

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-005-34
提出年月日	2023年1月19日

VI-2-5-7-1-1 原子炉補機冷却系熱交換器の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-5-7-1-1 R0

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	5
3.1 固有周期の計算	5
4. 構造強度評価	6
4.1 構造強度評価方法	6
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	6
4.3 耐震補強サポートの計算方法	7
4.4 計算条件	8
4.5 応力の評価	8
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、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、原子炉補機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。

原子炉補機冷却系熱交換器は、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を示す。

なお、原子炉補機冷却系熱交換器は、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

原子炉補機冷却系熱交換器の構造計画を表 2-1、表 2-2 及び表 2-3 に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図 (全体図)
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、脚を基礎ボルト及び耐震補強サポート (サポート、連結板及びスペーサ) で基礎に据え付ける。</p>	<p>前後水室に平板及び鏡板を有する横置一胴円筒形容器</p>	<p>(単位 : mm)</p>

表 2-2 構造計画 (その 2)

概略構造図 (耐震補強サポート (平面図))

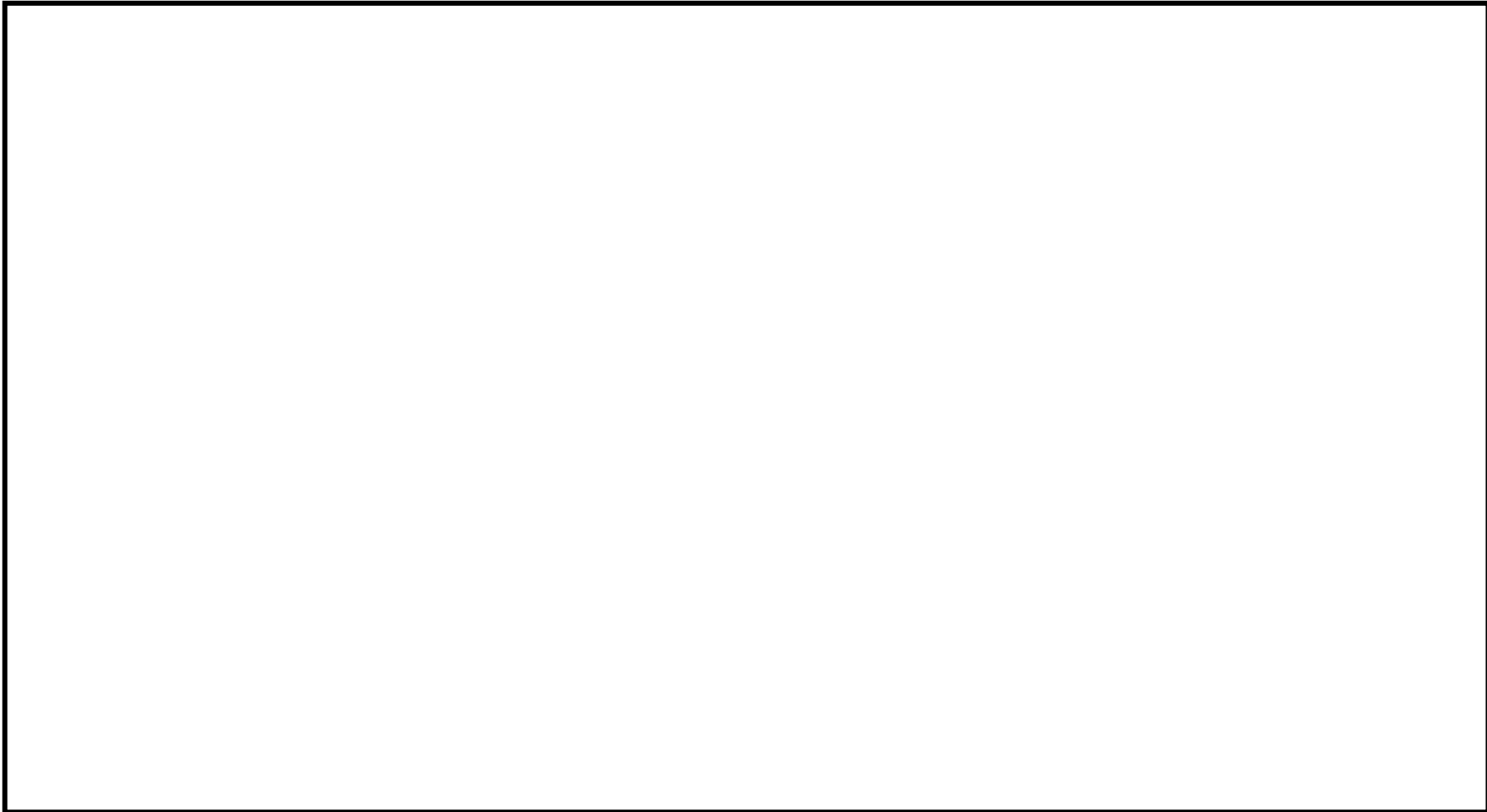
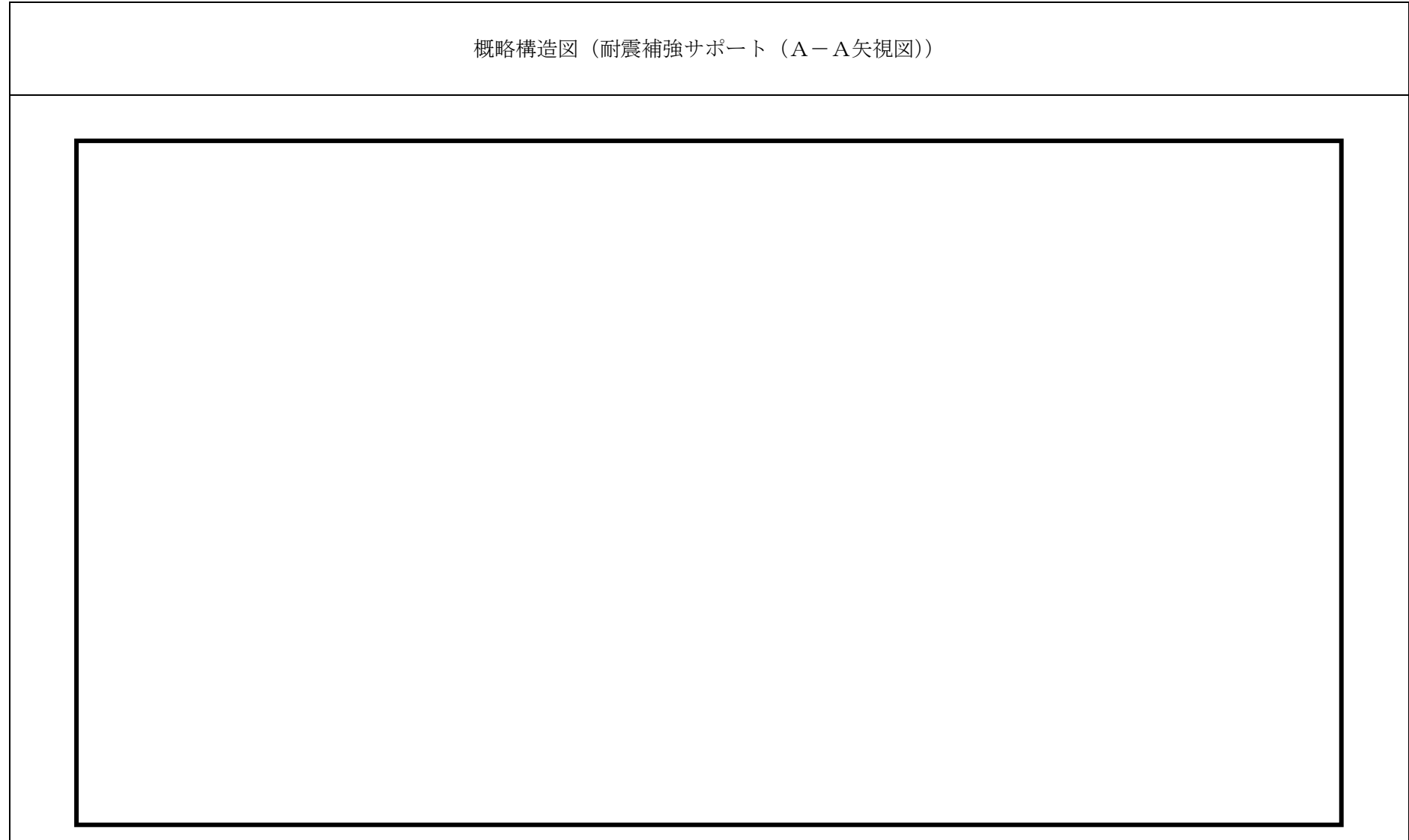


