

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-928 改2
提出年月日	平成30年9月12日

V-2-1-13-5 たて軸ポンプの耐震性
についての計算書作成の基本方針

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 評価方針	1
2.2 適用基準	2
2.3 記号の説明	3
2.4 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有値解析及び構造強度評価	7
4.1 固有値解析及び構造強度評価方法	7
4.2 固有周期	8
4.3 設計用地震力	8
4.4 計算方法	8
4.5 応力の評価	13
5. 機能維持評価	15
5.1 動的機能維持評価方法	15
6. 耐震計算書のフォーマット	15

1. 概要

本基本方針は、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」に基づき、耐震性に関する説明書が求められているたて軸ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS。機能維持の計算を行うもの）が、十分な耐震性を有していることを確認するための耐震計算の方法について記載したものである。解析の方針及び減衰定数については、添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に従うものとする。

ただし、本基本方針が適用できないたて軸ポンプにあつては、個別耐震計算書にその耐震計算方法を含めて記載する。

2. 一般事項

2.1 評価方針

たて軸ポンプの応力評価は、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、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.2 固有周期」で算出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、「4. 固有値解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、たて軸ポンプの機能維持評価は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針 4.1 動的機能維持 (2) 回転機器及び弁」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、「5. 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「6. 耐震計算書のフォーマット」に示す。たて軸ポンプの耐震評価フローを図 2-1 に示す。



図 2-1 たて軸ポンプの耐震評価フロー

2.2 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)

2.3 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
A_f	サポート部材のフランジの断面積	mm ²
A_{sbj}	サポート取付ボルトの軸断面積* ⁵	mm ²
A_c	バレルケーシング又はコラムパイプの断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_c	バレルケーシング又はコラムパイプの内径	mm
D_i	ボルトのピッチ円直径* ¹	mm
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
E	材料の縦弾性係数	MPa
F, F_i, F_j	設計・建設規格 SSB-3131 に定める値* ¹	MPa
F^*, F_i^*, F_j^*	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 本あたり) * ¹	N
f_{bs}	サポートの許容曲げ応力 (f_b を 1.5 倍した値)	MPa
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹ (f_s を 1.5 倍した値)	MPa
f_{ssbj}	サポート取付ボルトの許容せん断応力* ⁵ (f_s を 1.5 倍した値)	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力 (f_t を 1.5 倍した値)	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	サポート部材の高さ	mm
H_p	予想最大両振幅	μ m
L	サポート荷重作用点から付け根までの長さ	mm
l_b	サポート荷重作用点から付け根までの長さ	mm
M	図 4-2 計算モデルによる多質点解析により求められるモーメント	N・mm
M_i	図 4-2 計算モデルの(イ), (ロ), (ハ)及び(ニ)を支点とする地震及び水平方向のポンプ振動による転倒モーメント* ²	N・mm
M_p	ポンプ回転により作用するモーメント	N・mm
M_s	サポートに作用するモーメント	N・mm
m	バレルケーシング付根部に対しては, ポンプ床下部質量 コラムパイプ付根部に対しては, コラムパイプ総質量	kg
m_i	運転時質量* ³	kg
N	回転速度 (原動機の同期回転速度)	min ⁻¹
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	—

記号	記号の説明	単位
$n_{s j}$	評価上せん断力を受けるとして期待するサポート取付ボルトの本数*1	—
P	原動機出力	kW
P_c	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧	MPa
$Q_{b i}$	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④における地震及び水平方向のポンプ振動によりボルトに作用するせん断力*1	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_a	バレルケーシング又はコラムパイプの許容応力	MPa
$S_u, S_{u i}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値*1	MPa
$S_{u j}$		
$S_{y i}, S_{y i}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値*1	MPa
$S_{y j}$		
$S_{y i} (RT), S_{y j} (RT)$	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
T_i	固有周期*4	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
W	サポートに作用する荷重	N
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	mm ³
Z_s	サポートの断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ	バレルケーシング又はコラムパイプの一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{b i}$	ボルトに生じる引張応力*1	MPa
σ_{CH}	水平方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_{CV}	鉛直方向地震によりバレルケーシング又はコラムパイプに生じる応力	MPa
σ_s	サポートに生じる曲げ応力	MPa
$\sigma_{z P}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による軸方向応力	MPa
$\sigma_{\theta P}$	バレルケーシング又はコラムパイプの内圧による周方向応力	MPa
$\tau_{b i}$	ボルトに生じるせん断応力*1	MPa
$\tau_{s b j}$	サポート取付ボルトに生じるせん断応力*5	MPa

