

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-001-14改07
提出年月日	2023年2月2日

VI-2-1-14 機器・配管系の計算書作成の方法

2023年2月

中国電力株式会社

目 次

- 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-5 平底たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-7 計装ラックの耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-8 計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針
- 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針

今回提出範囲 :

添付資料-2 立形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 適用規格・基準等	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 固有周期の計算	8
4.3 設計用地震力	8
4.4 計算方法	8
4.5 応力の評価	12
5. 機能維持評価	14
5.1 動的機能維持評価方法	14
6. 耐震計算書のフォーマット	14

1. 概要

本資料は、VI-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立形ポンプ（耐震重要度分類Sクラス又はS 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、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に従う。

ただし、本基本方針が適用できない立形ポンプにあつては、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

立形ポンプの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」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、「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.2 固有周期の計算」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、立形ポンプの機能維持評価は、VI-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、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、「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。

立形ポンプの耐震評価フローを図2-1に示す。

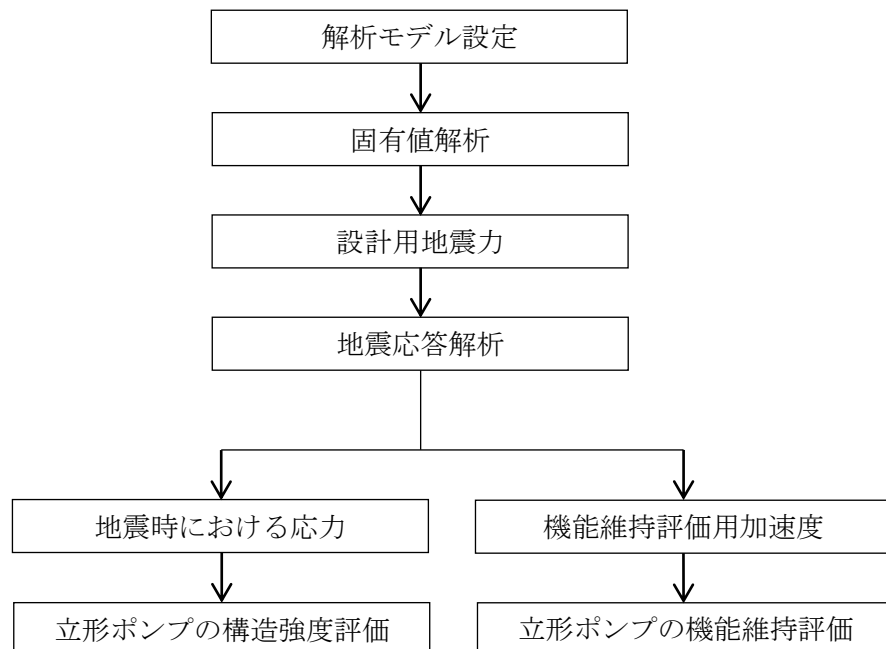


図2-1 立形ポンプの耐震評価フロー

2.2 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。）

2.3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A b i	ボルトの軸断面積* ¹	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
F i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F i *	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F b i	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f s b i	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f t o i	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f t s i	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 (許容組合せ応力) * ¹	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _p	予想最大両振幅	μm
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水平方向地震及び水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
M ₀	図 4-2 計算モデルによる多質点解析により求められる水平方向地震によるモーメント	N・mm
M _{cp}	図 4-2 計算モデルによる多質点解析により求められる水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
M _i	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④を支点とする水平方向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 _{0i}	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④を支点とする水平方向地震による転倒モーメント* ²	N・mm
M _{cp<i>i</i>}	図 4-2 計算モデルの①, ②, ③及び④を支点とする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	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	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
n _i	ボルトの本数* ¹	—
n _{f i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* 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における水平方向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

