

VI-2-5-6 原子炉補機冷却設備の耐震性についての計算書

VI-2-5-6-1 原子炉補機冷却水系及び原子炉補機冷却海水系の  
耐震性についての計算書

VI-2-5-6-1-1 原子炉補機冷却水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
4.4 疲労解析評価	9
4.5 補強材の評価	11
5. 評価結果	12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	12

## 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、原子炉補機冷却水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。

原子炉補機冷却水系熱交換器は、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）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、原子炉補機冷却水系熱交換器は、VI-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、VI-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。

ただし、基礎ボルトに発生する荷重のうち、せん断力は補強材で支持するものとし、「4.5 補強材の評価」にて示す方法にて構造強度評価を実施する。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

原子炉補機冷却水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、脚は基礎ボルトと補強材で基礎に固定する。</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>9049: (A),(B),(D),(E) 7929: (C),(F)</p> <p>(A~F共通)</p> <p>G-G</p> <p>(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【原子炉補機冷却水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)

	(A), (B), (D), (E)	(C), (F)
水平	<input type="text"/>	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>	<input type="text"/>

#### 4. 構造強度評価

##### 4.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水系熱交換器の構造強度評価のうち、胴板及び脚についてはVI-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。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

##### 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

原子炉補機冷却水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

原子炉補機冷却水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

原子炉補機冷却水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【原子炉補機冷却水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	原子炉補機	原子炉補機冷却水系熱交換器	S	クラス 3 容器 *	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
	冷却設備				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> 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 * <sup>1</sup>	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	原子炉補機冷却水系熱交換器	常設／防止 (DB 拡張)	重大事故等 * <sup>2</sup> クラス 2 容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
	冷却設備				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容限界 を用いる。)
	原子炉補機		常設／緩和 (DB 拡張)			
	冷却水系					

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) 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 <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と0.6・S <sub>u</sub> 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	左欄の1.5倍の値	弾性設計用地震動S <sub>d</sub> 又は基準地震動S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は不要。	
Ⅳ <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の1.5倍の値		
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)			基準地震動S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 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 <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$		$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_t^*$	
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)				
	$1.5 \cdot f_t^*$		$1.5 \cdot f_s^*$	

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM50B* (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	70	—	298	461	—
脚	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
補強材	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記\* : SM490B 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM50B* (16mm<厚さ≤40mm)	最高使用温度	70	—	298	461	—
脚	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	50	—	211	394	—
補強材	SS400 (16mm<厚さ≤40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

注記\* : SM490B 相当

#### 4.4 疲労解析評価

胴の応力評価において、一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点  $S_y$  の2 倍を上回る、すなわち一次+二次応力  $> 2 \cdot S_y$  となる場合には、設計・建設規格 PVB-3300に規定された簡易弾塑性評価方法に基づき、疲労解析評価を実施する。ただし、クラス3 容器である本機器では、 $S_m$  を  $2/3 \cdot S_y$  に読替える。

なお、疲労解析評価に用いる弾性設計用地震動  $S_d$  及び基準地震動  $S_s$  の等価繰返し回数  $N_c$  は、各々200回とする。

##### (1) 繰返しピーク応力強さ

繰返しピーク応力強さ  $S_e$  は、次式により求める。

$$S_e = K_e \cdot S_p / 2 \quad \dots \dots \dots (4.4.1)$$

$K_e$  : 次の計算式により計算した値

a.  $S_n < 3 \cdot S_m$  の場合

$$K_e = 1$$

b.  $S_n \geq 3 \cdot S_m$  の場合

(a)  $K < B_0$  の場合

$$\begin{aligned} \text{イ. } S_n / (3 \cdot S_m) < [ (q + A_0 / K - 1) \\ - \sqrt{ \{ (q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1) \} } ] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合} \end{aligned}$$

$$K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \{ S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K \} \quad \dots \dots \dots (4.4.2)$$

ロ.  $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [ (q + A_0 / K - 1)$

$$- \sqrt{ \{ (q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1) \} } ] / (2 \cdot A_0) \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \quad \dots \dots \dots (4.4.3)$$