注記 *1: $A_{b i}, D_i, d_i, F_i, F_i, F_{b i}, f_{s b i}, f_{t o i}, f_{t s i}, n_i, n_{f i}, Q_{b i}, S_{u i}, S_{y i}, \sigma_{b i}$ 及び $\tau_{b i}$ の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 基礎ボルト
- $i = 2$: ポンプ取付ボルト
- $i = 3$: 原動機台取付ボルト
- $i = 4$: 原動機取付ボルト

なお、ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は, $i = 2$: ポンプ取付ボルト(下), $i = 3$: ポンプ取付ボルト(上)とし, $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*2: M_i の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: ㊦

$i = 2$: ㊧

$i = 3$: ㊨

$i = 4$: ㊩

*3: m_i の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: ポンプ取付面

$i = 3$: 原動機台取付面

$i = 4$: 原動機取付面

なお、ポンプ取付面(上), (下)がある場合は, $i = 2$: ポンプ取付面(下),

$i = 3$: ポンプ取付面(上)とし, $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

*4: T_i の添字 i の意味は, 固有周期の次数を示す。

5: A_{sbi} , F_j , F_j^ , $f^{s s b j}$, $n_{s j}$, $\tau_{s b j}$ の添字 j の意味は, 以下のとおりとする。

$j = 1$: サポート取付ボルト①

$j = 2$: サポート取付ボルト②

2.4 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 2-1 に示すとおりである。

表 2-1 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*1	mm	—	—	整数位
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	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

