

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-288 改1  |
| 提出年月日            | 平成30年6月29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              | 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      | 6  |
| 3. 評価部位              | 7  |
| 4. 固有周期              | 7  |
| 4.1 固有周期の算出方法        | 7  |
| 5. 構造強度評価            | 8  |
| 5.1 構造強度評価方法         | 8  |
| 5.2 荷重の組合せ及び許容応力     | 8  |
| 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態 | 8  |
| 5.2.2 許容応力           | 8  |
| 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件  | 8  |
| 5.3 計算方法             | 11 |
| 5.4 評価条件             | 14 |
| 5.5 応力の評価            | 15 |
| 6. 評価結果              | 16 |
| 6.1 設計基準対象施設としての評価結果 | 16 |

## 1. 概要

本計算書は、V-3-別添 3-1「津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に基づき、潮位計検出器が繰返しの襲来を想定した経路からの津波の浸水や冠水に伴う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 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>検出計検出器は、潮位計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>検出器</p> |       |

## 2.2 評価方針

潮位計検出器の強度評価は、「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、潮位計検出器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、「5.4 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「6. 強度評価結果」にて確認する。

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。重畳時には、「V-1-1-2-2-5 津波防護に関する施設の設計方針」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静的震度として用いる。

潮位計検出器の強度評価フローを図 2.2-1 に示す。

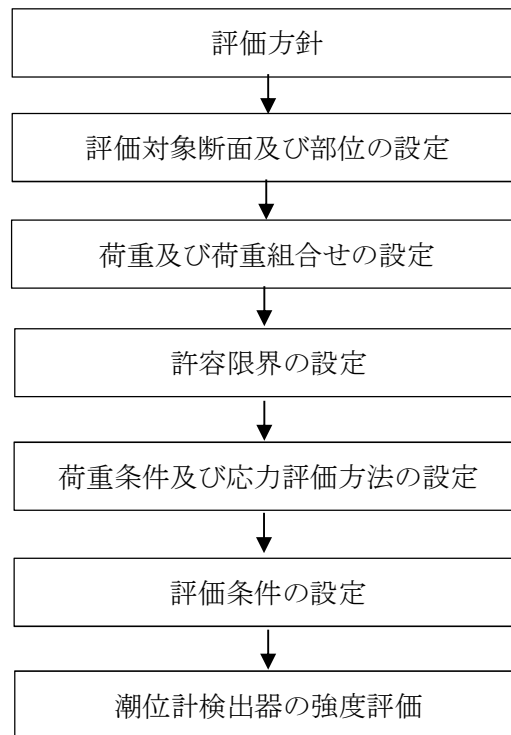


図 2.2-1 潮位計検出器の強度評価フロー

## 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 J E A G 4 6 0 1 ・補一  
1984, J E A G 4 6 0 1 -1987 及び J E A G 4 6 0 1 -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。））  
J S M E S N C 1 - 2 0 0 5 / 2 0 0 7）（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              |
|------------|--|-----------------|
| $A_b$      | ボルトの軸断面積   | $\text{mm}^2$   |
| $C_H$      | 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本あたり)                                      | 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本あたり) (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本あたり) (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                                    | MPa             |
| $f_{to}$   | 引張力のみを受ける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ボルトの許容引張応力                                | MPa             |
| $g$        | 重力加速度 (=9.80665)   | $\text{m/s}^2$  |
| $h$        | 取付面から重心までの距離 (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              |
| $m$        | 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 (側面方向転倒) (壁掛形)                   | —               |
| $n_{fH}$   | 評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数 (平面方向転倒) (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             |
| $\pi$      | 円周率  | —               |
| $\sigma_b$ | ボルトに生じる引張応力  | MPa             |
| $\tau_b$   | ボルトに生じるせん断応力   | MPa             |
| $\rho$     | 海水密度   | $\text{kg/m}^3$ |
| $Th$       | 津波高さ   | m               |

## 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 <sup>2</sup> | 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

潮位計検出器の構造強度評価は、「2.1 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、次のように設定する。

余震による慣性力及び津波による遡上津波荷重が作用し、その荷重は、潮位計ガイド管及び基礎ボルトに掛かることから、潮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基礎ボルトを対象とする。潮位計検出器の強度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) |
|--------|----|---------|
| 潮位計検出器 | 水平 |         |
|        | 鉛直 |         |

## 5. 強度評価

### 5.1 強度評価方法

潮位計検出器の強度評価は、「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 荷重の組合せ及び許容応力状態

潮位計検出器は取水路内の側壁に設置するため、「V-3-別添 3-1 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度計算書の方針」に示す通り、風荷重及び積雪荷重を考慮しない。潮位計検出器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

潮位計検出器の許容応力を表 5.2-2 に示す。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

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<br>重要度分類 | 荷重の組合せ*1        | 許容応力状態             |
|------------------------|------------|--------|-----------------|-----------------|--------------------|
| その他発電<br>用原子炉の<br>附属施設 | 津波監視<br>設備 | 潮位計検出器 | S               | $D + S_d + P_t$ | III <sub>A</sub> S |

