

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3
提出年月日	平成30年9月12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 固有周期の計算方法	7
4.2 固有周期の計算条件	7
4.3 固有周期の計算結果	7
5. 構造強度評価	8
5.1 強度評価方法	8
5.2 荷重の組合せ及び許容限界	8
5.3 設計用地震力	10
5.4 計算方法	11
5.5 計算条件	14
5.6 応力の評価	15
6. 評価結果	16

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。

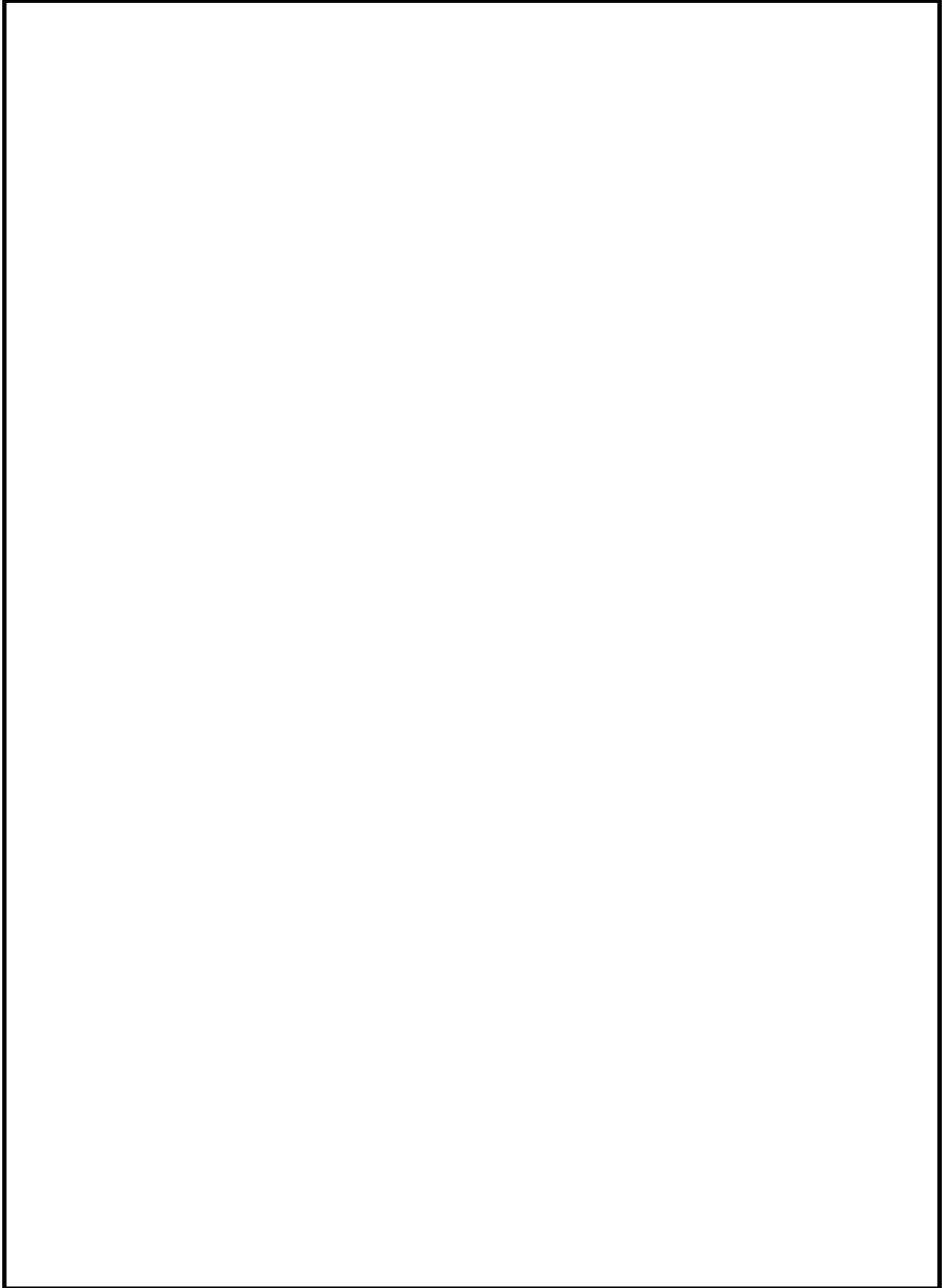


図 2.1-1 津波監視設備配置図

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

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、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。潮位計ガイド管は、壁に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>正面</p> <p>側面</p> <p>(単位: mm)</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、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、「5.5 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、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。

