

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2
提出年月日	平成30年7月24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 位置	2
2.2 構造概要	2
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
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 遡上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	13
7.4 応力の評価	14
8. 評価結果	15

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。

2. 一般事項

2.1 位置

津波監視設備の配置図を図 2.1-1 に示す。

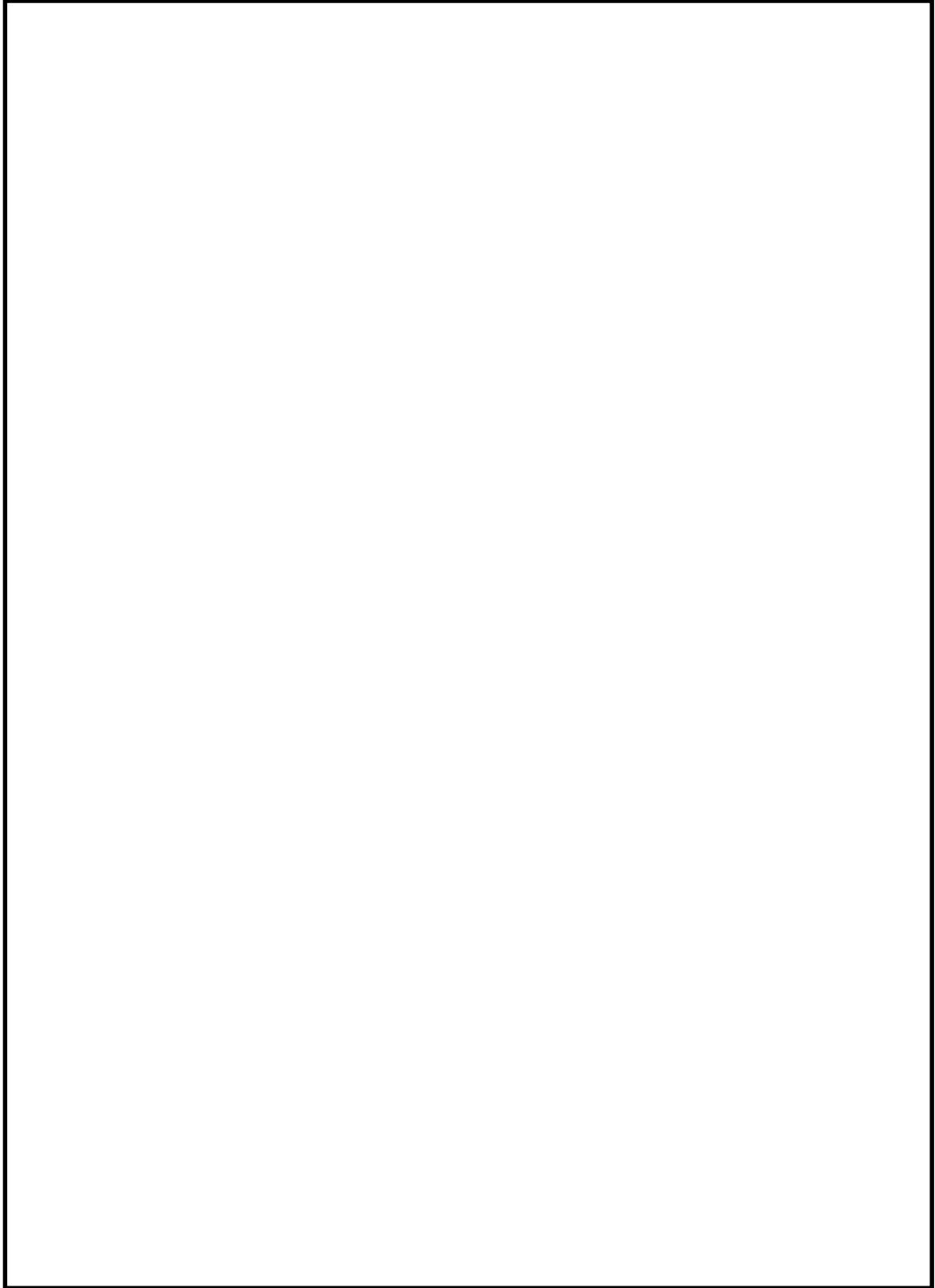


図 2.1-1 津波監視設備配置図

2.2 構造概要

潮位計（検出器）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	支持構造	
潮位計	検出器	<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。潮位計ガイド管は、壁に基礎ボルトで設置する。</p>	

2.3 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、「7.3 評価条件」に示す評価条件を用いて評価し、「8. 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。

