

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密また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-383 改0
提出年月日	平成30年5月18日

V-2-5-6-1-1 原子炉隔離時冷却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. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	8
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概 要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の検討方針」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、原子炉隔離時冷却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。

原子炉隔離時冷却系ポンプは、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、分類に応じた構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

原子炉隔離時冷却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。</p>	<p>ターボ形</p>	

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

原子炉隔離時冷却系ポンプの構造は横軸ポンプであるため、構造強度評価は、「V-2-1-14-4 横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

原子炉隔離時冷却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

原子炉隔離時冷却系ポンプの許容応力を表 3-3 に示す。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉隔離時冷却系ポンプの許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-5 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	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	クラス 2 ポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス 2 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	非常用炉心 冷却設備そ の他原子炉 注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	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 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	
	引張り	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 3-4 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		730	868	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	66* ²	470	646	—

注記*1 : ()は新 JIS 記号を示す。

*2 : ポンプの最高使用温度は 60°Cである。

9

表 3-5 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 _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		586	847	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	106	448	632	—

注記*1 : ()は新 JIS 記号を示す。

4. 機能維持評価

4.1 機能維持評価方法

原子炉隔離時冷却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。

原子炉隔離時冷却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、「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

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
ポンプ	横形多段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		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

原子炉隔離時冷却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。発生値は評価基準値を満足しており、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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉隔離時冷却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。

【原子炉隔離時冷却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)
				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			
原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	原子炉建屋 EL. -4.0 ^{*1}	— ^{*2}	C _H =0.58	C _V =0.48	C _H =0.87	C _V =0.90	C _P =0.46	66 ^{*3}	

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3: ポンプの最高使用温度は 60°C である。

1.2 機器要目

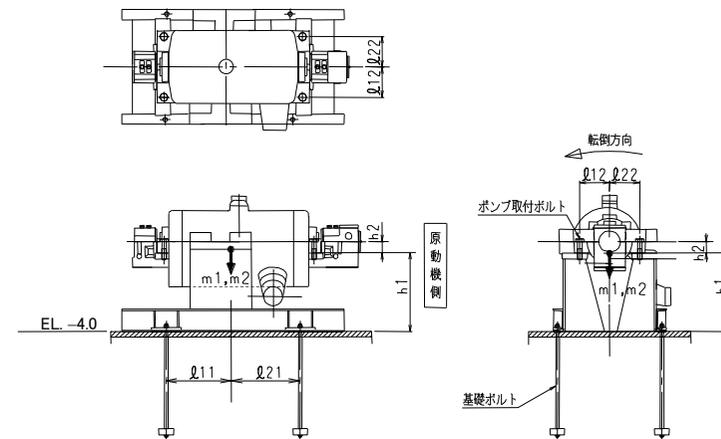
部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	
							弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)						4	2	2
ポンプ取付ボルト (i=2)						4	2	2

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)		転倒方向		M _p (N・mm)	
			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)	730 ^{*2} (径 ≤ 60mm)	868 ^{*2} (径 ≤ 60mm)	607	607	軸	軸	—	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	470 ^{*1} (径 ≤ 40mm)	646 ^{*1} (径 ≤ 40mm)	452	452	軸	軸	—	—

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

注記 *1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出



1.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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)	1.059×10 ⁴	1.674×10 ⁴	3.039×10 ⁴	3.887×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	2.421×10 ³	5.656×10 ³	2.438×10 ⁴	3.117×10 ⁴

1.4 結 論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	σ _{b1} =17	f _{t s1} =455*	σ _{b1} =27	f _{t s1} =455*
		せん断	τ _{b1} =12	f _{s b1} =350	τ _{b1} =16	f _{s b1} =350
ポンプ取付ボルト		引張り	σ _{b2} = 3	f _{t s2} =339*	σ _{b2} = 8	f _{t s2} =339*
		せん断	τ _{b2} = 8	f _{s b2} =261	τ _{b2} =10	f _{s b2} =261

すべて許容応力以下である。

注記*1：()は新 JIS 記号を示す。

*2：f_{t s i}=Min[1.4・f_{t o i}-1.6・τ_{b i}, f_{t o i}]より算出

1.4.2 動的機能維持の評価結果

(単位：×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	0.72	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉隔離時冷却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	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)
				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			
原子炉隔離時冷却系ポンプ	-(S _s 機能維持)	原子炉建屋 EL. -4.0*1	-*2	-	-	C _H =0.87*3	C _V =0.90*3	C _P =0.46	106	<input type="text"/>

注記 *1: 基準床レベルを示す。

*2: 固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

2.2 機器要目

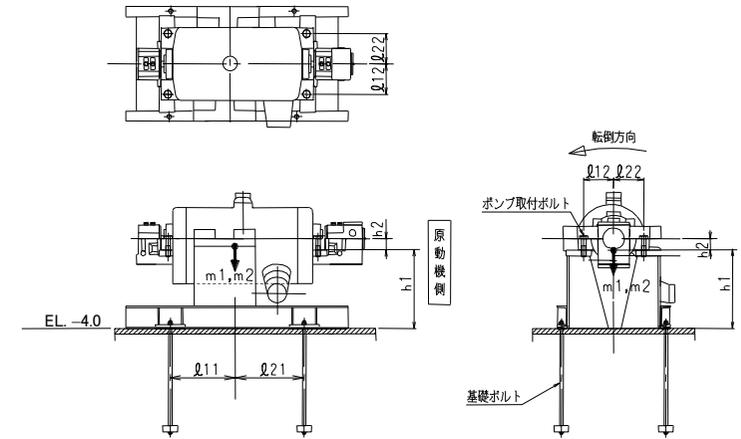
部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} (mm)	ℓ _{2i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n f i	
							弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	<input type="text"/>	4	-	2				
ポンプ取付ボルト (i=2)	<input type="text"/>	4	-	2				

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)		転倒方向		M _p (N・mm)	
			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)	730*2 (径≦60mm)	868*2 (径≦60mm)	-	607	-	軸	-	-
ポンプ取付ボルト (i=2)	448*1 (径≦40mm)	632*1 (径≦40mm)	-	442	-	軸	-	-

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min ⁻¹)
H _p = <input type="text"/>	N = <input type="text"/>

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出



2.3 計算数値

ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F _{b i}		Q _{b i}	
	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)	—	1.674×10 ⁴	—	3.887×10 ⁴
ポンプ取付ボルト (i=2)	—	5.656×10 ³	—	3.117×10 ⁴

2.4 結 論

2.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=27$	$f_{ts1}=455^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=16$	$f_{sb1}=350$
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=331^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=255$

すべて許容応力以下である。

注記*1：()は新 JIS 記号を示す。

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

2.4.2 動的機能維持の評価結果

(単位：×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	0.72	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。