

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-011-15
提出年月日	2023年2月2日

VI-2-10-2-11 隔離弁，機器・配管の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-10-2-11 R0

2023年2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. タービン補機海水ポンプ	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 構造計画	2
2.3 固有値解析及び構造強度評価	4
2.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	4
2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
2.3.3 解析モデル及び諸元	9
2.3.4 固有周期	9
2.3.5 設計用地震力	11
2.3.6 計算方法	12
2.3.7 計算条件	13
2.3.8 応力の評価	14
2.4 評価結果	15
2.4.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
3. 循環水ポンプ	27
3.1 概要	27
3.2 一般事項	27
3.2.1 構造計画	27
3.3 固有値解析及び構造強度評価	29
3.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	29
3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力	29
3.3.3 解析モデル及び諸元	34
3.3.4 固有周期	34
3.3.5 設計用地震力	39
3.3.6 計算方法	41
3.3.7 計算条件	42
3.3.8 応力の評価	43
3.4 評価結果	44
3.4.1 設計基準対象施設としての評価結果	44

今回提出範囲：

4. 隔離弁, 配管	69
4.1 概要	69
4.2 配置概要, 概略系統図及び鳥瞰図	70
4.2.1 配置概要	70
4.2.2 概略系統図	71
4.2.3 鳥瞰図	76
4.3 計算条件	78
4.3.1 計算方法	78
4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	79
4.3.3 設計条件	81
4.3.4 材料及び許容応力	88
4.3.5 設計用地震力	89
4.4 解析結果及び評価	90
4.4.1 固有周期及び設計震度	90
4.4.2 評価結果	96

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、浸水防止設備のうち隔離弁、機器・配管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

隔離弁、機器・配管の構成を表1-1に示す。また、概要図を図1-1に示す。

表1-1 隔離弁、機器・配管の構成

機器名称		据付場所
隔離弁	タービン補機海水ポンプ出口弁	取水槽
	タービン補機海水ポンプ第二出口弁	取水槽
	タービン補機海水系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
	液体廃棄物処理系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
機器	循環水ポンプ	取水槽
	タービン補機海水ポンプ	取水槽
配管	原子炉補機海水系配管	原子炉補機冷却系熱交換器～放水槽
	高圧炉心スプレー補機海水系配管	高圧炉心スプレー補機冷却系熱交換器～ 原子炉補機海水系配管合流部
	循環水系配管	循環水ポンプ～取水槽
	タービン補機海水系配管	タービン補機海水ポンプ～タービン補機 海水ポンプ第二出口弁 タービン補機海水系逆止弁～放水槽
	液体廃棄物処理系配管	液体廃棄物処理系逆止弁～放水槽

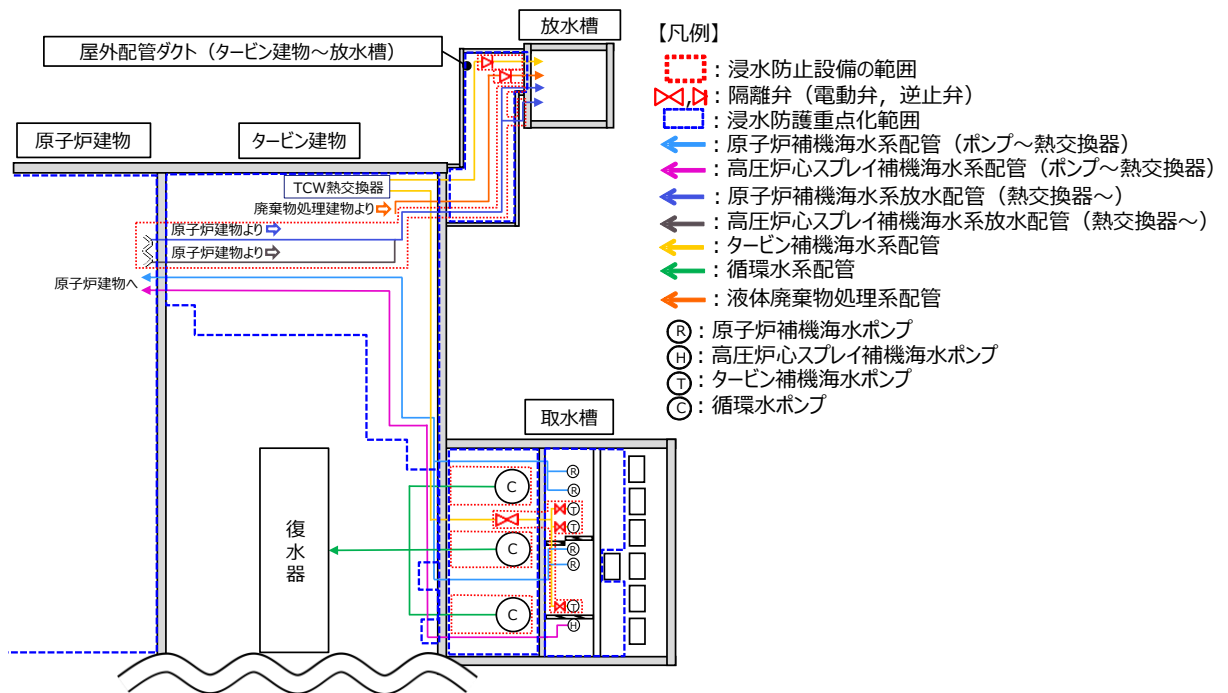


図1-1 隔離弁、機器・配管の概要図

## 2. タービン補機海水ポンプ

### 2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、タービン補機海水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

タービン補機海水ポンプは、設計基準対象施設のうち浸水防止設備として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を示す。

なお、タービン補機海水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 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」に基づく評価を基本とし、浸水防止設備としての評価部位も評価を実施する。

### 2.2 一般事項

#### 2.2.1 構造計画

タービン補機海水ポンプの構造計画を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 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>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>(単位: mm)</p>

## 2.3 固有値解析及び構造強度評価

### 2.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

タービン補機海水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 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」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。タービン補機海水ポンプは浸水防止設備であるため、評価部位としてディスチャージケーシングの評価を実施する。ディスチャージケーシングの耐震計算方法は上記方針によらないため、「2.3.6 計算方法」に基づき実施する。

### 2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### (1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

タービン補機海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 2.3-1 に示す。

#### (2) 許容応力

タービン補機海水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2.3-2 及び表 2.3-3 のとおりとする。

#### (3) 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機海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 2.3-4 に示す。

表 2.3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	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
浸水防止設備	タービン補機海水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：その他のポンプの支持構造物を含む。



表 2.3-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容応力状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
ⅢA S	<p><math>S_y</math> と <math>0.6 \cdot S_u</math> の小さい方 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ついては上記値と <math>1.2 \cdot S</math> との大きい方とする。</p>	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次 + ピーク応力
ⅣA S	<p><math>0.6 \cdot S_u</math></p>	左欄の 1.5 倍の値	<p>一次 + 二次応力</p> <p><math>S_d</math> 又は <math>S_s</math> 地震動のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が <math>2 \cdot S_y</math> 以下であれば, 疲労解析は不要</p>

注記\*:  $2 \cdot S_y$  を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。  $S_m$  は  $2/3 \cdot S_y$  と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 2.3-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 2.3-4 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 (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
コラムパイプ		30		—	245	400	—
基礎ボルト			<input type="checkbox"/>	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		30		—	205	520	205
原動機取付ボルト			<input type="checkbox"/>	—	198	504	205
デイスチャージャケーシング		30		—	245	400	—

### 2.3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体積質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 2.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 2.3-5、振動モード図を図 2.3-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 2.3-5 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.228	1.995	1.995	—

