

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-005-36
提出年月日	2023年2月2日

VI-2-5-7-1-3 原子炉補機海水ポンプの耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-5-7-1-3 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. 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	11
3.6 サポート部の計算方法	13
3.7 計算条件	15
3.8 応力の評価	15
4. 機能維持評価	16
4.1 動的機能維持評価方法	16
5. 評価結果	17
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	17
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	17

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及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉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、動的機能を維持できることを説明するものである。

原子炉補機海水ポンプは、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重大事故防止設備（設計基準拡張）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。

なお、原子炉補機海水ポンプは、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」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉補機海水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>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。コラムパイプはサポートに支持され、サポートはサポート取付ボルトでサポートベースに固定され、サポートベースはサポート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>The diagram illustrates the vertical assembly of the pump. At the top, the motor (原動機) is connected to the pump (ポンプ) via a motor mounting bolt (原動機取付ボルト). The pump is secured to the pump base (ポンプベース) with pump mounting bolts (ポンプ取付ボルト). The pump base is anchored to the foundation (基礎) using foundation bolts (基礎ボルト). Below the pump base is the column pipe (コラムパイプ), which is supported by a support structure (サポート). The support structure is attached to a support base (サポートベース) using support mounting bolts (サポート取付ボルト). The support base is further anchored to the foundation (基礎) with support foundation bolts (サポート基礎ボルト), which are identified as chemical anchors (ケミカルアンカ). The column pipe contains a rotor (ロータ) and is supported by a shaft support (軸受). Section lines A-A and B-B indicate the locations of the cross-sectional views shown to the left.</p> <p>Labels in the diagram include: 原動機取付ボルト, 原動機, ポンプ, ポンプベース, 基礎ボルト, 基礎, サポート, サポート取付ボルト, サポート基礎ボルト (ケミカルアンカ), サポートベース, サポート, サポート取付ボルト, サポートベース, サポート基礎ボルト (ケミカルアンカ), 基礎, コラムパイプ, ロータ, 軸受. Section lines A-A and B-B are also indicated.</p> <p>(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

原子炉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。コラムパイプはサポートに支持されるため、サポート取付ボルト及びサポート基礎ボルト（以下「サポート部ボルト」という。）について評価を実施する。サポート部ボルトの耐震計算方法は上記方針によらないため、「3.6 サポート部の計算方法」に基づき実施する。

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

原子炉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 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

原子炉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 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

原子炉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 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	原子炉補機 海水ポンプ	S	クラス外*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：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。

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	原子炉補機 海水ポンプ	常設／防止 (DB拡張)	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／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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*1			
	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
ⅢAS	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 との大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 S _d 又はS _s 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 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	
ⅣAS	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
VAS (VASとしてⅣASの 許容限界を用いる。)			*2 S _s 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 2・S _y 以下であれば、疲労解析は不要	

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: 2・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・S_yと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

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, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ _A S (Ⅴ _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：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 3-5 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)
		最高使用温度					
コラムパイプ		最高使用温度	40	—	245	400	—
基礎ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	205
原動機取付ボルト		周囲環境温度	<input type="text"/>	—	715	838	—
サポート基礎ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	205
サポート取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	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 (RT) (MPa)
		最高使用温度					
コラムパイプ		最高使用温度	40	—	—	400	—
基礎ボルト		周囲環境温度	□	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	—	715	838	—
サポート基礎ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—
サポート取付ボルト		最高使用温度	40	—	205	520	—

∞

□

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【原子炉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。

3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-7、振動モード図を図 3-1 及び図 3-2 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 3-7 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	0.117	2.624	2.624	—

