

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7添-2-036-4 改1
提出年月日	2020年7月9日

V-2-5-3-1-1 残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-5-3-1-1 R0

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

V-2-5-3-1-1 残留熱除去系熱交換器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. 固有周期	3
3.1 固有周期の算出	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
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	4
4.2.2 許容応力	4
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	10
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	10
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	10

1. 概要

本計算書は、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の設計方針に基づき、残留熱除去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。

残留熱除去系熱交換器は、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緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（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、残留熱除去系熱交換器は、V-2-1-14「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、V-2-1-14「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

残留熱除去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 2 個の脚で支持し、脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>水室側及び胴側に、鏡板を有する横置一胴円筒形容器</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の算出

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【残留熱除去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		
鉛直		

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

残留熱除去系熱交換器の構造強度評価は、V-2-1-14「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。

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

残留熱除去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

残留熱除去系熱交換器の許容応力は、V-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

残留熱除去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。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱除去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（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	残留熱除去 設備	残留熱除去系 熱交換器	S	クラス 3 容器* (胴側)	$D + P_D + M_D + S_d^*$	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	残留熱除去 設備	残留熱除去系 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。)
原子炉格納 施設	原子炉格納 容器安全設備 格納容器 スプレイ冷却系	残留熱除去系 熱交換器	常設／防止 (DB 拡張) 常設／緩和 (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。)

(続き)

原子炉格納 施設	原子炉格納 容器安全設備 サプレッション チェンバプール 水冷却系	残留熱除去系 熱交換器	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和 (DB拡張)	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。)
原子炉格納 施設	原子炉格納 容器安全設備 代替循環冷却系	残留熱除去系 熱交換器	常設／緩和	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／防止 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張), 「常設／緩和 (DB拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張), 「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, *2			
	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 $0.6 \cdot S_u$ 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 $1.2 \cdot S$ 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 $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S	$0.6 \cdot S_u$	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 $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要。	

注記*1: 座屈による評価は、クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

*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 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	
	引張り		引張り	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$		$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_t^*$	
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					
胴板	SGV480	最高使用温度	70	—	248	453	—
脚	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	66	—	225	385	—
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	66	—	206	385	—

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					
胴板	SGV480	最高使用温度	90	—	241	438	—
脚	SM400A (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—
基礎ボルト	SS400 (径>40mm)	周囲環境温度	100	—	194	373	—

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。

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。

【残留熱除去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			
残留熱除去系 熱交換器	S	原子炉建屋 T. M. S. L. -7.0 (T. M. S. L. -8.2*)			C _H =0.58	C _V =0.50	C _H =0.92	C _V =1.00	1.37	70	66

注記*: 基準床レベルを示す。

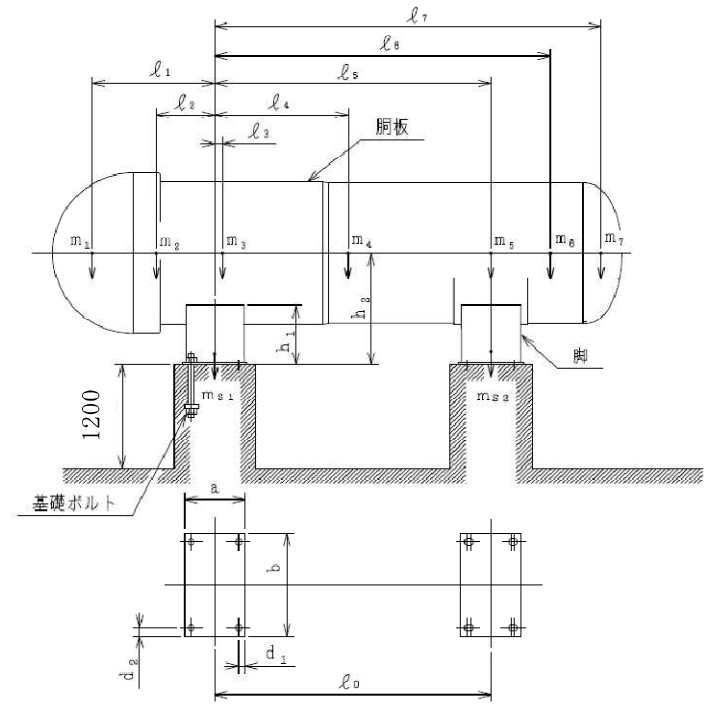
1.2 機器要目

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)	M ₁ (N・mm)	M ₂ (N・mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-1423	-682	5	1543	3199	3891	4478	9.767×10 ⁷	3.017×10 ⁷	2.095×10 ⁵	9.866×10 ⁴

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	l ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
			1600	32.0	32.0	3200	740	1300

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)
615	340	1.753×10 ¹⁰	1.469×10 ⁹	2.850×10 ⁷	4.321×10 ⁶	2.310	1.217



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)
7.095×10^4	200000^{*1}	76900^{*1}	3.433×10^4	3.377×10^4	2.546×10^4	3.017×10^4