注記\*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

\*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

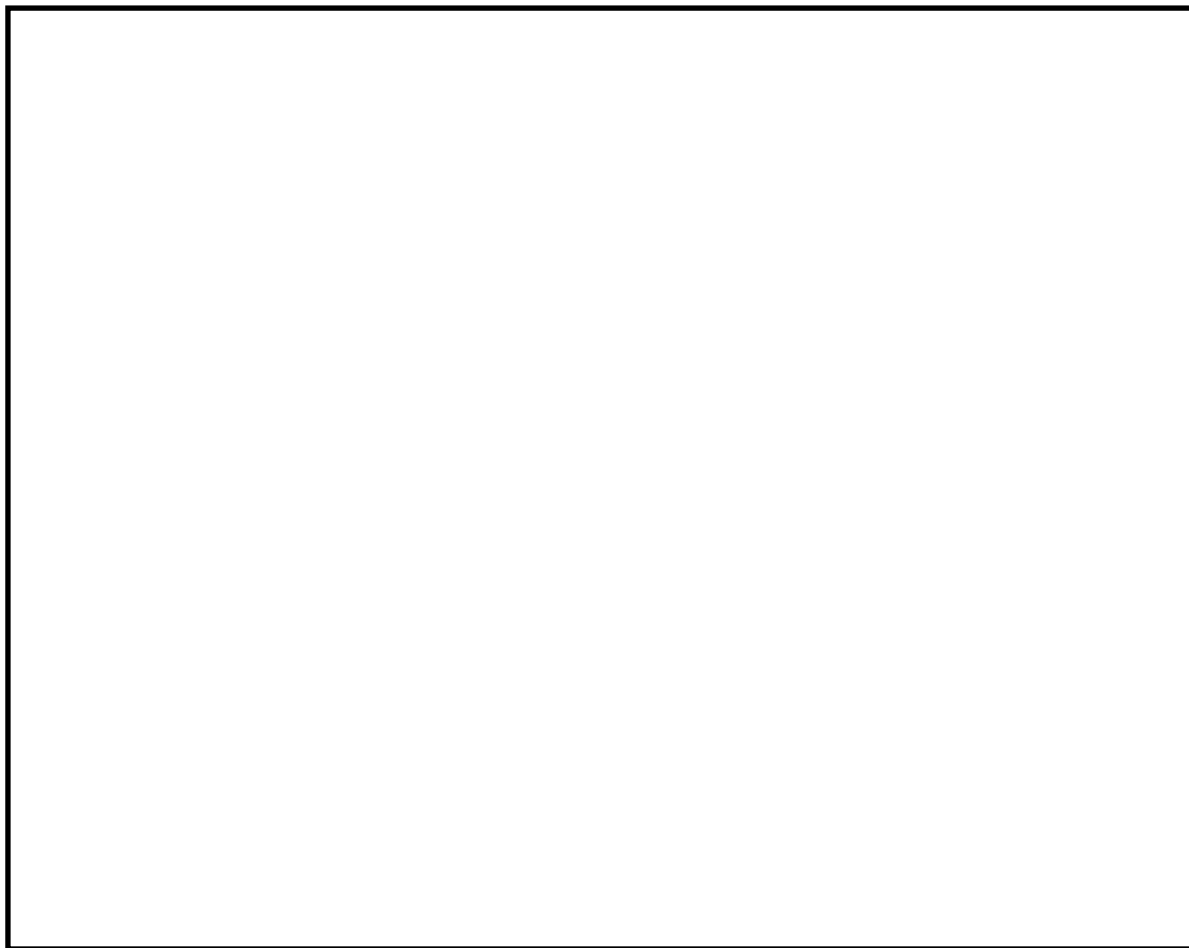


図 2.3-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.228s)

### 2.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2.3-6 に示す。

「弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」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。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 2.3-6 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)		取水槽 EL 1.1 <sup>*1</sup>					
固有周期(s)		水平：0.228 <sup>*2</sup> 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード <sup>*3</sup>	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*4</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*4</sup>	応答水平震度 <sup>*5</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*5</sup>
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.228	4.16	5.01	—	4.16	5.01	—
動的震度 <sup>*6, *7</sup>		1.41	1.67	1.28	1.41	1.67	1.28
静的震度 <sup>*8</sup>		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：1 次固有周期について記載

\*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

\*4：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*6：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）を上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

\*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

\*8：3.6・C<sub>i</sub> 及び 1.2・C<sub>v</sub> より定めた震度

### 2.3.6 計算方法

#### (1) 記号の説明

タービン補機海水ポンプのディスチャージケーシングの応力評価に使用する記号を表 2.3-7 に示す。

表 2.3-7 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>P</sub>	ポンプ振動による震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの内径	mm
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
M <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M <sub>d C P</sub>	ディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
m <sub>d</sub>	ポンプ床下部質量	kg
P <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
S <sub>d a</sub>	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
t <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
Z <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの断面係数	mm <sup>3</sup>
σ <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ <sub>d C H 1</sub>	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ <sub>d C H 2</sub>	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ <sub>d C V 1</sub>	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ <sub>d C V 2</sub>	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ <sub>d Z P</sub>	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
σ <sub>d θ P</sub>	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa

## (2) ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

- a. ポンプ振動による震度による水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.1)$$

- b. 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.2)$$

- c. 自重及びポンプ振動による震度による鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1+C_P) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.3)$$

- d. 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_V \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.4)$$

- e. 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.6)$$

以上の a. ～e. の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots\dots\dots (2.3.6.2.7)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

## 2.3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【タービン補機海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。



### 2.3.8 応力の評価

#### (1) ディスチャージケーシングの応力評価

2.3.6 (2)項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 $S_{da}$ 以下であること。ただし、 $S_{da}$ は下表による。

応力の種類	許容応力 $S_{da}$	
	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	$S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 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ついては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。	$0.6 \cdot S_u$

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。

## 2.4 評価結果

### 2.4.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機海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。

【タービン補機海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	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 <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動S <sub>s</sub>		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					
タービン補機海水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.228	0.05以下	C <sub>H</sub> =1.67*2 又は*3	C <sub>V</sub> =1.28*2	C <sub>H</sub> =1.67*4 又は*5	C <sub>V</sub> =1.28*4	C <sub>P</sub> =0.04	30	□	0.54	

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動S<sub>d</sub>）及び静的震度を上回る設計震度

\*3：設計用床応答スペクトルⅡ（弾性設計用地震動S<sub>d</sub>）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

\*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

\*5：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動S<sub>s</sub>）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m <sub>i</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f i</sub>	M <sub>p</sub> (N・mm)	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	S <sub>y i</sub> (RT) (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	S	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>c</sub> (mm)	t (mm)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	205	205	—	245* (厚さ≦ 16mm)	400* (厚さ≦ 16mm)		
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	2.334×10 <sup>6</sup>	205*2	520*2	205	205	205					
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	2.334×10 <sup>6</sup>	198*1	504*1	205	205	205					

(2) コラムパイプ

部材	S	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>c</sub> (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	245* (厚さ≦ 16mm)	400* (厚さ≦ 16mm)		

注記\*：最高使用温度で算出

(3) ディスチャージケーシング

部材	S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>d</sub> (mm)	t <sub>d</sub> (mm)
ディスチャージケーシング	—	245* (厚さ≦ 16mm)	400* (厚さ≦ 16mm)		

注記\*1：周囲環境温度で算出

\*2：最高使用温度で算出

注記\*：最高使用温度で算出

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M <sub>i</sub> (N・mm)		M <sub>Cp i</sub> (N・mm)	F <sub>bi</sub> (N)		Q <sub>bi</sub> (N)	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i = 1)							
ポンプ取付ボルト (i = 2)							
原動機取付ボルト (i = 4)							

(2) コラムパイプに作用する力

部材	M		M <sub>Cp</sub>
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	
コラムパイプ			

(単位：N・mm)

(3) デイスチャージングに作用する力

部材	M <sub>d</sub>		M <sub>dCp</sub>
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	
デイスチャージ ケーシング			

(単位：N・mm)

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)	
方向	固有周期
水平方向	$T_{H1} = 0.228$
鉛直方向	$T_{V1} = 0.05$ 以下

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			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	$\sigma_{b1} = 73$	$f_{ts1} = 153^*$	$\sigma_{b1} = 73$	$f_{ts1} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 23$	$f_{sb1} = 118$	$\tau_{b1} = 23$	$f_{sb1} = 118$
ポンプ取付ボルト (i = 2)		引張	$\sigma_{b2} = 62$	$f_{ts2} = 153^*$	$\sigma_{b2} = 62$	$f_{ts2} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 118$
原動機取付ボルト (i = 4)		引張	$\sigma_{b4} = 37$	$f_{ts4} = 153^*$	$\sigma_{b4} = 37$	$f_{ts4} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b4} = 22$	$f_{sb4} = 118$	$\tau_{b4} = 22$	$f_{sb4} = 118$

