

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-774 改2
提出年月日	平成30年9月12日

V-2-5-7-1-1 残留熱除去系海水系ポンプ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
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	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 解析モデル及び諸元	9
3.4 固有周期	9
3.5 設計用地震力	10
4. 機能維持評価	11
4.1 動的機能維持評価方法	11
5. 評価結果	12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	12

1. 概要

本計算書は、添付書類「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、残留熱除去系海水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系海水系ポンプは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、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。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

本計算書は、添付書類「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」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

残留熱除去系海水系ポンプの構造計画を表 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>ポンプは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。また、コラムパイプの先端はサポートにて水平方向を支持されている。</p>	<p>ターボ形たて軸ポンプ</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3. 固有値解析及び構造強度評価

3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの構造はたて軸ポンプであるため、固有値解析及び構造強度評価は、添付書類「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」に記載の耐震計算方法に基づき評価する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系海水系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 3-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2 許容応力

残留熱除去系海水系ポンプの許容応力は、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系海水系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 3-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 に示す。

表 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	耐震設計上の 重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	残留熱除去系 海水系ポンプ	S	Non ^{*1}	$D + P_D + M_D + S_d^{**2}$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記 *1：クラス 3 ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。また，クラス 3 ポンプの支持構造物を含む。

*2： S_s と組合せ，Ⅲ_AS の評価を実施する。

表 3-2 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
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備	残留熱除去系 海水系ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス 2 ポンプ ^{*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：重大事故等クラス 2 ポンプの支持構造物を含む。

*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 3-3 許容応力（クラス 2， 3 ポンプ及び重大事故等クラス 2 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	一次＋二次＋ ピーク応力
III _A S	S _y と 0.6・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・S との大きい方	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・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	
IV _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値		
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)			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・S _y 以下であれば、疲労解析は行わない。	

注記 *：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 3-4 許容応力（クラス 2， 3 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界* ¹ (ボルト等以外)	許容限界* ¹ , * ² (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	曲げ	引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A 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：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。

*2：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。

表 3-5 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		コラムパイプ	最高使用温度	50	110	169	472
基礎ボルト	周囲環境温度		—	260	430	—	
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	50	—	198	504	205	
原動機台取付ボルト	周囲環境温度		—	198	504	205	
原動機取付ボルト	周囲環境温度		—	198	504	205	
サポート	周囲環境温度		—	169	472	175	
サポート取付ボルト①	周囲環境温度		—	198	504	205	
サポート取付ボルト②	周囲環境温度		—	198	504	205	

表 3-6 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 (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		コラムパイプ	[Redacted]	最高使用温度	50	110	169
基礎ボルト	周囲環境温度	[Redacted]		—	260	430	—
ポンプ取付ボルト	最高使用温度	50		—	198	504	205
原動機台取付ボルト	周囲環境温度	[Redacted]		—	198	504	205
原動機取付ボルト	周囲環境温度	[Redacted]		—	198	504	205
サポート	周囲環境温度	[Redacted]		—	169	472	175
サポート取付ボルト①	周囲環境温度	[Redacted]		—	198	504	205
サポート取付ボルト②	周囲環境温度	[Redacted]		—	198	504	205

3.3 解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【残留熱除去系海水系ポンプの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。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、添付書類「V-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要・MSC NASTRAN」に示す。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に、振動モード図を図 3-1 に示す。鉛直方向は、3 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-7 固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数	
			X	Y
1次	0.067	水平	-2.529	0.000
2次	0.038	水平	—	—