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	750	1300	48 (M48)	1.810×10^3	100	150

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (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)
248^{*3}	453^{*3}	—	225^{*1} <small>(16mm < 厚さ ≤ 40mm)</small>	385^{*1}	225	270	206^{*1} <small>(径 > 40mm)</small>	385^{*1}	206	247

注記*1：周囲環境温度で算出

*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

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 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	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—
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	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$
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	—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell}=49$		$\sigma_{0c}=48$		$\sigma_{0\ell}=59$		$\sigma_{0c}=59$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

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	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—	
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	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	
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	—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=9$	$\sigma_{x 71}=9$	$\sigma_{\phi 71}=9$	$\sigma_{x 71}=9$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411}=8$	$\sigma_{x 411}=4$	$\sigma_{\phi 51}=11$	$\sigma_{x 51}=31$	$\sigma_{\phi 411}=12$	$\sigma_{x 411}=6$	$\sigma_{\phi 51}=18$	$\sigma_{x 51}=49$
		$\sigma_{\phi 412}=5$	$\sigma_{x 412}=5$			$\sigma_{\phi 412}=8$	$\sigma_{x 412}=8$		
	せん断	$\tau_{\ell}=5$		$\tau_{c}=2$		$\tau_{\ell}=7$		$\tau_{c}=3$	
組合せ応力	$\sigma_{1\ell}=86$		$\sigma_{1c}=106$		$\sigma_{1\ell}=99$		$\sigma_{1c}=118$		

(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 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)		—	—	—	—	—	—	—	—
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		—	$\sigma_{x6}=11$	—	$\sigma_{x6}=11$	—	$\sigma_{x6}=21$	—	$\sigma_{x6}=21$
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=40$	$\sigma_{x71}=9$ $\sigma_{x72}=19$	$\sigma_{\phi 71}=9$ $\sigma_{\phi 72}=40$	$\sigma_{x71}=9$ $\sigma_{x72}=19$	$\sigma_{\phi 71}=18$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$	$\sigma_{\phi 71}=18$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41}=12$	$\sigma_{x41}=9$	$\sigma_{\phi 51}=11$	$\sigma_{x51}=31$	$\sigma_{\phi 41}=19$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi 51}=18$	$\sigma_{x51}=49$
		$\sigma_{\phi 421}=10$ $\sigma_{\phi 422}=21$	$\sigma_{x421}=21$ $\sigma_{x422}=10$	$\sigma_{\phi 52}=93$	$\sigma_{x52}=41$	$\sigma_{\phi 421}=16$ $\sigma_{\phi 422}=32$	$\sigma_{x421}=33$ $\sigma_{x422}=15$	$\sigma_{\phi 52}=148$	$\sigma_{x52}=65$
		$\sigma_{\phi 42}=30$	$\sigma_{x42}=30$			$\sigma_{\phi 42}=48$	$\sigma_{x42}=47$		
	せん断	$\tau_{\ell}=5$		$\tau_c=2$		$\tau_{\ell}=7$		$\tau_c=3$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell}=184$		$\sigma_{2c}=306$		$\sigma_{2\ell}=240$		$\sigma_{2c}=384$	

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	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
鉛直方向地震による応力		圧縮	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=3$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=17$	$\sigma_{s3}=6$	$\sigma_{s2}=27$	$\sigma_{s3}=9$
	せん断	$\tau_{s2}=8$	$\tau_{s3}=5$	$\tau_{s2}=12$	$\tau_{s3}=7$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell}=25$	$\sigma_{sc}=13$	$\sigma_{s\ell}=36$	$\sigma_{sc}=17$

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		引張り	$\sigma_{b1}=26$	$\sigma_{b2}=30$	$\sigma_{b1}=54$ $\sigma_{b2}=69$
水平方向地震による 応力		せん断	$\tau_{b1}=26$	$\tau_{b2}=18$	$\tau_{b1}=41$ $\tau_{b2}=28$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

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	SGV480	一次一般膜	$\sigma_o = 49$	$S_a = 248$	$\sigma_o = 59$	$S_a = 272$
		一次	$\sigma_1 = 106$	$S_a = 373$	$\sigma_1 = 118$	$S_a = 408$
		一次+二次	$\sigma_2 = 306$	$S_a = 497$	$\sigma_2 = 384$	$S_a = 497$
脚	SM400A	組合せ	$\sigma_s = 25$	$f_{ts} = 225$	$\sigma_s = 36$	$f_{ts} = 270$
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 30$	$f_{ts} = 154^*$	$\sigma_b = 69$	$f_{ts} = 185^*$
		せん断	$\tau_b = 26$	$f_{sb} = 118$	$\tau_b = 41$	$f_{sb} = 142$

すべて許容応力以下である。

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

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			
残留熱除去系 熱交換器	常設/防止 (DB 拡張)	原子炉建屋 T. M. S. L. -7.0 (T. M. S. L. -8.2*)	□	□	—	—	C _H =0.92	C _V =1.00	1.37	90	100

