

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-019-03 改 02
提出年月日	2023 年 4 月 21 日

VI-2-別添 4-3-1 揚水ポンプの耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-別添 4-3-1 R0

2023 年 4 月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

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	5
2.3 適用規格・基準等	6
2.4 記号の説明	7
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	10
4.1 基本方針	10
4.2 固有周期の確認方法	10
4.3 固有周期の確認結果（付加質量考慮）	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	15
5.4 計算方法	16
5.5 計算条件	22
5.6 応力の評価	23
6. 機能維持評価	24
6.1 動的機能維持評価方法	24
6.2 動的機能維持評価	24
7. 評価結果	25
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	25

1. 概要

本計算書は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定している耐震評価方針に基づき、揚水ポンプ（Cクラス施設）が基準地震動 S_s による地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 構造計画

揚水ポンプの構造計画を表 2-1～表 2-3 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>揚水ポンプはサポートに支持され、サポートはポンプ支持架台に取付ボルトで固定され、ポンプ支持架台は揚水井戸床面の埋込金物に溶接で固定される。</p> <p>サポートは鉛直用サポートと水平用サポートに分類される。</p>	<p>水中ポンプ</p>	<p>(正面図)</p> <p>(平面図)</p> <p>(A-A 矢視図) (単位：mm)</p>

表 2-2 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
鉛直用サポートは、鉛直用サポート取付ボルトによりポンプ支持架台に固定される。	鉛直用サポート	<p>(正面図)</p> <p>ポンプ支持架台</p> <p>鉛直用サポート</p> <p>鉛直用サポート取付ボルト</p> <p>(平面図)</p> <p>(鉛直用サポート詳細図)</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-3 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>水平用サポートは水平用サポート取付ボルトによりポンプ支持架台に固定される。</p>	<p>水平用サポート</p>	<p>水平用サポート取付ボルト</p> <p>(正面図)</p> <p>ポンプ支持架台</p> <p>水平用サポート</p> <p>(B-B 矢視図)</p> <p>水平用サポート取付ボルト</p> <p>(平面図)</p> <p>(A-A 矢視図)</p>

2.2 評価方針

揚水ポンプの応力評価は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」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」にて示す揚水ポンプの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で測定した固有周期に基づく設計用地震力による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、揚水ポンプの機能維持評価は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」にて設定した動的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が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。