潮位計（検出器）の強度評価フローを図 2.3-1 に示す。

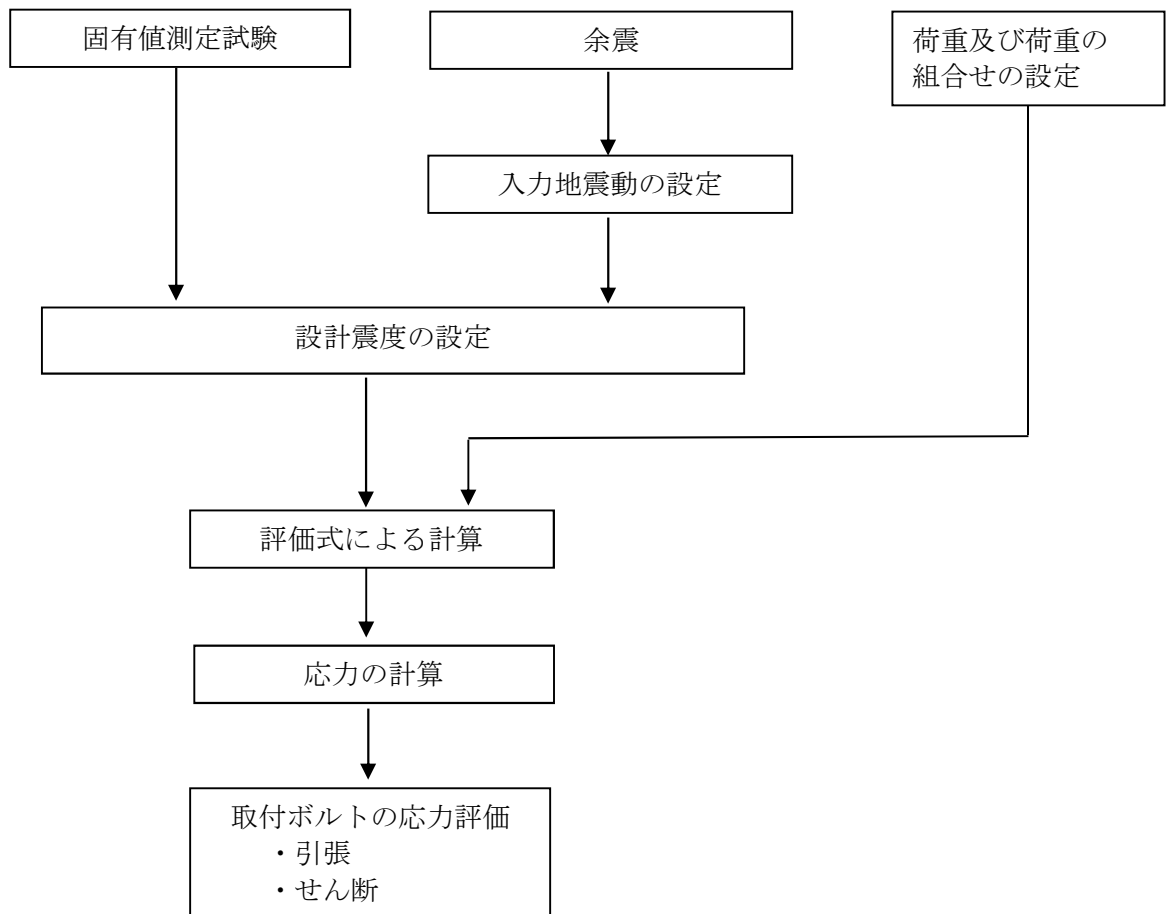


図 2.3-1 潮位計（検出器）の強度評価フロー

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_b	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)	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
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(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(正面方向転倒)(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
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
Th	津波高さ	m
aI	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

3. 評価部位

潮位計（検出器）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（検出器）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 2.2-1 の構造概要に示す。

4. 固有周期

潮位計（検出器）は表 2.2-1 の概略構造図に示す通り、潮位計ガイド管内部に支持されており、潮位計ガイド管は取水口の壁面に剛構造となる支持間隔で支持されていることから、固有値は潮位計（検出器）について振動試験装置による共振探索試験にて求める。共振探索試験の結果、固有値は であり、潮位計（検出器）は剛構造であることを確認した。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	<input type="text"/>
	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

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。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

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)	$S_y(RT)$ (MPa)
		基礎ボルト		周囲環境温度	40	175

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_d-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_d-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

地震動	設置場所 及び 床面高さ (m)	建屋 及び高さ (m)	余震による設計震度*	
			水平方向 C_H	
弾性設計用地震動 S_d-D1	取水路 T.P. -5.0	取水路 T.P. +3.31	水平方向 C_H	0.41
			鉛直方向 C_V	0.68

注記 *：固有値解析結果により、潮位計（検出器）の固有周期が [] 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

