

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-288 改4 |
| 提出年月日 | 平成30年9月19日 |

V-3-別添 3-2-8-1 潮位計の強度計算書

目次

| | |
|------------------|----|
| 1. 概要 | 1 |
| 2. 一般事項 | 2 |
| 2.1 配置概要 | 2 |
| 2.2 構造計画 | 3 |
| 2.3 評価方針 | 4 |
| 2.4 適用基準 | 5 |
| 2.5 記号の説明 | 5 |
| 3. 評価部位 | 7 |
| 4. 固有周期 | 7 |
| 4.1 固有周期の算出方法 | 7 |
| 4.2 固有周期の計算条件 | 7 |
| 4.3 固有周期の計算結果 | 9 |
| 5. 構造強度評価 | 9 |
| 5.1 強度評価方法 | 9 |
| 5.2 荷重の組合せ及び許容限界 | 9 |
| 5.3 設計用地震力 | 11 |
| 5.4 計算方法 | 12 |
| 5.5 計算条件 | 15 |
| 5.6 応力の評価 | 16 |
| 6. 評価結果 | 17 |

1. 概要

本計算書は、添付書類「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」に基づき、津波監視設備のうち潮位計（検出器）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。

津波荷重については、基準津波による津波荷重を考慮した評価と敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

津波監視設備の配置図を図 2.1-1 に示す。

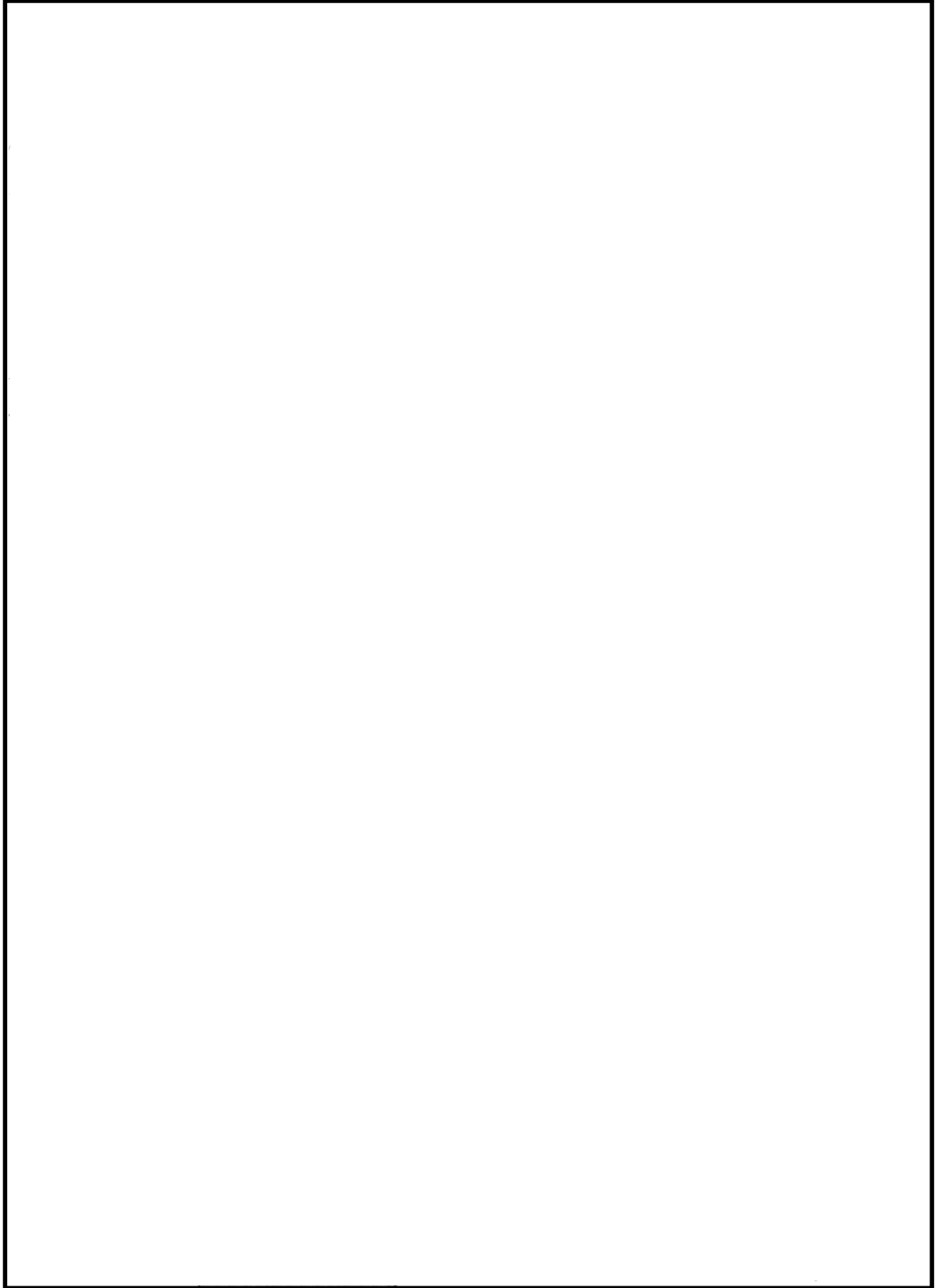


図 2.1-1 津波監視設備配置図

2.2 構造計画

潮位計（検出器）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>潮位計検出器本体は、検出器ホルダにより潮位計案内管に固定され、潮位計案内管は、潮位計ガイド管に取付ボルトにて固定され、案内板により支持される。</p> <p>潮位計ガイド管は、壁に基礎ボルトで設置する。</p> | <p>圧力式水位検出器</p> | |

2.3 評価方針

潮位計（検出器）の強度評価は、添付書類「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、**応力評価により実施する。** 応力評価では、潮位計（検出器）の評価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、「5.5 計算条件」に示す評価条件を用いて評価し、「6. 評価結果」にて確認する。

潮位計（検出器）の強度評価フローを図 2.3-1 に示す。潮位計（検出器）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。重畳時の**評価**においては、添付書類「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設置床の最大応答加速度の最大値を考慮して設定した設計震度を用いる。なお、強度評価に当たっては、基準津波による津波荷重を考慮した評価と敷地に遡上する津波による津波荷重を考慮した評価を実施する。