注記 \*1：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 許容応力 (その他の支持構造物)

|                  |                      |                 |
|------------------|----------------------|-----------------|
| 許容応力状態           | 許容限界*1, *2<br>(ボルト等) |                 |
|                  | 一次応力                 |                 |
|                  | 引張り                  | せん断             |
| Ⅲ <sub>A</sub> 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<br>(°C) |    | S <sub>y</sub><br>(MPa) | S <sub>u</sub><br>(MPa) | S <sub>y</sub> (RT)<br>(MPa) |
|-------|----|--------------|----|-------------------------|-------------------------|------------------------------|
|       |    |              |    |                         |                         |                              |
| 基礎ボルト |    | 周囲環境温度       | 40 | 175                     | 480                     | —                            |

### 5.3 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。

#### (1) 遡上津波荷重( $P_t$ )

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。

$$P_t = 3.0 \cdot \rho \cdot g \cdot aI \cdot 1.5 \quad \dots \dots \dots (5.3.1)$$

入射津波の清水面上高さ  $aI$  は次式にて求める。

$$aI = \frac{1}{2} \cdot Th \quad \dots \dots \dots (5.3.2)$$

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陽圧力 ( $P_t'$ ) は次式にて求める。

$$P_t' = P_t \quad \dots \dots \dots (5.3.3)$$

遡上津波荷重( $P_t$ )の計算結果を表 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 遡上津波荷重

