

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-825 改1
提出年月日	平成30年7月12日

V-2-6-5-36 西側淡水貯水設備水位の耐震性についての計算書

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 基本方針	7
4.2 固有振動数の算出方法	7
4.3 固有値解析結果	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	8
5.3 設計用地震力	12
5.4 計算方法	13
5.4.1 応力の計算方法	13
5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法	13
5.4.1.2 取付ボルトの計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	17
5.5.2 取付ボルトの応力計算条件	18
5.6 応力評価	19
5.6.1 ボルトの応力評価	19
6. 機能維持評価	20
6.1 電氣的機能維持評価方法	20
7. 評価結果	21
7.1 重大事故等対処設備としての評価結果	21

1. 概要

本計算書は、「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、西側淡水貯水設備水位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。

西側淡水貯水設備水位は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。重大事故等対処設備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 構造計画

西側淡水貯水設備水位の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 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>検出器は、計器取付ボルトによりベースに固定され、ベースは基礎に基礎ボルトで設置する。</p>	<p>電波式水位検出器</p>	

2.2 評価方針

西側淡水貯水設備水位の応力評価は、「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、「2.1 構造計画」にて示す西側淡水貯水設備水位の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有振動数に基づく応力等が許容限界内に収まることを、「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、西側淡水貯水設備水位の機能維持評価は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.2 電氣的機能維持」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が電氣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。

西側淡水貯水設備水位の耐震評価フローを図2-1に示す。

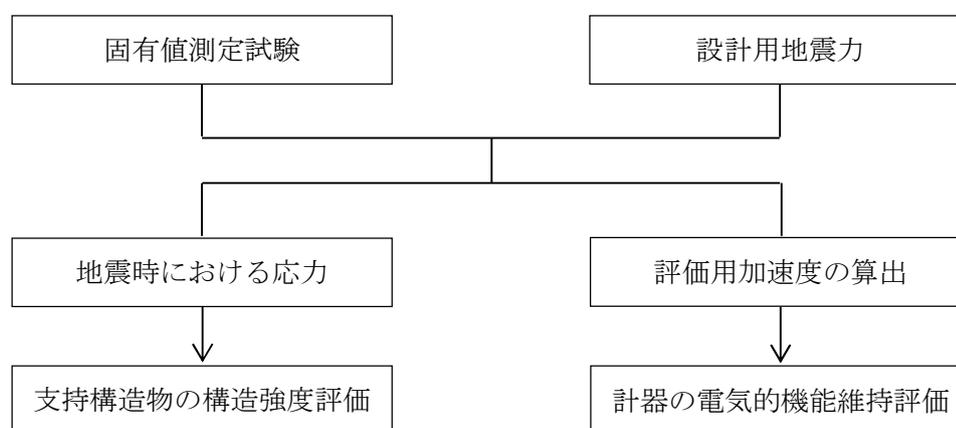


図2-1 西側淡水貯水設備水位の耐震評価フロー

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 JEAG 4601・補一1984, JEAG 4601-1987及びJEAG 4601-1991 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。）） JSME SNC1-2005/2007）（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_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D	取付ボルトのピッチ円直径	mm
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）* ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	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* ¹	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
h_i	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
L	支点としている基礎ボルトより最大引張応力がかかるボルトまでの距離	mm
l	重心と基礎ボルト間の水平方向距離	mm
m_i	検出器又は検出器+ベースの質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値* ¹	MPa
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記 *¹: A_{bi} , d_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , h_i , n_i , n_{fi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , σ_{bi} , τ_{bi} の添え字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

*²: m_i の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 検出器+ベース

$i = 2$: 検出器

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2-2に示すとおりとする。

表2-2 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	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ*1	mm	—	—	整数位
面積*2	mm ²	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の場合は、小数点以下表示とする。

*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

西側淡水貯水設備水位の耐震評価は、「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基礎ボルト及び取付ボルトについて実施する。

西側淡水貯水設備水位の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 基本方針

西側淡水貯水設備水位の固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の算出方法

振動試験装置にて西側淡水貯水設備水位検出器の応答を測定する。西側淡水貯水設備水位の外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期算出結果

固有周期の算出結果を以下に示す。

西側淡水貯水設備水位の固有周期 (s)	
水平	
鉛直	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 西側淡水貯水設備水位の質量は、重心に集中しているものとする。
- (2) 地震力は西側淡水貯水設備水位に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (3) 西側淡水貯水設備水位は取付ボルトでベースに固定されており、ベースは基礎ボルトで基礎に固定されており、固定端とする。
- (4) ボルトの配置については取付ボルトは円形配置とし、基礎ボルトは矩形配置とする。
- (5) 重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする
- (6) 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応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