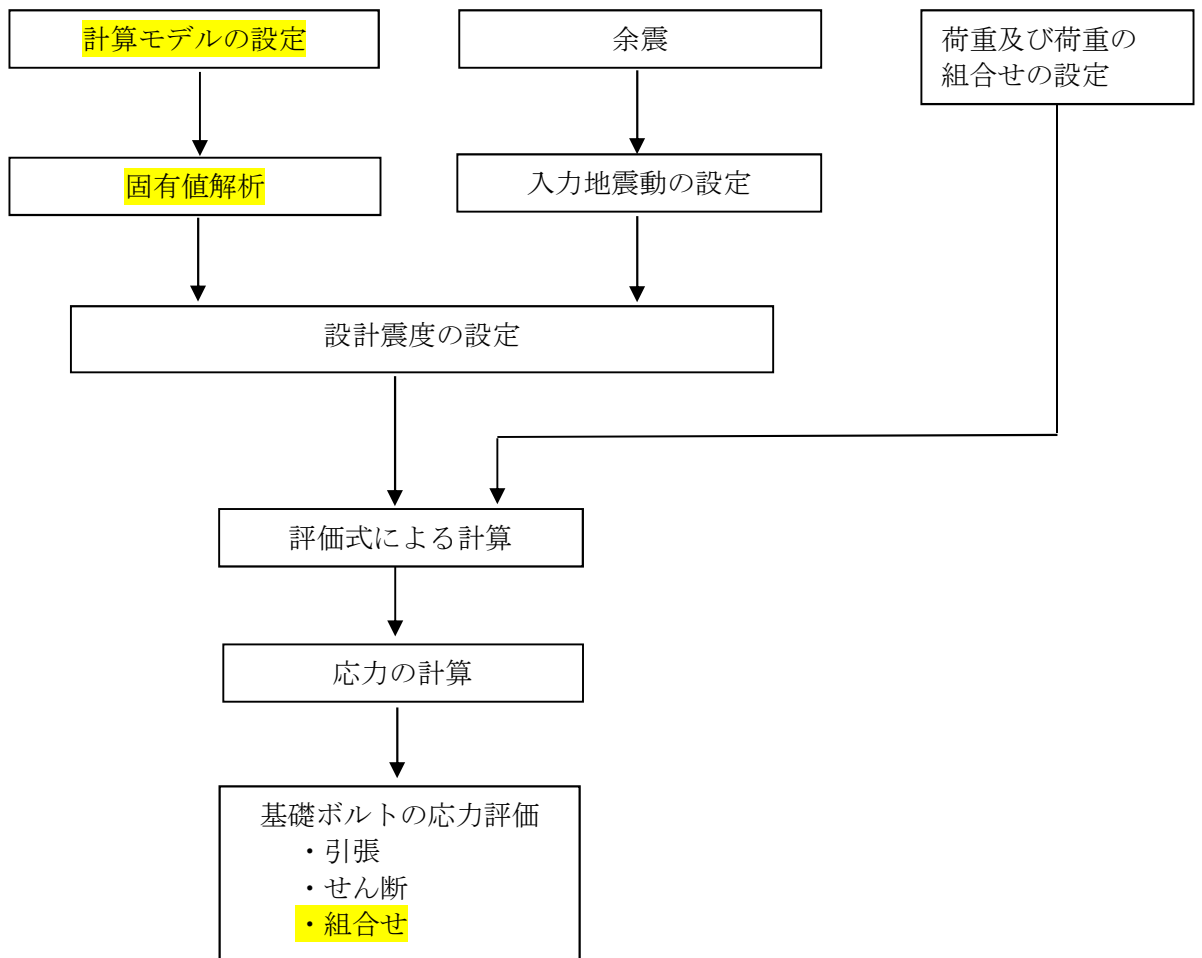


図 2.3-1 潮位計（検出器）の強度評価フロー

2.4 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 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)
- (5) 防波堤の耐津波設計ガイドライン (国土交通省 港湾局 平成 25 年 9 月)

2.5 記号の説明

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|----------|--|----------------|
| A_b | 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 | 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 | ボルトに作用する引張力 (1本当たり) | N |
| F_{b1} | 鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し左右方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形) | N |
| F_{b2} | 鉛直方向地震及び壁掛盤取付面に対し前後方向の水平方向地震によりボルトに作用する引張力 (1本当たり) (壁掛形) | N |
| f_{sb} | せん断力のみを受ける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 (壁掛形) | mm |
| h_1 | 取付面からガイド管までの距離 (壁掛形) | mm |
| l_3 | 重心と下側ボルト間の距離 (壁掛形) | mm |
| l_a | 側面(左右)ボルト間の距離 (壁掛形) | mm |
| l_b | 上下ボルト間の距離 (壁掛形) | mm |
| l_c | 潮位計ガイド管のアンカーサポートの横幅 | mm |
| l_d | 潮位計ガイド管の全長 | mm |
| m | 質量 | kg |
| n | ボルトの本数 | — |
| n_{fv} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(鉛直方向転倒) (壁掛形) | — |

| 記号 | 記号の説明 | 単位 |
|------------|--------------------------------------|-------------------|
| n_{fH} | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数(水平方向転倒)(壁掛形) | — |
| Q_b | ボルトに作用するせん断力 | N |
| Q_{b1} | 水平方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形) | N |
| Q_{b2} | 鉛直方向地震によりボルトに作用するせん断力(壁掛形) | N |
| S_u | 設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表9に定める値 | MPa |
| S_y | 設計・建設規格 付録材料図表 Part 5 表8に定める値 | MPa |
| π | 円周率 | — |
| σ_b | ボルトに生じる引張応力 | MPa |
| τ_b | ボルトに生じるせん断応力 | MPa |
| ρ | 海水密度 | kg/m ³ |
| T_h | 津波高さ (T.P.+) | m |
| a_l | 入射津波の静水面高さ | m |
| P_t | 遡上津波荷重 | N/mm ² |
| P_t' | 遡上津波荷重による揚圧力 | N/mm ² |
| E | 縦弾性係数 | MPa |
| I_x | ガイド管アンカーサポートの縦方向軸に対する断面二次モーメント | mm ⁴ |
| I_y | ガイド管アンカーサポートの横方向軸に対する断面二次モーメント | mm ⁴ |
| A_s | ガイド管アンカーサポートの最小有効せん断断面積 | mm ² |
| G | せん断弾性係数 | MPa |
| R | ガイド管アンカーサポート1本あたりで受ける質量 | kg |
| W | ガイド管アンカーサポート1本あたりの質量 | kg |