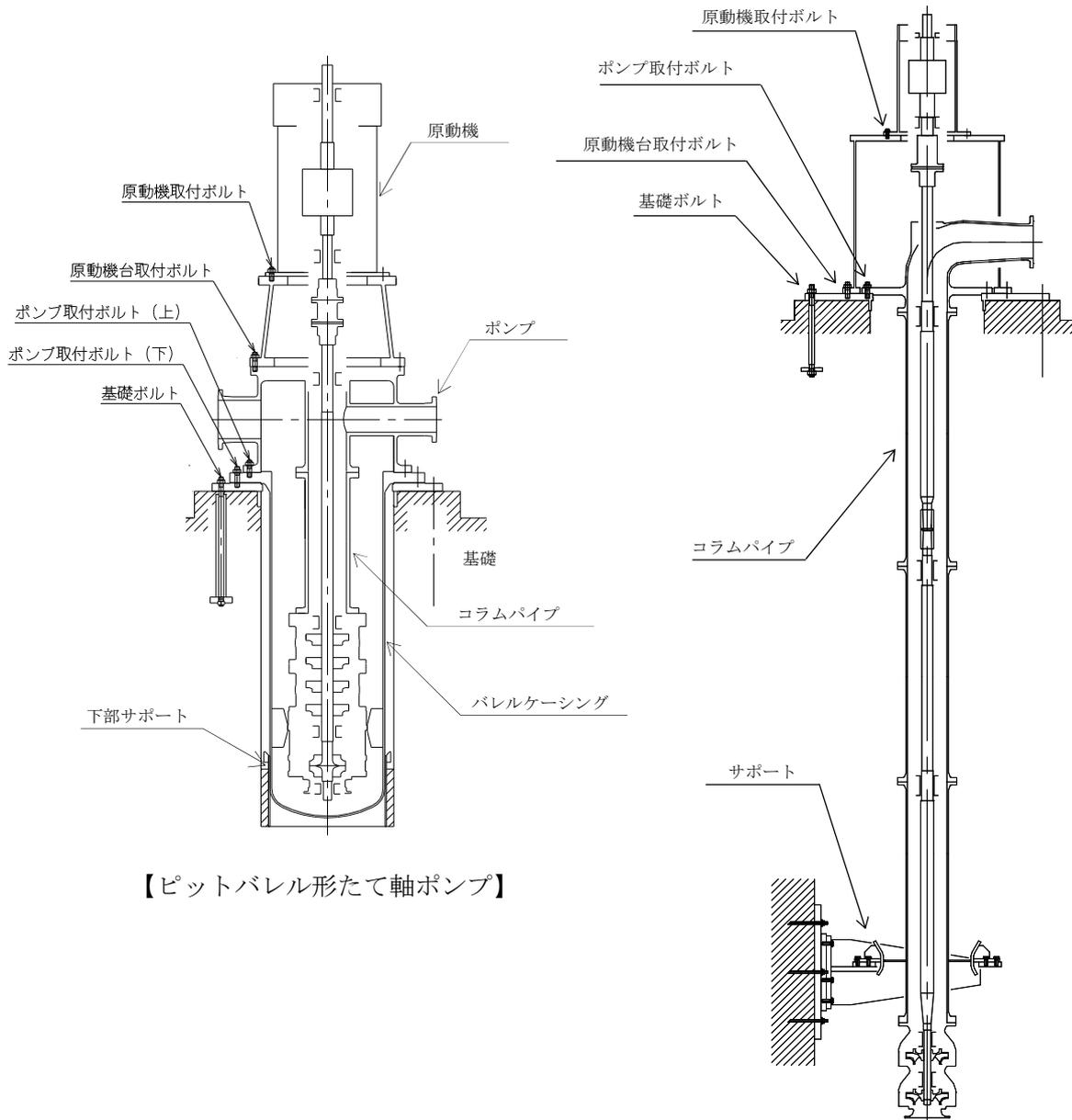
たて軸ポンプの耐震評価は「4.1 固有値解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト、取付ボルト並びにバレルケーシング及びコラムパイプについて評価を実施する。また、海水ポンプのように、コラムパイプ端部をサポートで水平方向を支持する場合には、サポート及びサポート取付ボルトについて評価を実施する。

4. 固有値解析及び構造強度評価

4.1 固有値解析及び構造強度評価方法

たて軸ポンプの固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデルの作成条件を以下に示す。

- (1) ポンプは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- (2) ポンプは原動機を含めて多質点モデルにてモデル化し，軸とケーシングとを分け軸受部をばねで接続した複列式多質点モデルとする。
- (3) モデル化に際しては，原動機，ポンプ及び内容物の質量は各質点に集中するものとする。
- (4) 下部サポートは水平方向の地震力のみ受けるものとする。
- (5) 地震力はポンプ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。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。