(b)  $K \geq B_0$  の場合

$$\text{イ. } S_n / (3 \cdot S_m) < [ (q - 1) - \sqrt{ \{ A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1) \} } ] / a \text{ の場合}$$

$$K_e = K_e^{**} = a \cdot S_n / (3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1 / K) + 1 - a \quad \dots \dots \dots (4.4.4)$$

ロ.  $S_n / (3 \cdot S_m) \geq [ (q - 1) - \sqrt{ \{ A_0 \cdot (1 - 1 / K) \cdot (q - 1) \} } ] / a$  の場合

$$K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m / S_n) \quad \dots \dots \dots (4.4.5)$$

ここで,

$$K = S_p / S_n \dots\dots\dots (4.4.6)$$

$$a = A_0 \cdot (1 - 1/K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_0 \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>: 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2.15

S<sub>n</sub>: 一次応力と二次応力を加えて求めた応力解析による応力強さのサイクルにおいて, その最大値と最小値との差

K<sub>e</sub>: 弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数

S<sub>p</sub>: 地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲

S<sub>0</sub>: 繰返しピーク応力強さ

(2) 運転温度における繰返しピーク応力強さの補正

縦弾性係数比を考慮し, 繰返しピーク応力強さ S<sub>0</sub> を次式により補正する。

$$S_0' = S_0 \cdot E_0 / E$$

S<sub>0</sub>': 補正繰返しピーク応力強さ

E<sub>0</sub>: 設計・建設規格の設計疲労線図に規定される縦弾性係数

E: 運転温度の縦弾性係数

(3) 疲労累積係数

疲労累積係数 U<sub>f</sub> が次式を満足することを確認する。

$$U_f = \Sigma (N_c / N_a) \leq 1.0$$

N<sub>a</sub>: 地震時の許容繰返し回数

N<sub>c</sub>: 地震時の等価繰返し回数

なお, 許容繰返し回数の算出には, 設計・建設規格 図 添付 4-2-1 炭素鋼, 低合金鋼および高張力鋼の設計疲労線図より求めた値を用いる。

#### 4.5 補強材の評価

補強材の構造強度評価は、評価上厳しくなる溶接部について実施する。

##### (1) 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$F_H$	補強材に生じる水平方向荷重(横方向)	N
$A_1$	評価対象溶接部開先断面積	mm <sup>2</sup>
$t_1$	補強材開先部厚さ	mm
$\sigma_a$	補強材溶接部に生じる引張応力	MPa
$f_{ta}$	補強材溶接部の許容引張応力	MPa

##### (2) 計算方法

補強材は、熱交換器脚部に溶接で取り付けられており、基礎ボルトに作用する荷重のうち、水平方向荷重を負担するものである。図4-1に補強材の構造を示す。

地震により作用する水平方向荷重は、長手方向地震については補強材の長辺側に、横方向地震については補強材の短辺側に作用するが、保守的に横方向地震による水平方向荷重が補強材の短辺側に引張力として作用するものとして評価を行う。