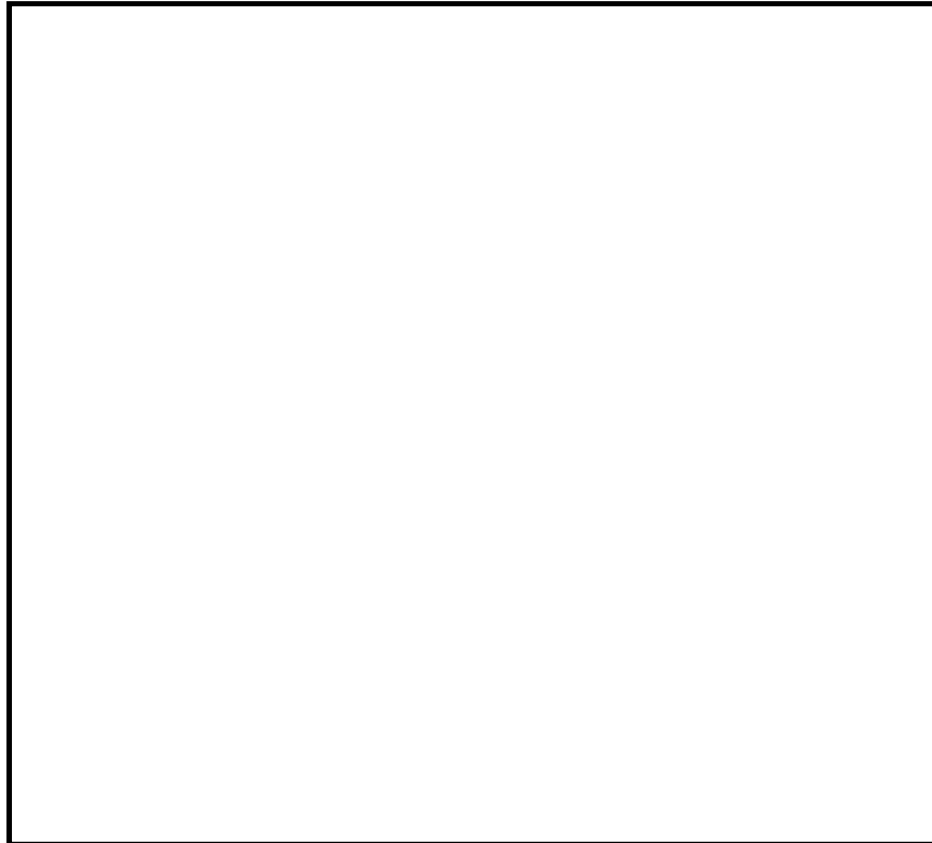


図 3-1 振動モード（1 次モード 水平方向 0.067 s）

3.5 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、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。また、減衰定数は添付書類「V-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。

評価に用いる設計用地震力を表3-8及び表3-9に示す。

表 3-8 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		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
海水ポンプ室 EL. 0.8* ¹	0.067	0.05 以下* ²	—* ³	—* ³	$C_H=1.10$ 又は* ⁴	$C_V=1.03$	1.0	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

*3：Ⅲ_ASについては、基準地震動 S_s で評価する。

*4：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

表 3-9 設計用地震力（重大事故等対処設備）

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		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
海水ポンプ室 EL. 0.8* ¹	0.067	0.05 以下* ²	—	—	$C_H=1.10$ 又は* ³	$C_V=1.03$	1.0	—

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

*3：基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

残留熱除去系海水系ポンプの地震後の動的機能維持評価について、以下に示す。

残留熱除去系海水系ポンプは地震時動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、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	立形斜流 ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり 軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系海水系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及び動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。なお、弾性設計用地震動 S_d 及び静的震度は基準地震動 S_s を下回っており、基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため、弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による発生値の算出を省略した。

(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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系海水系ポンプ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動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

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系海水系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				
残留熱除去系海水系ポンプ	S	取水ポンプ室 EL. 0.8*1	0.067	0.05 以下*2	—*3	—*3	$C_H=1.10$ 又は*4	$C_V=1.03$	$C_p=0.09$	50		3.45

注記 *1: 基準床レベルを示す。
 *2: 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
 *3: III A S については、基準地震動 S_s で評価する。
 *4: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}	M_p (N・mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト (i=1)				8	8	—	260*2	430*2	260	301
ポンプ取付ボルト (i=2)				8	8	5.730×10^6	198*1	504*1	205	205
原動機台取付ボルト (i=3)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	205	205
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	205	205

注記 *1: 最高使用温度で算出
 *2: 周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	110*	169*	472*	400.0	14.0