【ピットバレル形たて軸ポンプ】

【ターボ形たて軸ポンプ (海水ポンプ)】

図 4-1 概要図

4.2 固有周期

たて軸ポンプの固有周期について、「4.1 たて軸ポンプの固有値解析及び構造強度評価方法」に基づき作成した解析モデルにより計算する。

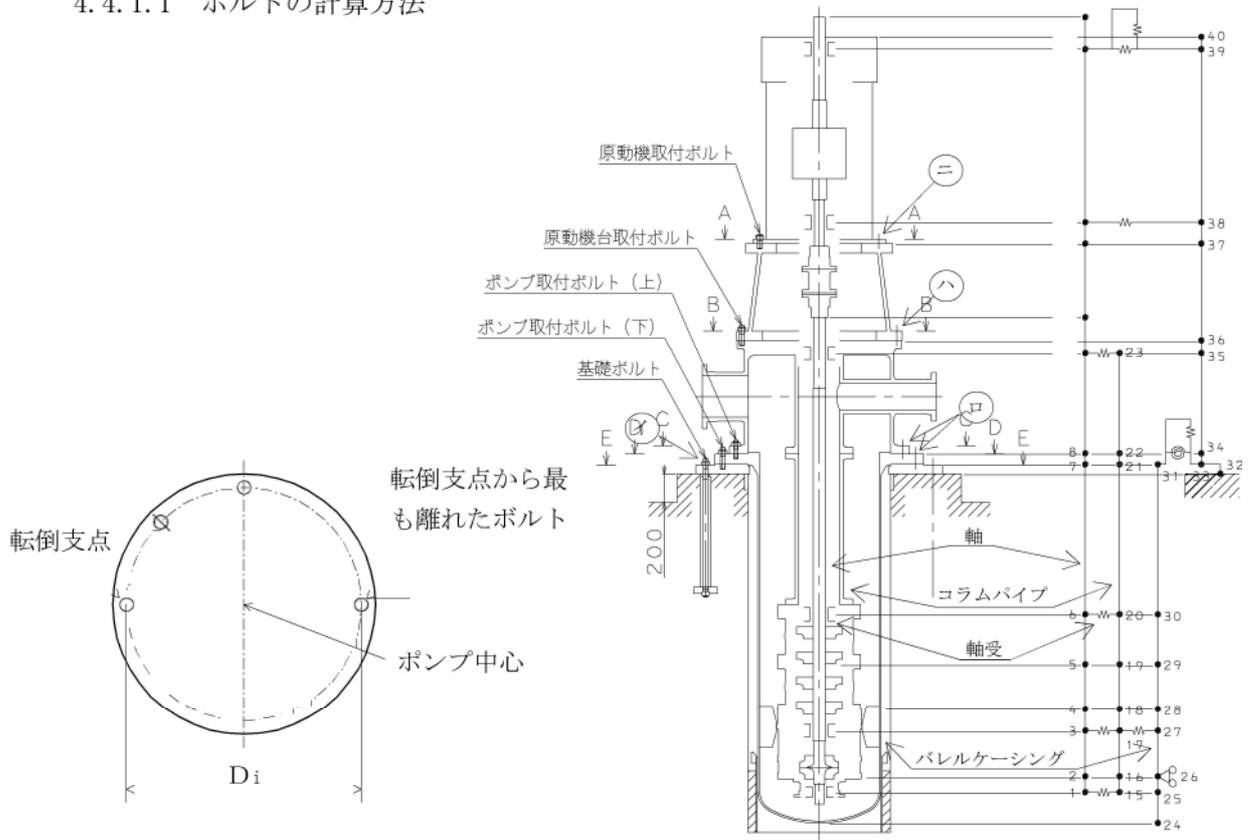
4.3 設計用地震力

弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度及び基準地震動 S_s による地震力は、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。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

4.4.1.1 ボルトの計算方法



$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: ポンプ取付ボルト*

$i = 3$: 原動機台取付ボルト*

$i = 4$: 原動機取付ボルト*

注記* : ポンプ取付ボルト(上), (下)がある場合は, $i = 2$: ポンプ取付ボルト(下), $i = 3$: ポンプ取付ボルト(上)とし, $i = 3$ を $i = 4$, $i = 4$ を $i = 5$ とする。

図 4-2 計算モデル例

ボルトの応力は地震による震度，ポンプ振動による震度及びポンプ回転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。

なお，転倒モーメント並びにせん断力は，解析コードを用いた地震応答解析により算出するが，その際，水平方向には設計震度とポンプ振動による震度の合計を考慮し，鉛直方向には，設計震度と自重を考慮する。

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて計算する。

引張力

$$F_{b\ i} = \frac{M_i - (1 - C_p - C_v) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{f\ i} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.4.1.1.1)$$