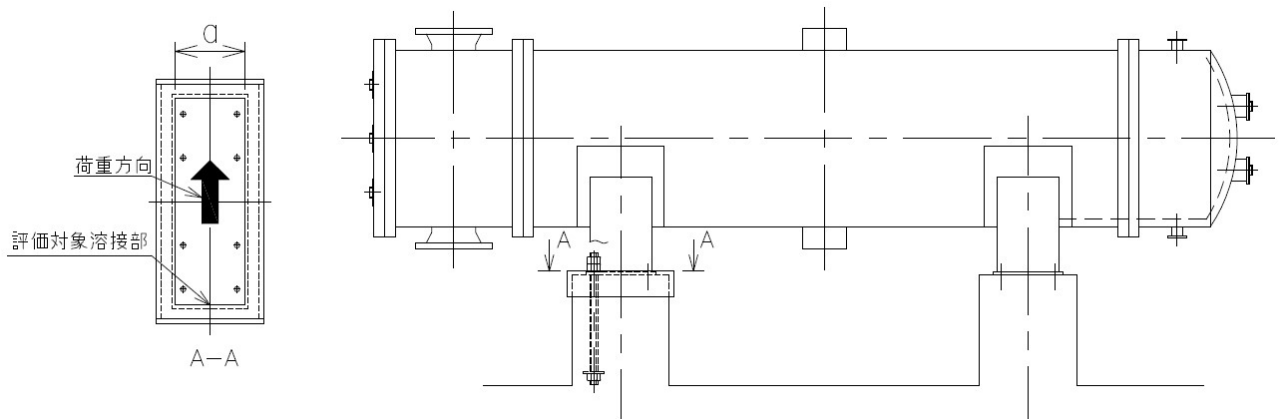


図4-1 補強材まわりの荷重

補強材に生じる水平方向荷重 $F_H$ は、次式より求める。

$$F_H = m_0 \cdot C_H \cdot g \cdots \cdots \cdots (4.5.1)$$

補強材溶接部の断面積 $A_1$ は、次式より求める。

$$A_1 = a \cdot t_1 \cdots \cdots \cdots (4.5.2)$$

補強材溶接部に生じる引張応力 $\sigma_a$ は、次式より求める。

$$\sigma_a = F_H / A_1 \cdots \cdots \cdots (4.5.3)$$

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水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

原子炉補機冷却水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。



【原子炉補機冷却水系熱交換器(A), (B), (D), (E)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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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			
原子炉補機冷却水系熱交換器 (A), (B), (D), (E)	S	タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9*)			C <sub>H</sub> =0.63	C <sub>V</sub> =0.46	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90	1.37	70	50

注記\* : 基準床レベルを示す。

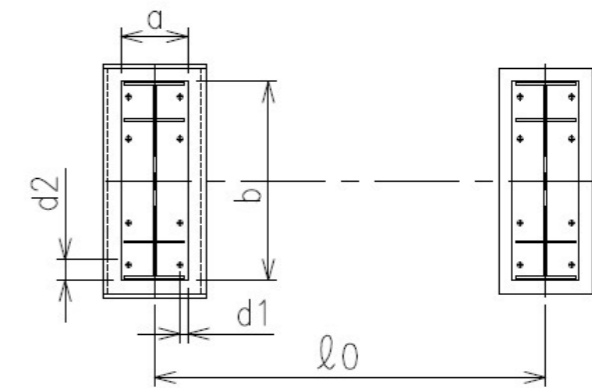
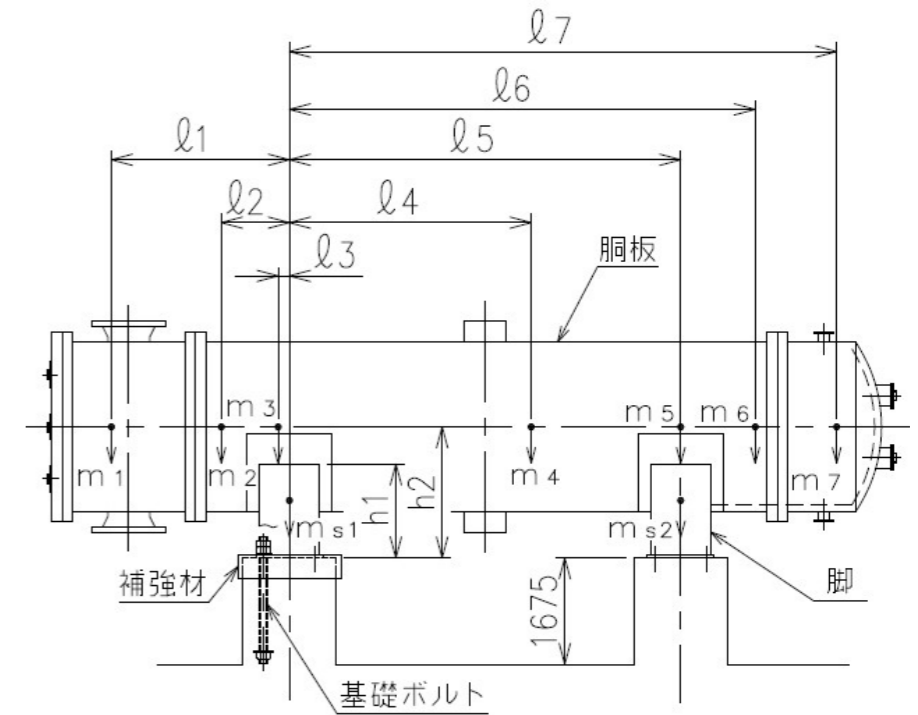
1.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)	l <sub>3</sub> (mm)	l <sub>4</sub> (mm)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	l <sub>7</sub> (mm)	M <sub>1</sub> (N·mm)	M <sub>2</sub> (N·mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)
-1724	-540	0	2300	4600	5140	5761	3.828×10 <sup>8</sup>	1.444×10 <sup>8</sup>	5.307×10 <sup>5</sup>	3.232×10 <sup>5</sup>