表 2-3 構造計画 (その 3)

概略構造図 (耐震補強サポート (A-A 矢視図))



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【原子炉補機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

原子炉補機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、S R S S法を適用する。

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

原子炉補機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設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

4.2.2 許容応力

原子炉補機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 4-3 及び表 4-4 のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却系熱交換器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 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表 4-1 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	原子炉補機冷却系 熱交換器	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 4-2 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	原子炉補機冷却系 熱交換器	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等* ² クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	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 4-3 許容応力 (クラス 2, 3 容器及び重大事故等クラス 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
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 _y 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、疲労解析は不要	*2
ⅣAS				
VAS (VASとしてⅣASの許容限界を用いる。)	0.6・S _u	左欄の 1.5 倍の値	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	*2

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 4-4 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
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
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 4-5 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					
胴	SGV49 ^{*1}	最高使用温度	85	—	242	441	—
脚	SM41A ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	85	—	218	377	—
基礎ボルト	SS41 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	55	—	209	391	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	55	—	229	391	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SM400A 相当

*3：SS400 相当

表 4-6 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)
		最高使用温度					
胴	SGV49 ^{*1}	最高使用温度	85	—	242	441	—
脚	SM41A ^{*2} (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	85	—	218	377	—
基礎ボルト	SS41 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	55	—	209	391	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	55	—	229	391	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SM400A 相当

*3：SS400 相当

4.3 耐震補強サポートの計算方法

4.3.1 記号の説明

原子炉補機冷却系熱交換器の耐震補強サポートの応力評価に使用する記号を表4-7に示す。

表4-7 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_f	耐震補強サポートの連結板の断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_{tf}	耐震補強サポートの連結板の許容引張応力	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
m_0	容器の運転時質量	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
m_{ss1}	第1脚の耐震補強サポートの質量	kg
m_{ss2}	第2脚の耐震補強サポートの質量	kg
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
σ_f	耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{f1}	長手方向地震により耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa
σ_{f2}	横方向地震により耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa
σ_{f21}	横方向地震により第1脚の耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa
σ_{f22}	横方向地震により第2脚の耐震補強サポートの連結板に生じる引張応力	MPa

4.3.2 応力の計算方法

耐震補強サポートの荷重伝達機構（横方向荷重が作用する場合）を図4-1に示す。長手方向荷重が作用する場合は荷重の方向が異なるが、荷重伝達機構は同様である。第1脚については、脚底板に生じる長手方向荷重及び横方向荷重を耐震補強サポートにより基礎に伝達する。第2脚については、脚底板に生じる横方向荷重のみ耐震補強サポートにより基礎に伝達する。この荷重伝達機構により、基礎ボルトにせん断応力は生じない。

耐震補強サポートの構造強度評価は、耐震評価上厳しくなる連結板について実施する。構造強度評価として、荷重伝達の際に連結板に生じる引張応力について、材料力学の公式に基づいて評価する。