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。

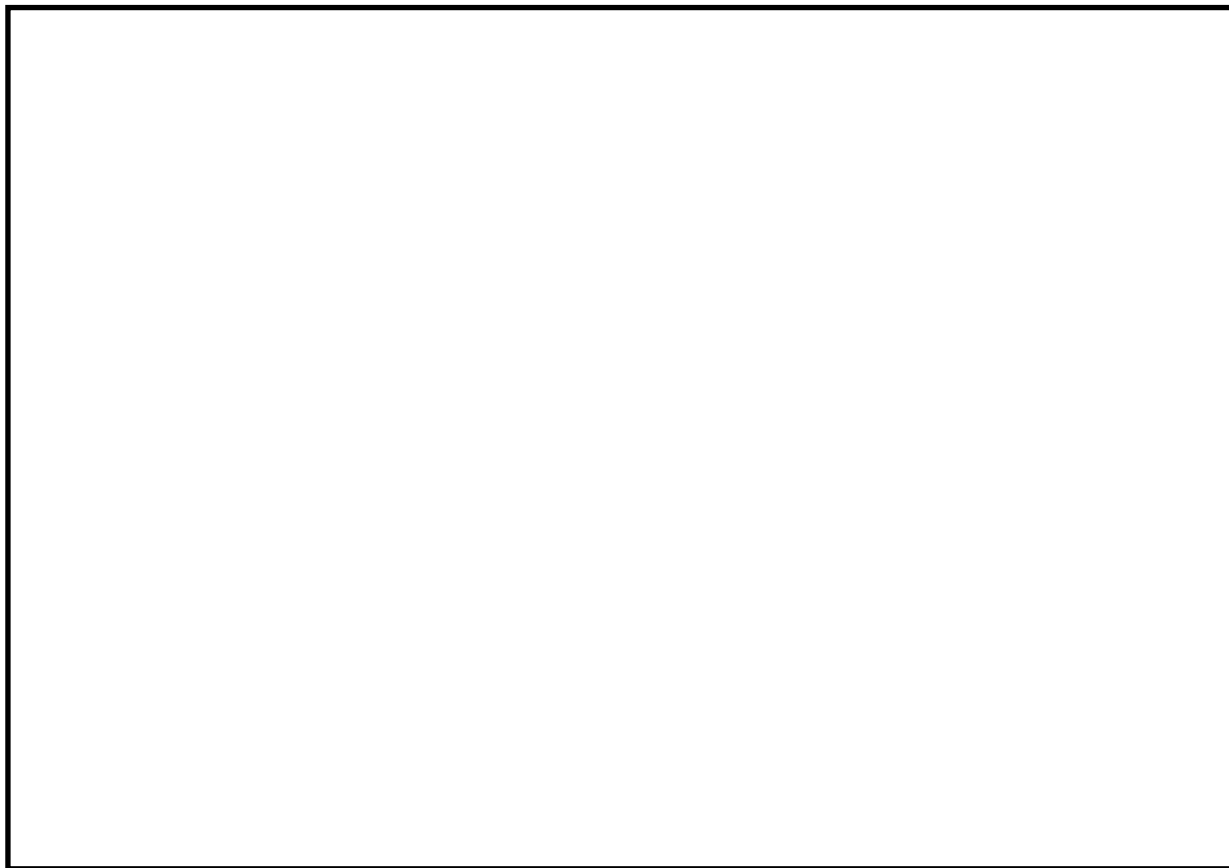


図 3-1 振動モード (1次モード 水平方向 0.117s)

3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-8 及び表 3-9 に示す。

「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。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 3-8 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)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.117 ^{*2} 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 d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.117	6.64	7.39	—	6.64	7.39	—
動的震度 ^{*6, *7}		1.41	1.67	1.28	1.41	1.67	1.28
静的震度 ^{*8}		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 d）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Ⅰ（基準地震動 S s）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 d）を上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）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

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)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.117 ^{*2} 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 _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	0.117	—	—	—	6.64	7.39	—
動的震度 ^{*5, *6}		—	—	—	1.41	1.67	1.28
静的震度		—	—	—	—	—	—

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（基準地震動 S_s）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：設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*6：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