揚水ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

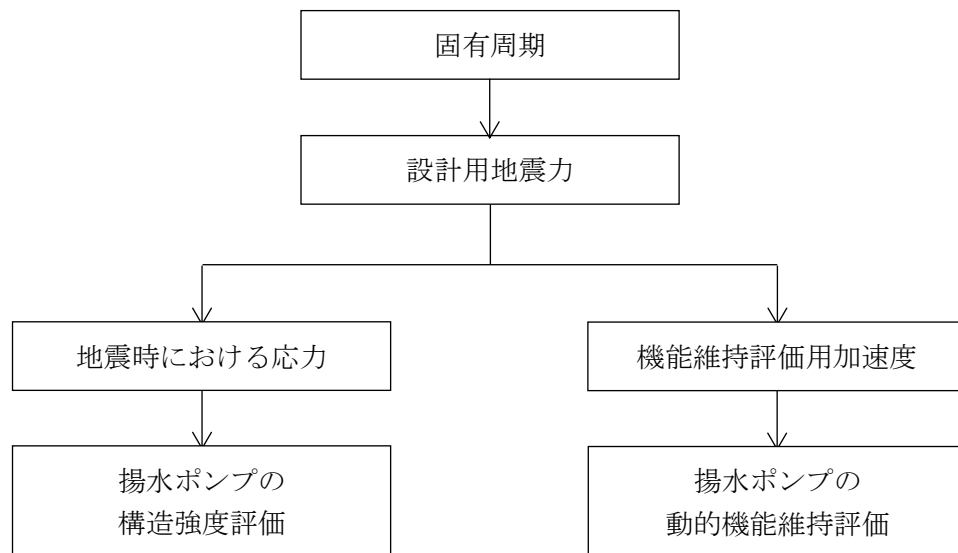


図 2-1 揚水ポンプの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・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（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）
- ・機械工学便覧（（社）日本機械学会）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	取付ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A_w	溶接面積（1箇所あたり）	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	取付ボルトの呼び径* ¹	mm
F_i	設計・建設規格 SSB-3121又は3131に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3121又は3133に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	取付ボルトに作用する引張力（1本あたり）* 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_{sm}	せん断力のみを受ける溶接部の許容せん断応力	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	基準面から重心までの距離* ¹	mm
L_i	重心と取付ボルト間の水平方向距離* ¹	mm
l_1	重心と溶接部間の水平方向距離* ²	mm
l_2	重心と溶接部間の水平方向距離* ²	mm
l_{bi}	支点としている取付ボルトより評価に用いる取付ボルトまでの距離* ¹	mm
m	揚水ポンプ質量（1台あたり）（水の付加質量を含む）	kg
M_1	気中における質量（ポンプ支持架台+ポンプ×2）	kg
M_{11}	付加質量（=W+m×2）	kg
m_{si}	サポートの質量（水の付加質量を含む）* ¹	kg
n_b	鉛直用サポート取付ボルトの本数	—
n_{fbi}	評価上期待するサポート取付ボルトの本数* ¹	—
n_{fw}	評価上期待する溶接部の数	—
Q_{bi}	サポート取付ボルトに作用するせん断力* ¹	N
Q_w	溶接部に作用するせん断力	N
R	固有振動数比率	—
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
W	ポンプ支持架台の質量（ m_{s1} 、 m_{s2} 及び水の付加質量を含む）	kg
σ_{bi}	サポート取付ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
π	円周率	—
τ_{bi}	サポート取付ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa
τ_w	溶接部に生じるせん断応力	MPa