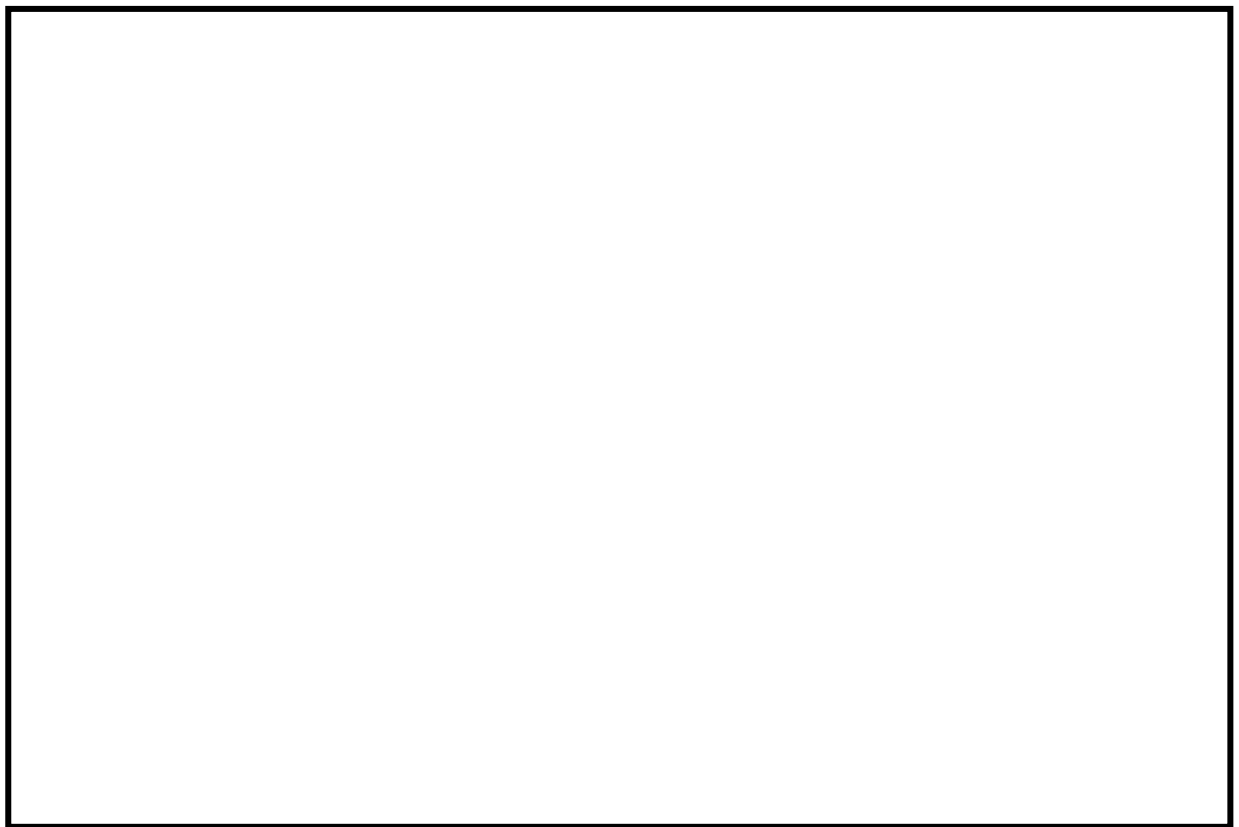


図4-1 耐震補強サポートの荷重伝達機構（横方向荷重が作用する場合）

(1) 長手方向地震が作用した場合

a. 引張応力

長手方向地震が作用した場合に連結板に作用する引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{f1} = \frac{C_H \cdot (m_0 + m_{s1} + m_{s2}) \cdot g}{2 \cdot A_f} \dots\dots\dots (4.3.2.1)$$

(2) 横方向地震が作用した場合

a. 第1脚の連結板に作用する引張応力

横方向地震が作用した場合に第1脚の連結板に作用する引張応力は次式で求める。

$$\sigma_{f21} = \frac{C_H \cdot \{R_1 + (m_{s1} + m_{s1}) \cdot g\}}{2 \cdot A_f} \dots\dots\dots (4.3.2.2)$$

b. 第2脚の連結板に作用する引張応力

a. と同様にして第2脚の連結板に作用する引張応力 σ_{f22} は求められるが、 R_1 を R_2 、 m_{s1} を m_{s2} 、 m_{s1} を m_{s2} とする。横方向地震が作用した場合に第2脚の連結板に作用する引張応力は次式で求める。

a. 及びb. より求められた横方向地震が作用した場合に連結板に作用する引張応力のうち最大のものを σ_{f2} とする。

c. 横方向連結板の最大引張応力

$$\sigma_{f2} = \text{Max} \{ \text{第1脚の連結板に作用する応力} (\sigma_{f21}), \text{第2脚の連結板に作用する応力} (\sigma_{f22}) \} \dots\dots\dots (4.3.2.3)$$