3.6 サポート部の計算方法

3.6.1 記号の説明

原子炉補機海水ポンプのサポート部の応力評価に使用する記号を表 3-10 に示す。

表 3-10 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{s b j}$	サポート部ボルトの軸断面積*	mm ²
C_p	ポンプ振動による震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
$D_{s j}$	サポート部ボルトのピッチ円直径*	mm
$d_{s j}$	サポート部ボルトの呼び径*	mm
F_j	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値*	MPa
F_j	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値*	MPa
$F_{s b j}$	サポート部ボルトに作用する引張力(1本当たり)*	N
$f_{s s b j}$	せん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力*	MPa
$f_{s t o j}$	引張力のみを受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
$f_{s t s j}$	引張力とせん断力を同時に受けるサポート部ボルトの許容引張応力*	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
$M_{s j}$	サポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	N・mm
$M_{s C p j}$	ポンプ振動による震度によりサポート部ボルトに作用する転倒モーメント*	N・mm
$m_{s j}$	サポート部ボルトに作用するサポート質量*	kg
$n_{s j}$	サポート部ボルトの本数*	—
$n_{s f j}$	評価上引張力を受けるとして期待するサポート部ボルトの本数*	—
$Q_{s b j}$	サポート部ボルトに作用するせん断力*	N
$S_u, S_{u j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値*	MPa
$S_y, S_{y j}$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値*	MPa
$S_{y j} (R T)$	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*	MPa
$\sigma_{s b j}$	サポート部ボルトに生じる引張応力*	MPa
$\tau_{s b j}$	サポート部ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字jの意味は、以下のとおりとする。

j = 1：サポート基礎ボルト

j = 2：サポート取付ボルト

3.6.2 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，サポート部ボルトに生じる応力を次式で求める。なお，図 3-3 にサポート部の応力計算モデルを示す。

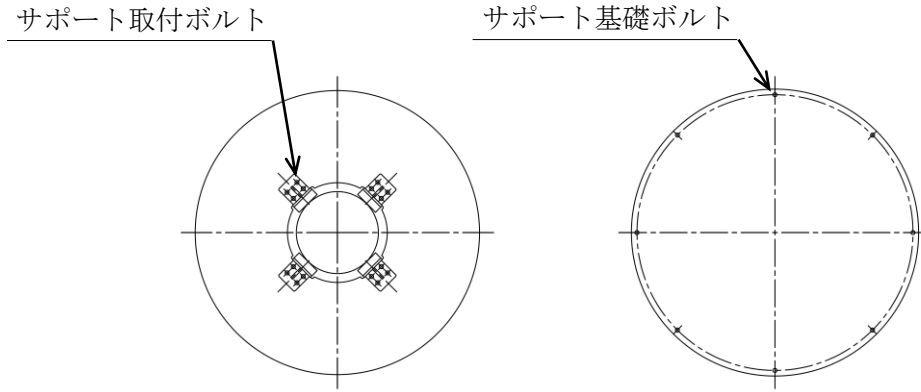


図 3-3 サポート部の応力計算モデル

(1) 引張応力

サポート基礎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。

なお，サポート取付ボルトについては，荷重の発生方向がせん断方向のみのため，引張応力は発生しない。

引張力

$$F_{sbj} =$$

$$\frac{\sqrt{M_{sj}^2 + (C_v \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2})^2} + M_{scpj} + (C_p - 1) \cdot m_{sj} \cdot g \cdot \frac{D_{sj}}{2}}{\frac{3}{8} \cdot n_{sfj} \cdot D_{sj}}$$

..... (3.6.2.1)

引張応力

$$\sigma_{sbj} = \frac{F_{sbj}}{A_{sbj}} \quad \text{..... (3.6.2.2)}$$

ここで，サポート部ボルトの軸断面積 A_{sbj} は次式により求める。

$$A_{sbj} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{sj}^2 \quad \text{..... (3.6.2.3)}$$

(2) せん断応力

サポート部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。

せん断応力

$$\tau_{s b j} = \frac{Q_{s b j}}{n_{s j} \cdot A_{s b j}} \dots\dots\dots (3.6.2.4)$$

3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉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。

3.8 応力の評価

3.8.1 サポート部ボルトの応力評価

3.6.2 項で求めたサポート部ボルトの引張応力 $\sigma_{s b j}$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{s t s j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s t o j}$ は下表による。

$$f_{s t s j} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{s t o j} - 1.6 \cdot \tau_{s b j}, f_{s t o j}] \dots\dots\dots (3.8.1.1)$$