注記*1: $A_{bi}, d_i, F_i, F_i^*, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, h_i, L_i, l_{bi}, m_{si}, n_{fbi}, Q_{bi}, S_{ui}, S_{yi}, \sigma_{bi}$ 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 鉛直用サポート取付ボルト

$i = 2$: 水平用サポート取付ボルト

$i = 3$: 溶接部

*2: $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-4 に示すとおりである。

表 2-4 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	mm	—	—	整数位*1
面積	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

揚水ポンプの耐震評価は、「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揚水ポンプ支持架台の溶接部及び取付ボルトについて実施する。

揚水ポンプ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

揚水ポンプの固有周期は、振動試験（加振試験）にて求める。

4.2 固有周期の確認方法

振動試験装置により固有周期を確認する。揚水ポンプの外形図を表 2-1 の概略構造図に示す。

4.3 固有周期の確認結果（付加質量考慮）

付加質量を考慮した固有周期は、振動試験のうち、水平 2 方向及び鉛直方向に対して実施した正弦波掃引試験により得られた固有周期を固有振動数比率で除して求める。結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

なお、固有振動数比率は以下により求める。

$$R = \sqrt{\frac{M_1}{M_1 + M_{11}}} \dots\dots\dots (4.3.1)$$

固有振動数比率を求めるにあたり、付加質量は図 4-1 に示すように揚水ポンプ、サポート及び支持架台全体を覆う範囲を対象とする。

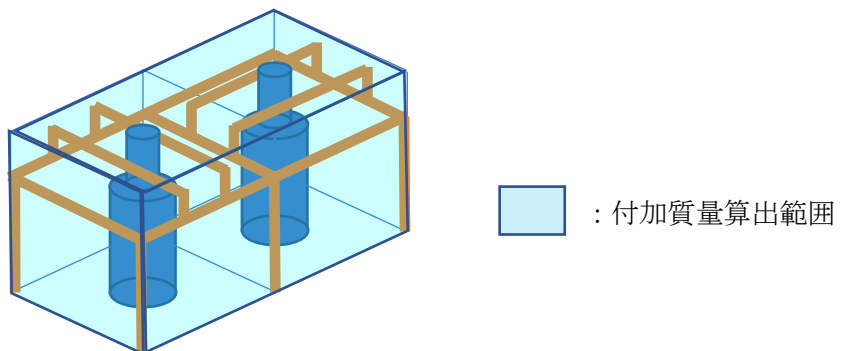


図 4-1 付加質量範囲図

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 揚水ポンプの質量は重心に集中させる。
- (2) 転倒方向は、長辺方向及び短辺方向について検討し、荷重の組合せについて絶対値和にて計算を行う。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（基準地震動 S_s ）は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」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応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

