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-262　改 3
提出年月日	平成 30 年 9 月 12 日

Ⅴ-2-10-2-9-3　取水ピット水位計の耐震性についての計算書

NT2 補② Ⅴ-2-10-2-9-3 R3

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 ･･･ 6
4.　固有周期 ･･･ 6
4.1　固有周期の計算方法 ･･･ 6
4.2　固有周期の計算条件 ･･･ 6
4.3　固有周期の計算結果 ･･･ 6
5.　構造強度評価 ･･･ 7
5.1　構造強度評価方法 ･･･ 7
5.2　荷重の組合せ及び許容限界 ･････････････････････････････････････ 7
5.3　設計用地震力 ･･･ 9
5.4　計算方法 ･･･ 10
5.5　計算条件 ･･･ 11
5.6　応力の評価 ･･･ 11
6.　機能維持評価 ･･･ 12
6.1　電気的機能維持評価方法 ･･･ 12
7.　評価結果 ･･･ 13

1.　概要

本計算書は，添付書類「Ｖ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，取水ピット水位計が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

取水ピット水位計は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

2.　一般事項

2.1　配置概要

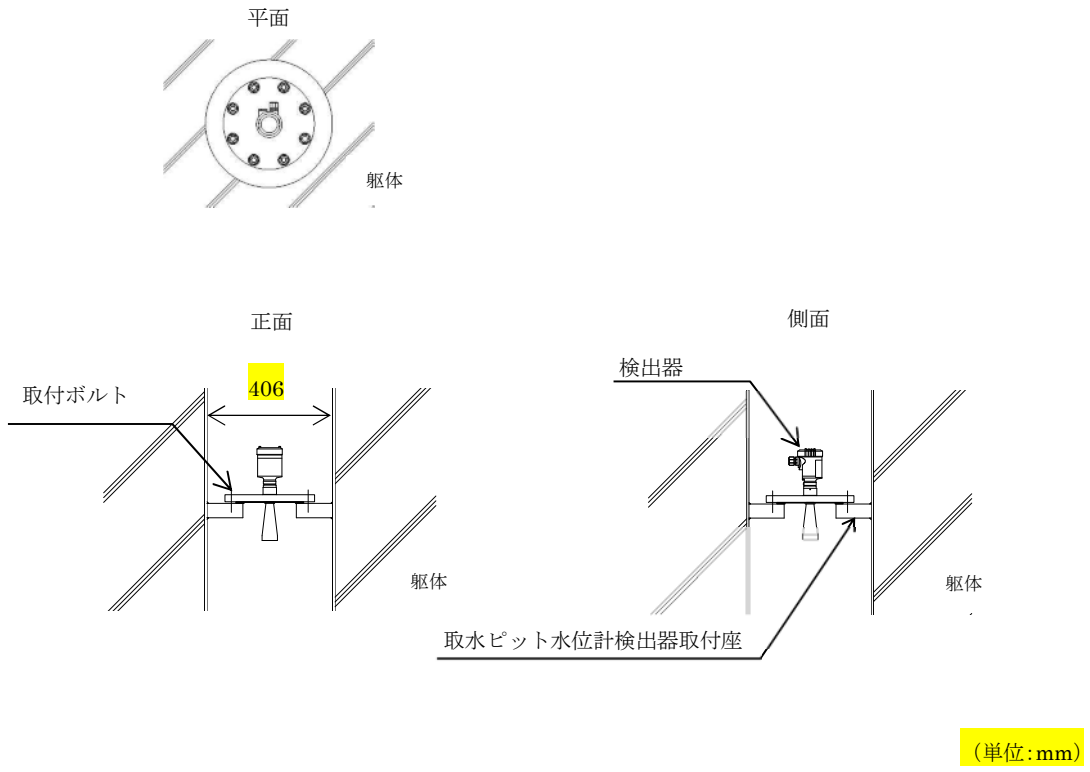
津波監視設備の配置図を図 2.1－1 に示す。

図 2．1－1　津波監視設備配置図

2.2　構造計画

取水ピット水位計の構造計画を表 2.2－1 に示す。

表 2.2－1　構造計画

設備名称	構造概要		説明図
	主体構造	支持構造	
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。	

2.3　評価方針

取水ピット水位計の構造強度評価は，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき，「2.2　構造概要」にて示す取水ピット水位計の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において「4.　固有周期」に基づく設計用地震力により算出した応力等が許容限界に収まることを，「5.　構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また機能維持評価は，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを，「6.　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7.　評価結果」に示す。