せん断応力 $\tau_{s b j}$ はせん断力のみを受けるサポート部ボルトの許容せん断応力 $f_{s s b j}$ 以下であること。ただし、 $f_{s s b j}$ 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 $f_{s t o j}$	$\frac{F_j}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{s s b j}$	$\frac{F_j}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_j^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

原子炉補機海水ポンプの地震後の動的機能維持評価は、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」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉補機海水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、VI-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 (×9.8m/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

原子炉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、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機海水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を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R0

【原子炉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 _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				
原子炉補機海水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.117	0.05 以下	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _H =1.67*4 又は*5	C _V =1.28*4	C _p =0.06	40		0.98

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_d）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_d）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_s）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_s）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 _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)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	3.263×10 ⁶	205*2	520*2	205	205	205
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	3.263×10 ⁶	715*1	838*1	—	586	586

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

(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	—	245* (厚さ ≤ 16mm)	400* (厚さ ≤ 16mm)		

注記*：最高使用温度で算出

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	S_{yj} (RT) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	205	205	205
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	205	205	205

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)		M _{C_pi} (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		M _{C_p}
	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) サポート部ボルトに作用する力

部材	M _{s_j} (N・mm)		M _{s_{C_pj}} (N・mm)	F _{s_{b_j}} (N)		Q _{s_{b_j}} (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
サポート基礎ボルト (j=1)							
サポート取付ボルト (j=2)							

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1} = 0.117$
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 _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	$\sigma_{b1} = 79$	$f_{ts1} = 153^*$	$\sigma_{b1} = 79$	$f_{ts1} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 29$	$f_{sb1} = 118$	$\tau_{b1} = 29$	$f_{sb1} = 118$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	$\sigma_{b2} = 66$	$f_{ts2} = 153^*$	$\sigma_{b2} = 66$	$f_{ts2} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 20$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 20$	$f_{sb2} = 118$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	$\sigma_{b4} = 144$	$f_{ts4} = 440^*$	$\sigma_{b4} = 144$	$f_{ts4} = 440^*$
		せん断	$\tau_{b4} = 50$	$f_{sb4} = 338$	$\tau_{b4} = 50$	$f_{sb4} = 338$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.4 サポート部ボルトの応力

(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
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	$\sigma_{sb1} = 36$	$f_{sts1} = 119^*$	$\sigma_{sb1} = 36$	$f_{sts1} = 119^*$
		せん断	$\tau_{sb1} = 41$	$f_{ssb1} = 94$	$\tau_{sb1} = 41$	$f_{ssb1} = 94$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	$\sigma_{sb2} = -$	$f_{sts2} = -$	$\sigma_{sb2} = -$	$f_{sts2} = -$
		せん断	$\tau_{sb2} = 37$	$f_{ssb2} = 118$	$\tau_{sb2} = 37$	$f_{ssb2} = 118$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{stsj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj} - 1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

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 _d 又は静的震度	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 _d 又は静的震度	$\sigma = 113$	$S_a = 240$
		基準地震動 S _s	$\sigma = 113$	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

1.4.5 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	1.40	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.40	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）を上回る設計震度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			

(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			
54			
55			
56			
57			
58			
60			
61			
62			

