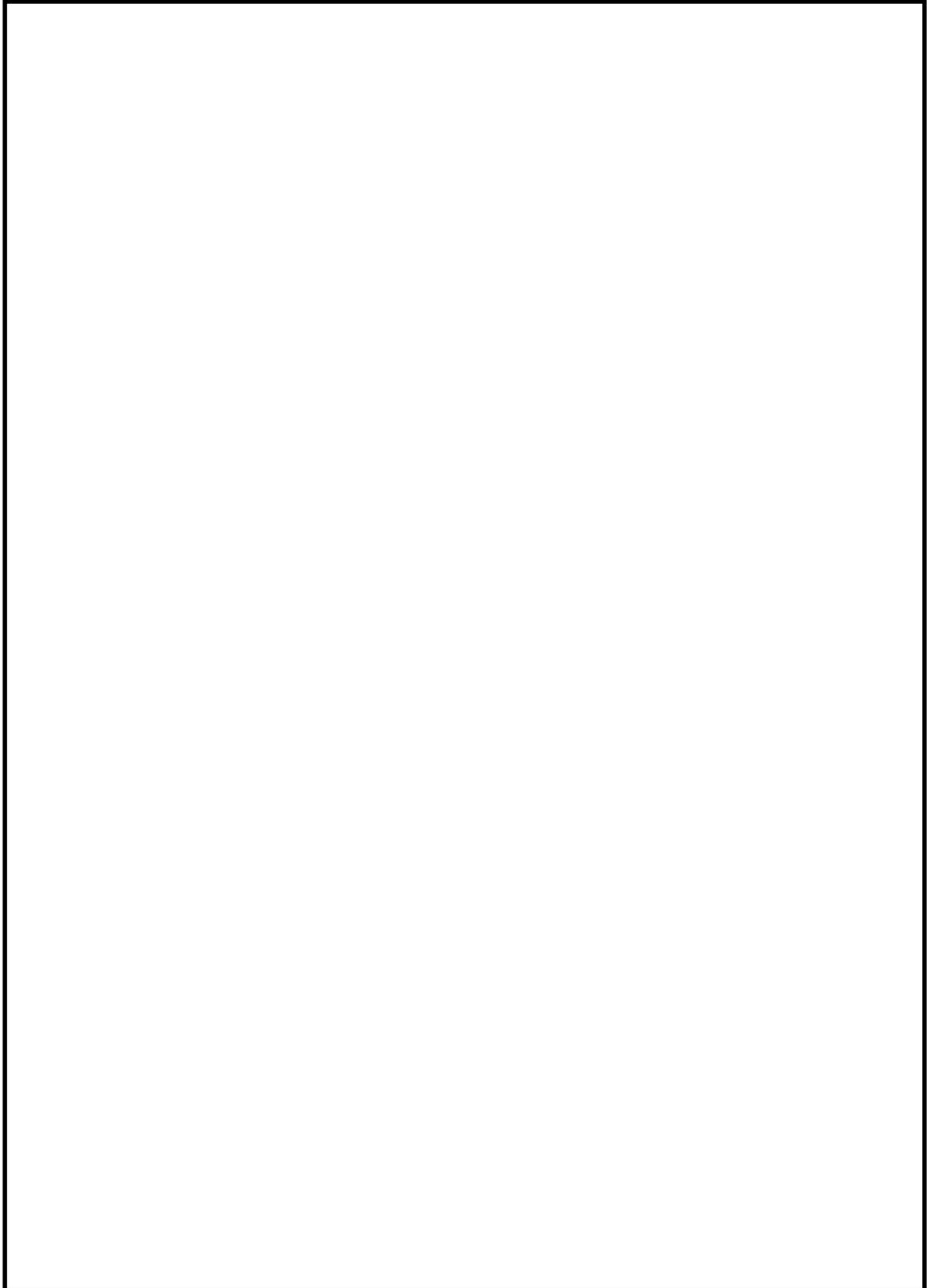


図 2.1-1 津波監視設備配置図

2.2 構造概要

取水ピット水位計の構造概要を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 構造概要

設備名称	構造概要		説明図
	主体構造	主体構造	
取水ピット 水位計	検出器	検出器は、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>平面</p> <p>躯体</p> <p>正面</p> <p>取付ボルト</p> <p>躯体</p> <p>側面</p> <p>検出器</p> <p>取水ピット水位計検出器取付座</p> <p>躯体</p> <p>(正面方向)</p> <p>(側面方向)</p>

2.3 評価方針

取水ピット水位計の強度評価は、「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、取水ピット水位計の評価対象部位に作用する応力等が許容限界以下であることを「5.1 強度評価方法」に示す方法により、「7.3 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「8. 強度評価結果」にて確認する。

取水ピット水位計の強度評価においては、その構造を踏まえ、津波及び余震に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し、評価対象部位を設定する。強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、津波に伴う荷重作用時（以下、「津波時」という。）及び津波に伴う荷重と余震に伴う荷重の作用時（以下、「重畳時」という。）を考慮し、評価される最大荷重を設定する。重畳時においては、「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す津波荷重との重畳を考慮する弾性設計用地震動 S_d を入力して得られた最大床応答加速度の最大値を設計震度として用いる。