3. 評価部位

潮位計（検出器）の構造強度評価は、「2.2 構造計画」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。

津波時は、取水路からの遡上津波荷重が潮位計ガイド管及び基礎ボルトに作用する。重畳時は、取水路からの遡上津波荷重及び余震による慣性力が潮位計ガイド管及び基礎ボルトに作用する。

以上より、構造強度評価においては、応力評価による評価部位として、強度評価上厳しくなる潮位計ガイド管の基礎ボルトを選定する。評価部位については、表 2.2-1 の構造計画に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の算出方法

潮位計（検出器）は潮位計ガイド管の内部に支持されるため、潮位計ガイド管全体の固有周期を求める。固有周期の計算方法を以下に示す。

- (1) 潮位計ガイド管の質量は、重心に集中するものとする。
- (2) 潮位計ガイド管を固定するアンカーサポート 4ヶ所のうち、両端 2ヶ所のアンカーサポートにて固定されるものとしてモデル化し、図 4.1-1 に示す壁固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

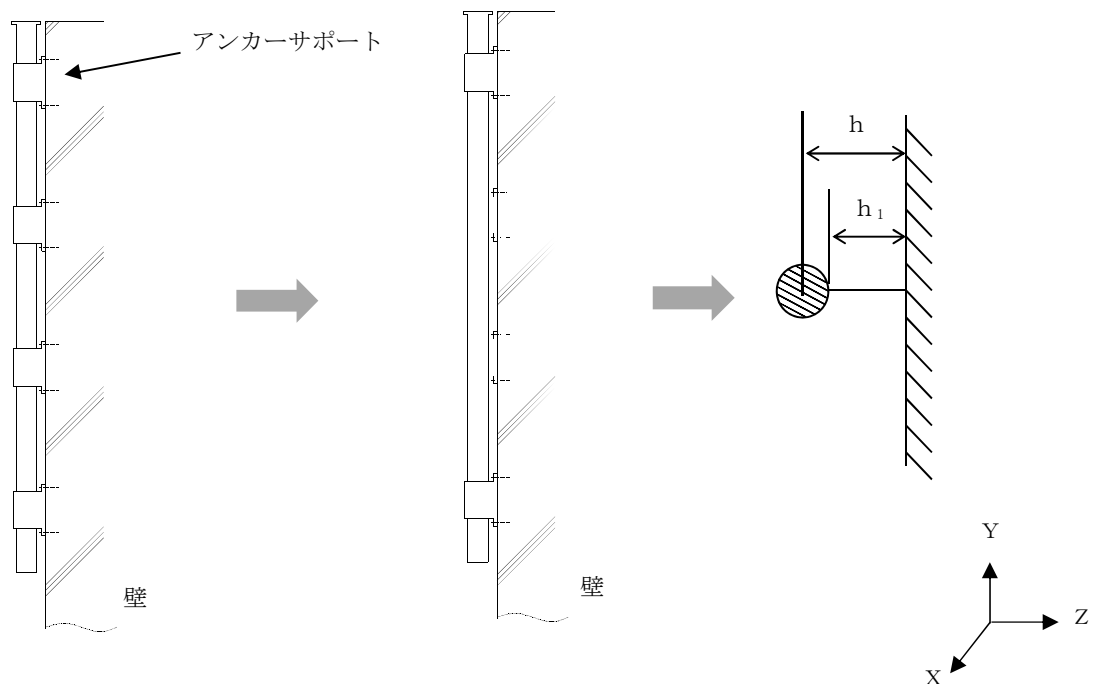


図 4.1-1 計算モデル

a. 水平方向（X方向，Z方向）

(1) X方向に対する固有周期T1を次式で求める。

$$T1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{R+W}{10^3 \cdot K1}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