潮位計（検出器）の強度評価フローを図 2.3-1 に示す。

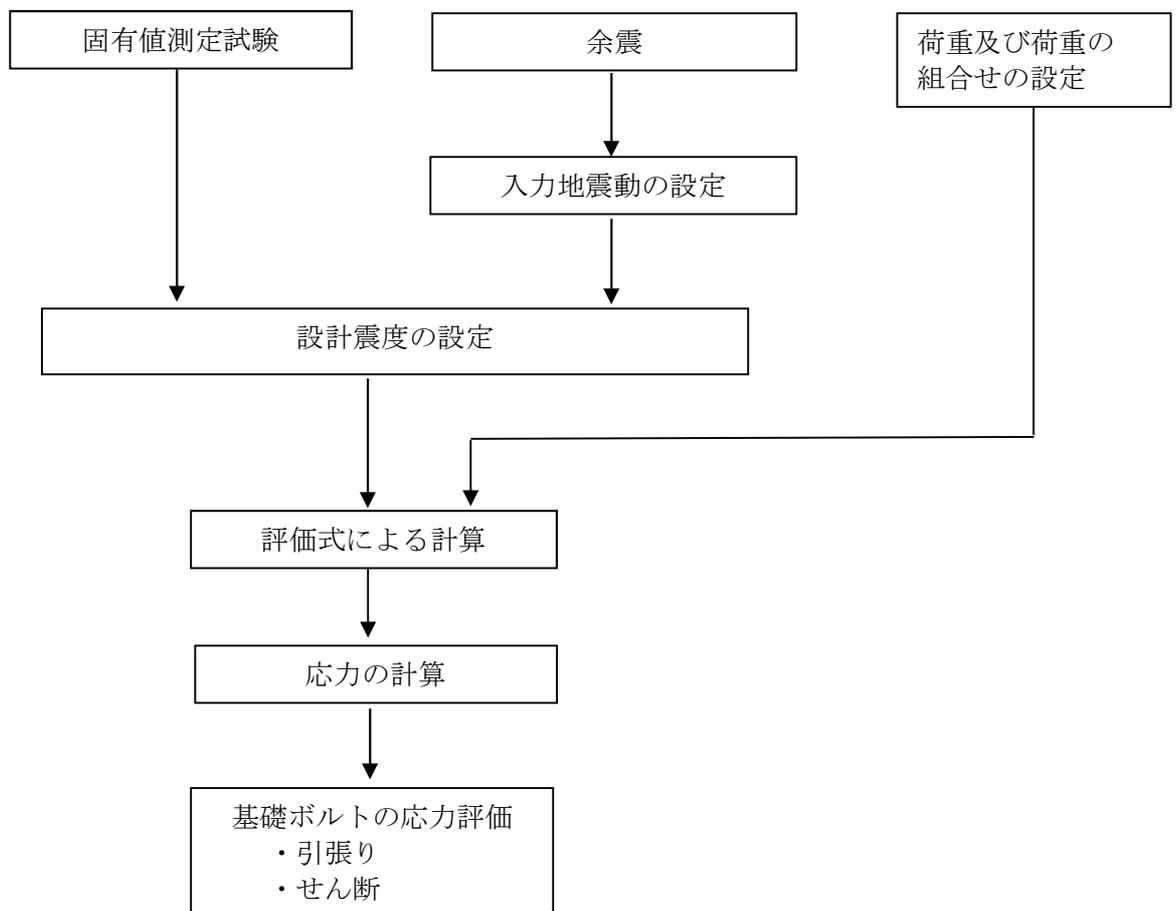


図 2.3-1 潮位計（検出器）の強度評価フロー

2.4 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(鉛直方向転倒) (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(水平方向転倒) (壁掛形)	—