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

#### (2) 応力の計算方法

基礎ボルトの応力は、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。

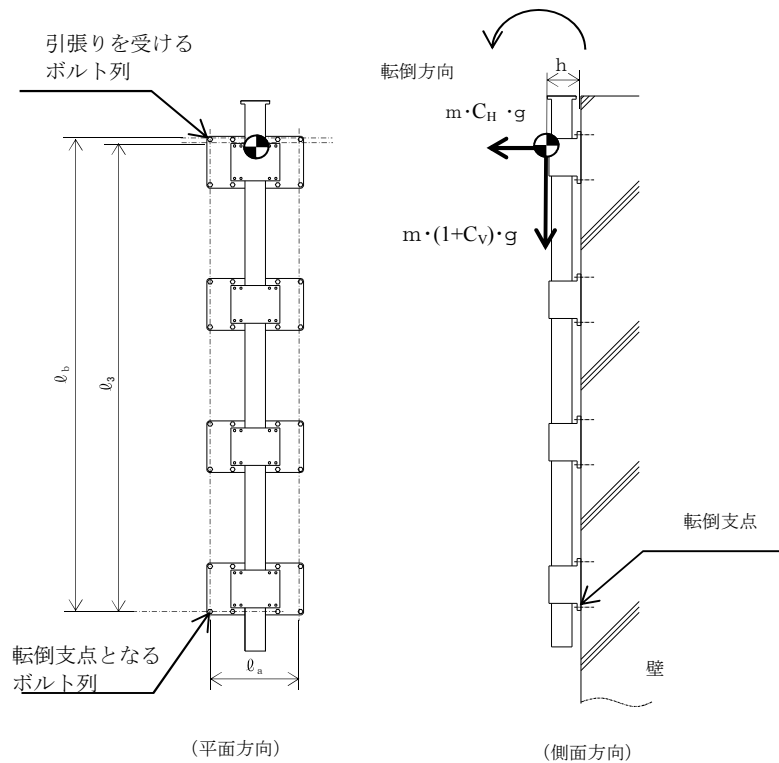


図 5.3-1 応力計算モデル

a. 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。

$$A1 = h \cdot \ell_d \quad \dots \dots \dots (5.3.4)$$

$$A2 = h \cdot \ell_c \quad \dots \dots \dots (5.3.5)$$

ここで、 $\ell_c$ 、 $\ell_d$ は図 5.3-2 による。

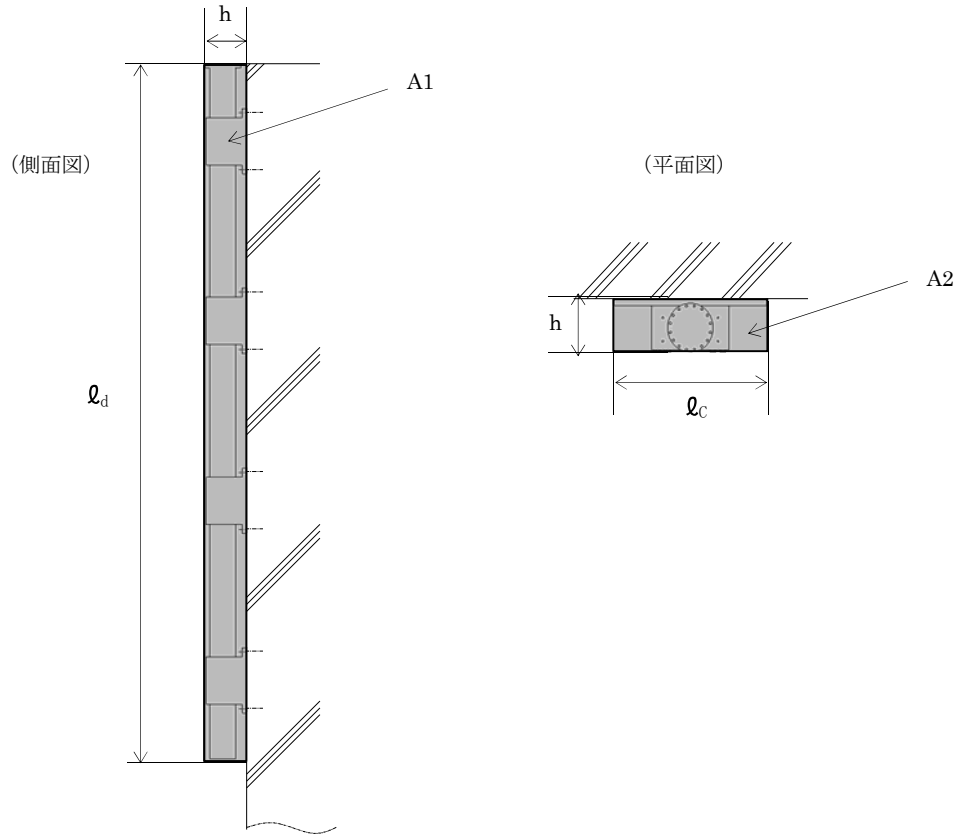


図 5.3-2 投影面積計算モデル

a. 引張応力

平面方向転倒  $F_{b1}$

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left( \frac{CH \cdot h}{nfH \cdot \ell_a} + \frac{(1+CV) \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right) + \sqrt{\left( \frac{Pt \cdot A1 \cdot h}{nfH \cdot \ell_a} \right)^2 + \left( \frac{Pt \cdot A2 \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right)^2} \quad \dots \dots \dots (5.3.6)$$

側面方向転倒  $F_{b2}$

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left( \frac{CH \cdot \ell_3 + (1+CV) \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right) + \sqrt{\left( \frac{Pt \cdot A1 \cdot h}{nfH \cdot \ell_a} \right)^2 + \left( \frac{Pt \cdot A2 \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right)^2} \quad \dots \dots \dots (5.3.7)$$

基礎ボルトに作用する引張力  $F_b$

$$F_b = \text{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \quad \dots \dots \dots (5.3.8)$$

基礎ボルトに作用する引張応力  $\sigma_b$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \dots \dots \dots (5.3.9)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.3.10)$$

b. 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。

水平方向地震力によるせん断力  $Q_{b1}$

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H + P_t \cdot A1 \quad \dots\dots\dots (5.3.11)$$

鉛直方向地震力によるせん断力  $Q_{b2}$

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) + P_t \cdot A2 \quad \dots\dots\dots (5.3.12)$$

基礎ボルトに対するせん断力  $Q_b$

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \quad \dots\dots\dots (5.3.13)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \dots\dots\dots (5.3.14)$$

#### 5.4 評価条件

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 <sub>b</sub> |         | mm <sup>2</sup>   |
| d              |         | mm                |
| h              |         | mm                |
| ℓ <sub>3</sub> |         | mm                |
| ℓ <sub>a</sub> |         | mm                |
| ℓ <sub>b</sub> |         | mm                |
| ℓ <sub>c</sub> |         | mm                |
| ℓ <sub>d</sub> |         | mm                |
| n              |         | —                 |
| nfV            |         | —                 |
| nfH            |         | —                 |
| C <sub>H</sub> | 0.41    | —                 |
| C <sub>V</sub> | 0.68    | —                 |
| g              | 9.80665 | m/s <sup>2</sup>  |
| ρ              | 1030    | kg/m <sup>3</sup> |
| Th             | 20      | m                 |



5.5 応力の評価

ボルトの引張応力  $\sigma_b$  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  $\tau_b$  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。

|          |  |
|----------|--|
| $f_{to}$ | $\frac{F}{2} \cdot 1.5$                  |
| $f_{sb}$ | $\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$ |

## 6 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

潮位計検出器の設計基準対象施設として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

強度評価の結果を次ページ以降の表に示す。

【潮位計検出器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（潮位計検出器）

| 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 |            |
| 潮位計検出器 | S           | 取水路<br>T.P. -5.0m*1 |         |      | $C_H=0.41$            | $C_V=0.68$ | —           | —        | 40         |

注記 \*1：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 潮位計検出器

| 部材    | m (kg) | h (mm) | $\varnothing_3$ (mm) | $\varnothing_a$ (mm) | $\varnothing_b$ (mm) | $A_b$ (mm <sup>2</sup> ) | n | nf <sub>v</sub> | nf <sub>H</sub> |
|-------|--------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|---|-----------------|-----------------|
| 基礎ボルト |        |        |                      |                      |                      |                          |   |                 |                 |

| 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 $S_s$ |
| 基礎ボルト | 175         | 480         | 175     | —        | 側面方向                  | —           |

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 潮位計検出器

(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 | 77830                 | —           | 1801000               | —           |

1.4 結論

1.4.1 潮位計検出器の応力

(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 | $\sigma_b=57$         | $f_{ts}=87^*$ | —           | —    |
|       |     | せん断 | $\tau_b=37$           | $f_{sb}=80$   | —           | —    |

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