(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	1-2	1		4.909×10 ⁶
2	2-3	1		4.909×10 ⁶
3	3-4	1		1.018×10 ⁷
4	4-5	1		1.018×10 ⁷
5	5-6	1		1.018×10 ⁷
6	6-7	1		1.018×10 ⁷
7	7-8	1		4.715×10 ⁶
8	8-9	1		4.715×10 ⁶
9	9-10	1		4.715×10 ⁶
10	10-11	1		1.018×10 ⁷
11	11-12	1		1.198×10 ⁷
12	12-13	1		1.198×10 ⁷
13	13-14	1		1.402×10 ⁷
14	14-61	1		8.004×10 ⁶
15	15-16	1		8.004×10 ⁶
16	16-17	1		8.004×10 ⁶
17	17-18	1		1.018×10 ⁷
18	18-19	1		4.528×10 ⁶
19	19-20	1		4.528×10 ⁶
20	20-21	1		4.528×10 ⁶
21	21-22	1		4.909×10 ⁶
22	22-23	2		3.580×10 ⁷
23	23-24	3		4.528×10 ⁶
24	24-25	3		2.485×10 ⁷
25	25-26	3		2.485×10 ⁷
26	26-27	3		1.018×10 ⁷
27	28-29	1		3.395×10 ⁸
28	29-30	1		1.089×10 ⁹
29	30-31	1		1.089×10 ⁹
30	31-32	4		8.896×10 ⁸
31	32-33	4		8.896×10 ⁸
32	33-34	4		8.896×10 ⁸
33	34-35	4		8.896×10 ⁸
34	35-36	4		8.896×10 ⁸
35	36-37	4		8.896×10 ⁸
36	37-38	4		8.896×10 ⁸
37	38-39	4		8.896×10 ⁸
38	39-40	4		8.896×10 ⁸
39	40-41	4		8.896×10 ⁸
40	41-42	4		8.896×10 ⁸

(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 ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-62	4		8.896×10^8
42	43-44	4		8.896×10^8
43	44-45	4		8.896×10^8
44	45-46	4		8.896×10^8
45	46-47	4		8.127×10^8
46	47-48	4		8.127×10^8
47	48-49	4		9.613×10^7
48	50-51	4		9.799×10^9
49	51-52	4		9.799×10^9
50	52-53	4		9.799×10^9
51	53-54	3		3.837×10^9
52	54-55	3		3.837×10^9
53	55-56	3		3.837×10^9
54	56-57	3		2.500×10^9
55	58-50	2		5.075×10^{11}
56	61-15	1		8.004×10^6
57	62-43	4		8.896×10^8

(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	30		
6	34		
10	38		
13	41		
17	45		
24	54		
26	56		
47	50		
26	56		
47	50		
29	60		

(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	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
60	
61	
62	


S2 補 VI-2-5-7-1-3 R0

(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	40	1.94×10^5		0.3	
2		2.01×10^5		0.3	
3		2.00×10^5		0.3	
4	40	2.02×10^5		0.3	

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				
原子炉補機海水ポンプ	常設/防止(D B 拡張)	取水槽 EL 1.1* ¹	0.117	0.05 以下	—	—	C _H =1.67* ² 又は*3	C _V =1.28* ²	C _p =0.06	40		0.98

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度Ⅱ(基準地震動 S_s)を上回る設計震度

*3: 設計用床応答スペクトルⅠ(基準地震動 S_s)を上回る設計用床応答スペクトル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)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198* ¹	504* ¹	205	—	246
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	3.263×10 ⁶	205* ²	520* ²	—	—	246
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	3.263×10 ⁶	715* ¹	838* ¹	—	—	586

注記*1: 周囲環境温度で算出

*2: 最高使用温度で算出

(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	—	—	400* (厚さ ≤ 16mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

(3) サポート部ボルト

部材	m_{sj} (kg)	D_{sj} (mm)	d_{sj} (mm)	A_{sbj} (mm ²)	n_{sj}	n_{sfj}	S_{yj} (MPa)	S_{uj} (MPa)	S_{yj} (RT) (MPa)	F_j (MPa)	F_j^* (MPa)
サポート基礎ボルト (j=1)					8	8	205*	520*	—	—	246
サポート取付ボルト (j=2)					4	—	205*	520*	—	—	246

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)		$M_{C_{p i}}$ (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		M_{C_p}
	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) サポート部ボルトに作用する力

部材	$M_{s j}$ (N・mm)		$M_{s C_{p j}}$ (N・mm)	$F_{s b j}$ (N)		$Q_{s b j}$ (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
サポート基礎ボルト ($j=1$)	—			—		—	
サポート取付ボルト ($j=2$)	—			—		—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1} = 0.117$
鉛直方向	$T_{V1} = 0.05$ 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 _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	—	—	$\sigma_{b1} = 79$	$f_{ts1} = 184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 29$	$f_{sb1} = 142$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2} = 66$	$f_{ts2} = 184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 20$	$f_{sb2} = 142$
原動機取付ボルト (i=4)		引張	—	—	$\sigma_{b4} = 144$	$f_{ts4} = 440^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4} = 50$	$f_{sb4} = 338$