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 コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	$\sigma = 150$	$S_a = 240$	$\sigma = 150$	$S_a = 240$
		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma = 150$	$S_a = 240$	$\sigma = 150$	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 デイスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		一次一般膜応力		
		算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
ディスチャージケーシング		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	$\sigma_d = 164$	$S_{da} = 240$	$\sigma_d = 164$	$S_{da} = 240$
		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma_d = 164$	$S_{da} = 240$	$\sigma_d = 164$	$S_{da} = 240$

すべて許容応力以下である。

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			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
46			
47			

## (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 <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )
1	1-2	1		4.909×10 <sup>6</sup>
2	2-3	1		4.909×10 <sup>6</sup>
3	3-4	1		4.528×10 <sup>6</sup>
4	4-5	1		4.528×10 <sup>6</sup>
5	5-6	1		4.909×10 <sup>6</sup>
6	6-7	1		4.909×10 <sup>6</sup>
7	46-8	1		7.187×10 <sup>6</sup>
8	8-9	1		7.187×10 <sup>6</sup>
9	9-10	1		1.018×10 <sup>7</sup>
10	10-11	1		1.018×10 <sup>7</sup>
11	11-12	1		4.528×10 <sup>6</sup>
12	12-13	1		4.528×10 <sup>6</sup>
13	13-14	1		4.909×10 <sup>6</sup>
14	14-15	1		4.909×10 <sup>6</sup>
15	15-16	4		5.750×10 <sup>7</sup>
16	16-17	6		3.221×10 <sup>6</sup>
17	17-18	6		1.886×10 <sup>7</sup>
18	18-19	6		1.886×10 <sup>7</sup>
19	19-20	6		1.018×10 <sup>7</sup>
20	21-22	1		2.195×10 <sup>9</sup>
21	22-23	1		3.578×10 <sup>9</sup>
22	23-24	1		3.578×10 <sup>9</sup>
23	24-25	3		8.896×10 <sup>8</sup>
24	25-26	3		8.896×10 <sup>8</sup>
25	26-27	3		8.896×10 <sup>8</sup>
26	27-28	3		8.896×10 <sup>8</sup>
27	47-29	3		8.896×10 <sup>8</sup>
28	29-30	3		8.896×10 <sup>8</sup>
29	30-31	3		8.896×10 <sup>8</sup>
30	31-32	3		8.896×10 <sup>8</sup>
31	32-33	2		8.127×10 <sup>8</sup>
32	33-34	2		8.127×10 <sup>8</sup>
33	34-35	2		8.127×10 <sup>8</sup>
34	44-36	4		5.075×10 <sup>11</sup>
35	36-37	2		9.799×10 <sup>9</sup>
36	37-38	2		9.799×10 <sup>9</sup>
37	38-39	2		9.799×10 <sup>9</sup>
38	39-40	5		2.246×10 <sup>9</sup>
39	40-41	5		2.246×10 <sup>9</sup>
40	41-42	5		2.246×10 <sup>9</sup>
41	42-43	5		9.684×10 <sup>8</sup>
42	7-46	1		7.187×10 <sup>6</sup>
43	28-47	3		8.896×10 <sup>8</sup>



(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
2	23		
6	27		
10	31		
17	40		
19	42		
19	42		
33	36		
33	36		

## (4) 節点の質量

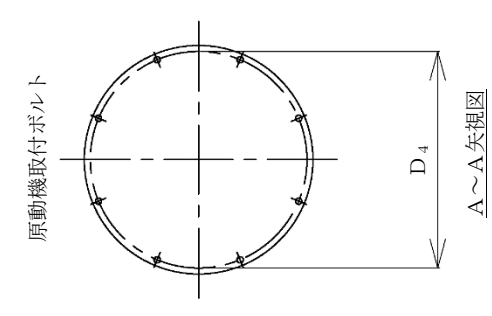
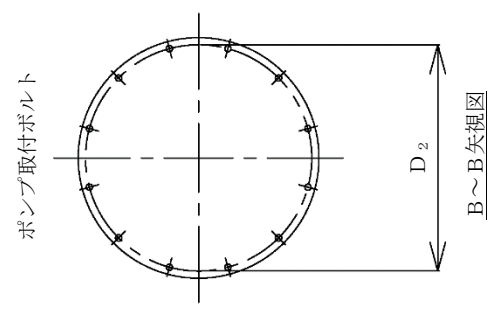
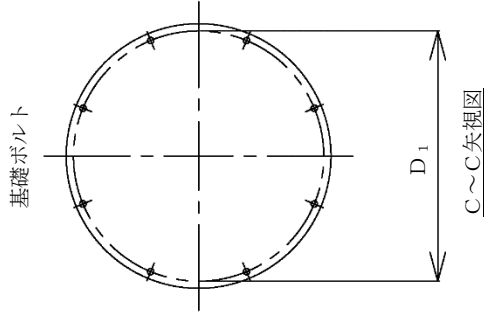
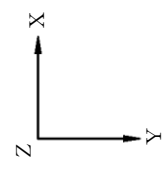
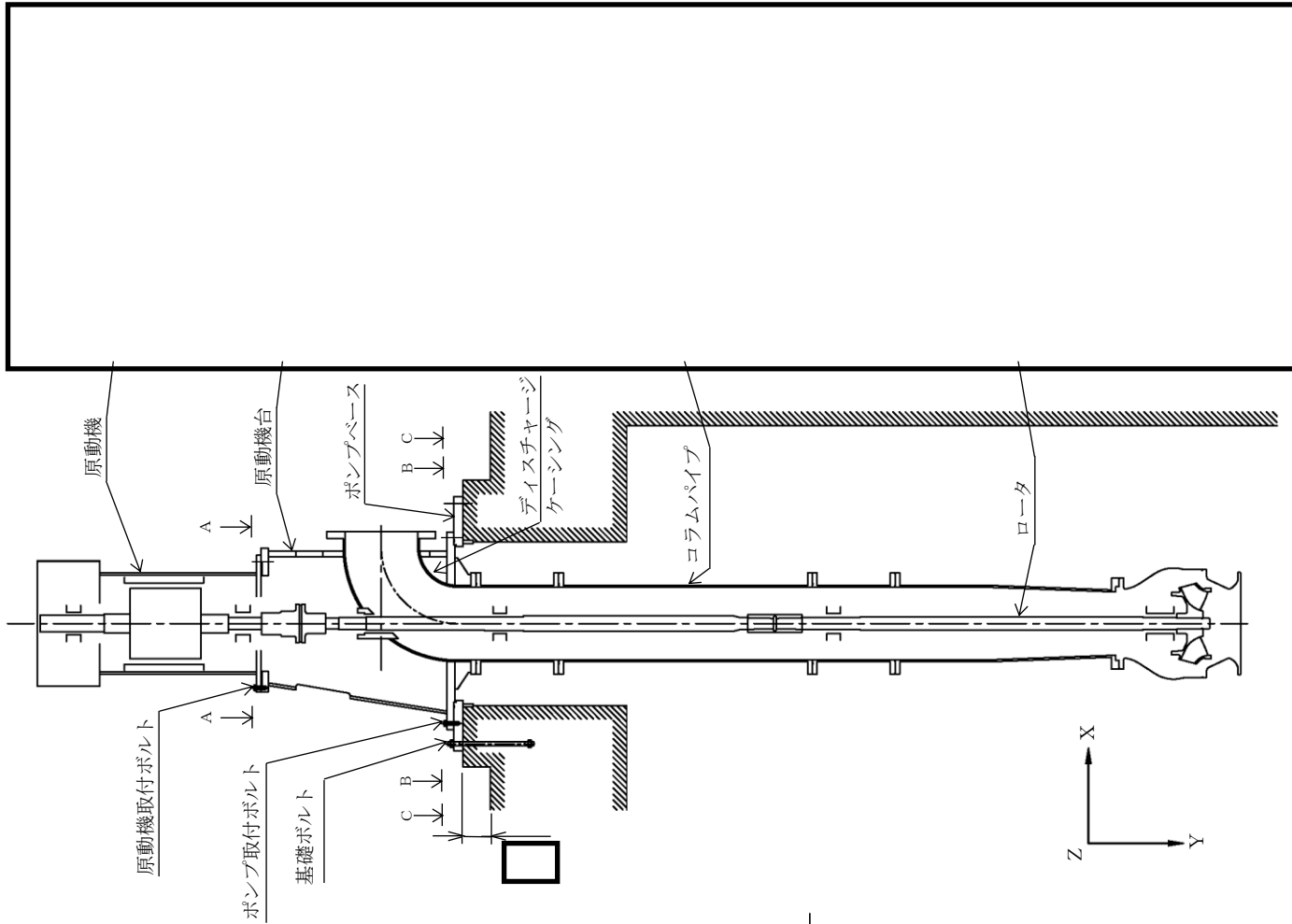
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
46	
47	