記号	記号の説明	単位
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 _y , 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 i} (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値* ¹	MPa
T _{H i}	水平方向固有周期* ⁴	s
T _{V i}	鉛直方向固有周期* ⁴	s
t	バレルケーシング又はコラムパイプの厚さ	mm
Z	バレルケーシング又はコラムパイプの断面係数	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
σ _{b i}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
σ _{c H}	水平方向地震及び水平方向のポンプ振動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 _{c H1}	σ _{c H} のうち水平方向地震により生じる応力	MPa
σ _{c H2}	σ _{c H} のうち水平方向のポンプ振動により生じる応力	MPa
σ _{c v}	鉛直方向地震、自重及び鉛直方向のポンプ振動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 _{c v1}	σ _{c v} のうち鉛直方向地震により生じる応力	MPa
σ _{c v2}	σ _{c v} のうち自重及び鉛直方向のポンプ振動により生じる応力	MPa
σ _{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
σ _{θ 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
τ _{b i}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	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}, S_{y i}(RT), σ_{b i}及びτ_{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, M_{0 i}及びM_{c p i}の添字iの意味は、以下のとおりとする。

i = 1: ①

i = 2: ②

i = 3: ③

i = 4: 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_{Hi} 、 T_{Vi} の添字 i の意味は、固有周期の次数を示す。

2.4 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 2-1 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	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}
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

立形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の支持をする場合には、サポート基礎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

立形ポンプの固有値解析及び構造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) ポンプは原動機も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。また，解析モデルは水平方向及び鉛直方向の応答を考慮した2次元の解析モデルとする。
- (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) ピットバレル形立形ポンプの下部サポートは水平方向に対して剛性が十分に大きく鉛直方向は拘束しないため，ローラ支点としてモデル化し，水平方向の地震力を受ける。
- (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。
- (6) 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- (7) 固有値解析及び地震応答解析に用いる解析コードは「MSC NASTRAN」とする。