西側淡水貯水設備水位の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

西側淡水貯水設備水位の許容応力を表 5-2 に示す。

5.2.3 使用材料の許容応力

西側淡水貯水設備水位の使用材料の許容応力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
計測制御 系統施設	計測装置	西側淡水貯水設備水位	常設耐震／防止 常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記 *1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 5-2 許容応力 (重大事故等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
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)		

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 5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		205	520	—
取付ボルト		周囲環境温度		205	520	—

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-4 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、「V-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

設備分類	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	
		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
常設耐震 ／防止 常設／緩和	常設代替高圧 電源装置置場 □	□		—	—	C _H =0.81	C _V =0.71

注記 *1：基準床レベルを示す。

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

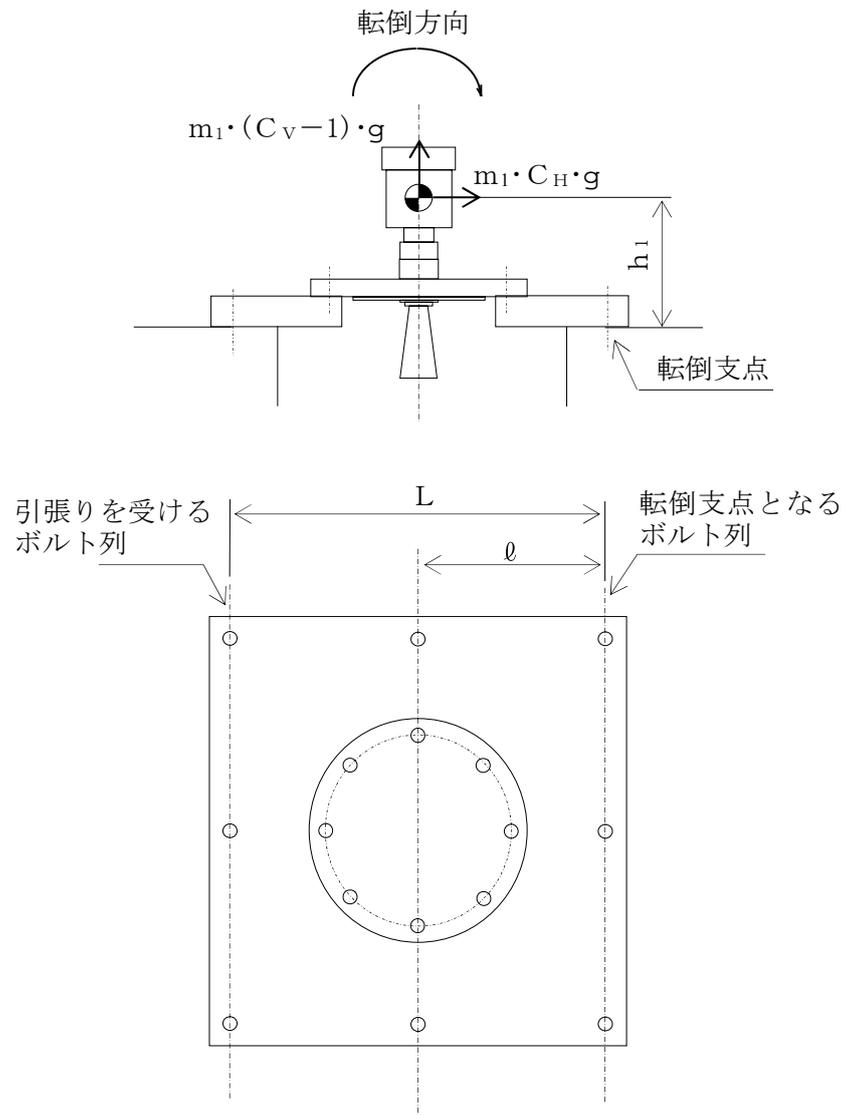


図 5-1 計算モデル

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図5-1に示すボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot h_1 \cdot g + m_1 \cdot (C_V - 1) \cdot \ell \cdot g}{n_{f1} \cdot L} \quad \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \quad \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \quad \dots (5.4.1.1.3)$$

ただし、 F_b が負のときボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = m_1 \cdot C_H \cdot g \quad \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{n_1 \cdot A_{b1}} \quad \dots (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

