

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-004-07改02
提出年月日	2023年1月19日

VI-2-4-3-1-1 燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算書

2023年1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. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

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、燃料プール冷却系熱交換器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。

燃料プール冷却系熱交換器は、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に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

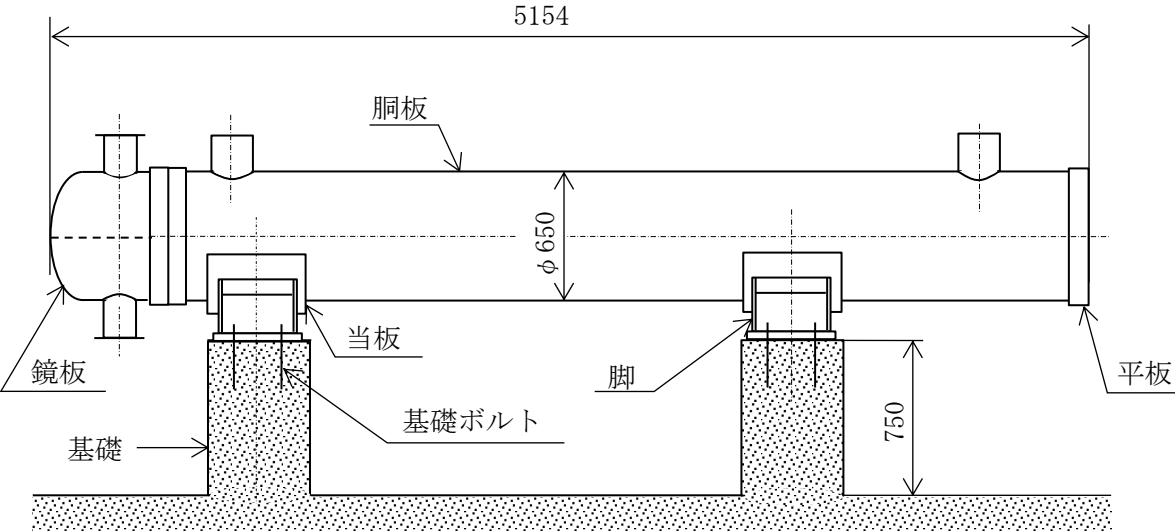
なお、燃料プール冷却系熱交換器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-4 横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

燃料プール冷却系熱交換器の構造計画を表 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>胴を当板を介して2個の脚で支持し、脚を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>水室側に鏡板，胴側に平板を有する横置一胴円筒形容器</p>	 <p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平（長手方向）	
水平（横方向）	
鉛直	

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

燃料プール冷却系熱交換器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-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」に記載の耐震計算方法に基づき行う。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法を用いる。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

燃料プール冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-1 に示す。

4.2.2 許容応力

燃料プール冷却系熱交換器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-2 及び表 4-3 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

燃料プール冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-4 に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【燃料プール冷却系熱交換器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。

表 4-1 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
核燃料物質の 取扱施設及び 貯蔵施設	使用済燃料 貯蔵槽冷却 浄化設備	燃料プール冷却系熱交換器	常設耐震／防止	重大事故等 ^{*2} クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s$ ^{*3}	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVAS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を示す。

*2：重大事故等クラス 2 容器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 4-2 許容応力（重大事故等クラス2容器）

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
IVAS	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値	*2 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、疲労解析は不要	
VAS (VASとしてIVAS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。

*2：2・S_yを超えるとき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 4-3 許容応力（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 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	引張	引張	せん断
IVAS	1.5・f _t * 1.5・f _t *	1.5・f _t *	1.5・f _s *
VAS (VASとしてIVAS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 4-4 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)
		最高使用温度	100				
胴	SM41A* ¹ (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	100	—	221	373	—
脚	SM41A* ¹ (16mm < 厚さ ≤ 40mm)	最高使用温度	100	—	212	373	—
基礎ボルト	SS41* ² (16mm < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—

注記 *1 : SM400A 相当

*2 : SS400 相当

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

燃料プール冷却系熱交換器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することを確認した。

(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。

【燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 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		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			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			
燃料プール冷却系 熱交換器	常設耐震/防止	原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			—	—	C _H =2.07 ^{*2}	C _V =2.39 ^{*2}	1.37	100	100

注記*1: 基準床レベルを示す。

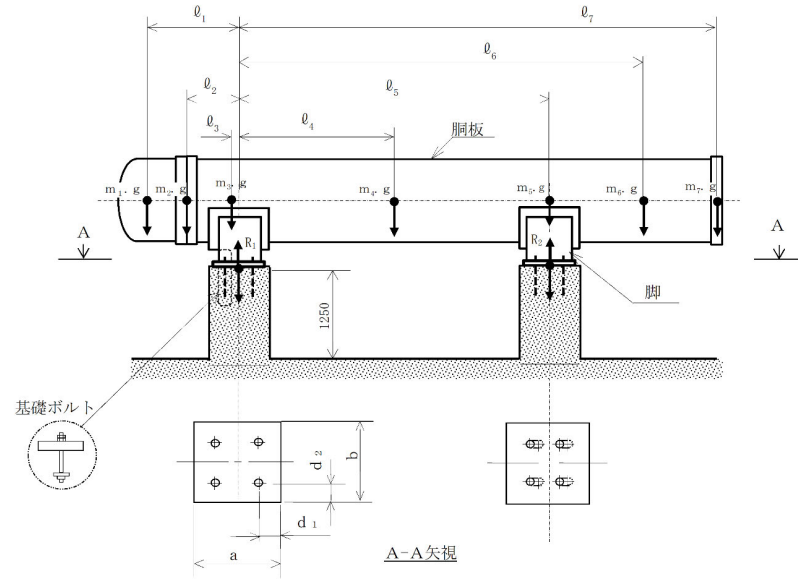
*2: 設計用震度Ⅱ (基準地震動 S s)