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	θ <sub>w</sub> (rad)	l <sub>w</sub> (mm)
88485	703	703	2200	20.0	44.0*1	4600	845	1400	0.368	350

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1000	300	5.639×10 <sup>10</sup>	1.802×10 <sup>9</sup>	5.639×10 <sup>7</sup>	6.008×10 <sup>6</sup>	2.078	1.410



$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s2}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s3}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s4}$ (mm <sup>2</sup> )
$1.075 \times 10^5$	201000*4	77300*4	$5.414 \times 10^4$	$4.704 \times 10^4$	$4.012 \times 10^4$	$3.931 \times 10^4$

$K_{11}$ *2	$K_{12}$ *2	$K_{21}$ *2	$K_{22}$ *2	$K_{l1}$	$K_{l2}$	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$C_{l1}$	$C_{l2}$	$C_{c1}$	$C_{c2}$
		—	—								
		—	—								

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ (mm <sup>2</sup> )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$d_3$ (mm)
15	8	4	2	650	2050	48 (M48)	$1.810 \times 10^3$	75	175	525

$S_y$ (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)
298*3 (16mm<厚さ≤40mm)	461*3	—	231*4 (16mm<厚さ≤40mm)	394*4	231	276	211*4 (40mm<径≤100mm)	394*4	211	253

$t_1$ (mm)	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$S_y$ (補強材) (MPa)	$S_u$ (補強材) (MPa)	F (補強材) (MPa)	$F^*$ (補強材) (MPa)
19	12350	231*4 (16mm<厚さ≤40mm)	394*4	231	276

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 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
	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	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$
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	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$
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	—	$\sigma_{x 6}=10$	—	$\sigma_{x 6}=10$	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=4$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=7$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{o\ell}=77$		$\sigma_{oc}=77$		$\sigma_{o\ell}=83$		$\sigma_{oc}=77$	

(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	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	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	
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	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	
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	—	$\sigma_{x 6}=10$	—	$\sigma_{x 6}=10$	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=26$	$\sigma_{x 3}=24$	$\sigma_{\phi 3}=26$	$\sigma_{x 3}=24$	$\sigma_{\phi 3}=26$	$\sigma_{x 3}=24$	$\sigma_{\phi 3}=26$	$\sigma_{x 3}=24$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=12$	$\sigma_{x 71}=11$	$\sigma_{\phi 71}=12$	$\sigma_{x 71}=11$	$\sigma_{\phi 71}=23$	$\sigma_{x 71}=22$	$\sigma_{\phi 71}=23$	$\sigma_{x 71}=22$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411}=14$	$\sigma_{x 411}=5$	$\sigma_{\phi 51}=17$	$\sigma_{x 51}=43$	$\sigma_{\phi 411}=24$	$\sigma_{x 411}=8$	$\sigma_{\phi 51}=29$	$\sigma_{x 51}=73$
		$\sigma_{\phi 412}=6$	$\sigma_{x 412}=6$			$\sigma_{\phi 412}=10$	$\sigma_{x 412}=9$		
	せん断	$\tau_{\ell}=23$		$\tau_{c}=5$		$\tau_{\ell}=38$		$\tau_{c}=7$	
組合せ応力	$\sigma_{1\ell}=149$		$\sigma_{1c}=146$		$\sigma_{1\ell}=190$		$\sigma_{1c}=195$		