X方向のばね定数K1は次式で求める。

$$K1 = \frac{1}{\frac{h_1^2 \cdot (3 \cdot h - h_1)}{6 \cdot E \cdot I_x} + \frac{(h - h_1) \cdot h_1 \cdot (h - h_1/2)}{E \cdot I_x} + \frac{h_1}{G \cdot A_s}} \dots\dots (4.1.2)$$

(2) Z方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

b. 鉛直方向（Y方向）

(1) Y方向に対する固有周期T2を次式で求める。

$$T2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{10^3 \cdot K2}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

Y方向のばね定数K2は次式で求める。

$$K2 = \frac{1}{\frac{h_1^3}{12 \cdot E \cdot I_y} + \frac{h_1}{G \cdot A_s}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

表 2.3-1 固有周期の計算条件

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 | |
|-------------------------|----------------|-----------------|------------------------|-----------------------|
| 質量 | m | kg | | |
| 据付面から重心までの距離 | h | mm | | |
| 取付面からガイド管までの距離 | h ₁ | mm | | |
| ガイド管アンカーサポート1本あたりで受ける質量 | R | kg | | |
| ガイド管アンカーサポート1本あたりの質量 | W | kg | | |
| 縦弾性係数 | E | MPa | 194000 | |
| 断面二次モーメント | I | mm ⁴ | 水平（X方向） | 鉛直（Y方向） |
| | | | 1.966×10 ¹⁰ | 7.179×10 ⁹ |
| 最小有効せん断断面積 | A _s | mm ² | 256070 | |
| せん断弾性係数 | G | MPa | 74600 | |

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果から、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛であることを確認した。固有周期の計算結果を表 4.3-1 に示す。

表 4.3-1 固有周期

| 水平方向 (s) | 鉛直方向 (s) |
|----------|----------|
| | |

5. 構造強度評価

5.1 強度評価方法

潮位計（検出器）の強度評価は、添付書類「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」の「5. 強度評価方法」にて設定している方法を用いて、強度評価を実施する。

潮位計（検出器）の強度評価は、「3. 評価部位」に示す評価部位に対し、「5.2 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界を踏まえ、「5.4 計算方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 荷重の組合せ及び許容限界

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、添付書類「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」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。潮位計（検出器）の荷重の組合せを表 5.2-1 に示す。

5.2.2 許容限界

潮位計（検出器）の許容応力は、添付書類「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」の「4.2 許容限界」にて設定している許容限界に基づき表 5.2-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

潮位計（検出器）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

| 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 | 潮位計（検出器） | $D + S_d + P_t^*$ |

注記 * : Dは固定荷重, S_d は余震荷重, P_t は遡上津波荷重を示す。

表 5.2-2 許容限界 (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 | 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 | | S_y (MPa) | S_u (MPa) | $S_y (RT)$ (MPa) |
|-------|----|--------|----|----------------|----------------|---------------------|
| | | (°C) | | | | |
| 基礎ボルト | | 周囲環境温度 | 40 | 175 | 480 | — |

5.3 設計用地震力

「4. 固有周期」に示したとおり潮位計ガイド管の固有周期は0.05秒以下であることを確認したため、潮位計（検出器）の強度計算に用いる設計震度は、添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に示す取水構造物における設置床の最大応答加速度の1.2倍を考慮して設定する。潮位計（検出器）の評価に用いる設計震度を表5.3-1に示す。

表 5.3-1 設計用地震力

| 地震動 | 据付場所 及び 床面高さ (m) | 余震による設計震度*2 | |
|-----|---------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| | | 弾性設計用地震動 S _d -D1 | 取水構造物 T.P. -5.00 (EL. 2.810*1) |
| | | 鉛直方向 C _V | 0.39 |

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：「4. 固有周期」より、潮位計ガイド管の固有周期が0.05秒以下であることを確認したため、設置床の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。