注記 *: 最高使用温度で算出

(3) サポート

部材	L (mm)	Z_s (mm ³)	E (MPa)	A_f (mm ²)	l_b (mm)	h (mm)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F^* (MPa)
サポート							169*	472*	175	175	210

注記 *: 周囲環境温度で算出

(4) サポート取付ボルト

部 材	$A_{s b j}$ (mm ²)	$n_{s j}$	$S_{y j}$ (MPa)	$S_{u j}$ (MPa)	$S_{y j}$ (R T) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート取付ボルト① (j = 1)		4	198*	504*	205	205	246
サポート取付ボルト② (j = 2)		8	198*	504*	205	205	246

注記 * : 周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μ m)	回転速度 (min ⁻¹)
$H_p =$ <input type="text"/>	$N =$ <input type="text"/>

1.3 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 (i = 2)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i = 3)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i = 4)	—		—		—	

(2) 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
コラムパイプ	—	

(3) サポート及びサポート取付ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	W	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート	—	
サポート取付ボルト①	—	
サポート取付ボルト②	—	

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	0.067	水平

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*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	$\sigma_{b1}=69$	$f_{ts1}=195^{*2}$	$\sigma_{b1}=69$	$f_{ts1}=225^{*2}$
		せん断	$\tau_{b1}=24$	$f_{sb1}=150$	$\tau_{b1}=24$	$f_{sb1}=173$
ポンプ取付ボルト		引張り	$\sigma_{b2}=148$	$f_{ts2}=153^{*2}$	$\sigma_{b2}=148$	$f_{ts2}=184^{*2}$
		せん断	$\tau_{b2}=26$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=26$	$f_{sb2}=142$
原動機台取付ボルト		引張り	$\sigma_{b3}=71$	$f_{ts3}=153^{*2}$	$\sigma_{b3}=71$	$f_{ts3}=184^{*2}$
		せん断	$\tau_{b3}=19$	$f_{sb3}=118$	$\tau_{b3}=19$	$f_{sb3}=142$
原動機取付ボルト		引張り	$\sigma_{b4}=30$	$f_{ts4}=153^{*2}$	$\sigma_{b4}=30$	$f_{ts4}=184^{*2}$
		せん断	$\tau_{b4}=17$	$f_{sb4}=118$	$\tau_{b4}=17$	$f_{sb4}=142$

注記 *1: 基準地震動 S_s による算出値

*2: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$ より算出
すべて許容応力以下である。

1.4.3 コラムパイプの応力

(単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	算出応力	許容応力
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	$\sigma = 118^*$	$S_a = 169$
		基準地震動 S_s	$\sigma = 118$	$S_a = 283$

すべて許容応力以下である。注記 *: 基準地震動 S_s による算出値

1.4.4 サポート及びびポート取付ボルトの応力

(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
サポート		曲げ	$\sigma_s = 119$	$f_{bs} = 175$	$\sigma_s = 119$	$f_{bs} = 210$
サポート取付ボルト①		せん断	$\tau_{sb1} = 47$	$f_{ssb1} = 118$	$\tau_{sb1} = 47$	$f_{ssb1} = 142$
サポート取付ボルト②		せん断	$\tau_{sb2} = 15$	$f_{ssb2} = 118$	$\tau_{sb2} = 15$	$f_{ssb2} = 142$

すべて許容応力以下である。

注記 *: 基準地震動 S_s による算出値

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

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

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.91 ^{*1}	10.0
	鉛直方向	0.86 ^{*2}	1.0
原動機	水平方向	0.91 ^{*1}	2.5
	鉛直方向	0.86 ^{*2}	1.0

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維持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			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