(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	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	—	$\sigma_{x6}=10$	—	$\sigma_{x6}=10$	—	$\sigma_{x6}=18$	—	$\sigma_{x6}=18$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=12$ $\sigma_{\phi 72}=41$	$\sigma_{x71}=11$ $\sigma_{x72}=24$	$\sigma_{\phi 71}=12$ $\sigma_{\phi 72}=41$	$\sigma_{x71}=11$ $\sigma_{x72}=24$	$\sigma_{\phi 71}=23$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=22$ $\sigma_{x72}=46$	$\sigma_{\phi 71}=23$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=22$ $\sigma_{x72}=46$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41}=20$	$\sigma_{x41}=14$	$\sigma_{\phi 51}=17$	$\sigma_{x51}=43$	$\sigma_{\phi 41}=33$	$\sigma_{x41}=23$	$\sigma_{\phi 51}=29$	$\sigma_{x51}=73$
		$\sigma_{\phi 421}=14$	$\sigma_{x421}=32$	$\sigma_{\phi 52}=134$	$\sigma_{x52}=63$	$\sigma_{\phi 421}=23$	$\sigma_{x421}=53$	$\sigma_{\phi 52}=225$	$\sigma_{x52}=105$
		$\sigma_{\phi 422}=20$	$\sigma_{x422}=11$			$\sigma_{\phi 422}=33$	$\sigma_{x422}=19$		
	せん断	$\sigma_{\phi 42}=33$	$\sigma_{x42}=43$			$\sigma_{\phi 42}=55$	$\sigma_{x42}=72$		
せん断	$\tau_{\ell}=23$		$\tau_{c}=5$		$\tau_{\ell}=38$		$\tau_{c}=7$		
組合せ応力	$\sigma_{2\ell}=250$		$\sigma_{2c}=408$		$\sigma_{2\ell}=447$		$\sigma_{2c}=715$		

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		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	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=5$	$\sigma_{s4}=5$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=40$	$\sigma_{s3}=9$	$\sigma_{s2}=67$	$\sigma_{s3}=15$
	せん断	$\tau_{s2}=14$	$\tau_{s3}=9$	$\tau_{s2}=23$	$\tau_{s3}=15$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell}=53$	$\sigma_{sc}=22$	$\sigma_{s\ell}=86$	$\sigma_{sc}=35$

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		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	$\sigma_{b1}=52$	$\sigma_{b2}=30$	$\sigma_{b1}=115$	$\sigma_{b2}=80$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	—	—

1.3.4 補強材に生じる応力 (単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
	地震の方向	横方向	
水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_a=45$	$\sigma_a=75$

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 <sub>1</sub> = <input type="text"/>
横方向	T <sub>2</sub> = <input type="text"/>
鉛直方向	T <sub>3</sub> = <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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM50B*1	一次一般膜	$\sigma_o=77$	S <sub>a</sub> =277	$\sigma_o=83$	S <sub>a</sub> =277
		一次	$\sigma_1=149$	S <sub>a</sub> =415	$\sigma_1=195$	S <sub>a</sub> =415
		一次+二次	$\sigma_2=408$	S <sub>a</sub> =597	$\sigma_2=715^{*2}$	S <sub>a</sub> =597
脚	SS400	組合せ	$\sigma_s=53$	f <sub>t</sub> =231	$\sigma_s=86$	f <sub>t</sub> =276
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=52$	f <sub>ts</sub> =158	$\sigma_b=115$	f <sub>ts</sub> =190
		せん断	—	—	—	—
補強材	SS400	引張り	$\sigma_a=45$	f <sub>ta</sub> =231	$\sigma_a=75$	f <sub>ta</sub> =276

注記\*1：SM490B 相当

\*2：算出応力が許容応力を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

1.4.3 疲労評価

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>l</sub> (MPa)	S <sub>l</sub> '* (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
胴板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：E<sub>0</sub>=2.07×10<sup>5</sup> MPa E=2.00×10<sup>5</sup> MPa として補正する。