5.4 計算方法

潮位計（検出器）に作用する応力及び算出式を示す。

5.4.1 遡上津波荷重の計算方法

潮位計（検出器）に作用する遡上津波荷重(P_t)は「防波堤の耐津波設計ガイドライン（国土交通省 港湾局 平成 25 年 9 月）」に示されている津波波力算出式を参考に次式にて求める。

$$P_t = 3.0 \cdot \rho \cdot g \cdot aI \cdot 1.5 \quad \dots \dots \dots (5.4.1)$$

入射津波の静水面上高さ aI は次式にて求める。

$$aI = \frac{1}{2} \cdot T h \quad \dots \dots \dots (5.4.2)$$

潮位計ガイド管に遡上津波荷重により上向きに作用する揚圧力 (P_t') は次式にて求める。

$$P_t' = P_t \quad \dots \dots \dots (5.4.3)$$

遡上津波荷重(P_t)の計算結果を表 5.4-1 及び表 5.4-2 に示す。

表 5.4-1 遡上津波荷重（基準津波）

| 評価部位 | 遡上津波荷重(N/mm ²) |
|----------|----------------------------|
| 潮位計（検出器） | 0.4545 |

表 5.4-2 遡上津波荷重（敷地に遡上する津波）

| 評価部位 | 遡上津波荷重(N/mm ²) |
|----------|----------------------------|
| 潮位計（検出器） | 0.5454 |