(3) 連結板に生じる最大引張応力

(1) 及び(2) より求められた連結板の引張応力のうち最大のものを σ_f とする。

a. 連結板の最大引張応力

$$\sigma_f = \text{Max} \{ \text{長手方向地震時応力} (\sigma_{f1}), \text{横方向地震時応力} (\sigma_{f2}) \} \dots\dots\dots (4.3.2.4)$$

4.4 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。

4.5 応力の評価

4.5.1 連結板の応力評価

4.3.2項で求めた連結板の引張応力 σ_f が許容引張応力 f_{tf} 以下であること。

ただし、 f_{tf} 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_{tf}	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却系熱交換器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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機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。

【原子炉補機冷却系熱交換器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		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			
原子炉補機冷却系 熱交換器	S	原子炉建物 EL 15.3*1			$C_H=0.89^{*2}$	$C_V=0.81^{*2}$	$C_H=1.45^{*3}$	$C_V=1.16^{*3}$	1.37	85	55

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）又は静的震度

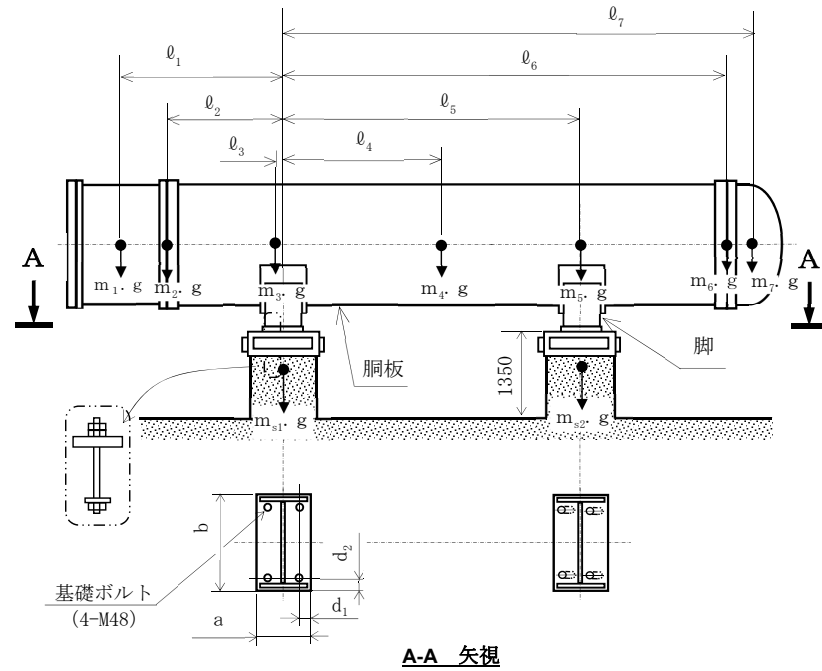
*3：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

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)
-2000	-790	0	1960	3900	4860	5520

M_1 (N·mm)	M_2 (N·mm)	R_1 (N)	R_2 (N)
2.380×10^8	1.143×10^8	3.079×10^5	1.930×10^5



S2 補 VI-2-5-7-1-1 R0

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	m_{ss1} (kg)	m_{ss2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
					1700	14.0	36.0*1	3900	753	1200	0.354	180

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)
765	340	2.895×10^{10}	1.470×10^9	3.784×10^7	4.324×10^6	2.100	1.392

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)
7.935×10^4	199000*3	76500*3	3.440×10^4	4.188×10^4	2.548×10^4	3.701×10^4

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)	A_f (mm ²)
15	4	2	2	750	1600	48 (M48)	1810	100	175	3.840×10^3

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S_y (脚) (MPa)	S_u (脚) (MPa)	F (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)	F^* (基礎ボルト) (MPa)
242*3	441*3	218*3 (16mm<厚さ≤40mm)	377*3 (16mm<厚さ≤40mm)	218	261	209*4 (40mm<径≤100mm)	391*4 (40mm<径≤100mm)	209	250