揚水ポンプ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 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

揚水ポンプの許容応力は、VI-2-別添 4-1「地下水位低下設備の耐震計算の方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

揚水ポンプ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 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

設備名称	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
地下水位低下設備	揚水ポンプ	C	—*	$D + P_D + M_D + S_s$	IV _A S

注記*：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。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	評価部位	許容限界 ^{*1, *2}	
		一次応力	
		引張	せん断
IVAS	鉛直用サポート 取付ボルト	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
	水平用サポート 取付ボルト		
	溶接部	—	$1.5 \cdot f_s^*$

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 5-3 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 (°C)		S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _y (R T) (MPa)
鉛直用サポート 取付ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	40	785	930	—
水平用サポート 取付ボルト						
溶接部	SS400 (板厚 ≤ 16mm)	周囲環境温度	40	245	400	—

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、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

なお、水平方向及び鉛直方向それぞれ、各揚水井戸における設計震度が大きい方を設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

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
地下水位低下設備 揚水井戸 EL-21.7 ^{*1}			—	—	$C_H=1.37^{*2}$	$C_V=1.11^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 鉛直用サポート取付ボルトの計算方法

鉛直用サポート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応力とせん断応力について計算する。図 5-1 に計算モデルを示す。

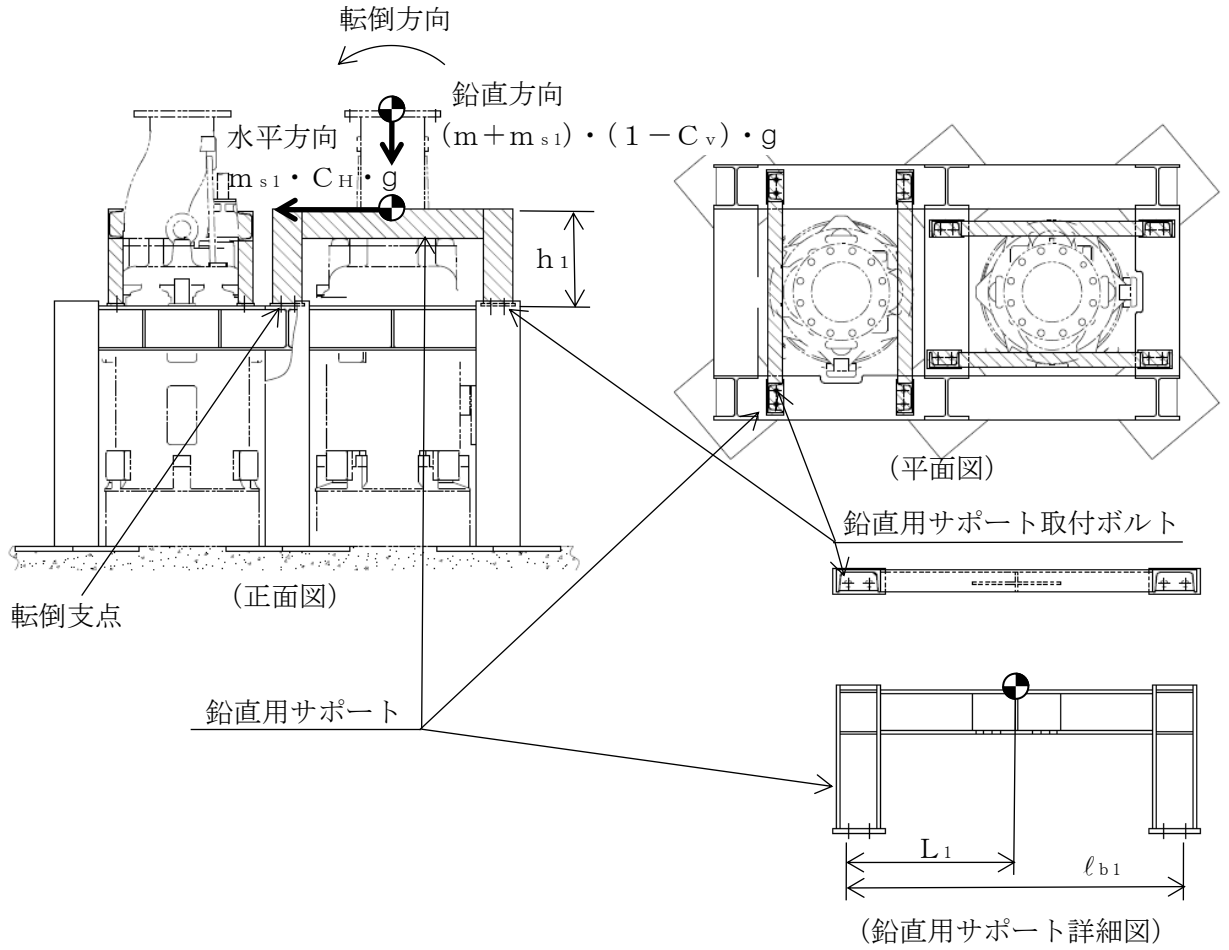


図5-1 計算モデル (長辺方向転倒)

(1) 引張応力

鉛直用サポート取付ボルトに対する引張力は、図5-1の取付ボルトを支点とする転倒を考え、これを最外部の取付ボルトで受けるものとして計算する。なお、鉛直方向荷重にはサポート質量のほか、ポンプ質量を含めて計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{C_H \cdot m_{s1} \cdot g \cdot h_1 - (1 - C_v) \cdot (m + m_{s1}) \cdot g \cdot L_1}{n_{fb1} \cdot \ell_{b1}} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

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

ここで、取付ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

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

(2) せん断応力

鉛直用サポート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

$$Q_{b1} = m_{s1} \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

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

5.4.1.2 水平用サポート取付ボルトの計算方法

水平用サポート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応力とせん断応力について計算する。図5-2に計算モデルを示す。図中の①~⑫はサポート箇所を示し、サポートの取付ボルトの本数を表5-5へ示す。