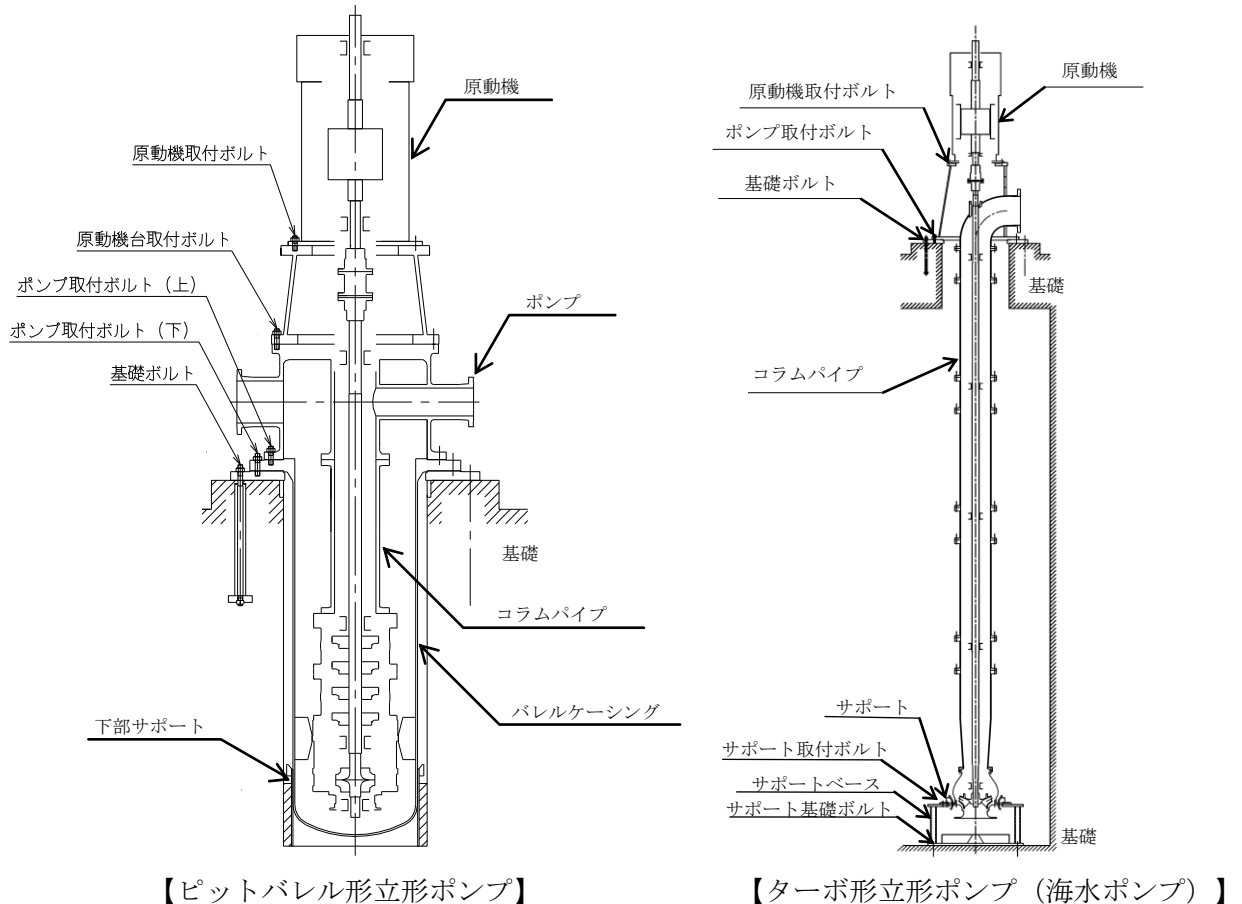


図 4-1 概要図

4.2 固有周期の計算

立形ポンプの固有周期について、「4.1 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

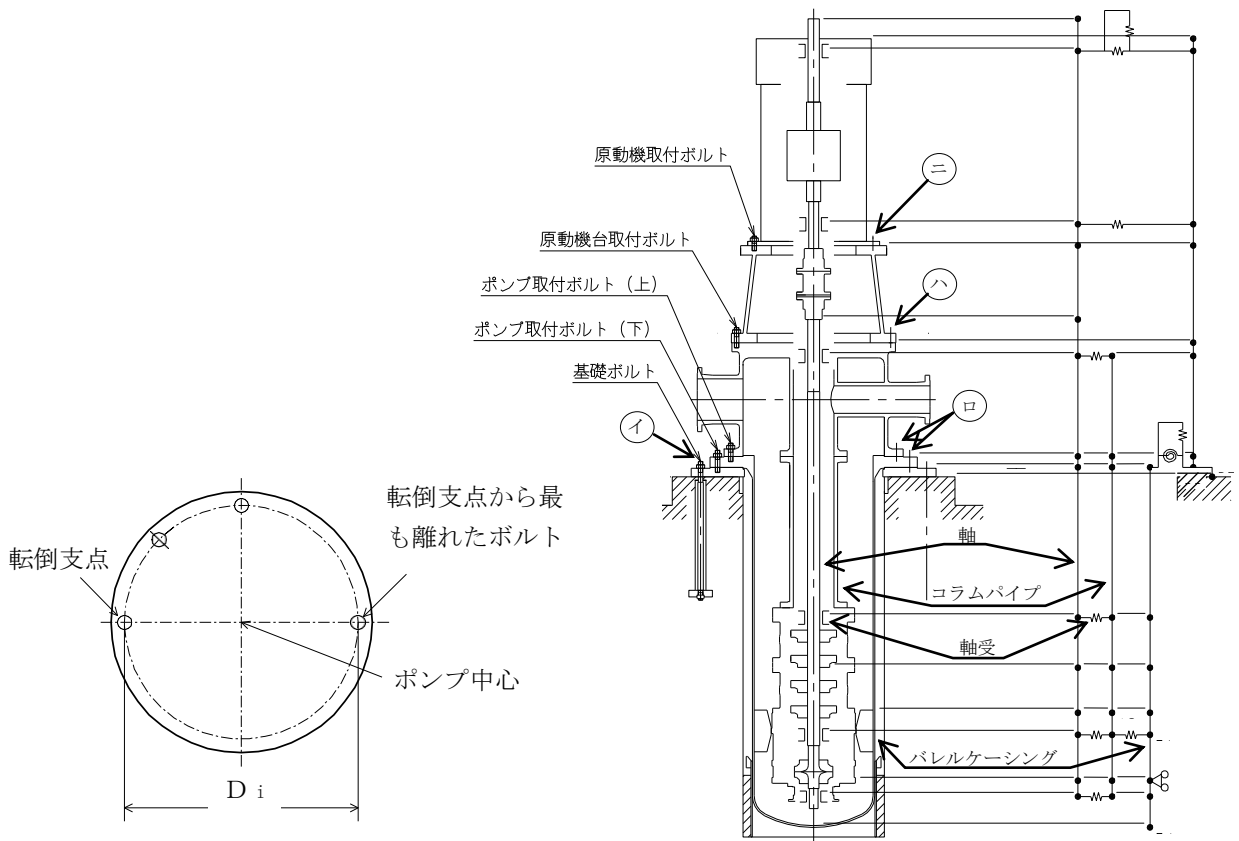
「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