注記* : 基準床レベルを示す。

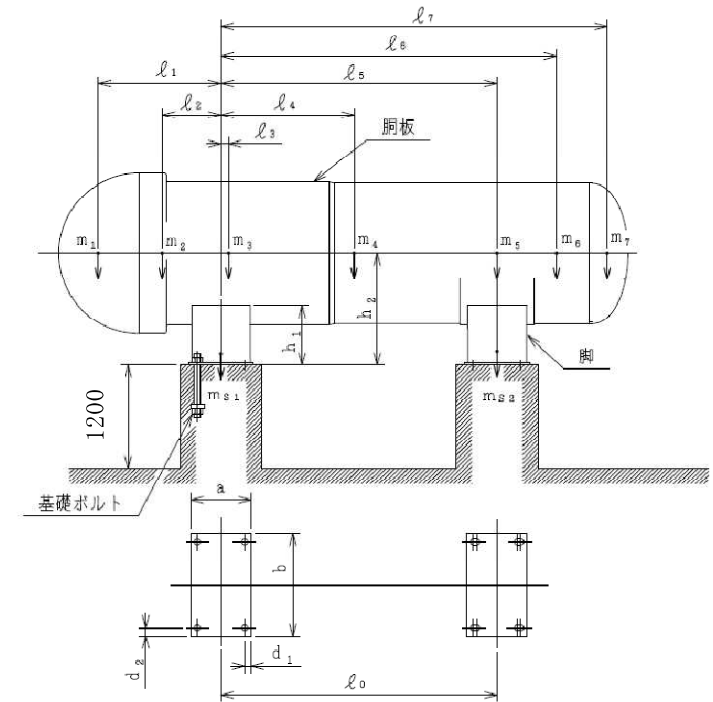
2.2 機器要目

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)	M ₁ (N·mm)	M ₂ (N·mm)	R ₁ (N)	R ₂ (N)
-1423	-682	5	1543	3199	3891	4478	9.767×10 ⁷	3.017×10 ⁷	2.095×10 ⁵	9.866×10 ⁴

m ₀ (kg)	m _{s1} (kg)	m _{s2} (kg)	D _i (mm)	t (mm)	t _e (mm)	l ₀ (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)
□			1600	32.0	32.0	3200	740	1300

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)
615	340	1.753×10 ¹⁰	1.469×10 ⁹	2.850×10 ⁷	4.321×10 ⁶	2.310	1.217



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)
7.095×10^4	198000*1	76200*1	3.433×10^4	3.377×10^4	2.546×10^4	3.017×10^4

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	750	1300	48 (M48)	1.810×10^3	100	150

S_y (胴板) (MPa)	S_u (胴板) (MPa)	S (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)
241*3	438*3	—	212*1 <small>(16mm<厚さ≤40mm)</small>	373*1	—	254	194*1 <small>(径>40mm)</small>	373*1	—	232

注記*1：周囲環境温度で算出

*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

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 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	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\ell}=59$		$\sigma_{0c}=59$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

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	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=12$	$\sigma_{x 411}=6$	$\sigma_{\phi 51}=18$	$\sigma_{x 51}=49$
		—	—			$\sigma_{\phi 412}=8$	$\sigma_{x 412}=8$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell}=7$	—	$\tau_{c}=3$	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1\ell}=99$		$\sigma_{1c}=118$		

(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 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)	—	—	—	—	—	—	—	—	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=21$	—	$\sigma_{x6}=21$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=18$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$	$\sigma_{\phi 71}=18$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=19$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi 51}=18$	$\sigma_{x51}=49$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=16$ $\sigma_{\phi 422}=32$	$\sigma_{x421}=33$ $\sigma_{x422}=15$	$\sigma_{\phi 52}=148$	$\sigma_{x52}=65$
		—	—			$\sigma_{\phi 42}=48$	$\sigma_{x42}=47$		
	せん断	—	—	—	$\tau_{\ell}=7$	$\tau_c=3$			
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell}=240$	$\sigma_{2c}=384$			

19

2.3.2 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	—	—	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=27$	$\sigma_{s3}=9$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=12$	$\tau_{s3}=7$
組合せ応力	—	—	—	$\sigma_{s\ell}=36$	$\sigma_{sc}=17$

2.3.3 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	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=54$	$\sigma_{b2}=69$
水平方向地震による 応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=41$	$\tau_{b2}=28$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
長手方向	$T_1 =$ <input type="text"/>
横方向	$T_2 =$ <input type="text"/>
鉛直方向	$T_3 =$ <input type="text"/>

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	SCV480	一次一般膜	—	—	$\sigma_0 = 59$	$S_a = 262$
		一次	—	—	$\sigma_1 = 118$	$S_a = 394$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 384$	$S_a = 482$
脚	SM400A	組合せ	—	—	$\sigma_s = 36$	$f_t = 254$
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 69$	$f_{ts} = 174^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 41$	$f_{sb} = 133$

すべて許容応力以下である。

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