水平用サポートのうち、⑮のサポート取付ボルトが最も厳しい条件となるため、⑮の水平用サポート取付ボルトについて評価する。

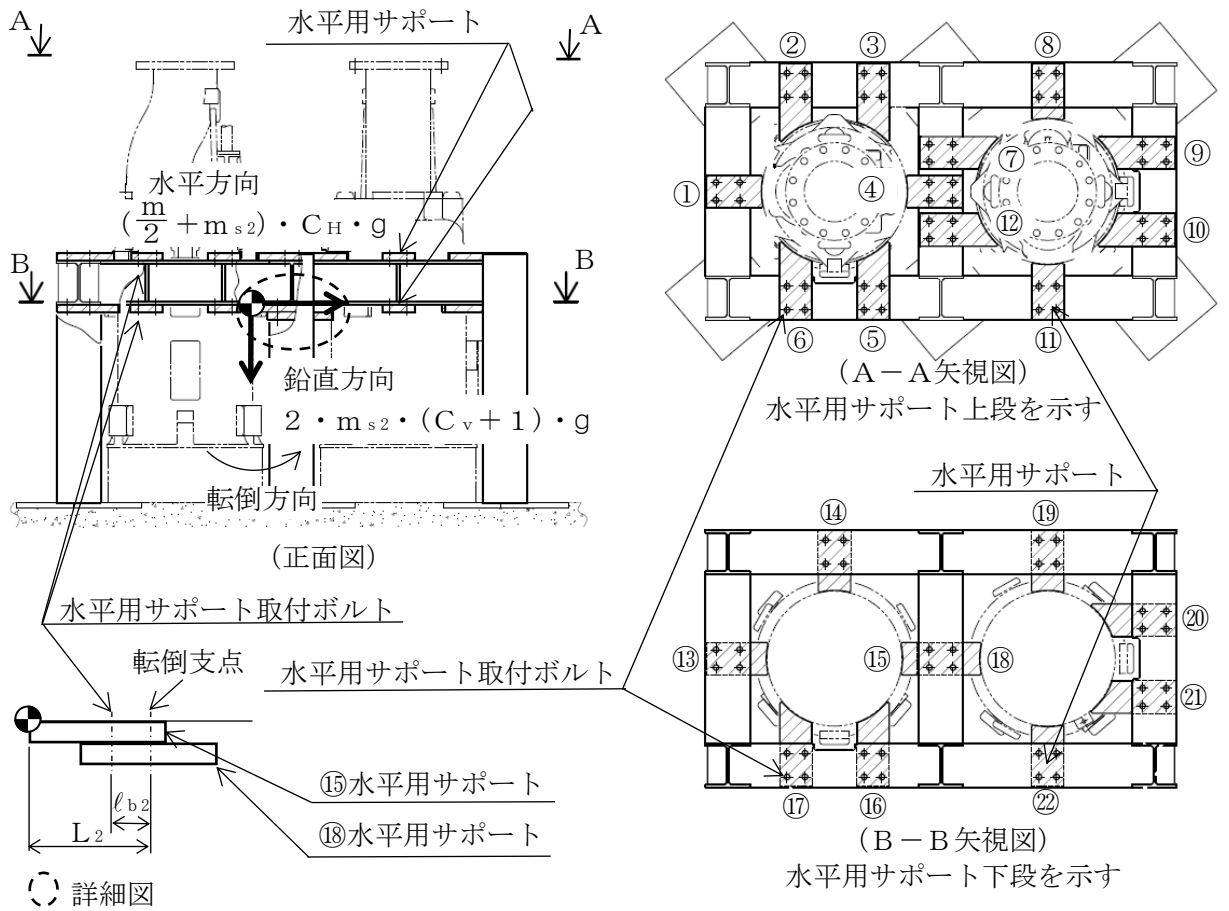


図5-2 計算モデル (長辺方向転倒)

表5-5 サポート箇所の取付ボルト本数(1/2)

サポート箇所	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
ボルト本数	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

表5-5 サポート箇所の取付ボルト本数(2/2)

サポート箇所	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒
ボルト本数	4	4	4	2*	4	4	2*	4	4	4	4

注記*: ⑮及び⑱のサポートの取付ボルト (計4本) は共通のため、評価上期待するボルト本数は2本とする。

(1) 引張応力

水平用サポート取付ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、⑮のサポートの転倒を考え、これを⑮のサポート取付ボルトで受けるものとして計算する。

なお、⑱のサポート取付ボルトを支点として転倒を考え、荷重は、⑱のサポート質量も考慮する。

引張力

$$F_{b2} = \frac{2 \cdot m_{s2} \cdot (C_v + 1) \cdot g \cdot L_2}{n_{fb2} \cdot \ell_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

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

水平用サポート取付ボルトに対するせん断力は最も厳しい条件として、⑮のサポート取付ボルトで水平方向地震により発生するポンプ質量及びサポート質量による水平方向荷重を受けるものとして計算する。なお、水平用サポートは上下に取付いており、⑮のサポートに発生するポンプ質量は④のサポートと受けるため、ポンプ質量は半分として計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = \left(\frac{m}{2} + m_{s2} \right) \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{n_{fb2} \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.4.1.3 溶接部の計算方法

溶接部の応力は、転倒モーメントによる鉛直方向せん断力が最も厳しい条件となるため、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せん断応力について計算する。図5-3に計算モデルを示す。