潮位計（検出器）に作用する応力及び算出式を示す。

7.1 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。

$$P_t = 3.0 \cdot \rho \cdot g \cdot aI \cdot 1.5 \quad \dots\dots\dots (7.1.1)$$

入射津波の静水面上高さ aI は次式にて求める。

$$aI = \frac{1}{2} \cdot Th \quad \dots\dots\dots (7.1.2)$$

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。

$$P_t' = P_t \quad \dots\dots\dots (7.1.3)$$

遡上津波荷重 (P_t) の計算結果を表 7.1-1 に示す。

表 7.1-1 遡上津波荷重

評価部位	遡上津波荷重(N/mm ²)
潮位計（検出器）	0.4545

7.2 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 7.2-1 及び図 7.2-2 に計算モデルを示す。

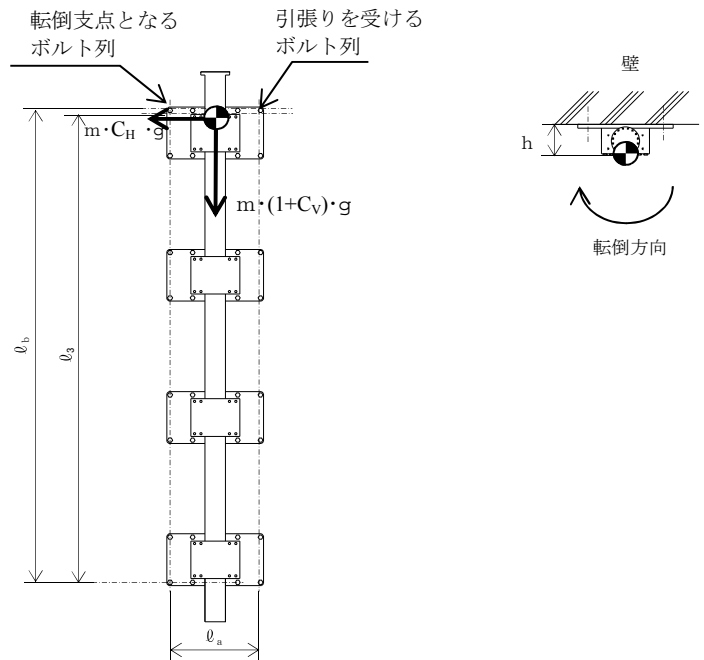


図 7.2-1 計算モデル（正面方向転倒）

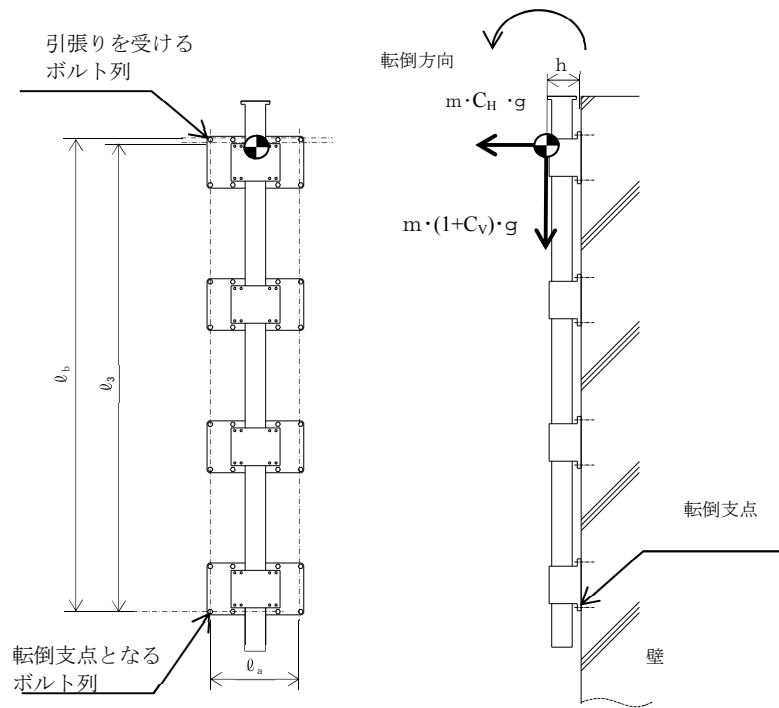


図 7.2-2 計算モデル（側面方向転倒）

(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。

$$A1 = h \cdot \ell_d \quad \dots \dots \dots (7.2.1)$$

$$A2 = h \cdot \ell_c \quad \dots \dots \dots (7.2.2)$$

ここで、 ℓ_c 、 ℓ_d は図 7.2-3 による。

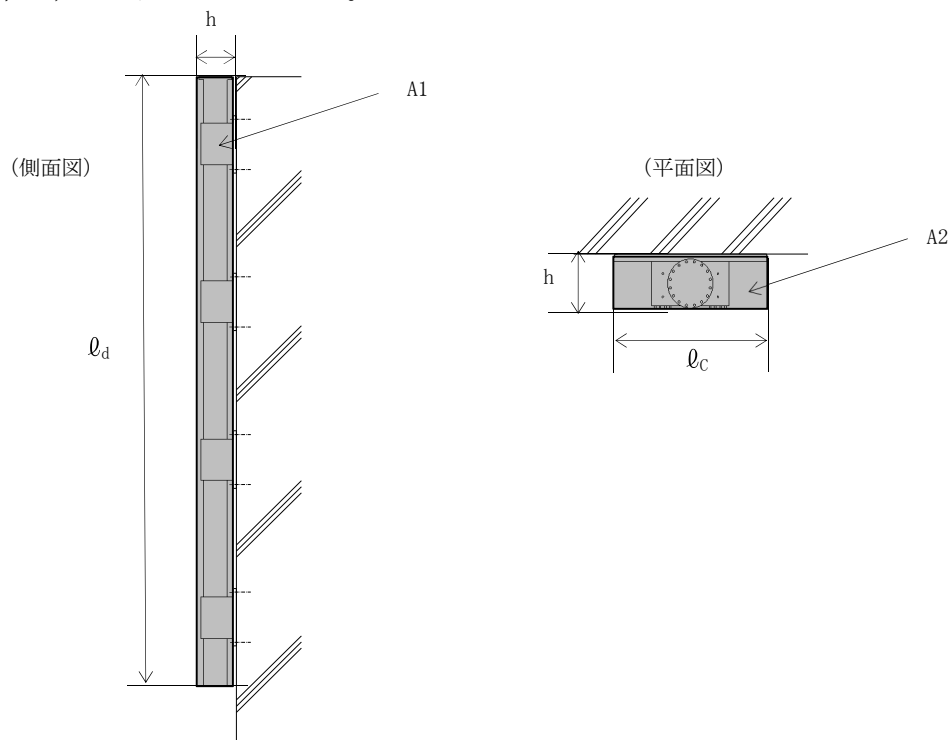


図 7.2-3 投影面積計算モデル

(2) 引張応力

遡上津波荷重はSRSS法で組み合わせる。

正面方向転倒 F_{b1}

$$F_{b1} = m \cdot g \cdot \left(\frac{CH \cdot h}{nfH \cdot \ell_a} + \frac{(1+CV) \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right) + \sqrt{\left(\frac{Pt \cdot A1 \cdot h}{nfH \cdot \ell_a} \right)^2 + \left(\frac{Pt' \cdot A2 \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right)^2} \dots\dots\dots (7.2.3)$$

側面方向転倒 F_{b2}