ここで、 M_i は解析コードを用いた地震応答解析により求める。

また、 C_p はポンプ振動による振幅及び原動機の同期回転速度を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.4.1.1.2)$$

引張応力

$$\sigma_{b\ i} = \frac{F_{b\ i}}{A_{b\ i}} \dots\dots\dots (4.4.1.1.3)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b\ i}$ は次式により求める。

$$A_{b\ i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.4.1.1.4)$$

ただし、 $F_{b\ i}$ 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

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。なお、基礎ボルト ($i=1$) については、ポンプ回転によるモーメントは作用しない。

せん断力

せん断力は解析コードを用いた地震応答解析により求める $Q_{b\ i}$ 及びポンプ回転により作用するモーメント M_p を考慮して求める。

せん断応力

$$\tau_{b\ i} = \frac{Q_{b\ i} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{b\ i}} \dots\dots\dots (4.4.1.1.5)$$

ここで、ポンプ回転により作用するモーメント M_p は次式で求める。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \dots\dots\dots (4.4.1.1.6)$$

(1kW = 10^6 N・mm/s)

4.4.1.2 バレルケーシング及びコラムパイプの計算方法

バレルケーシング及びコラムパイプの応力は次式により求める。

(1) 水平方向地震力による応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた各部に働くモーメントにより，曲げ応力は以下のようなになる。

$$\sigma_{CH} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots (4.4.1.2.1)$$

(2) 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{CV} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \dots\dots\dots (4.4.1.2.2)$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.2.3)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.2.4)$$

以上の(1)～(3)の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma = \text{Max} (\sigma_{CH} + \sigma_{CV} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.4.1.2.5)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

4.4.1.3 サポート及びサポート取付ボルトの計算方法

サポート及びサポート取付ボルトの応力は次式により求める。

(1) サポートの応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた荷重Wにより，曲げ応力は以下のようなになる。

$$M_s = W \cdot L \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.1.1)$$

もしくは，

$$M_s = \frac{W}{2} \cdot L \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.1.2)$$

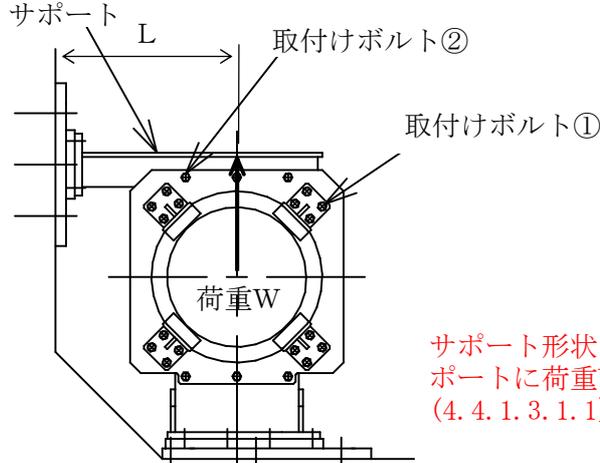
$$\sigma_s = \frac{M_s}{Z_s} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.2)$$

(2) サポート取付ボルトの応力

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた荷重Wにより，せん断応力は以下のようなになる。

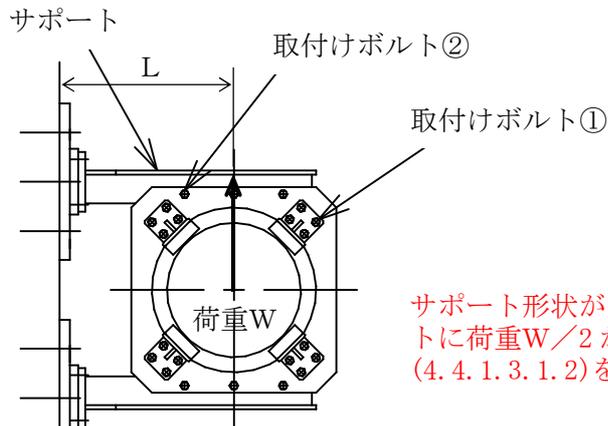
$$\tau_{s b j} = \frac{W}{A_{s b j} \cdot n_{s j}} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.3.3)$$