取水ピット水位計の強度評価フローを図 2.3-1 に示す。

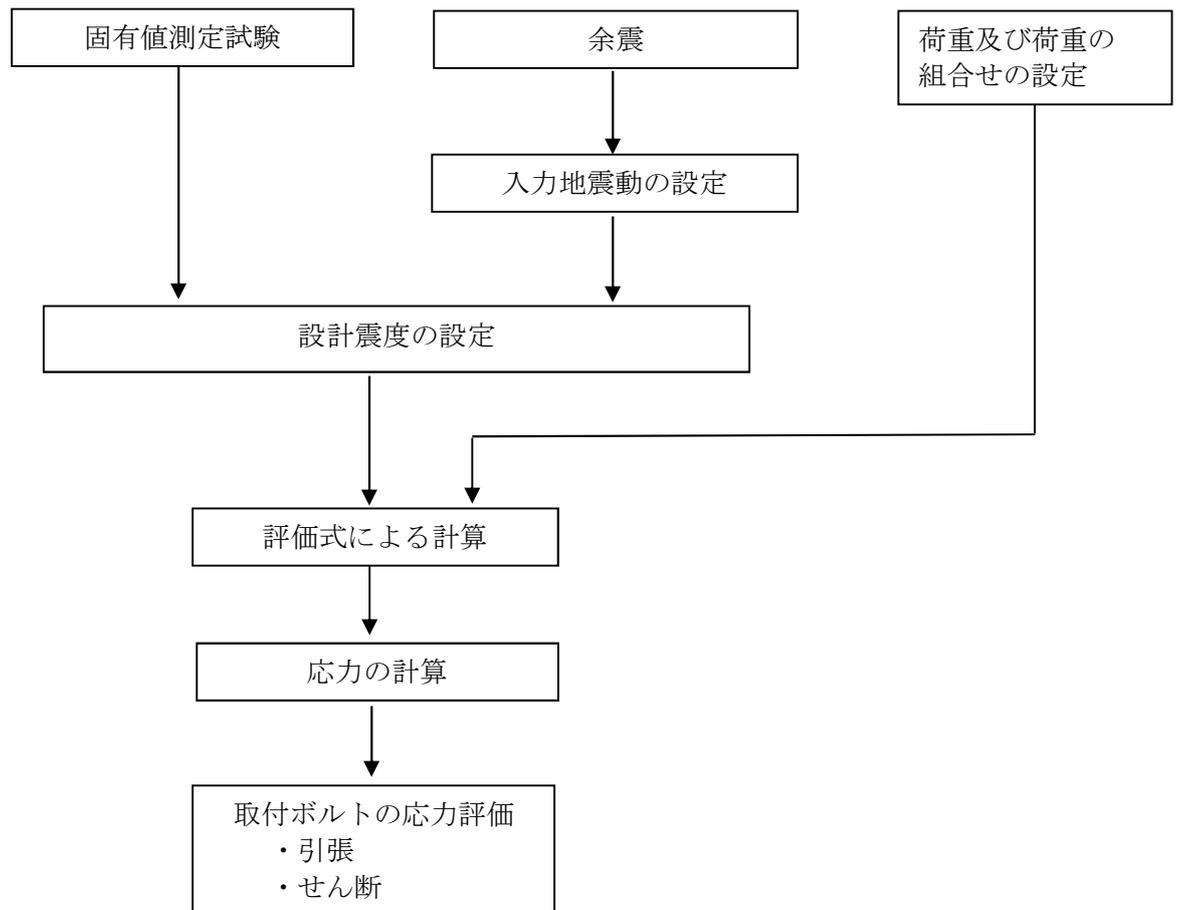


図 2.3-1 取水ピット水位計の強度評価フロー

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
ρ	海水密度	kg/m^3
Th	津波高さ	m
$A1$	流れ方向の投影面積	mm^2
$B1$	検出器取付座開口部径	mm
CD	抗力係数	—
U	流速	m/s

*1 : $l_1 \leq l_2$

3. 評価部位

取水ピット水位計の構造強度評価は、「2.2 構造概要」にて設定している構造を踏まえて、津波に伴う荷重の作用方向及び伝達過程を考慮し設定する。

余震による慣性力及び津波により突上げ津波荷重が作用し、その荷重は、取水ピット水位計検出器取付座及び取付ボルトに掛かることから、取水ピット水位計の強度評価における評価対象部位は、強度評価上厳しくなる取付ボルトを対象とする。取水ピット水位計の強度評価部位については、表 2.2-1 の構造概要に示す。

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)
取水ピット水位計検出器	水平	
	鉛直	

5. 強度評価

5.1 強度評価方法

取水ピット水位計の強度評価は、「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえて、「3 評価部位」にて設定する評価対象部位に作用する応力等が「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」にて示す許容限界以下であることを確認する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ

強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」の「4.1 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せを用いる。取水ピット水位計の荷重の組合せを表 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を表 5.2-3 に示す。