5.4.2 応力の計算方法

基礎ボルトの応力は、地震及び遡上津波荷重による引張応力とせん断応力について計算する。図 5.4-1 及び図 5.4-2 に計算モデルを示す。

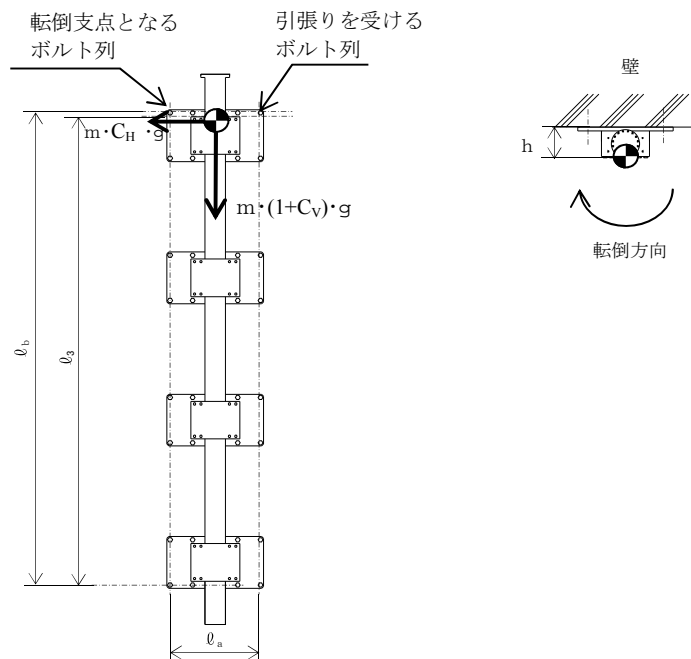


図 5.4-1 計算モデル（水平方向転倒）

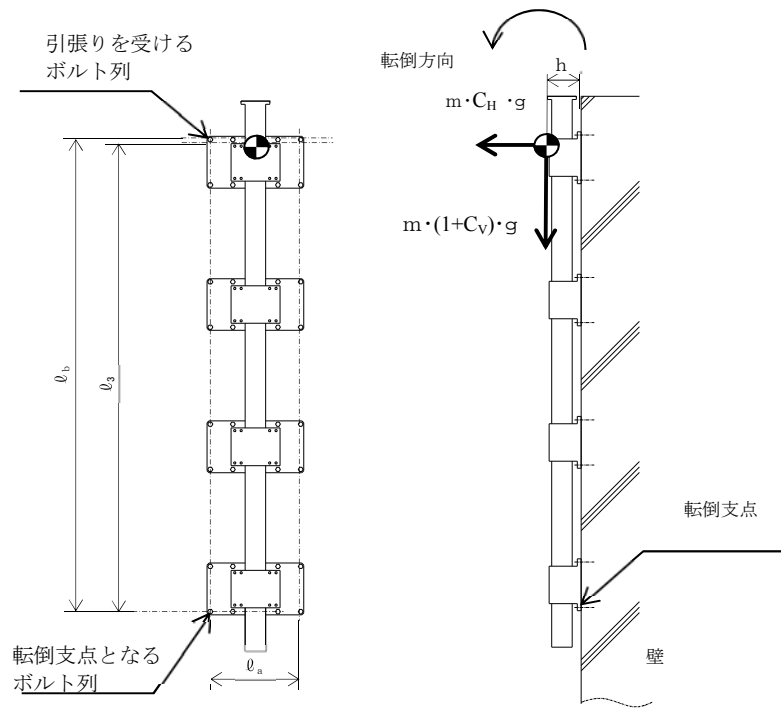


図 5.4-2 計算モデル（鉛直方向転倒）

(1) 投影面積

潮位計ガイド管の側面投影面積（A1）及び水平投影面積（A2）は次式にて求める。

$$A1 = h \cdot \ell_d \quad \dots \dots \dots (5.4.4)$$

$$A2 = h \cdot \ell_c \quad \dots \dots \dots (5.4.5)$$

ここで、 ℓ_c 、 ℓ_d は図 5.4-3 による。