## (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 <sup>3</sup> )	ポアソン比 (—)	材質
1	30	$1.94 \times 10^5$		0.3	
2	30	$2.02 \times 10^5$		0.3	
3	30	$2.02 \times 10^5$		0.3	
4	□	$2.01 \times 10^5$		0.3	
5	—	$2.00 \times 10^5$		0.3	
6	—	$1.98 \times 10^5$		0.3	



### 3. 循環水ポンプ

#### 3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、循環水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

循環水ポンプは、設計基準対象施設のうち浸水防止設備として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を示す。

なお、循環水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 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」に基づく評価を基本とし、浸水防止設備としての評価部位も評価を実施する。

#### 3.2 一般事項

##### 3.2.1 構造計画

循環水ポンプの構造計画を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 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>ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定される。ポンプベースは円筒形のリブを介して水平方向の荷重を基礎に伝達する構造とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> <p>デイスチャージャは短管に接続され、短管は壁に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>短管 壁</p> <p>ポンプ</p> <p>ポンプ取付ボルト</p> <p>ポンプベース</p> <p>基礎</p> <p>基礎ボルト</p> <p>デイスチャージャ</p> <p>ケーシング</p> <p>保護管</p> <p>ロータ</p> <p>コラムパイプ</p> <p>ポンプベース部拡大図</p> <p>ポンプベース</p> <p>基礎</p> <p>ボルト</p> <p>リブ</p> <p>(単位：mm)</p>

### 3.3 固有値解析及び構造強度評価

#### 3.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

循環水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 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」に記載の耐震計算方法に基づき行う。ただし、解析モデルにおいてディスチャージケーシングに接続される短管の剛性を考慮することとしており、短管の剛性がNS方向及びEW方向で異なることから、各方向で異なるモデルにより耐震評価を行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を適用する。

基礎ボルトの構造強度評価において、水平方向の地震荷重及びポンプ振動によりポンプベースに作用する荷重は、ポンプベースのリブを介して基礎に伝達されるため基礎ボルトに作用しない。また、循環水ポンプは電動機とポンプが独立した基礎を有する構造であることから、ポンプ回転により作用するモーメントを考慮して基礎ボルトの評価を行う。循環水ポンプは浸水防止設備であるため、評価部位としてディスチャージケーシングの評価を実施する。ディスチャージケーシングの耐震計算方法は上記方針によらないため、「3.3.6 計算方法」に基づき実施する。

#### 3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

##### (1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

循環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3.3-1に示す。

##### (2) 許容応力

循環水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3.3-2及び表3.3-3のとおりとする。

##### (3) 使用材料の許容応力評価条件

循環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3.3-4に示す。



表 3.3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	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
浸水防止設備	循環水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 3.3-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容応力状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
ⅢA S	$S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 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ついては上記値と $1.2 \cdot S_t$ の大きい方	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次 + ピーク応力
ⅣA S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 $S_d$ 又は基準地震動 $S_s$ のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要

注記\* :  $2 \cdot S_y$  を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。  $S_m$  は  $2/3 \cdot S_y$  と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3.3-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	引張	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

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 3.3-4 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 (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
コラムパイプ		30		—	235	400	—
基礎ボルト				—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		30		—	205	520	205
ディスプレイケーシング		30		—	235	400	—

### 3.3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、ロータ、保護管及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

### 3.3.4 固有周期

固有値解析のうちNS方向モデルの結果を表3.3-5に、EW方向モデルの結果を表3.3-6に示す。振動モード図のうちNS方向モデルの図を図3.3-1、図3.3-2及び図3.3-3に、EW方向モデルの図を図3.3-4、図3.3-5及び図3.3-6に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は7次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表 3.3-5 固有値解析結果（NS方向モデル）

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS方向	EW方向	
1次	水平	0.138	-9.020	—	—
2次	水平	0.129	3.091	—	—
3次	水平	0.073	-1.920	—	—
4次	水平	0.059	-0.550	—	—
5次	水平	0.051	-0.066	—	—
6次	水平	0.038	—	—	—

注記\*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

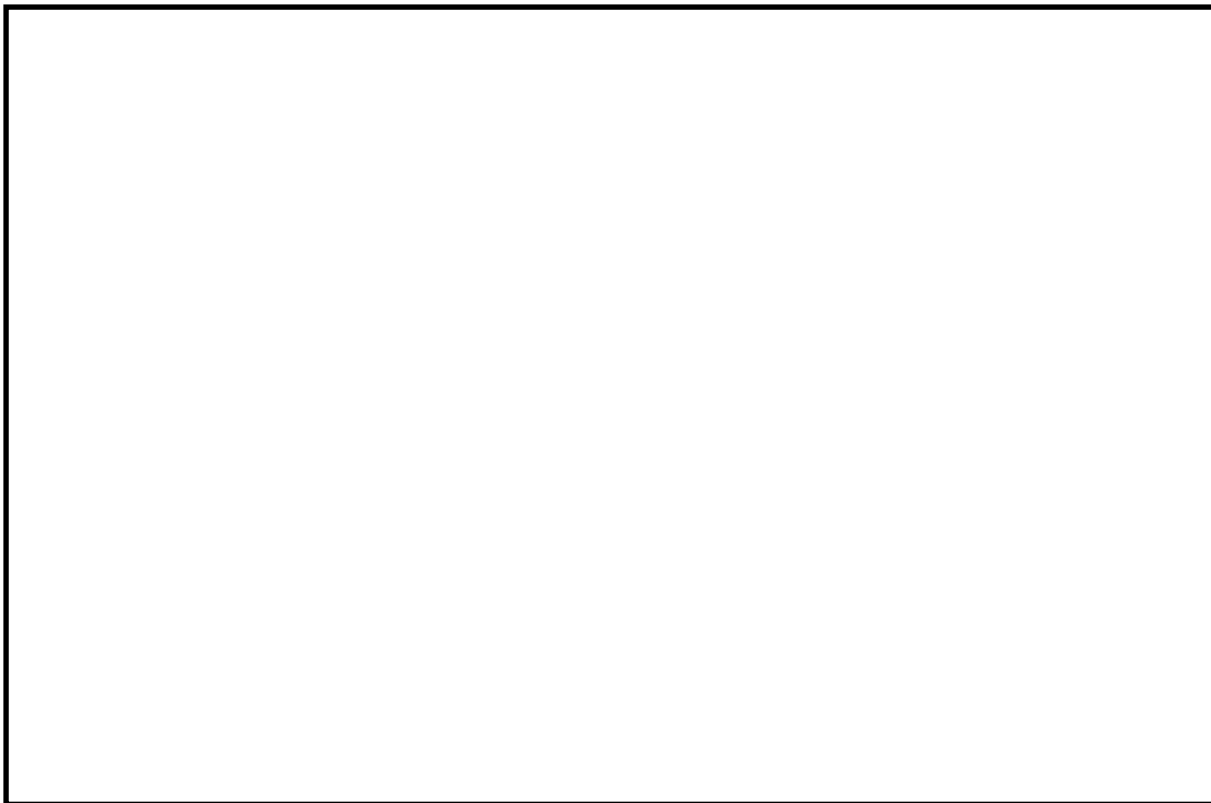


図 3.3-1 振動モード (NS 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)