表 5.2-1 荷重の組合せ

施設区分		機器名称	荷重の組合せ
その他発電 用原子炉の 付属施設	浸水防 護施設	取水ピット水位計	$D + S_d + P_t$

注記 * : Dは固定荷重, S_d は余震荷重, P_t は突き上げ津波荷重を示す。

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
$III_A S^{*3}$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

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。

*3 : 地震後, 津波後の再使用性や津波の繰返し作用を想定し, 当該構造物全体の変形能力に対して浸水防護機能として十分な余裕を有するよう, 設備を構成する材料が弾性域内に収まることを基本とする。

表 5.2-3 使用材料の許容応力評価条件

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	$S_y (R T)$ (MPa)
		取付ボルト		周囲環境温度	40	205

6. 設計用地震力

余震荷重は「V-3-別添 3-1 津波への配慮が必要な施設の強度計算の方針」に示す通り弾性設計用地震動 S_a-D1 に伴う地震力（動水圧含む。）とする。強度評価における弾性設計用地震動 S_a-D1 に伴う地震力については、表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 設計用地震力

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)		余震による設計震度 ^{*2}	
		水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
S	取水ピット 海水ポンプ室 EL. 0.3 ^{*1}			$C_H=0.23$	$C_V=0.65$

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析結果により，取水ピット水位計検出器の固有値が 0.05 s 以下であることを確認したため，最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮した設計震度を設定した。

7. 計算方法

取水ピット水位計に作用する応力及び算出式を示す。

7.1 突き上げ津波荷重の計算方法

取水ピット水位計に作用する突き上げ津波荷重 P_t は次式にて求める。

$$P_t = \frac{\rho \cdot g \cdot Th \cdot A1 + 0.5 \cdot CD \cdot \rho \cdot A1 \cdot U^2}{10^6} \dots\dots\dots (7.1.1)$$

流れ方向の投影面積 $A1$ は次式にて求める。

$$A1 = \left(\frac{B1}{2}\right)^2 \cdot \pi \dots\dots\dots (7.1.2)$$

突き上げ津波荷重 P_t の計算結果を表 7.1-1 に示す。

表 7.1-1 突き上げ津波荷重

評価部位	突き上げ津波荷重(N)
取水ピット水位計	4982

7.2 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 7.2-1 に計算モデルを示す。

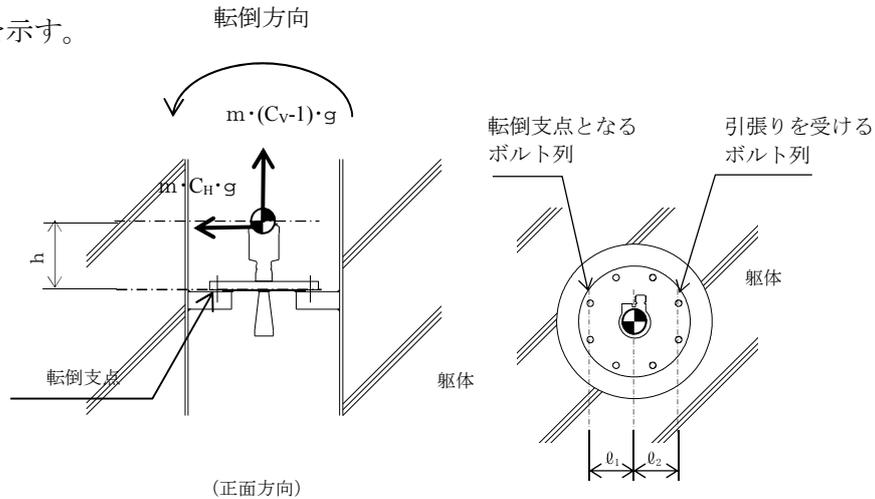


図 7.2-2 計算モデル

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。

$$F_b = \frac{m \cdot g \cdot CH \cdot h - m \cdot g \cdot (1 - Cv) \cdot l1 + Pt \cdot l2}{nf \cdot (l1 + l2)} \dots\dots\dots (7.2.1)$$

取付ボルトに作用する引張応力 σ_b は次式にて求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (7.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (7.2.3)$$

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

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (7.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (7.2.5)$$

7.3 評価条件

応力計算に使用する各諸元を表 7.3-1 に示す。

表 7.3-1 各諸元

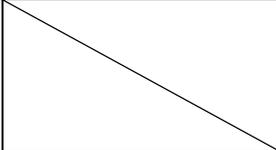
記号	数値	単位
m		kg
A_b		mm^2
C_H	0.23	—
C_V	0.65	—
d		mm
g	9.80665	m/s^2
h		mm
ℓ_1		mm
ℓ_2		mm
n		—
nf		—
ρ	1030	kg/m^3
Th	22	m
A1		mm^m
B1		mm
CD	1.2	—
U	2	m/s

7.4 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (7.4.1)$$

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
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

8. 評価結果

取水ピット水位計の強度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強度を有していることを確認した。

(1) 強度評価結果

強度評価の結果の表 8.1-1 に示す。

表 8.1-1 取水ピット水位計の構造強度評価結果 (単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力
取付ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 7$	$f_{ts} = 176^*$
		せん断	$\tau_b = 1$	$f_{sb} = 135$

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