$$F_{b2} = m \cdot g \cdot \left(\frac{CH \cdot \ell_3 + (1+CV) \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right) + \sqrt{\left(\frac{Pt \cdot A1 \cdot h}{nfH \cdot \ell_a} \right)^2 + \left(\frac{Pt' \cdot A2 \cdot h}{nfV \cdot \ell_b} \right)^2} \dots\dots\dots (7.2.4)$$

基礎ボルトに作用する引張力 F_b

$$F_b = \text{Max}(F_{b1}, F_{b2}) \dots\dots\dots (7.2.5)$$

基礎ボルトに作用する引張応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (7.2.6)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (7.2.7)$$

(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}

$$Q_{b1} = m \cdot g \cdot C_H + P_t \cdot A1 \dots\dots\dots (7.2.8)$$

鉛直方向地震力及び遡上津波荷重によるせん断力 Q_{b2}

$$Q_{b2} = m \cdot g \cdot (1 + C_V) + P_t' \cdot A2 \dots\dots\dots (7.2.9)$$

基礎ボルトに対するせん断力 Q_b

$$Q_b = \sqrt{(Q_{b1})^2 + (Q_{b2})^2} \dots\dots\dots (7.2.10)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots\dots\dots (7.2.11)$$

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

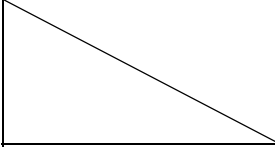
記号	数値	単位
m		kg
A _b		mm ²
d		mm
h		mm
ℓ ₃		mm
ℓ _a		mm
ℓ _b		mm
ℓ _c		mm
ℓ _d		mm
n		—
nfV		—
nfH		—
C _H	0.41	—
C _V	0.68	—
g	9.80665	m/s ²
ρ	1030	kg/m ³
Th	20	m

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

潮位計（検出器）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 潮位計（検出器）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
基礎ボルト		引張り	$\sigma_b = 57$	$f_{ts} = 81^*$
		せん断	$\tau_b = 41$	$f_{sb} = 81$

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