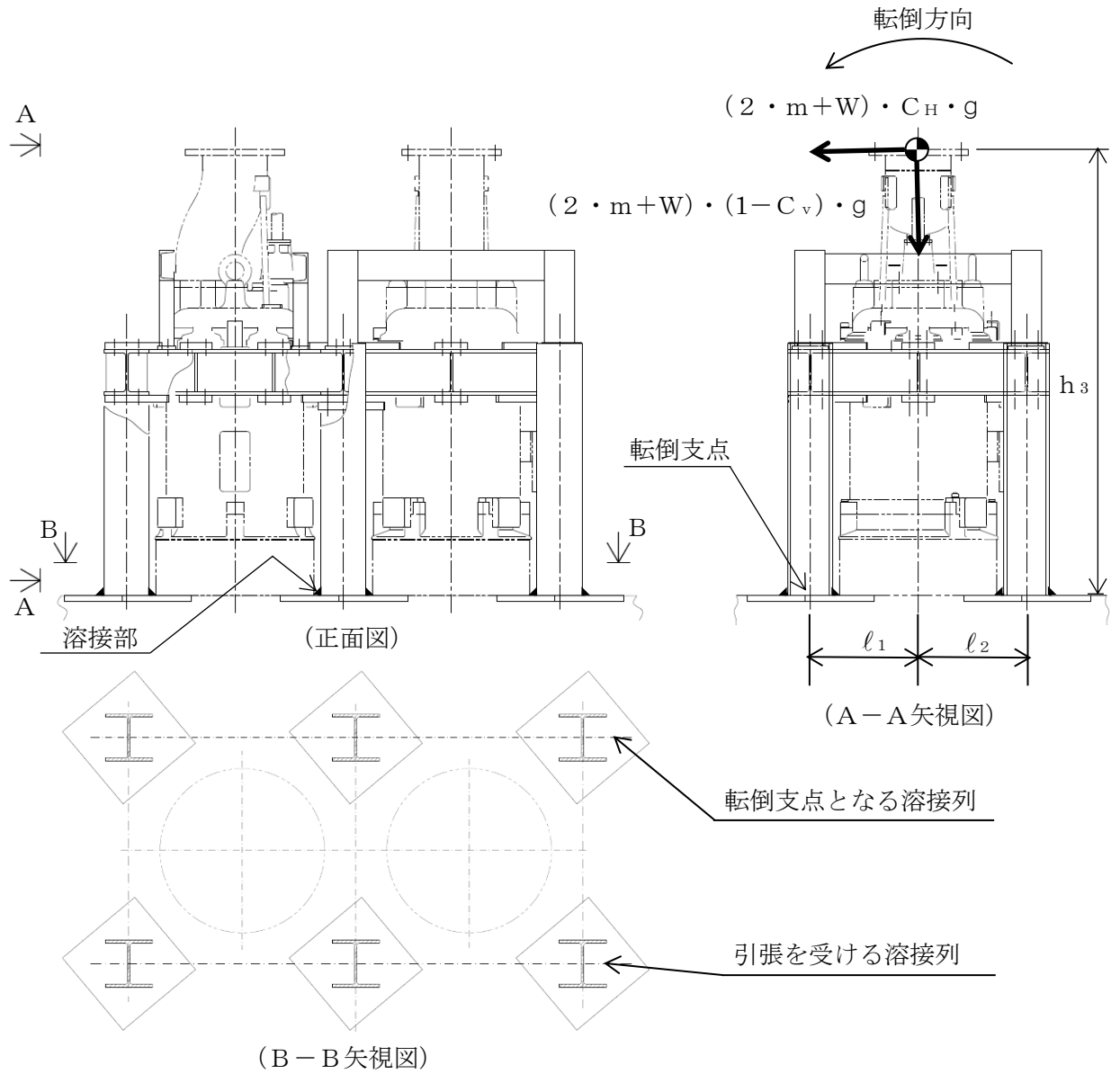


図5-3 計算モデル (短辺方向転倒)

(1) せん断応力

溶接部に対するせん断力は、厳しい条件として、図5-3に示すように溶接列を支点とする転倒を考え、これを片側の溶接部で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_w = \frac{(2 \cdot m + W) \cdot C_H \cdot g \cdot h_3 + (2 \cdot m + W) \cdot (C_v - 1) \cdot g \cdot l_1}{l_1 + l_2} \dots\dots\dots (5.4.1.3.1)$$