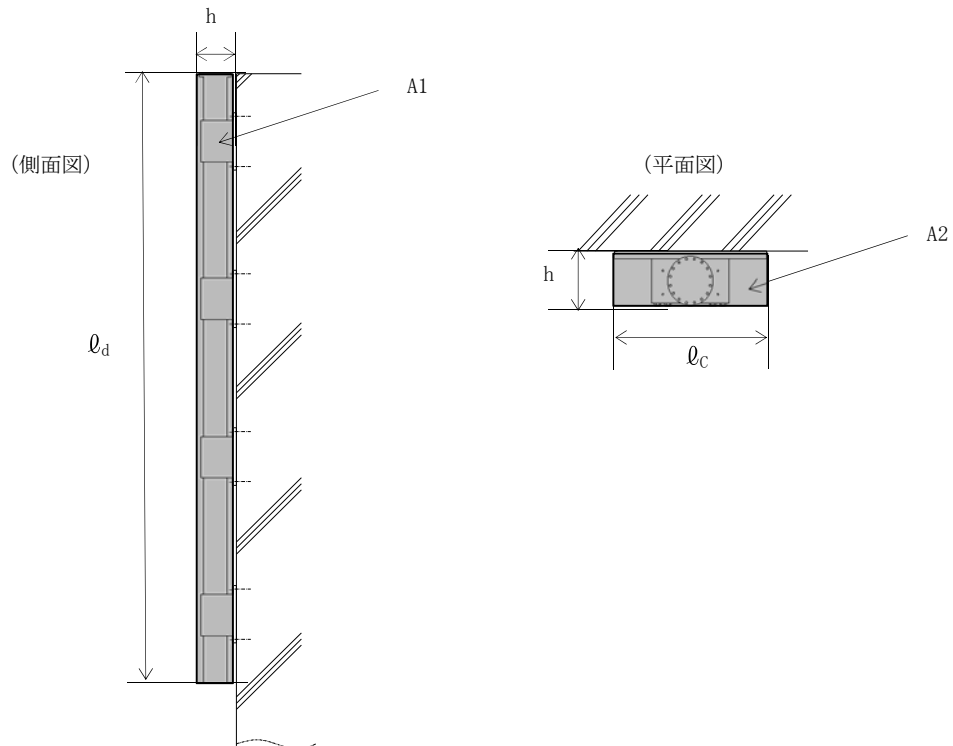


図 5.4-3 投影面積計算モデル

(2) 引張応力

遡上津波荷重はSRSS法で組み合わせる。

水平方向の引張力 F_{b1}

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left[\frac{C_H \cdot h}{n_{fH} \cdot l_a} + \frac{(1+C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot l_b} \right] + \sqrt{\left[\frac{P_t \cdot A1 \cdot h}{n_{fH} \cdot l_a} \right]^2 + \left[\frac{P_t \cdot A2 \cdot h}{n_{fV} \cdot l_b} \right]^2} \cdots (5.4.6)$$