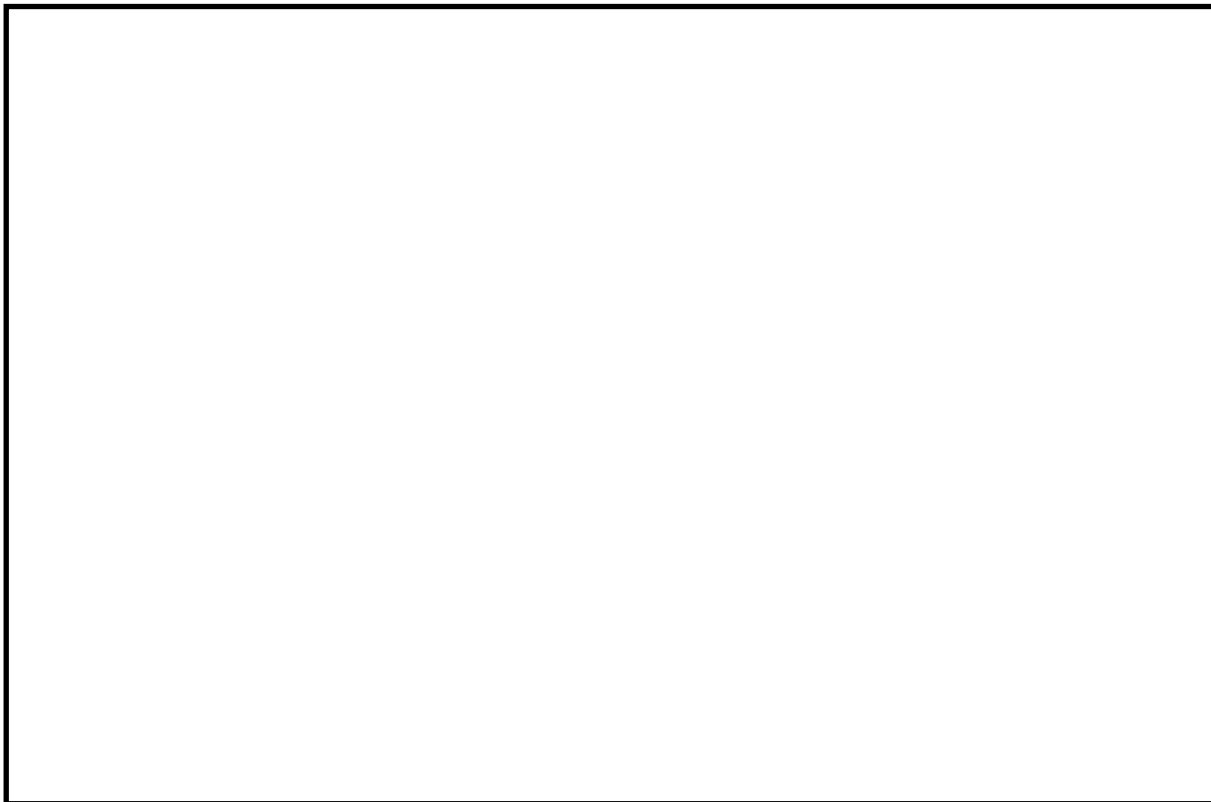


図 3.3-2 振動モード (NS 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)



図 3.3-3 振動モード (NS 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

表 3.3-6 固有値解析結果 (EW 方向モデル)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.138	—	-9.032	—
2 次	水平	0.129	—	3.014	—
3 次	水平	0.073	—	-1.911	—
4 次	水平	0.059	—	-0.532	—
5 次	水平	0.051	—	-0.066	—
6 次	水平	0.038	—	—	—

注記\* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

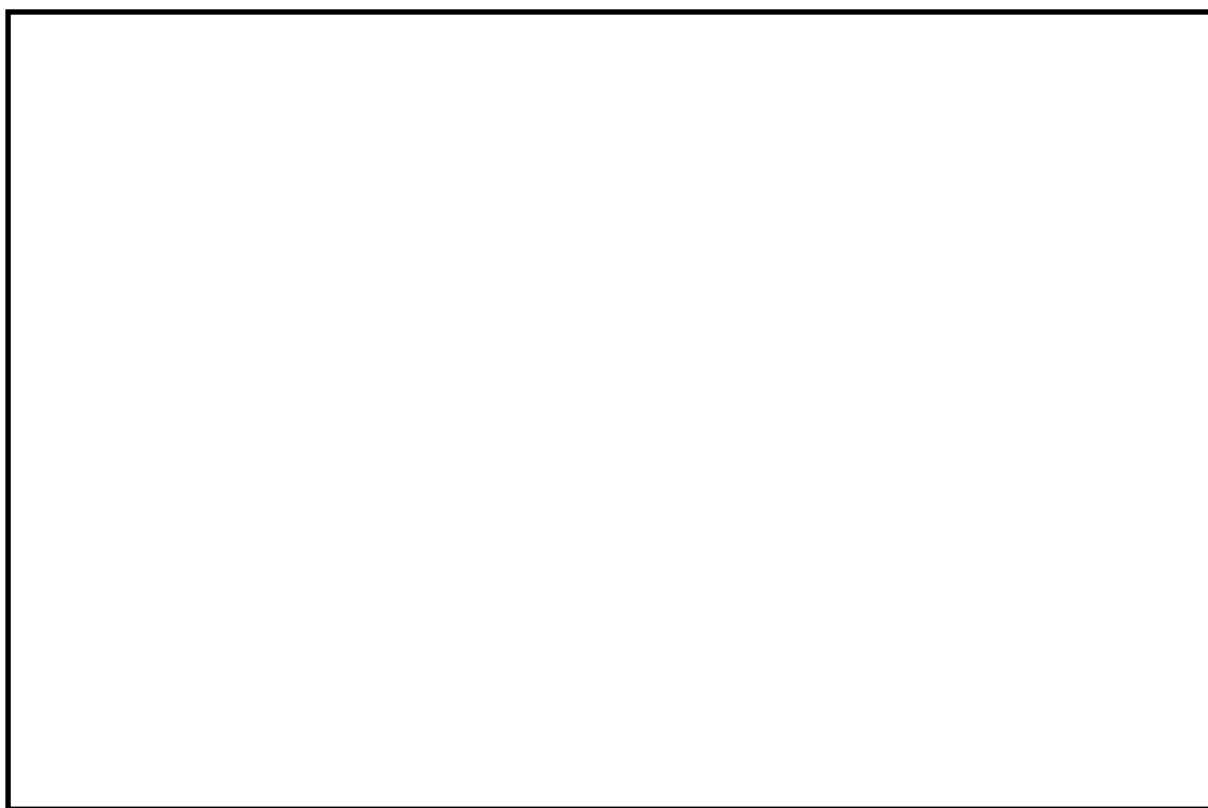


図 3.3-4 振動モード (EW 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.138s)