NT2 補③ V-2-5-7-1-1 R0

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			

(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	1-2	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
2	2-3	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
3	3-44	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
4	44-4	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
5	4-5	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
6	5-6	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
7	6-7	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
8	7-8	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
9	8-9	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
10	9-10	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
11	10-48	1		9.517×10 ⁶	1.903×10 ⁷
12	48-49	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
13	49-45	1		2.485×10 ⁷	4.970×10 ⁷
14	45-11	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
15	11-12	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
16	12-13	1		8.585×10 ⁶	1.717×10 ⁷
17	13-14	1		8.585×10 ⁶	1.717×10 ⁷
18	14-15	1		8.585×10 ⁶	1.717×10 ⁷
19	15-16	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
20	16-17	2		1.236×10 ⁸	2.472×10 ⁸
21	17-18	4		9.198×10 ⁶	1.840×10 ⁷
22	18-53	4		2.485×10 ⁷	4.970×10 ⁷
23	19-20	4		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
24	21-22	1		1.659×10 ⁸	3.318×10 ⁸
25	22-23	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
26	23-24	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
27	24-46	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
28	46-25	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
29	25-26	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
30	26-27	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
31	27-28	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
32	28-29	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
33	29-30	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
34	30-31	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
35	31-50	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
36	50-51	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
37	51-47	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
38	47-32	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
39	32-33	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
40	33-34	1		4.849×10 ⁸	9.698×10 ⁸
41	34-35	1		4.849×10 ⁸	9.698×10 ⁸
42	35-36	1		4.849×10 ⁸	9.698×10 ⁸
43	43-37	3		4.952×10 ¹¹	9.904×10 ¹¹
44	43-38	3		4.035×10 ¹¹	8.070×10 ¹¹
45	38-39	3		2.895×10 ¹⁰	5.790×10 ¹⁰
46	39-40	4		1.770×10 ¹⁰	3.541×10 ¹⁰
47	40-54	4		1.770×10 ¹⁰	3.541×10 ¹⁰
48	41-42	4		1.036×10 ¹⁰	2.071×10 ¹⁰
49	53-19	4		2.485×10 ⁷	4.970×10 ⁷
50	54-41	4		1.770×10 ¹⁰	3.541×10 ¹⁰

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	
2	23		
5	26		
9	30		
48	50		
11	32		
18	40		
19	41		
22	52		
19	41		
34	37		
34	37		

(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	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	

(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		1.93×10^5	7.920×10^{-6}	0.3		ポンプ
2		1.99×10^5	7.740×10^{-6}	0.3		ポンプ
3		2.01×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機
4		1.99×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機

【残留熱除去系海水系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				
残留熱除去系海水系ポンプ	常設耐震/防止常設/緩和	取水ポンプ室 EL. 0.8*1	0.067	0.05以下*2	—	—	$C_H=1.10$ 又は*2	$C_V=1.03$ 又は*2	$C_p=0.09$	50		3.45

注記 *1: 基準床レベルを示す。
 *2: 固有値解析より 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。
 *3: 基準地震動 S_s に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{fi}	M_p (N・mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i (MPa)
基礎ボルト (i=1)				8	8	—	260*2	430*2	—	301
ポンプ取付ボルト (i=2)				8	8	5.730×10^6	198*1	504*1	—	205
原動機台取付ボルト (i=3)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	—	205
原動機取付ボルト (i=4)				8	8	5.730×10^6	198*2	504*2	—	205

注記 *1: 最高使用温度で算出
 *2: 周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	110*	169*	472*	400.0	14.0

注記 *: 最高使用温度で算出

(3) サポート

部材	L (mm)	Z_s (mm ³)	E (MPa)	A_f (mm ²)	l_b (mm)	h (mm)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y (RT) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
サポート							169*	472*	175	175	210

注記 *: 周囲環境温度で算出

(4) サポート取付ボルト

部 材	$A_{s b j}$ (mm ²)	$n_{s j}$	$S_{y j}$ (MPa)	$S_{u j}$ (MPa)	$S_{y j}$ (RT) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート取付ボルト① (j=1)		4	198*	504*	205	205	246
サポート取付ボルト② (j=2)		8	198*	504*	205	205	246

注記 * : 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 = <input type="text"/>	N = <input type="text"/>

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 (i=2)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=3)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=4)	—		—		—	

(2) 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
コラムパイプ	—	

(3) サポート及びサポート取付ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	W	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
サポート	—	
サポート取付ボルト①	—	
サポート取付ボルト②	—	