溶接部に発生するせん断応力

$$\tau_w = \frac{Q_w}{n_{fw} \cdot A_w} \dots\dots\dots (5.4.1.3.2)$$

5.5 計算条件

5.5.1 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計算条件は、本計算書の【揚水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 溶接部の応力計算条件

溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【揚水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 取付ボルトの応力評価

5.4.1.1 節で求めた鉛直用サポート取付ボルト及び5.4.1.2 節で求めた水平用サポート取付ボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容組合せ応力 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}	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.2 溶接部の応力評価

5.4.1.3 節で求めた溶接部の組合せ応力 τ_w は下表より求めた許容せん断応力 f_{sm} 以下であること。

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

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

揚水ポンプの動的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度はVI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に示す地震応答から、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

揚水ポンプの機能確認済加速度は、VI-2-別添 4-2「地下水位低下設備の地震応答計算書」に基づき、実機の据付状態を支持構造物を含めて加振台上で模擬した上で、当該機器が設置される床における設計用床応答スペクトルを包絡する模擬地震波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した加振台の最大加速度を適用する。

6.2 動的機能維持評価

機能確認済加速度を表 6-1 に示す。

6.1 項にて記載の模擬地震波による加速度を上回っており加振試験後の健全性確認でも揚水ポンプに問題は確認されていないことから動的機能維持には問題はない。

表 6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
揚水ポンプ	水平	
	鉛直	

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

揚水ポンプの設計基準対象施設として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を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(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

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【揚水ポンプ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

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	
揚水ポンプ (P282-101A, P282-102A)	—	地下水位低下設備 揚水井戸 EL-21.7*1			—	—	C _H =1.37*2	C _V =1.11*2	40

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	m _{si} (kg)	W (kg)	h _i (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	A _w (mm ²)	n _b —	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)
鉛直用サポート 取付ボルト (i=1)	945	212	—	337	12 (M12)	113.1	—	4	785 (径≦60mm)	930 (径≦60mm)
水平用サポート 取付ボルト (i=2)	945	9	—	—	16 (M16)	201.1	—	—	785 (径≦60mm)	930 (径≦60mm)
溶接部 (i=3)	945	—	3743	1488	—	—	1.897×10 ³	—	245 (板厚≦16mm)	400 (板厚≦16mm)

部材	L _i (mm)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ _{bi} (mm)	n _{fbi}	F _i (MPa)	n _{fw}	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
鉛直用サポート 取付ボルト (i=1)	384	—	—	768	1	—	—	651	—	長辺方向
水平用サポート 取付ボルト (i=2)	175.5	—	—	80	2	—	—	651	—	長辺方向
溶接部 (i=3)	—	360	360	—	—	—	3	280	—	短辺方向

部材	M ₁ (kg)	M ₁₁ (kg)	R	振動試験結果による 水平方向固有周期	振動試験結果による 鉛直方向固有周期
全体（ポンプ支持架台及び揚水ポンプポンプ）	1690	4060	0.5421		

1.3 計算数値

1.3.1 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
鉛直用サポート 取付ボルト (i=1)	—	1.874×10 ³	—	2.848×10 ³
水平用サポート 取付ボルト (i=2)	—	408.5	—	6.469×10 ³

27

1.3.2 溶接部に作用する力

(単位：N)

部材	Q _w	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
溶接部	—	1.602×10 ⁵

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
鉛直用サポート 取付ボルト	SCM435	引張	—	—	σ _{b1} =17	f _{ts1} =488*
		せん断	—	—	τ _{b1} =7	f _{sb1} =375
水平用サポート 取付ボルト	SCM435	引張	—	—	σ _{b2} =2	f _{ts2} =488*
		せん断	—	—	τ _{b2} =16	f _{sb2} =375

すべて許容応力以下である。

注記* : f_{ts} = Min[1.4 · f_{toi} - 1.6 · τ_{bi}, f_{toi}]

1.4.2 溶接部の応力

(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
溶接部	SS400	せん断	—	—	$\tau_w = 29$	$f_{sm} = 161$

1.4.3 動的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
揚水ポンプ	水平方向	1.00	
	鉛直方向	0.73	

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