図 3.3-5 振動モード (EW 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

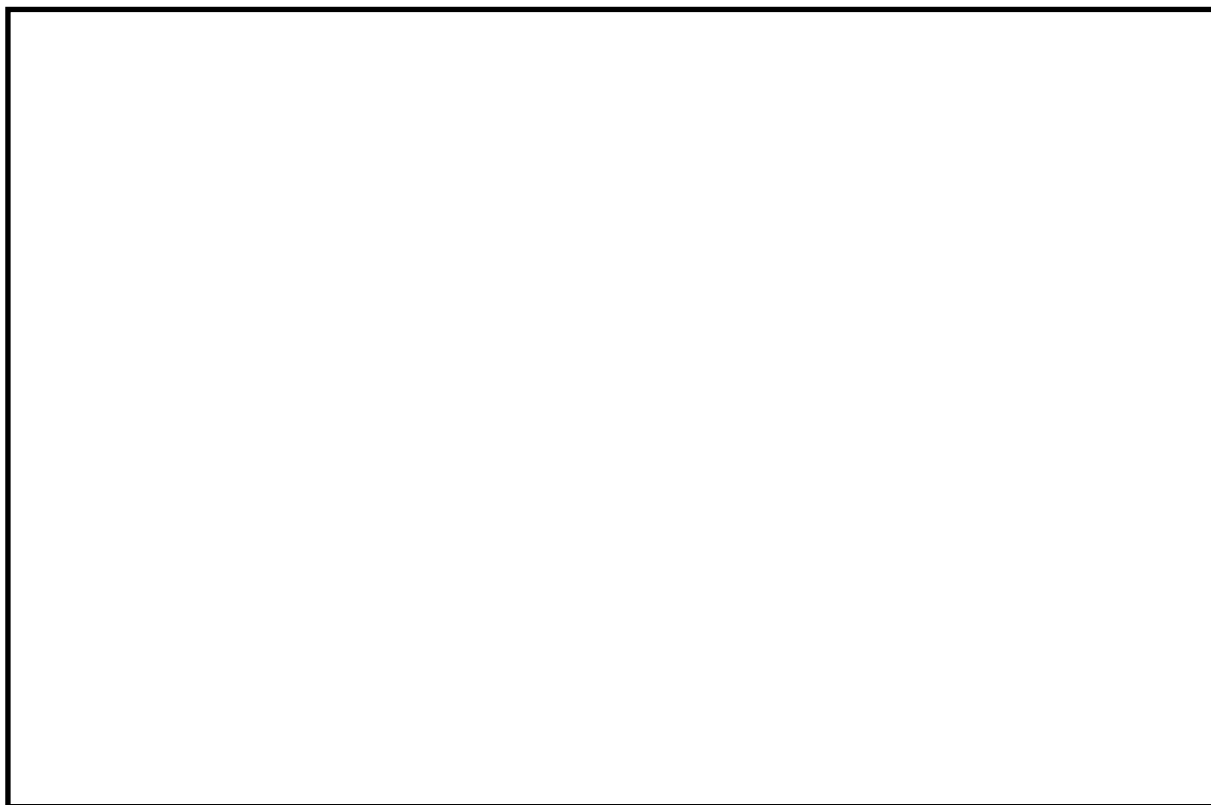


図 3.3-6 振動モード (EW 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

### 3.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうち NS 方向を表 3.3-7 に、EW 方向を表 3.3-8 に示す。

「弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」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。また、減衰定数は VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 3.3-7 設計用地震力（設計基準対象施設）（NS 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 <sup>*1</sup>					
固有周期(s)		水平：0.138 <sup>*2</sup> 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード <sup>*3</sup>	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*4</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*4</sup>	応答水平震度 <sup>*5</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*5</sup>
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.138	2.70	—	—	4.68	—	—
2 次	0.129	2.70	—	—	4.68	—	—
3 次	0.073	1.34	—	—	2.58	—	—
4 次	0.059	1.47	—	—	2.78	—	—
5 次	0.051	1.13	—	—	2.25	—	—
動的震度 <sup>*6, *7</sup>		0.80	—	0.63	1.41	—	1.26
静的震度 <sup>*8</sup>		0.58	—	0.29	—	—	—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：1 次固有周期について記載

\*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

\*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）により得られる震度

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

\*6：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）又は設計用震度 II（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

\*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

\*8：3.6・C<sub>i</sub>及び 1.2・C<sub>v</sub>より定めた震度

表 3.3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）（EW 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 <sup>*1</sup>					
固有周期(s)		水平：0.138 <sup>*2</sup> 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード <sup>*3</sup>	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*4</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*4</sup>	応答水平震度 <sup>*5</sup>		応答鉛直 震度 <sup>*5</sup>
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.138	—	4.04	—	—	5.73	—
2 次	0.129	—	3.36	—	—	5.45	—
3 次	0.073	—	1.03	—	—	2.63	—
4 次	0.059	—	1.24	—	—	2.26	—
5 次	0.051	—	1.21	—	—	1.95	—
動的震度 <sup>*6, *7</sup>		—	0.95	0.63	—	1.67	1.26
静的震度 <sup>*8</sup>		—	0.58	0.29	—	—	—

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：1 次固有周期について記載

\*3：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお、0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

\*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）により得られる震度

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

\*6：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>）を上回る設計震度及び設計用震度 II（基準地震動 S<sub>s</sub>）を上回る設計震度

\*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

\*8： $3.6 \cdot C_i$  及び  $1.2 \cdot C_v$  より定めた震度

### 3.3.6 計算方法

#### (1) 記号の説明

循環水ポンプのディスチャージケーシングの応力評価に使用する記号を表 2.3-9 に示す。

表 3.3-9 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>P</sub>	ポンプ振動による震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
D <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの内径	mm
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
M <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M <sub>d C P</sub>	ディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
m <sub>d</sub>	ポンプ床下部質量	kg
P <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
S <sub>d a</sub>	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
t <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
Z <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの断面係数	mm <sup>3</sup>
σ <sub>d</sub>	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ <sub>d C H 1</sub>	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ <sub>d C H 2</sub>	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ <sub>d C V 1</sub>	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa
σ <sub>d C V 2</sub>	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ <sub>d Z P</sub>	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
σ <sub>d θ P</sub>	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa

## (2) ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

- a. ポンプ振動による震度による水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.1)$$

- b. 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.2)$$

- c. 自重及びポンプ振動による震度による鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1+C_P) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.3)$$

- d. 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_V \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.4)$$

- e. 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.6)$$

以上の a. ～e. の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max} \left( \sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P} \right) \dots\dots\dots (3.3.6.2.7)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

## 3.3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【循環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。

### 3.3.8 応力の評価

#### (1) ディスチャージケーシングの応力評価

3.3.6 (2)項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 $S_{da}$ 以下であること。ただし、 $S_{da}$ は下表による。

応力の種類	許容応力 $S_{da}$	
	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	$S_y$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 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ついては上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。	$0.6 \cdot S_u$

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。

### 3.4 評価結果

#### 3.4.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環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。NS 方向及び EW 方向で解析モデルが異なるため、各方向に対する耐震評価結果を記載する。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。

【循環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 (NS 方向)

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	掘付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		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					
循環水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.138	0.05 以下	C <sub>H</sub> =0.80*2 又は*3	C <sub>V</sub> =0.63*2	C <sub>H</sub> =1.41*4 又は*5	C <sub>V</sub> =1.26*4	C <sub>p</sub> =0.01	30	□	0.31	

注記\*1: 基準床レベルを示す。

\*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>)

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

\*4: 設計用震度 I (基準地震動 S<sub>s</sub>) を上回る設計震度

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

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m <sub>i</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f i</sub>	M <sub>p</sub> (N・mm)	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	S <sub>y i</sub> (RT) (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	S	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>c</sub> (mm)	t (mm)
基礎ボルト (i=1)					12	12	1.337×10 <sup>8</sup>	198*1	504*1	205	205	205	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		
ポンプ取付ボルト (i=2)					24	24	1.337×10 <sup>8</sup>	205*2	520*2	205	205	205	—	—	—		

(2) コラムパイプ

部材	S	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>c</sub> (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記\*: 最高使用温度で算出

注記\*1: 周囲環境温度で算出

\*2: 最高使用温度で算出

(3) ディスチャージケーシング

部材	S	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>d</sub> (mm)	t <sub>d</sub> (mm)
ディスチャージケーシング	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記\*: 最高使用温度で算出

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)



1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M <sub>i</sub> (N・mm)		M <sub>Cp i</sub> (N・mm)	F <sub>bi</sub> (N)		Q <sub>bi</sub> (N)	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)							
ボンプ取付ボルト (i=2)							

(2) コラムパイプに作用する力

部材	M		M <sub>Cp</sub>
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	
コラムパイプ			

(単位：N・mm)

(3) デイスタチャージングに作用する力

部材	M <sub>d</sub>		M <sub>dCp</sub>
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	
デイスタチャージ ケーシング			

(単位：N・mm)

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1} = 0.138$
鉛直方向	$T_{V1} = 0.050$ 以下

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			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	$\sigma_{b1} = 19$	$f_{ts1} = 153^*$	$\sigma_{b1} = 99$	$f_{ts1} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$
ポンプ取付ボルト (i = 2)		引張	$\sigma_{b2} = 16$	$f_{ts2} = 153^*$	$\sigma_{b2} = 59$	$f_{ts2} = 140^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 31$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 52$	$f_{sb2} = 118$

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 コラムハイクの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	算出応力
コラムハイク		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma = 53$
		許容応力	$S_a = 235$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 デイスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	算出応力
ディスチャージケーシング		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma_d = 53$
		許容応力	$S_{da} = 235$

すべて許容応力以下である。

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			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			