すべて許容応力以下である。

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

2.4.4 サポート部ボルトの応力 (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
サポート基礎ボルト (j=1)		引張	—	—	$\sigma_{sb1} = 36$	$f_{sts1} = 147^*$
		せん断	—	—	$\tau_{sb1} = 41$	$f_{ssb1} = 113$
サポート取付ボルト (j=2)		引張	—	—	$\sigma_{sb2} = -$	$f_{sts2} = -$
		せん断	—	—	$\tau_{sb2} = 37$	$f_{ssb2} = 142$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{stsj} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{stoj} - 1.6 \cdot \tau_{sbj}, f_{stoj}]$

2.4.3 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 _d 又は静的震度	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 _d 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S _s	$\sigma = 113$	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

2.4.5 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	1.40	10.0
	鉛直方向	0.93	1.0
原動機	水平方向	1.40	2.5
	鉛直方向	0.93	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）を上回る設計震度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。

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			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			

S2 補 VI-2-5-7-1-3 R0

(2) 要素の断面性

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	1-2	1		4.909×10 ⁶
2	2-3	1		4.909×10 ⁶
3	3-4	1		1.018×10 ⁷
4	4-5	1		1.018×10 ⁷
5	5-6	1		1.018×10 ⁷
6	6-7	1		1.018×10 ⁷
7	7-8	1		4.715×10 ⁶
8	8-9	1		4.715×10 ⁶
9	9-10	1		4.715×10 ⁶
10	10-11	1		1.018×10 ⁷
11	11-12	1		1.198×10 ⁷
12	12-13	1		1.198×10 ⁷
13	13-14	1		1.402×10 ⁷
14	14-61	1		8.004×10 ⁶
15	15-16	1		8.004×10 ⁶
16	16-17	1		8.004×10 ⁶
17	17-18	1		1.018×10 ⁷
18	18-19	1		4.528×10 ⁶
19	19-20	1		4.528×10 ⁶
20	20-21	1		4.528×10 ⁶
21	21-22	1		4.909×10 ⁶
22	22-23	2		3.580×10 ⁷
23	23-24	3		4.528×10 ⁶
24	24-25	3		2.485×10 ⁷
25	25-26	3		2.485×10 ⁷
26	26-27	3		1.018×10 ⁷
27	28-29	1		3.395×10 ⁸
28	29-30	1		1.089×10 ⁹
29	30-31	1		1.089×10 ⁹
30	31-32	4		8.896×10 ⁸
31	32-33	4		8.896×10 ⁸
32	33-34	4		8.896×10 ⁸
33	34-35	4		8.896×10 ⁸
34	35-36	4		8.896×10 ⁸
35	36-37	4		8.896×10 ⁸
36	37-38	4		8.896×10 ⁸
37	38-39	4		8.896×10 ⁸
38	39-40	4		8.896×10 ⁸
39	40-41	4		8.896×10 ⁸
40	41-42	4		8.896×10 ⁸

(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 ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	42-62	4		8.896×10^8
42	43-44	4		8.896×10^8
43	44-45	4		8.896×10^8
44	45-46	4		8.896×10^8
45	46-47	4		8.127×10^8
46	47-48	4		8.127×10^8
47	48-49	4		9.613×10^7
48	50-51	4		9.799×10^9
49	51-52	4		9.799×10^9
50	52-53	4		9.799×10^9
51	53-54	3		3.837×10^9
52	54-55	3		3.837×10^9
53	55-56	3		3.837×10^9
54	56-57	3		2.500×10^9
55	58-50	2		5.075×10^{11}
56	61-15	1		8.004×10^6
57	62-43	4		8.896×10^8

(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	30		
6	34		
10	38		
13	41		
17	45		
24	54		
26	56		
47	50		
26	56		
47	50		
29	60		

(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	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
60	
61	
62	

(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	40	1.94×10^5		0.3	
2		2.01×10^5		0.3	
3		2.00×10^5		0.3	
4	40	2.02×10^5		0.3	