鉛直方向転倒 F_{b2}

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left[\frac{C_H \cdot l_3 + (1+C_V) \cdot h}{n_{fV} \cdot l_b} \right] + \sqrt{\left[\frac{P_t \cdot A1 \cdot h}{n_{fH} \cdot l_a} \right]^2 + \left[\frac{P_t \cdot A2 \cdot h}{n_{fV} \cdot l_b} \right]^2} \cdots (5.4.7)$$

基礎ボルトに作用する引張力 F_b

$$F_b = \text{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \cdots (5.4.8)$$

基礎ボルトに作用する引張応力 Q_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \cdots (5.4.9)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdots (5.4.10)$$

(3) 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。

水平方向地震力及び遡上津波荷重によるせん断力 Q_{b1}

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H + P_t \cdot A1 \cdots (5.4.11)$$

鉛直方向地震力及び遡上津波荷重によるせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1+C_V) + P_t \cdot A2 \cdots (5.4.12)$$

基礎ボルトに対するせん断力 Q_b

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \cdots (5.4.13)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \cdots (5.4.14)$$

5.5 計算条件

(1) 津波荷重に関わる計算条件を除く強度評価に用いる計算条件を表 5.5-1 に示す。

表 5.5-1 強度評価に用いる計算条件

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|--------------------------------|----------|-----------------|---------|
| 運転時質量 | m | kg | |
| 基礎ボルトの軸断面積 | A_b | mm^2 | |
| 水平方向設計震度 | C_H | — | 0.61 |
| 鉛直方向設計震度 | C_V | — | 0.39 |
| 重力加速度 | g | m/s^2 | 9.80665 |
| 基礎ボルトの呼び径 | d | mm | |
| 取付面から重心までの距離 | h | mm | |
| 重心と下側ボルト間の距離 | l_3 | mm | |
| 側面(左右)ボルト間の距離 | l_a | mm | |
| 上下ボルト間の距離 | l_b | mm | |
| 潮位計ガイド管のアンカーサポートの横幅 | l_c | mm | |
| 潮位計ガイド管の全長 | l_d | mm | |
| ボルトの本数 | n | — | |
| 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (鉛直方向) | n_{fV} | — | |
| 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (水平方向) | n_{fH} | — | |
| 海水密度 | ρ | kg/m^3 | 1030 |

(2) 津波荷重に関わる計算条件を表 5.5-2 に示す。

表 5.5-2 津波荷重に関わる計算条件

| 項目 | 記号 | 単位 | 数値等 |
|------------------|-----|----------|-----|
| 津波高さ (基準津波) | T h | T. P. +m | 20 |
| 津波高さ (敷地に遡上する津波) | T h | T. P. +m | 24 |

5.6 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。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1)$$

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。

| | |
|--|--|
| $\begin{matrix} \text{許容引張応力} \\ f_{to} \end{matrix}$ | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$ |
| $\begin{matrix} \text{許容せん断応力} \\ f_{sb} \end{matrix}$ | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

6. 評価結果

(1) 基準津波と余震による重畳時

潮位計（検出器）の強度評価結果を表 6.1-1 に示す。発生応力は許容応力以下であることから潮位計検出器が構造健全性を有することを確認した。

表 6.1-1 潮位計（検出器）の強度評価結果

| 評価部位 | 評価応力 | 発生応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|-------|------|-----------------|-----------------|
| 基礎ボルト | 引張 | $\sigma_b = 59$ | $f_{ts} = 81^*$ |
| | せん断 | $\tau_b = 41$ | $f_{sb} = 80$ |

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

(2) 敷地に遡上する津波と余震による重畳時

潮位計（検出器）の強度評価結果を表 6.1-2 に示す。発生応力は許容応力以下であることから潮位計検出器が構造健全性を有することを確認した。

表 6.1-2 潮位計（検出器）の強度評価結果

| 評価部位 | 評価応力 | 発生応力 (MPa) | 許容応力 (MPa) |
|-------|------|-----------------|-----------------|
| 基礎ボルト | 引張 | $\sigma_b = 68$ | $f_{ts} = 69^*$ |
| | せん断 | $\tau_b = 49$ | $f_{sb} = 80$ |

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