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	0.067	水平

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_a 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	—	—	$\sigma_{b1}=69$	$f_{ts1}=225^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=24$	$f_{sb1}=173$
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=148$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=26$	$f_{sb2}=142$
原動機台取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=71$	$f_{ts3}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=19$	$f_{sb3}=142$
原動機取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b4}=30$	$f_{ts4}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=17$	$f_{sb4}=142$

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

2.4.3 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
コラムパイプ		弾性設計用地震動 S_a 又は静的震度	—
		基準地震動 S_s	$\sigma=118$ / $S_a=283$

すべて許容応力以下である。

2.4.4 サポート及びサポート取付ボルトの応力

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S_a 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
サポート		曲げ	—	—	$\sigma_s=119$	$f_{bs}=210$
サポート取付ボルト①		せん断	—	—	$\tau_{sb1}=47$	$f_{sbi}=142$
サポート取付ボルト②		せん断	—	—	$\tau_{sb2}=15$	$f_{sbi}=142$

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	0.91 ^{*1}	10.0
	鉛直方向	0.86 ^{*2}	1.0
原動機	水平方向	0.91 ^{*1}	2.5
	鉛直方向	0.86 ^{*2}	1.0

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維持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			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			

(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	1-2	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
2	2-3	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
3	3-44	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
4	44-4	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
5	4-5	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
6	5-6	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
7	6-7	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
8	7-8	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
9	8-9	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
10	9-10	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
11	10-48	1		9.517×10 ⁶	1.903×10 ⁷
12	48-49	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
13	49-45	1		2.485×10 ⁷	4.970×10 ⁷
14	45-11	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
15	11-12	1		1.402×10 ⁷	2.804×10 ⁷
16	12-13	1		8.585×10 ⁶	1.717×10 ⁷
17	13-14	1		8.585×10 ⁶	1.717×10 ⁷
18	14-15	1		8.585×10 ⁶	1.717×10 ⁷
19	15-16	1		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
20	16-17	2		1.236×10 ⁸	2.472×10 ⁸
21	17-18	4		9.198×10 ⁶	1.840×10 ⁷
22	18-53	4		2.485×10 ⁷	4.970×10 ⁷
23	19-20	4		1.018×10 ⁷	2.036×10 ⁷
24	21-22	1		1.659×10 ⁸	3.318×10 ⁸
25	22-23	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
26	23-24	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
27	24-46	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
28	46-25	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
29	25-26	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
30	26-27	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
31	27-28	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
32	28-29	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
33	29-30	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
34	30-31	1		1.351×10 ⁹	2.703×10 ⁹
35	31-50	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
36	50-51	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
37	51-47	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
38	47-32	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
39	32-33	1		3.906×10 ⁸	7.811×10 ⁸
40	33-34	1		4.849×10 ⁸	9.698×10 ⁸
41	34-35	1		4.849×10 ⁸	9.698×10 ⁸
42	35-36	1		4.849×10 ⁸	9.698×10 ⁸
43	43-37	3		4.952×10 ¹¹	9.904×10 ¹¹
44	43-38	3		4.035×10 ¹¹	8.070×10 ¹¹
45	38-39	3		2.895×10 ¹⁰	5.790×10 ¹⁰
46	39-40	4		1.770×10 ¹⁰	3.541×10 ¹⁰
47	40-54	4		1.770×10 ¹⁰	3.541×10 ¹⁰
48	41-42	4		1.036×10 ¹⁰	2.071×10 ¹⁰
49	53-19	4		2.485×10 ⁷	4.970×10 ⁷
50	54-41	4		1.770×10 ¹⁰	3.541×10 ¹⁰

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	
2	23		
5	26		
9	30		
48	50		
11	32		
18	40		
19	41		
22	52		
19	41		
34	37		
34	37		

(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	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	

(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		1.93×10^5	7.920×10^{-6}	0.3		ポンプ
2		1.99×10^5	7.740×10^{-6}	0.3		ポンプ
3		2.01×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機
4		1.99×10^5	7.860×10^{-6}	0.3		原動機