取水ピット水位計の耐震評価フローを図 2.3－1 に示す。

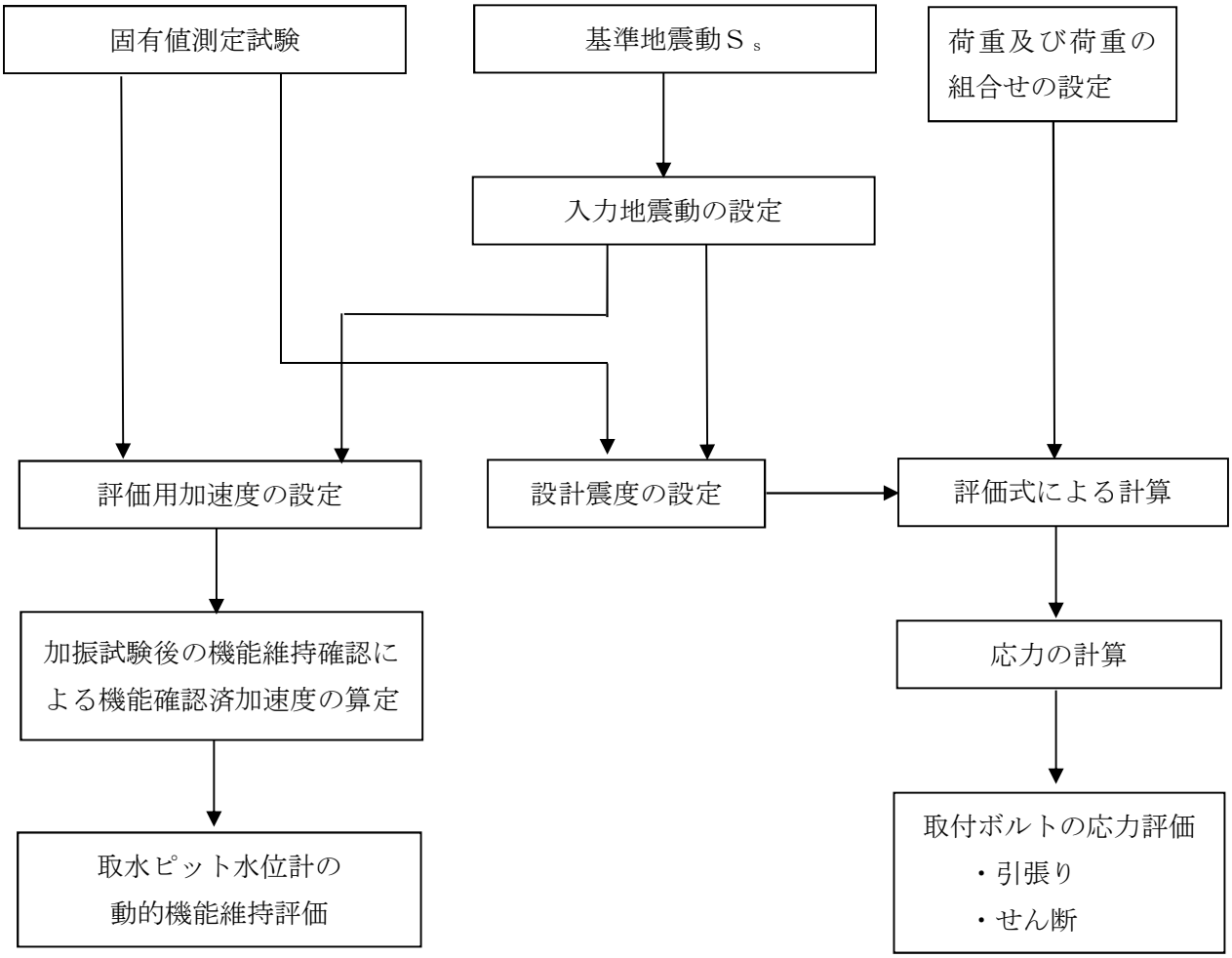


図 2.3－1　取水ピット水位計の耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１－1987（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　ＪＥＡＧ４６０１･補－1984（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 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。））ＪＳＭＥ　ＳＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）

2.5　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

*1：$\ell_1 \leqq \ell_2$

3.　評価部位

取水ピット水位計の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，耐震評価上厳しくなる取付ボルトについて実施する。取水ピット水位計の耐震評価部位については，表 2.1－1 の構造計画に示す。