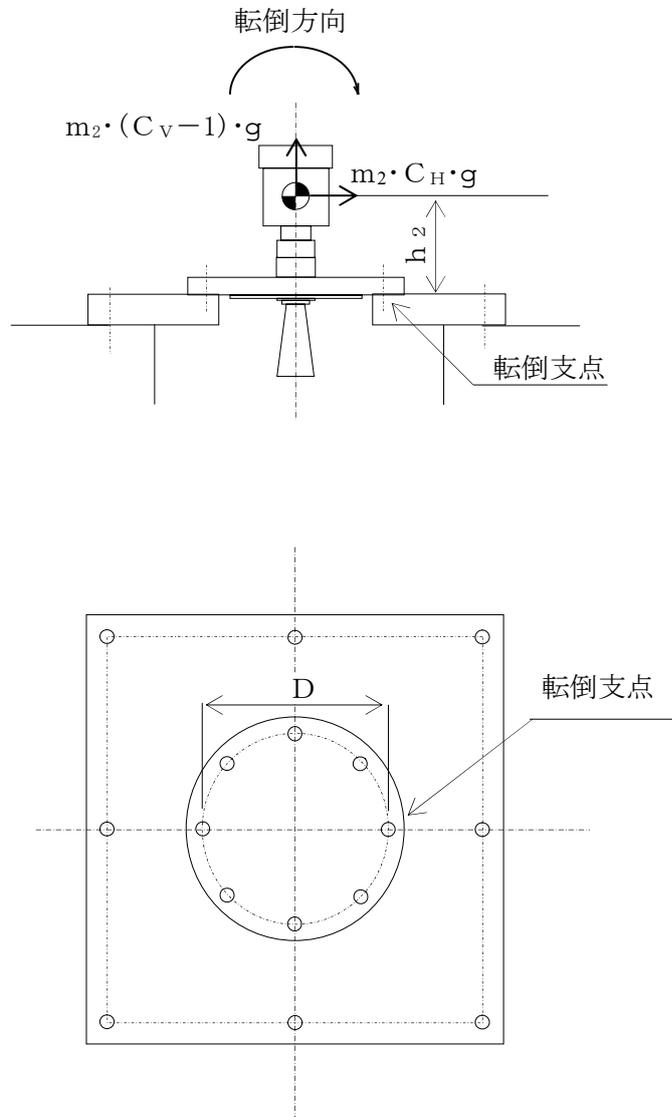


図 5-2 計算モデル

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図5-2に示すボルトを支点とする転倒を考え、これを片側のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{8}{3D} \cdot \frac{m_2 \cdot C_H \cdot h_2 \cdot g + m_2 \cdot (C_V - 1) \cdot 0.5 \cdot D \cdot g}{n_{f2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = m_2 \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-5 に示す。

表 5-5 基礎ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	
ボルトの呼び径	d_1	mm	
検出器+ベースの質量	m_1	kg	
重力加速度	g	m/s^2	
据付面から重心までの距離	h_1	mm	
重心とボルト間の水平方向距離	ℓ	mm	
支点としているボルトより最大引張応力がかかるボルトまでの距離	L	mm	
ボルトの本数	n_1	—	
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_{f1}	—	

5.5.2 取付ボルトの応力計算条件

取付ボルトの応力計算に用いる数値を表 5-6 に示す。

表 5-6 取付ボルトの応力計算条件

項目	記号	単位	数値等
材質	—	—	
温度条件（周囲環境温度）	—	℃	
ボルトの呼び径	d_2	mm	
検出器の質量	m_2	kg	
重力加速度	g	m/s^2	
取付面から重心までの距離	h_2	mm	
取付ボルトのピッチ円直径	D	mm	
ボルトの本数	n_2	—	
評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	n_{f2}	—	

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容引張応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 電氣的機能維持評価方法

西側淡水貯水設備水位計の電氣的機能維持評価について以下に示す。

なお、評価用加速度は「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。

西側淡水貯水設備水位計は地震時電氣的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、加振試験により確認した加速度を適用する。

西側淡水貯水設備水位の機能確認済加速度には、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電氣的機能の健全性を確認した評価部位の**目標**加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
西側淡水貯水設備水位	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

西側淡水貯水設備水位の重大事故等時の状態を考慮した場合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氣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次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【西側淡水貯水設備水位の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	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	
西側淡水貯水設備水位	常設耐震/防止 常設/緩和	常設代替高压電源 装置置場			-	-	$C_H=0.81$	$C_V=0.71$	

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 基礎ボルト, 取付ボルト

部 材	m_i (kg)	h_i (mm)	ϕ (mm)	L (mm)	D (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i^* (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 (i=1)								3	205	520	246	-	-
取付ボルト (i=2)								8	205	520	246	-	-

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルト, 取付ボルトに作用する力

(単位 : N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	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 (i=1)	-	-	-	2.145×10^3
取付ボルト (i=2)	-	1.553	-	158.9

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

(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	—	—	—	$f_{ts1}=147$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=1$	$f_{sb1}=113$
取付ボルト	[]	引張り	—	—	$\sigma_{b2}=0$	$f_{ts2}=184$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=0$	$f_{sb2}=142$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出

1.4.2 電気的機能の評価結果

($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
西側淡水貯水設備水位	水平方向	0.68	[]
	鉛直方向	0.59	[]

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

23