【原子炉補機冷却水系熱交換器(A), (B), (D), (E)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	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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			
原子炉補機冷却水系熱交換器 (A), (B), (D), (E)	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張)	タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9*)			—	—	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90	1.37	70	50

注記\*：基準床レベルを示す。

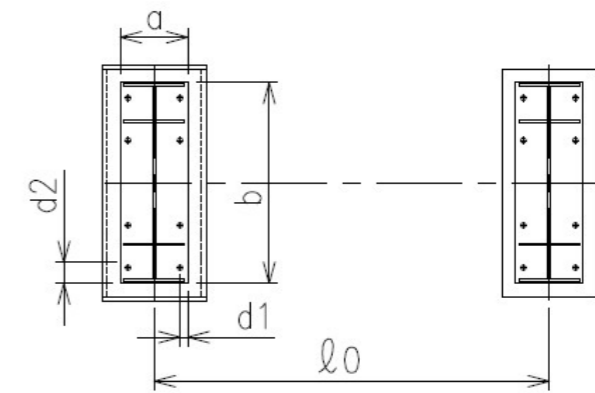
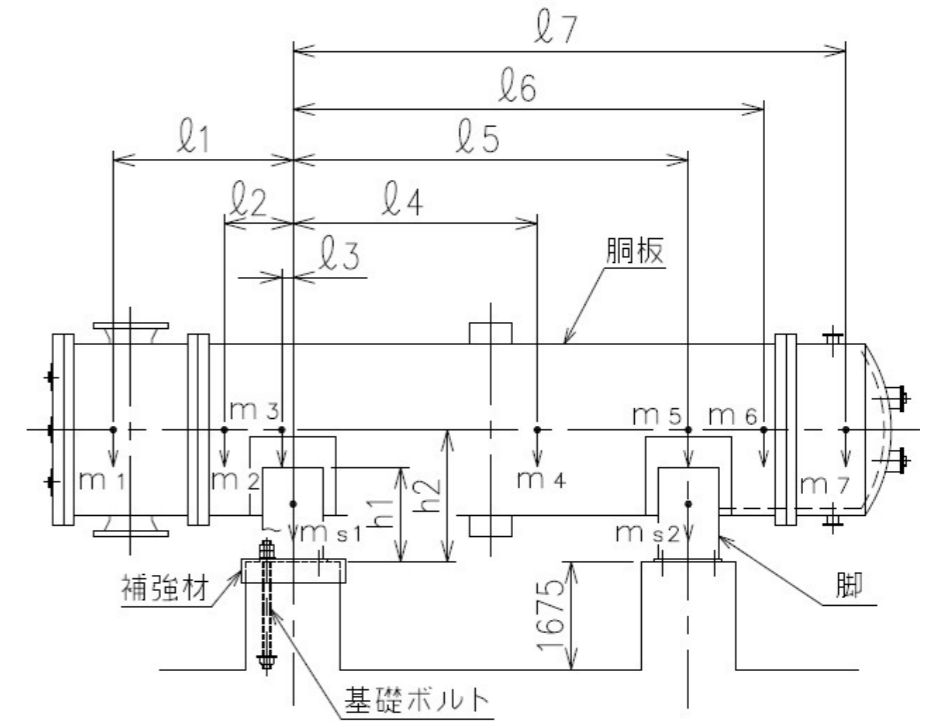
2.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)	l <sub>3</sub> (mm)	l <sub>4</sub> (mm)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	l <sub>7</sub> (mm)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)
-1724	-540	0	2300	4600	5140	5761	3.828×10 <sup>8</sup>	1.444×10 <sup>8</sup>	5.307×10 <sup>5</sup>	3.232×10 <sup>5</sup>

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	θ <sub>w</sub> (rad)	l <sub>w</sub> (mm)
			2200	20.0	44.0 *1	4600	845	1400	0.368	350

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1000	300	5.639×10 <sup>10</sup>	1.802×10 <sup>9</sup>	5.639×10 <sup>7</sup>	6.008×10 <sup>6</sup>	2.078	1.410



$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$1.075 \times 10^5$	201000*4	77300*4	$5.414 \times 10^4$	$4.704 \times 10^4$	$4.012 \times 10^4$	$3.931 \times 10^4$