(サポート形状が異なる場合)



サポート形状が異なる場合は，条件が厳しいサポートに荷重Wが負荷されると仮定し，式(4.4.1.3.1.1)を適用する。

(サポート形状が同じ場合)



サポート形状が同じである場合は，各サポートに荷重W/2が負荷されると仮定し，式(4.4.1.3.1.2)を適用する。

図 4-3 サポート部の応力計算モデル

4.5 応力の評価

4.5.1 ボルトの応力評価

4.4.1.1 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 $f_{t si}$ 以下であること。ただし、 $f_{t oi}$ は下表による。

$$f_{t si} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{t oi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{t oi}] \quad \dots\dots\dots (4.5.1.1)$$

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 $f_{s bi}$ 以下であること。ただし、 $f_{s bi}$ 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	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 $f_{t oi}$	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s bi}$	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4.5.2 バレルケーシング及びコラムパイプの応力評価

4.4.1.2 項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_a 以下であること。ただし、 S_a は下表による。

応力の種類	許 容 応 力 S_a	
	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	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点 S_y と設計引張強さ S_u の 0.6 倍のいずれか小さい方の値。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金にあつては許容引張応力 S の 1.2 倍の方が大きい場合は、この大きい方の値とする。	設計引張強さ S_u の 0.6 倍

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

4.5.3 サポート及びサポート取付ボルトの応力評価

4.4.1.3 項で求めた曲げ応力 σ_s 及びせん断応力 τ_{sbj} が、各々許容曲げ応力 f_{sb} 及び許容せん断応力 f_{sbj} 以下であること。ただし、 f_{sb} 及び f_{sbj} は下表による。

(1) サポート

	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	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容曲げ応力 f_{sb}	$\frac{0.433E \cdot A_f \cdot 1.5^*}{l_b \cdot h}$ もしくは $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ いずれか小さい方の値	$\frac{0.433E \cdot A_f \cdot 1.5^*}{l_b \cdot h}$ もしくは $\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$ いずれか小さい方の値

注記 * : 記号の定義については、設計・建設規格 SSB-3121.1(4)による

(2) サポート取付ボルト

	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	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_{sbj}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

評価用加速度と機能確認済加速度との比較により，地震時又は地震後の動的機能維持を評価する。

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，添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」による。

なお，この適用形式を外れる場合は，加振試験等に基づき確認した加速度を用いることとし，個別計算書にその旨を記載する。

6. 耐震計算書のフォーマット

たて軸ポンプの耐震計算書のフォーマットは，以下のとおりである。

〔設計基準対象施設及び重大事故等対処設備の場合〕

フォーマットⅠ 設計基準対象施設としての評価結果

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果

〔重大事故等対処設備単独の場合〕

フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果*

注記*：重大事故等対処設備単独の場合は，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備に示すフォーマットⅡを使用するものとする。ただし，評価結果表に記載の章番を「2.」から「1.」とする。

【フォーマット I 設計基準対象施設としての評価結果】

【○○○○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	耐震設計上の重要度分類	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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸入側	吐出側
		建屋 EL. *			$C_H =$	$C_V =$	$C_H =$	$C_V =$	$C_p =$				

注記 * : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	n_{f_i}	M_p (N・mm)	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)				*2	*2		
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M)				*1	*1		
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1		
原動機台取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1		
原動機取付ボルト (i=5)			(M)				*2	*2		

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1 : 最高使用温度で算出
*2 : 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p =$	$N =$

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	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	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)						
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)						
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)						
原動機台取付ボルト (i=4)						
原動機取付ボルト (i=5)						

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力

(単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結 論

1.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次		
2次		

17

1.4.2 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	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機台取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$
		せん断	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$