1.2 機器要目

m ₁ (kg)	m ₂ (kg)	m ₃ (kg)	m ₄ (kg)	m ₅ (kg)	m ₆ (kg)	m ₇ (kg)

ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	ℓ ₃ (mm)	ℓ ₄ (mm)	ℓ ₅ (mm)	ℓ ₆ (mm)	ℓ ₇ (mm)
-700	-450	0	1350	2700	3520	4040

M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
4.564 × 10 ⁶	7.506 × 10 ⁶	2.085 × 10 ⁴	2.312 × 10 ⁴



m_o (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_o (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
			650	9.0	18.0*1	2700	345	550	0.379	90

C_1 (mm)	C_2 (mm)	$I_{s,x}$ (mm ⁴)	$I_{s,y}$ (mm ⁴)	$Z_{s,x}$ (mm ³)	$Z_{s,y}$ (mm ³)	θ_o (rad)	θ (rad)
275	200	1.156×10 ⁹	1.147×10 ⁹	4.205×10 ⁶	5.734×10 ⁶	2.211	1.299

A_s (mm ²)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm ²)	A_{s2} (mm ²)	A_{s3} (mm ²)	A_{s4} (mm ²)
4.500×10 ⁴	198000*3	76200*3	2.000×10 ⁴	2.750×10 ⁴	1.481×10 ⁴	2.037×10 ⁴

K_{11} *2	K_{12} *2	K_{21} *2	K_{22} *2	$K_{\ell 1}$	$K_{\ell 2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell 1}$	$C_{\ell 2}$	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm ²)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	450	600	30 (M30)	706.9	115	75

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F^* (脚) (MPa)	S_y (基礎ボルト) (MPa)	S_u (基礎ボルト) (MPa)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
221*3 (厚さ≤16mm)	373*3 (厚さ≤16mm)	212*3 (16mm<厚さ≤40mm)	373*3 (16mm<厚さ≤40mm)	254	212*4 (16mm<径≤40mm)	373*4 (16mm<径≤40mm)	254

注記*1：本計算においては当板を有効とした。

*2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

*3：最高使用温度で算出

*4：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=9$	—	$\sigma_{x 2}=9$
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=20$	—	$\sigma_{x 6}=20$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=5$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0l}=55$		$\sigma_{0c}=54$	

(2) 一次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s				
	長手方向		横方向		長手方向		横方向		
	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	$\sigma_{\phi 1}=51$	$\sigma_{x 1}=26$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	
運転時質量による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=9$	—	$\sigma_{x 2}=9$	
鉛直方向地震による長手方向曲げ モーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=20$	—	$\sigma_{x 6}=20$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=8$	$\sigma_{x 3}=8$	$\sigma_{\phi 3}=8$	$\sigma_{x 3}=8$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	$\sigma_{\phi 71}=17$	$\sigma_{x 71}=17$	
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=13$ $\sigma_{\phi 412}=4$ $\sigma_{\phi 41}=17$	$\sigma_{x 411}=7$ $\sigma_{x 412}=4$ $\sigma_{x 41}=16$	$\sigma_{\phi 51}=10$	$\sigma_{x 51}=25$
		せん断	—	—	—	$\tau_l=13$	$\tau_c=5$		
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1l}=95$		$\sigma_{1c}=88$		

(3) 一次+二次応力

地震の種類 地震の方向 応力の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度				基準地震動 S s			
		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
鉛直方向地震による長手方向 曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=20$	—	$\sigma_{x 6}=20$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=17$ $\sigma_{\phi 72}=60$	$\sigma_{x 71}=17$ $\sigma_{x 72}=33$	$\sigma_{\phi 71}=17$ $\sigma_{\phi 72}=60$	$\sigma_{x 71}=17$ $\sigma_{x 72}=33$
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=17$	$\sigma_{x 41}=16$	$\sigma_{\phi 51}=10$	$\sigma_{x 51}=25$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=16$ $\sigma_{\phi 422}=15$	$\sigma_{x 421}=30$ $\sigma_{x 422}=8$	$\sigma_{\phi 52}=70$	$\sigma_{x 52}=35$
	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=30$	$\sigma_{x 42}=37$			
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=13$		$\tau_c=5$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell}=203$		$\sigma_{2c}=223$	

12

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s 1}=1$	$\sigma_{s 1}=1$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s 4}=2$	$\sigma_{s 4}=2$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s 2}=4$	$\sigma_{s 3}=7$
	せん断	—	—	$\tau_{s 2}=7$	$\tau_{s 3}=3$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s \ell}=12$	$\sigma_{s c}=9$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類 地震の方向		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水 平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{b 1}=54$	$\sigma_{b 2}=55$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	$\tau_{b 1}=35$	$\tau_{b 2}=18$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

1.4.2 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
胴板	SM41A*1 (厚さ $\leq 16\text{mm}$)	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 55$	$S_a = 223$
		一次	—	—	$\sigma_i = 95$	$S_a = 334$
		一次+二次	—	—	$\sigma_z = 223$	$S_a = 442$
脚	SM41A*1 ($16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 12$	$f_{tm} = 254$
基礎ボルト	SS41*2 ($16\text{mm} < \text{径} \leq 40\text{mm}$)	引張	—	—	$\sigma_b = 55$	$f_{ts} = 190^{*3}$
		せん断	—	—	$\tau_b = 35$	$f_{sb} = 146$

すべて許容応力以下である。

注記 *1: SM400A 相当

*2: SS400 相当

*3: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$