4.　固有周期

4.1　固有周期の計算方法

取水ピット水位計の固有周期は，検出器及び検出器取付座の振動試験（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)
取水ピット水位計検出器	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

(1) 取水ピット水位計の質量は先端に集中するものとする。

(2) 転倒方向は，正面方向及び側面方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

(3) 設計用地震力は添付書類「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

(4) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容限界

5.2.1 荷重の組合せ

耐震評価に用いる荷重及び荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」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	取水ピット水位計	D＋S_s

注記　＊：Dは固定荷重，S_sは地震荷重を示す。

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_AS*3	1.5・f_t	1.5・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）
取付ボルト		周囲環境温度	40	235	400	－

5.3　設計用地震力

「4.　固有周期」に示した通り取水ピット水位計の固有周期が 0.05 秒以下であることを確認したため，取水ピット水位計の耐震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」に示す取水路における最大床応答加速度の 1.2 倍を考慮して設定する。取水ピット水位計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	設置場所 及び 床面高さ (m)	地震による設計震度*2	
基準地震動 Ｓｓ	取水ピット EL.　2.810 (EL.　0.300*1)	水平方向 C_H	0.46
		鉛直方向 C_V	1.78

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

5.4.1　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 7.1－1 に計算モデルを示す。

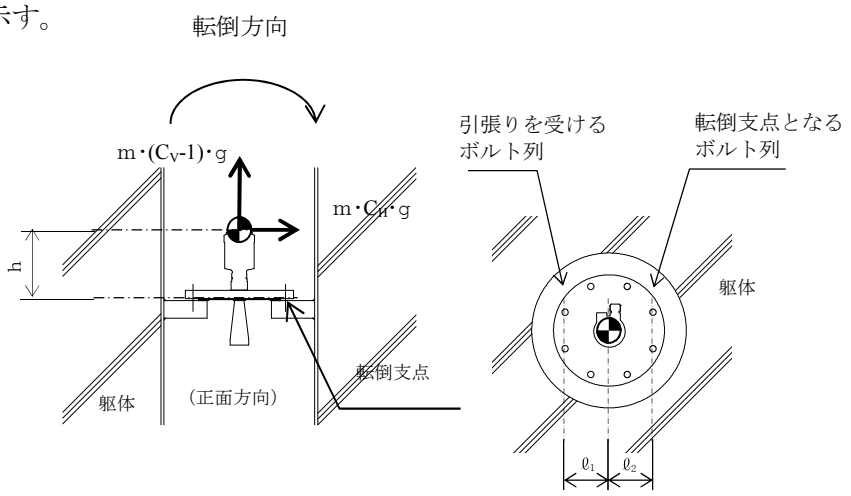


図 7.1－1　計算モデル

(1)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。

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \cdots\cdots (5.4.1)$$

取付ボルトに作用する引張応力 σ_b は次式にて求める。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.2)$$

ここで，取付ボルトの軸断面積 A_b は

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \cdots\cdots (5.4.3)$$

(2)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

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \quad \cdots\cdots (5.4.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \quad \cdots\cdots (5.4.5)$$

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	－	0.46
鉛直方向設計震度	C_V	－	1.78
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	
重心と取付ボルト間の水平方向距離	ℓ_1	mm	
重心と取付ボルト間の水平方向距離	ℓ_2	mm	
取付ボルトの本数	n	－	
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	n_f	－	

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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (7.3.1)$$

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。

	基準地震動Ｓｓ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}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電気的機能維持評価方法

取水ピット水位計の電気的機能維持評価について，以下に示す。

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時及び地震後の電気的機能維持を確認する。

評価用加速度は，添付書類「V-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。機能確認済加速度は，同形式の検出器単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 6.1－1 に示す。

表 6.1－1　機能確認済加速度

評価部位	方向	機能確認済加速度 （×9.8 m/s^2）
取水ピット水位計 検出器	水平	[redacted]
	鉛直	[redacted]

NT2 補② V-2-10-2-9-3 R3

7. 評価結果

取水ピット水位計の耐震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構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 7.1－1 に示す。

表 7.1－1　取水ピット水位計の構造強度評価結果　(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	[redacted]	引張り	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=176^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=135$

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

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を表 7.1－2 に示す。

表 7.1－2　取水ピット水位計の電気的機能維持評価

		評価用加速度＊ (×9.8 m/s²)	機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)
取水ピット水位計検出器	水平方向	0.38	[redacted]
	鉛直方向	1.48	

注記　＊：評価用加速度は最大床応答加速度（1.0ZPA）とする。