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

1.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	$\sigma =$	$S_a =$
		基準地震動 S_s	$\sigma =$	$S_a =$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	$\sigma =$	$S_a =$
		基準地震動 S_s	$\sigma =$	$S_a =$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 動的機能の評価結果

1.4.4.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	
原動機	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	

注記 *1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

*2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

材料番号	温度(°C)	縦弾性係数(MPa)	質量密度(kg/mm ³)	ポアソン比(-)	材質	部位
1						
2						
3						
4						
5						

【フォーマットⅡ 重大事故等対処設備としての評価結果】

【○○○○ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処施設

2.1 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		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)	
			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				吸入側	吐出側
		建屋 EL. *			—	—	$C_H =$	$C_V =$	$C_p =$				

注記 * : 基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	n_{f_i}	M_p (N・mm)	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)			(M)				*2	*2	—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)			(M)				*1	*1	—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)			(M)				*1	*1	—	
原動機台取付ボルト (i=4)			(M)				*1	*1	—	
原動機取付ボルト (i=5)			(M)				*2	*2	—	

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング, コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	*1	*1	*1		
コラムパイプ	*1	*1	*1		

注記 *1 : 最高使用温度で算出

*2 : 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μ m)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p =$	N =

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M _i (N・mm)		F _{b i} (N)		Q _{b i} (N)	
	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	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)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=5)	—		—		—	

(2) バレルケーシング, コラムパイプに作用する力
(単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向

2.4.2 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	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下)		引張り	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上)		引張り	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機台取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$

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

2.4.3 バレルケーシング, コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材 料	一次一般膜応力	
		算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	$\sigma =$
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	—
		基準地震動 S _s	$\sigma =$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能の評価結果

2.4.4.1 機能確認済加速度との比較

(×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	
原動機	水平方向	*1	
	鉛直方向	*2	

注記 *1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

*2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)	断面二次 極モーメント (mm ⁴)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	(N/mm)
3	17	(N/mm)
6	20	(N/mm)
9	23	(N/mm)
12	38	(N/mm)
13	39	(N/mm)
17	27	(N/mm)
31	33	(N・mm/rad)

(4) 節点の質量

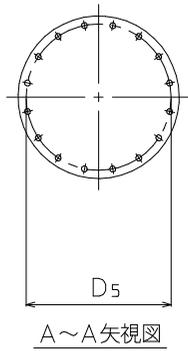
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(5) 材料物性値

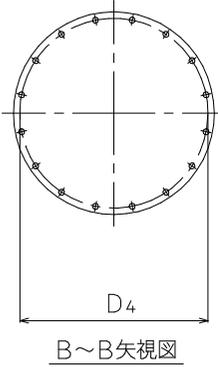
材料番号	温度(°C)	縦弾性係数(MPa)	質量密度(kg/mm ³)	ポアソン比(-)	材質	部位
1						
2						
3						
4						
5						

容器、基礎台及びボルトの形状
は実機ベースで記載する。
なお、ボルトのスリーブは記載しない。

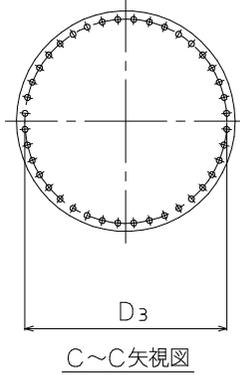
原動機取付ボルト



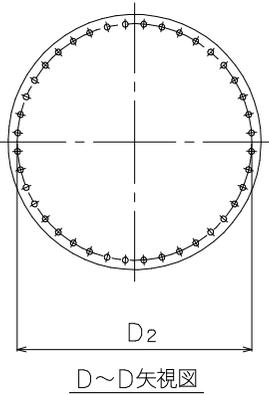
原動機台取付ボルト



ポンプ取付ボルト (上)



ポンプ取付ボルト (下)



基礎ボルト