4.4 計算方法

4.4.1 応力の計算方法

ポンプが鉛直方向について剛構造であることを確認のうえ、以下の式により応力の計算を行う。

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

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、転倒モーメント及びせん断力は、水平方向には設計震度とポンプ振動による震度を考慮し、地震応答解析により算出する。

(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

【絶対値和】

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

【SRSS法】

$$F_{b i} = \frac{\sqrt{M_{0 i}^2 + \left(C_v \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}\right)^2} + M_{c p i} + (C_p - 1) \cdot m_i \cdot g \cdot \frac{D_i}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{f i} \cdot D_i} \dots\dots\dots (4.4.1.1.2)$$

ここで、 M_i 、 $M_{0 i}$ 及び $M_{c p i}$ は解析により求める。

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数を考慮して定める値で、次式で求める。

$$C_p = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_p}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \dots\dots\dots (4.4.1.1.3)$$

引張応力

$$\sigma_{b i} = \frac{F_{b i}}{A_{b i}} \dots\dots\dots (4.4.1.1.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 $A_{b i}$ は次式により求める。

$$A_{b i} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (4.4.1.1.5)$$

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

せん断力は地震応答解析により求める Q_{bi} 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

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi} + 2 \cdot M_p / D_i}{n_i \cdot A_{bi}} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.6)$$

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。

$$M_p = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots\dots\dots (4.4.1.1.7)$$

$$(1kW = 10^6 N \cdot mm/s)$$

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) 水平方向地震及びポンプ振動による応力

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、曲げ応力は以下ようになる。

【絶対値和】

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

【SRSS法】

$$\sigma_{cH1} = \frac{M_0}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.2)$$

$$\sigma_{cH2} = \frac{M_{cp}}{Z} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.3)$$

(2) 鉛直方向地震及びポンプ振動による応力

【絶対値和】

$$\sigma_{cv} = \frac{(1 + C_v + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.4)$$

【SRSS法】

$$\sigma_{cv1} = \frac{C_v \cdot m \cdot g}{A_c} \quad \dots\dots\dots (4.4.1.2.5)$$

$$\sigma_{cv2} = \frac{(1 + C_p) \cdot m \cdot g}{A_c} \dots\dots\dots (4.4.1.2.6)$$

(3) 内圧による応力

$$\sigma_{\theta P} = \frac{P_c \cdot D_c}{2 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.2.7)$$

$$\sigma_{zP} = \frac{P_c \cdot D_c}{4 \cdot t} \dots\dots\dots (4.4.1.2.8)$$

以上の(1)～(3)の各応力から、一次一般膜応力は

【絶対値和】

$$\sigma = \text{Max} (\sigma_{cH} + \sigma_{cv} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.4.1.2.9)$$