## (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 <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )
1	1-2	3		6.182×10 <sup>8</sup>
2	2-3	3		6.182×10 <sup>8</sup>
3	3-4	3		6.182×10 <sup>8</sup>
4	4-5	3		6.182×10 <sup>8</sup>
5	5-6	3		6.182×10 <sup>8</sup>
6	6-7	3		6.182×10 <sup>8</sup>
7	7-8	3		6.182×10 <sup>8</sup>
8	8-9	3		6.182×10 <sup>8</sup>
9	9-10	3		6.182×10 <sup>8</sup>
10	10-11	3		6.182×10 <sup>8</sup>
11	11-12	3		6.182×10 <sup>8</sup>
12	12-13	3		3.321×10 <sup>9</sup>
13	13-50	3		6.182×10 <sup>8</sup>
14	14-15	3		4.833×10 <sup>8</sup>
15	15-16	4		2.013×10 <sup>9</sup>
16	16-17	4		3.017×10 <sup>8</sup>
17	17-18	6		5.510×10 <sup>8</sup>
18	19-20	1		3.595×10 <sup>10</sup>
19	20-21	2		7.821×10 <sup>9</sup>
20	21-22	2		7.821×10 <sup>9</sup>
21	22-23	2		1.343×10 <sup>9</sup>
22	23-24	2		1.343×10 <sup>9</sup>
23	24-25	2		1.343×10 <sup>9</sup>
24	25-26	2		7.550×10 <sup>9</sup>
25	26-27	2		1.486×10 <sup>9</sup>
26	27-28	2		1.486×10 <sup>9</sup>
27	28-29	2		1.486×10 <sup>9</sup>
28	29-51	2		1.486×10 <sup>9</sup>
29	31-32	1		6.765×10 <sup>10</sup>
30	32-33	1		9.954×10 <sup>10</sup>
31	33-34	1		2.053×10 <sup>11</sup>
32	34-35	1		2.053×10 <sup>11</sup>
33	35-36	2		1.557×10 <sup>11</sup>
34	36-37	2		1.557×10 <sup>11</sup>
35	37-38	2		1.557×10 <sup>11</sup>
36	38-39	2		1.557×10 <sup>11</sup>
37	39-40	2		1.557×10 <sup>11</sup>
38	40-41	2		1.778×10 <sup>11</sup>
39	41-42	2		1.778×10 <sup>11</sup>
40	42-43	2		1.557×10 <sup>11</sup>

(続き)

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 <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )
41	43-44	2		$1.557 \times 10^{11}$
42	44-52	2		$1.557 \times 10^{11}$
43	47-46	5		$7.464 \times 10^{12}$
44	50-14	3		$6.182 \times 10^8$
45	51-30	2		$1.486 \times 10^9$
46	52-45	2		$1.557 \times 10^{11}$

(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
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

## (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	



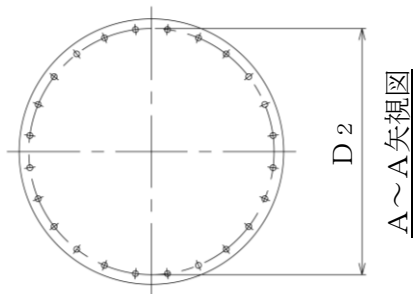
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

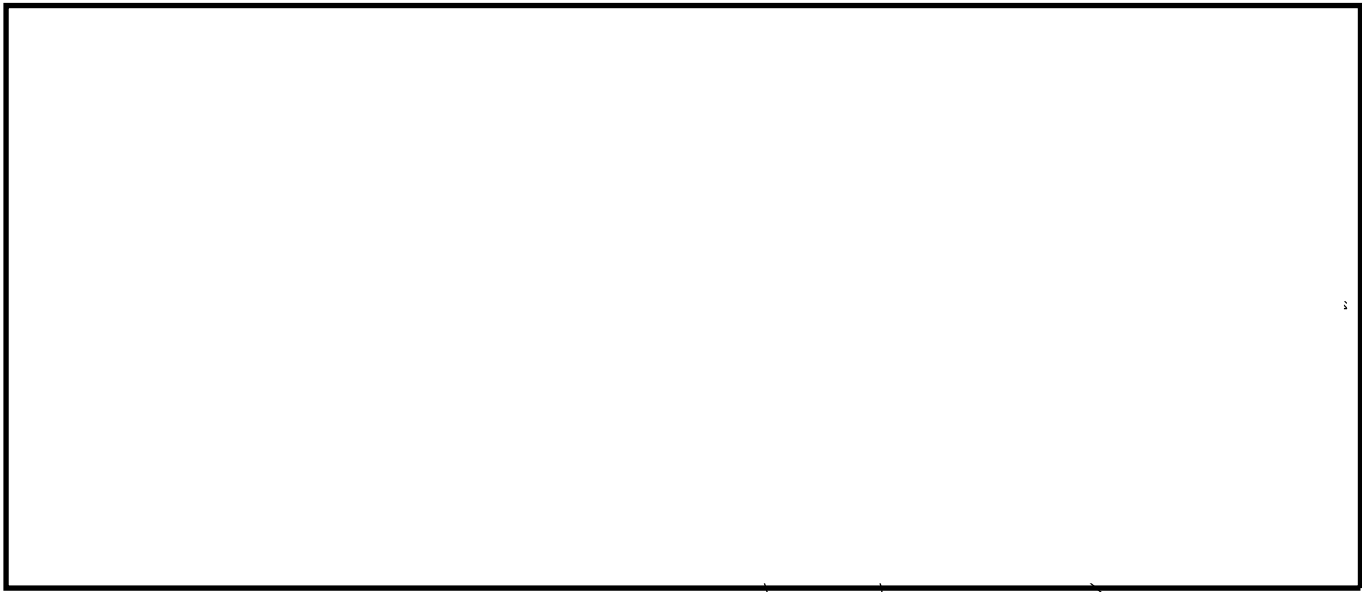
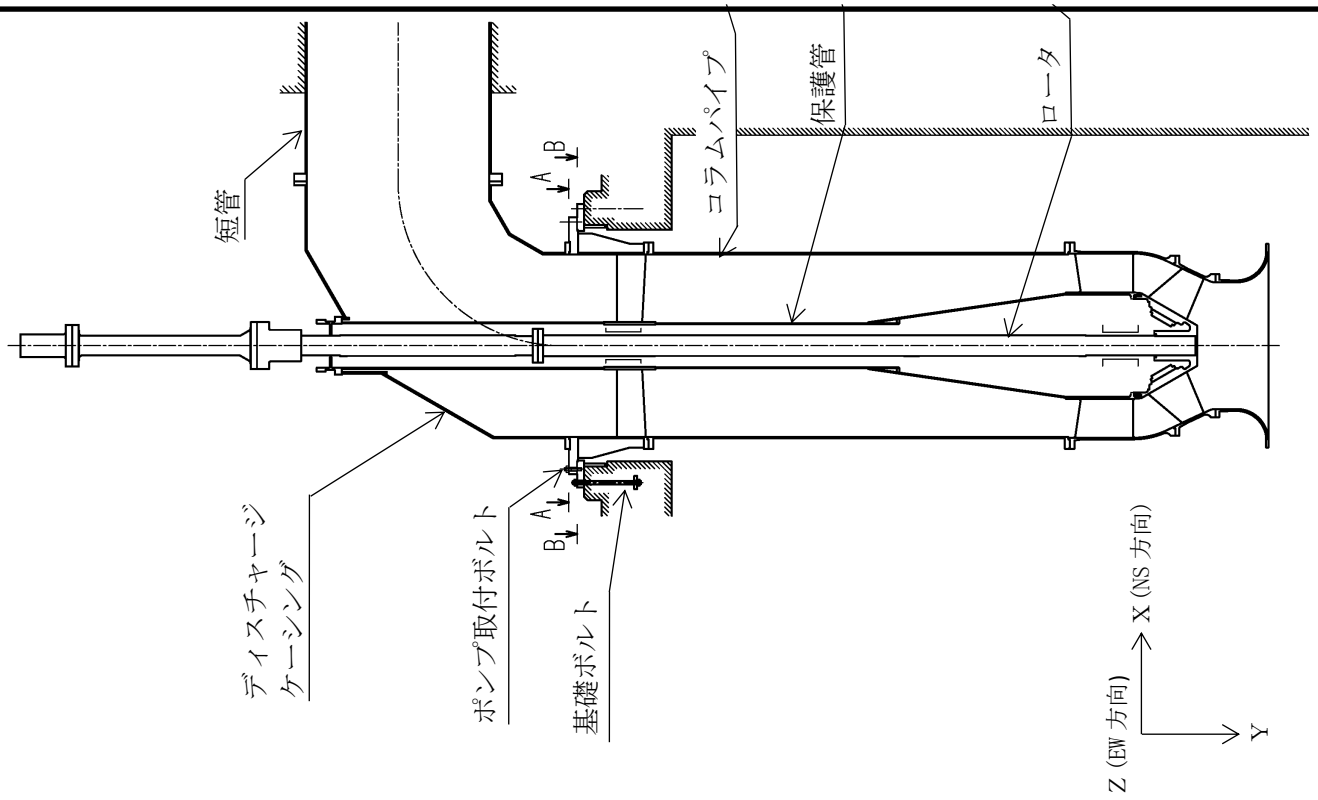
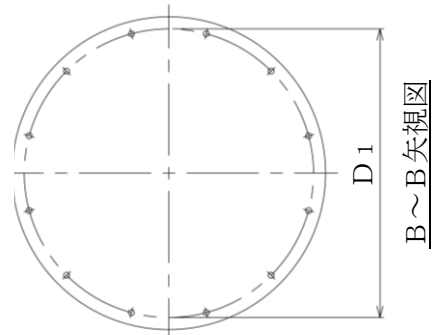
## (5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm <sup>3</sup> )	ポアソン比 (—)	材質
1	30	$1.94 \times 10^5$		0.3	
2	30	$2.02 \times 10^5$		0.3	
3	30	$2.01 \times 10^5$		0.3	
4	<input type="text"/>	$2.00 \times 10^5$		0.3	
5	<input type="text"/>	$2.01 \times 10^5$		0.3	
6	70	$1.98 \times 10^5$		0.3	