$K_{11}$ *2	$K_{12}$ *2	$K_{21}$ *2	$K_{22}$ *2	$K_{l1}$	$K_{l2}$	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$C_{l1}$	$C_{l2}$	$C_{c1}$	$C_{c2}$
		—	—								
		—	—								

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$d_3$ (mm)
15	8	4	2	650	2050	48 (M48)	$1.810 \times 10^3$	75	175	525

$S_y$ (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)
298*3 <small>(16mm&lt;厚さ≤40mm)</small>	461*3	—	231*4 <small>(16mm&lt;厚さ≤40mm)</small>	394*4	—	276	211*4 <small>(40mm&lt;径≤100mm)</small>	394*4	—	253

$t_1$ (mm)	$A_1$ ( $\text{mm}^2$ )	$S_y$ (補強材) (MPa)	$S_u$ (補強材) (MPa)	F (補強材) (MPa)	F* (補強材) (MPa)
19	12350	231*4 <small>(16mm&lt;厚さ≤40mm)</small>	394*4	—	276

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 地震の方向 応力の方向	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
	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	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 4 1 3}=7$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{o l}=83$		$\sigma_{o c}=77$	

(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	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	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=26$	$\sigma_{x 3}=24$	$\sigma_{\phi 3}=26$	$\sigma_{x 3}=24$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 7 1}=23$	$\sigma_{x 7 1}=22$	$\sigma_{\phi 7 1}=23$	$\sigma_{x 7 1}=22$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1 1}=24$	$\sigma_{x 4 1 1}=8$	$\sigma_{\phi 5 1}=29$	$\sigma_{x 5 1}=73$
		—	—			$\sigma_{\phi 4 1 2}=10$	$\sigma_{x 4 1 2}=9$		
	せん断	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 4 1}=33$	$\sigma_{x 4 1}=23$	—	—
組合せ応力	—		—		$\tau_{l}=38$		$\tau_{c}=7$		
組合せ応力	—		—		$\sigma_{1 l}=190$		$\sigma_{1 c}=195$		



(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	地震の方向		地震の方向		地震の方向		地震の方向		
	長手方向	横方向	長手方向	横方向	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)	—	—	—	—	—	—	—	—	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=18$	—	$\sigma_{x6}=18$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=23$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=22$ $\sigma_{x72}=46$	$\sigma_{\phi 71}=23$ $\sigma_{\phi 72}=80$	$\sigma_{x71}=22$ $\sigma_{x72}=46$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=33$	$\sigma_{x41}=23$	$\sigma_{\phi 51}=29$	$\sigma_{x51}=73$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=23$ $\sigma_{\phi 422}=33$	$\sigma_{x421}=53$ $\sigma_{x422}=19$	$\sigma_{\phi 52}=225$	$\sigma_{x52}=105$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=55$	$\sigma_{x42}=72$		
	せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell}=38$	—	$\tau_c=7$	
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell}=447$	—	$\sigma_{2c}=715$		

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		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	—	—	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$
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	—	—	$\tau_{s2}=23$	$\tau_{s3}=15$
組合せ応力	—	—	—	$\sigma_{s\ell}=86$	$\sigma_{sc}=35$

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		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	—	—	$\sigma_{b1}=115$	$\sigma_{b2}=80$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	—	—

2.3.4 補強材に生じる応力 (単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
	地震の方向	横方向	
水平方向地震による応力	引張り	—	σ <sub>a</sub> =75

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 <sub>1</sub> = <input type="text"/>
横方向	T <sub>2</sub> = <input type="text"/>
鉛直方向	T <sub>3</sub> = <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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM50B*1	一次一般膜	—	—	σ <sub>0</sub> =83	S <sub>a</sub> =277
		一次	—	—	σ <sub>1</sub> =195	S <sub>a</sub> =415
		一次+二次	—	—	σ <sub>2</sub> =715*2	S <sub>a</sub> =597
脚	SS400	組合せ	—	—	σ <sub>s</sub> =86	f <sub>t</sub> =276
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	σ <sub>b</sub> =115	f <sub>ts</sub> =190
		せん断	—	—	—	—
補強材	SS400	引張り	—	—	σ <sub>a</sub> =75	f <sub>ta</sub> =276