S_y (連結板) (MPa)	S_u (連結板) (MPa)	F (連結板) (MPa)	F^* (連結板) (MPa)
229*4 (16mm<厚さ≤40mm)	391*4 (16mm<厚さ≤40mm)	229	273

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

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	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		$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
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		—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
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		—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力		—	$\sigma_{x 413}=6$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=10$	—	—
組合せ応力		$\sigma_{0t}=91$		$\sigma_{0c}=90$		$\sigma_{0t}=101$		$\sigma_{0c}=100$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	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		$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
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		—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
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		—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=22$	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
運転時質量による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=25$	$\sigma_{x 71}=25$	$\sigma_{\phi 71}=25$	$\sigma_{x 71}=25$
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 411}=14$	$\sigma_{x 411}=6$	$\sigma_{\phi 51}=16$	$\sigma_{x 51}=42$	$\sigma_{\phi 411}=22$	$\sigma_{x 411}=10$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x 51}=68$
		$\sigma_{\phi 412}=7$	$\sigma_{x 412}=7$			$\sigma_{\phi 412}=11$	$\sigma_{x 412}=11$		
	せん断	$\sigma_{\phi 41}=20$	$\sigma_{x 41}=19$	$\tau_t=24$	$\tau_c=7$	$\sigma_{\phi 41}=33$	$\sigma_{x 41}=30$	$\tau_t=39$	$\tau_c=11$
組合せ応力		$\sigma_{1t}=156$		$\sigma_{1c}=149$		$\sigma_{1t}=188$		$\sigma_{1c}=180$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度				基準地震動 S _s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	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)		$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—	$\sigma_{\phi 2}=0$	—
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		—	$\sigma_{x6}=22$	—	$\sigma_{x6}=22$	—	$\sigma_{x6}=31$	—	$\sigma_{x6}=31$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=18$ $\sigma_{\phi 72}=70$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=36$	$\sigma_{\phi 71}=18$ $\sigma_{\phi 72}=70$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=36$	$\sigma_{\phi 71}=25$ $\sigma_{\phi 72}=101$	$\sigma_{x71}=25$ $\sigma_{x72}=51$	$\sigma_{\phi 71}=25$ $\sigma_{\phi 72}=101$	$\sigma_{x71}=25$ $\sigma_{x72}=51$
水平方向地震 による応力	引張	$\sigma_{\phi 41}=20$	$\sigma_{x41}=19$	$\sigma_{\phi 51}=16$	$\sigma_{x51}=42$	$\sigma_{\phi 41}=33$	$\sigma_{x41}=30$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x51}=68$
		$\sigma_{\phi 421}=16$	$\sigma_{x421}=36$	$\sigma_{\phi 52}=101$	$\sigma_{x52}=56$	$\sigma_{\phi 421}=26$	$\sigma_{x421}=58$	$\sigma_{\phi 52}=164$	$\sigma_{x52}=91$
		$\sigma_{\phi 422}=27$	$\sigma_{x422}=14$			$\sigma_{\phi 422}=44$	$\sigma_{x422}=22$		
	$\sigma_{\phi 42}=43$	$\sigma_{x42}=49$	$\sigma_{\phi 42}=70$	$\sigma_{x42}=80$					
	せん断	$\tau_{\phi}=24$		$\tau_c=7$		$\tau_{\phi}=39$		$\tau_c=11$	
組合せ応力		$\sigma_{2\phi}=255$		$\sigma_{2c}=295$		$\sigma_{2\phi}=391$		$\sigma_{2c}=460$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
	運動時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1}=4$	$\sigma_{s1}=4$	$\sigma_{s1}=4$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=4$	$\sigma_{s4}=4$	$\sigma_{s4}=5$	$\sigma_{s4}=5$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=41$	$\sigma_{s3}=9$	$\sigma_{s2}=67$	$\sigma_{s3}=15$
	せん断	$\tau_{s2}=18$	$\tau_{s3}=8$	$\tau_{s2}=30$	$\tau_{s3}=13$
組合せ応力		$\sigma_{s\phi}=55$	$\sigma_{sc}=19$	$\sigma_{s\phi}=88$	$\sigma_{sc}=29$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	地震の方向	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	$\sigma_{b1}=75$	$\sigma_{b2}=64$	$\sigma_{b1}=143$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	—	—