【SRSS法】

$$\sigma = \text{Max} (\sqrt{(\sigma_{cH1})^2 + (\sigma_{cv1})^2} + \sigma_{cH2} + \sigma_{cv2} + \sigma_{zP}, \sigma_{\theta P}) \dots\dots\dots (4.4.1.2.10)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

4.5 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。

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

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

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。

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

機能維持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。

機能維持評価用加速度は、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。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

機能確認済加速度は、VI-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

立形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				吸込側	吐出側
		○○建物 EL *1			$C_H =$ *2 又は*3	$C_V =$ *2	$C_H =$ *4 又は*5	$C_V =$ *4	$C_P =$				

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) により得られる震度

*4: 設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) により得られる震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	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	*	*	*		
コラムパイプ	*	*	*		

注記*: 最高使用温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

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 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	T _{H1} =
鉛直方向	T _{V1} =

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 (i=1)		引張	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト (i=5)		引張	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$
		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*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

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	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
ポンプ	水平方向		
	鉛直方向		
原動機	水平方向		
	鉛直方向		

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。
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。

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)
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	ばねの方向
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
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. 重大事故等対処設備

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				吸込側	吐出側
		○○建物 EL *1			—	—	C _H = *2 又は*3	C _V = *2	C _P =				

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	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	—	*	*		
コラムパイプ	—	*	*		

注記*：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 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	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位: s)

方向	固有周期
水平方向	T _{H1} =
鉛直方向	T _{V1} =

23

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 (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1} =$	$f_{ts1} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} =$	$f_{sb1} =$
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2} =$	$f_{ts2} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} =$	$f_{sb2} =$
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3} =$	$f_{ts3} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b3} =$	$f_{sb3} =$
原動機台取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4} =$	$f_{ts4} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} =$	$f_{sb4} =$
原動機取付ボルト (i=5)		引張	—	—	$\sigma_{b5} =$	$f_{ts5} = *$
		せん断	—	—	$\tau_{b5} =$	$f_{sb5} =$

すべて許容応力以下である。

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

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	$\sigma =$	S _a =
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	$\sigma =$	S _a =

すべて許容応力以下である。

2.4.4 動的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

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

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度

又は設置床の最大応答加速度のいずれか大きい方とする。

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。

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)
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	ばねの方向
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)	

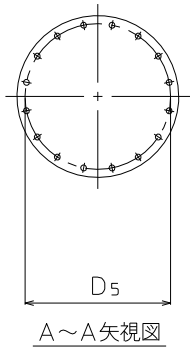
(4) 節点の質量

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	

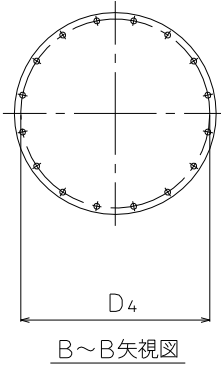
(5) 材料物性値

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
1					
2					
3					
4					
5					

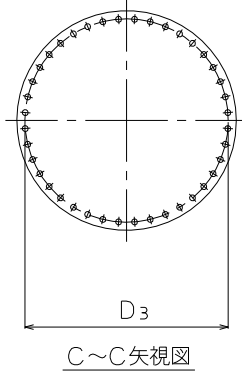
原動機取付ボルト



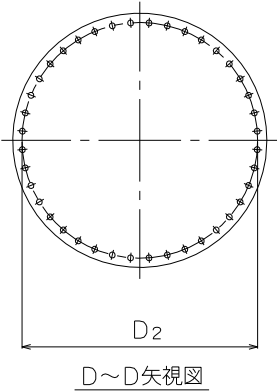
原動機台取付ボルト



ポンプ取付ボルト (上)



ポンプ取付ボルト (下)



基礎ボルト