ポンプ取付ボルト



基礎ボルト



【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設 (EW 方向)

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	掘付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		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					
循環水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.138	0.05 以下	C <sub>H</sub> =0.95*2 又は*3	C <sub>V</sub> =0.63*2	C <sub>H</sub> =1.67*4 又は*5	C <sub>V</sub> =1.26*4	C <sub>p</sub> =0.01	30	30	0.31	

注記\*1: 基準床レベルを示す。

\*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S<sub>d</sub>) 及び静的震度を上回る設計震度

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

\*4: 設計用震度 II (基準地震動 S<sub>s</sub>) を上回る設計震度

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

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m <sub>i</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f i</sub>	M <sub>p</sub> (N・mm)	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	S <sub>y i</sub> (RT) (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	1.337×10 <sup>8</sup>	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					24	24	1.337×10 <sup>8</sup>	205*2	520*2	205	205	205

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>c</sub> (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記\*: 最高使用温度で算出

(3) ディスチャージケーシング

部材	S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>d</sub> (mm)	t <sub>d</sub> (mm)
ディスチャージケーシング	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記\*: 最高使用温度で算出

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M <sub>i</sub> (N・mm)		M <sub>Cp i</sub> (N・mm)	F <sub>bi</sub> (N)		Q <sub>bi</sub> (N)	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>
基礎ボルト (i=1)							
ボンプ取付ボルト (i=2)							

(2) コラムパイプに作用する力

部材	M		M <sub>Cp</sub>
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	
コラムパイプ			

(単位：N・mm)

(3) デイスタチャージングに作用する力

部材	M <sub>d</sub>		M <sub>dCp</sub>
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動S <sub>s</sub>	
デイスタチャージ ケーシング			

(単位：N・mm)

2.4 結論

(単位：s)

2.4.1 固有周期	固有周期
方向	
水平方向	$T_{H1} = 0.138$
鉛直方向	$T_{V1} = 0.050$ 以下

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			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	$\sigma_{b1} = 60$	$f_{ts1} = 153^*$	$\sigma_{b1} = 132$	$f_{ts1} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$
ポンプ取付ボルト (i = 2)		引張	$\sigma_{b2} = 41$	$f_{ts2} = 152^*$	$\sigma_{b2} = 79$	$f_{ts2} = 127^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 40$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 61$	$f_{sb2} = 118$

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 コラムハイクの応力

(単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	算出応力
コラムハイク		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma = 71$
		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma = 95$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 デイスチャージケーシングの応力

(単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	算出応力
ディスチャージケーシング		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma_d = 71$
		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma_d = 95$

すべて許容応力以下である。

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			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			



## (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 <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )
1	1-2	3		6.182×10 <sup>8</sup>
2	2-3	3		6.182×10 <sup>8</sup>
3	3-4	3		6.182×10 <sup>8</sup>
4	4-5	3		6.182×10 <sup>8</sup>
5	5-6	3		6.182×10 <sup>8</sup>
6	6-7	3		6.182×10 <sup>8</sup>
7	7-8	3		6.182×10 <sup>8</sup>
8	8-9	3		6.182×10 <sup>8</sup>
9	9-10	3		6.182×10 <sup>8</sup>
10	10-11	3		6.182×10 <sup>8</sup>
11	11-12	3		6.182×10 <sup>8</sup>
12	12-13	3		3.321×10 <sup>9</sup>
13	13-50	3		6.182×10 <sup>8</sup>
14	14-15	3		4.833×10 <sup>8</sup>
15	15-16	4		2.013×10 <sup>9</sup>
16	16-17	4		3.017×10 <sup>8</sup>
17	17-18	6		5.510×10 <sup>8</sup>
18	19-20	1		3.595×10 <sup>10</sup>
19	20-21	2		7.821×10 <sup>9</sup>
20	21-22	2		7.821×10 <sup>9</sup>
21	22-23	2		1.343×10 <sup>9</sup>
22	23-24	2		1.343×10 <sup>9</sup>
23	24-25	2		1.343×10 <sup>9</sup>
24	25-26	2		7.550×10 <sup>9</sup>
25	26-27	2		1.486×10 <sup>9</sup>
26	27-28	2		1.486×10 <sup>9</sup>
27	28-29	2		1.486×10 <sup>9</sup>
28	29-51	2		1.486×10 <sup>9</sup>
29	31-32	1		6.765×10 <sup>10</sup>
30	32-33	1		9.954×10 <sup>10</sup>
31	33-34	1		2.053×10 <sup>11</sup>
32	34-35	1		2.053×10 <sup>11</sup>
33	35-36	2		1.557×10 <sup>11</sup>
34	36-37	2		1.557×10 <sup>11</sup>
35	37-38	2		1.557×10 <sup>11</sup>
36	38-39	2		1.557×10 <sup>11</sup>
37	39-40	2		1.557×10 <sup>11</sup>
38	40-41	2		1.778×10 <sup>11</sup>
39	41-42	2		1.778×10 <sup>11</sup>
40	42-43	2		1.557×10 <sup>11</sup>

(続き)

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 <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )
41	43-44	2		$1.557 \times 10^{11}$
42	44-52	2		$1.557 \times 10^{11}$
43	47-46	5		$7.464 \times 10^{12}$
44	50-14	3		$6.182 \times 10^8$
45	51-30	2		$1.486 \times 10^9$
46	52-45	2		$1.557 \times 10^{11}$

(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
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

## (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	

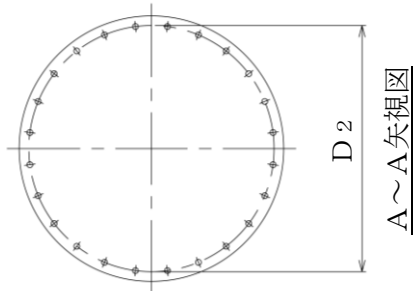
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

(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 <sup>3</sup> )	ポアソン比 (—)	材質
1	30	$1.94 \times 10^5$		0.3	
2	30	$2.02 \times 10^5$		0.3	
3	30	$2.01 \times 10^5$		0.3	
4	<input type="checkbox"/>	$2.00 \times 10^5$		0.3	
5	<input type="checkbox"/>	$2.01 \times 10^5$		0.3	
6	70	$1.98 \times 10^5$		0.3	

ポンプ取付ボルト



基礎ボルト