1.3.4 連結板に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
	水平方向地震による応力	引張	$\sigma_{f1}=61$	$\sigma_{f2}=38$	$\sigma_{f1}=100$

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	SGV49*1	一次一般膜	$\sigma_0=91$	$S_a=242$	$\sigma_0=101$	$S_a=264$
		一次	$\sigma_1=156$	$S_a=363$	$\sigma_1=188$	$S_a=396$
		一次+二次	$\sigma_2=295$	$S_a=484$	$\sigma_2=460$	$S_a=484$
脚	SM41A*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	組合せ	$\sigma_s=55$	$f_{tm}=218$	$\sigma_s=88$	$f_{tm}=261$
基礎ボルト	SS41*3 (40mm<径 \leq 100mm)	引張	$\sigma_b=75$	$f_{ts}=156^{*4}$	$\sigma_b=143$	$f_{ts}=187^{*4}$
		せん断	—	—	—	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ \leq 40mm)	引張	$\sigma_f=61$	$f_{tf}=229$	$\sigma_f=100$	$f_{tf}=273$

すべて許容応力以下である。

注記*1: SGV480 相当

*2: SM400A 相当

*3: SS400 相当

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

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		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			
原子炉補機冷却系 熱交換器	常設/防止 (DB拡張)	原子炉建物 EL 15.3*1			—	—	C _H =1.45*2	C _V =1.16*2	1.37	85	55

注記*1: 基準床レベルを示す。

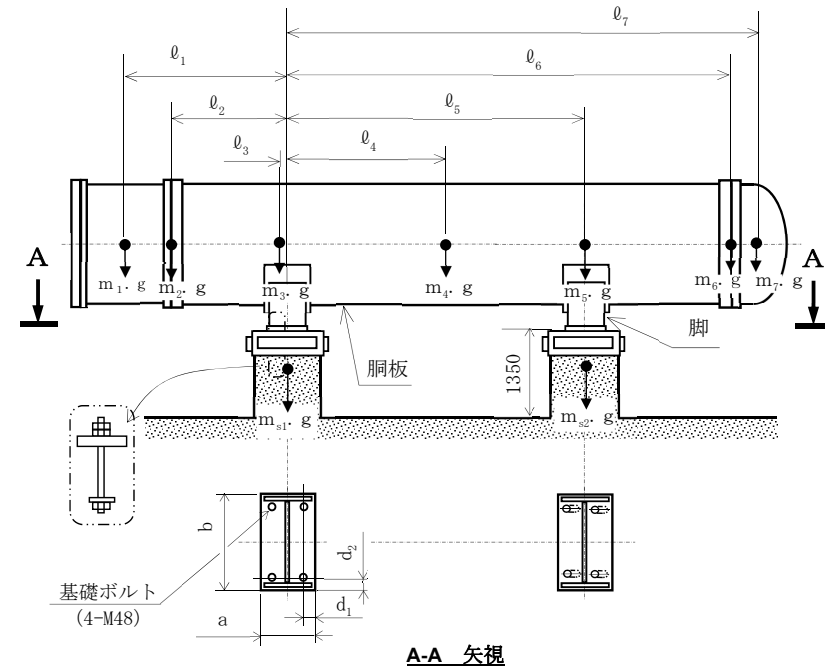
*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

2.2 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)
-2000	-790	0	1960	3900	4860	5520

M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
2.380×10 ⁸	1.143×10 ⁸	3.079×10 ⁵	1.930×10 ⁵



S2 補 VI-2-5-7-1-1 R0

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	m_{ss1} (kg)	m_{ss2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
					1700	14.0	36.0*1	3900	753	1200	0.354	180

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm ⁴)	I_{sy} (mm ⁴)	Z_{sx} (mm ³)	Z_{sy} (mm ³)	θ_0 (rad)	θ (rad)
765	340	2.895×10^{10}	1.470×10^9	3.784×10^7	4.324×10^6	2.100	1.392