記号	記号の説明	単位
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）は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ため検出器を含めた潮位計ガイド管全体は剛構造である。そのため，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。

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潮位計ガイド管の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 の構造計画に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

潮位計（検出器）の固有周期は，検出器本体の振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の計算条件

振動試験装置により固有振動数を測定する。

4.3 固有周期の計算結果

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

表 4.3-1 固有周期

評価部位	方向	固有周期 (s)
潮位計（検出器）	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

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」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限界」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		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

余震荷重は添付書類「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 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 設計用地震力

地震動	設置場所 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	取水路 T.P. -5.00 (T.P. +3.31*1)
		鉛直方向 C_V	0.68

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析結果により、潮位計ガイド管及び検出器本体の固有周期が 0.05 秒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。

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。

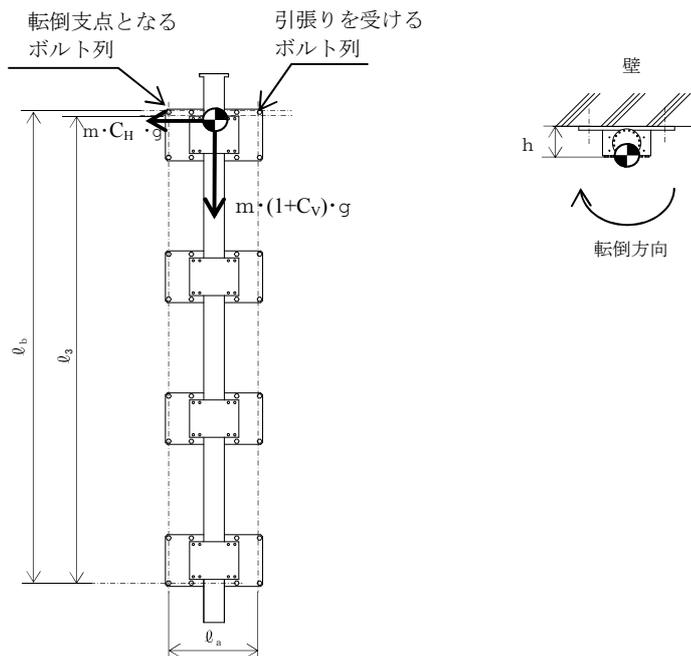


図 5.4-1 計算モデル（水平方向転倒）

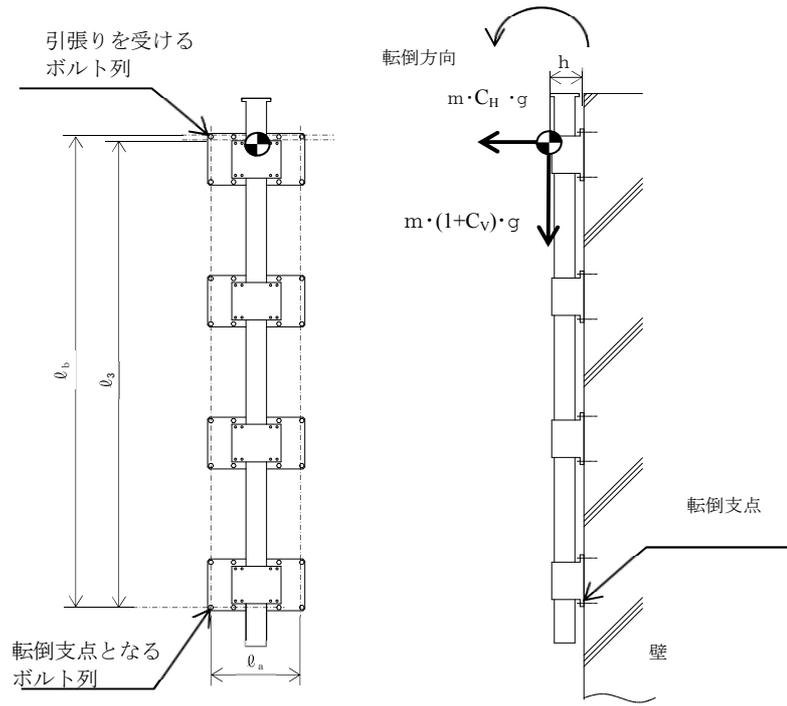


図 5.4-2 計算モデル（鉛直方向転倒）

(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。

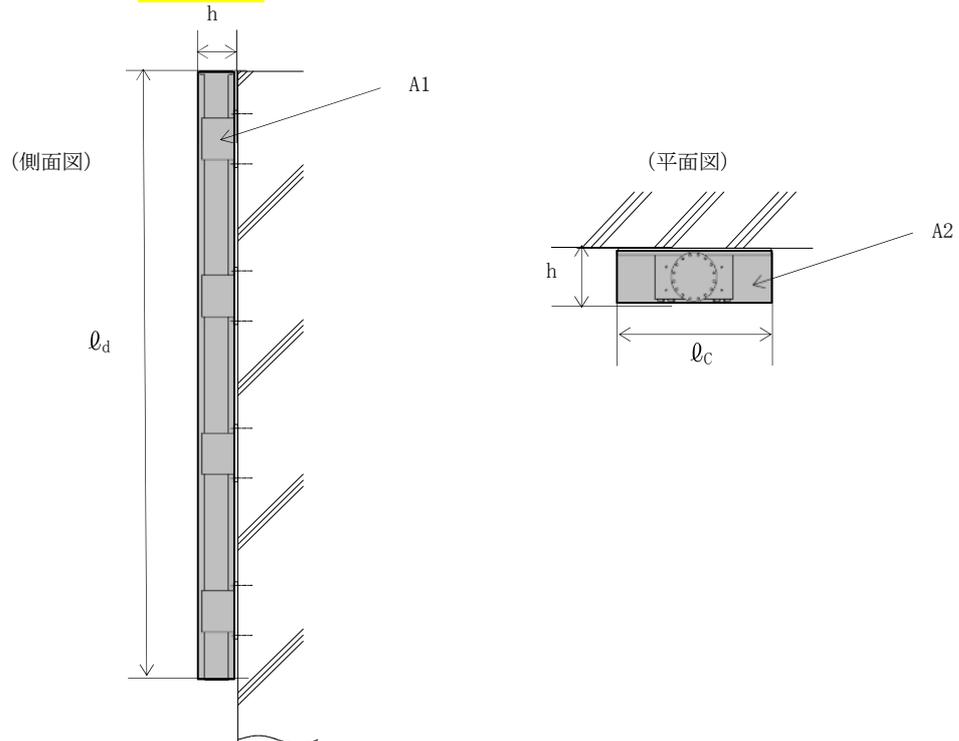


図 5.4-3 投影面積計算モデル

(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

評価に用いる数値を表 5.5-1 に示す。

表 5.5-1 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	—	0.41
鉛直方向設計震度	C_V	—	0.68
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_V	—	
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_H	—	
海水密度	ρ	kg/m^3	1030
津波高さ (基準津波)	T h	m	20
津波高さ (敷地に遡上する津波)	T h	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）の強度評価結果を以下に示す。発生値は許容応力を満足しており，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。強度評価の結果の表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 潮位計（検出器）の強度評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	基礎ボルト	引張り	$\sigma_b = 57$
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）の強度評価結果を以下に示す。発生値は許容応力を満足しており，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。強度評価の結果の表 6.1-2 に示す。

表 6.1-2 潮位計（検出器）の強度評価結果

評価部位	発生応力 (MPa)		許容応力 (MPa)
	基礎ボルト	引張り	$\sigma_b = 67$
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