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)
7.935×10^4	199000*3	76500*3	3.440×10^4	4.188×10^4	2.548×10^4	3.701×10^4

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)	A_f (mm ²)
15	4	2	2	750	1600	48 (M48)	1810	100	175	3.840×10^3

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)
242*3	441*3	218*3 (16mm<厚さ≤40mm)	377*3 (16mm<厚さ≤40mm)	261	209*4 (40mm<径≤100mm)	391*4 (40mm<径≤100mm)	250

S_y (連結板) (MPa)	S_u (連結板) (MPa)	F^* (連結板) (MPa)
229*4 (16mm<厚さ≤40mm)	391*4 (16mm<厚さ≤40mm)	273

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

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	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		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
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		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
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		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}=10$	—	—
組合せ応力		—		—		$\sigma_{0t}=101$		$\sigma_{0c}=100$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	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		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$	$\sigma_{\phi 1}=85$	$\sigma_{x 1}=42$
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		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=27$	—	$\sigma_{x 2}=27$
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		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=31$	—	$\sigma_{x 6}=31$
運転時質量による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$	$\sigma_{\phi 3}=22$	$\sigma_{x 3}=22$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=25$	$\sigma_{x 7 1}=25$	$\sigma_{\phi 7 1}=25$	$\sigma_{x 7 1}=25$
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1}=22$ $\sigma_{\phi 4 1 2}=11$	$\sigma_{x 4 1 1}=10$ $\sigma_{x 4 1 2}=11$	$\sigma_{\phi 5 1}=26$	$\sigma_{x 5 1}=68$
	せん断	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1}=33$	$\sigma_{x 4 1}=30$		
組合せ応力		—		—		$\tau_t=39$		$\tau_c=11$	
		—		—		$\sigma_{1t}=188$		$\sigma_{1c}=180$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度				基準地震動 S_s			
	地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
	応力の方向	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		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=31$	—	$\sigma_{x6}=31$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=25$ $\sigma_{\phi 72}=101$	$\sigma_{x71}=25$ $\sigma_{x72}=51$	$\sigma_{\phi 71}=25$ $\sigma_{\phi 72}=101$	$\sigma_{x71}=25$ $\sigma_{x72}=51$
水平方向地震 による応力	引張	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=33$	$\sigma_{x41}=30$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x51}=68$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=26$ $\sigma_{\phi 422}=44$ $\sigma_{\phi 42}=70$	$\sigma_{x421}=58$ $\sigma_{x422}=22$ $\sigma_{x42}=80$	$\sigma_{\phi 52}=164$	$\sigma_{x52}=91$
		—	—	—	—				
	せん断		—		—		$\tau_{\phi}=39$		
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell}=391$	$\sigma_{2c}=460$		

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	地震の方向	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	—	—	$\sigma_{s1}=4$	$\sigma_{s1}=4$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=5$	$\sigma_{s4}=5$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=67$	$\sigma_{s3}=15$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=30$	$\tau_{s3}=13$
組合せ応力		—		$\sigma_{s\ell}=88$	$\sigma_{sc}=29$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	地震の方向	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	—	—	$\sigma_{b1}=143$	$\sigma_{b2}=124$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	—	—

2.3.4 連結板に生じる応力

(単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	地震の方向	長手方向	横方向	長手方向	横方向
水平方向地震による応力	引張	—	—	$\sigma_{f1}=100$	$\sigma_{f2}=61$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	
横方向	
鉛直方向	

2.4.2 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	SGV49*1	一次一般膜	—	—	$\sigma_0=101$	$S_a=264$
		一次	—	—	$\sigma_1=188$	$S_a=396$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=460$	$S_a=484$
脚	SM41A*2 (16mm<厚さ \leq 40mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s=88$	$f_{tm}=261$
基礎ボルト	SS41*3 (40mm<径 \leq 100mm)	引張	—	—	$\sigma_b=143$	$f_{ts}=187$ *4
		せん断	—	—	—	—
連結板	SM400A (16mm<厚さ \leq 40mm)	引張	—	—	$\sigma_f=100$	$f_{tf}=273$

すべて許容応力以下である。

注記*1: SGV480 相当

*2: SM400A 相当

*3: SS400 相当

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