注記\*1：SM490B 相当

\*2：算出応力が許容応力を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

2.4.3 疲労評価

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> * (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
胴板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：E<sub>0</sub>=2.07×10<sup>5</sup> MPa E=2.00×10<sup>5</sup> MPa として補正する。

【原子炉補機冷却水系熱交換器(C), (F)の耐震性についての計算結果】

3. 設計基準対象施設

3.1 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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			
原子炉補機冷却水系熱交換器 (C), (F)	S	タービン建屋 T. M. S. L. -4.8 (T. M. S. L. -1.1*)			C <sub>H</sub> =0.58	C <sub>V</sub> =0.44	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90	1.37	70	50

注記\*：基準床レベルを示す。

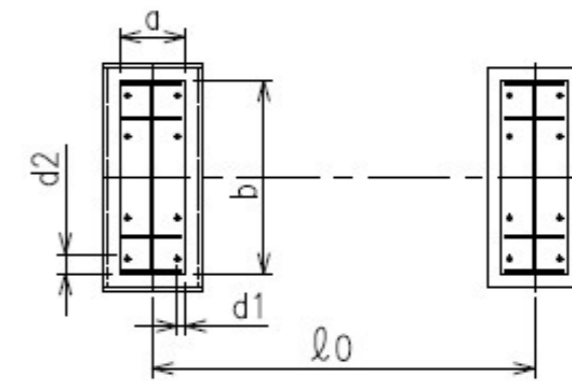
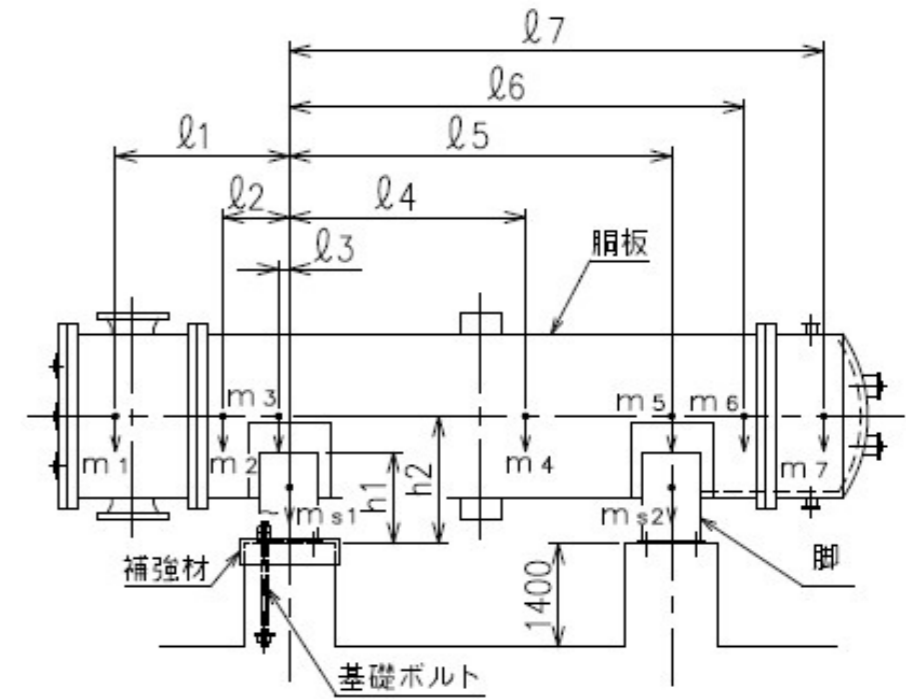
3.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)	l <sub>3</sub> (mm)	l <sub>4</sub> (mm)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	l <sub>7</sub> (mm)	M <sub>1</sub> (N·mm)	M <sub>2</sub> (N·mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)
-1714	-535	0	1750	3500	4035	4661	3.801×10 <sup>8</sup>	1.438×10 <sup>8</sup>	4.983×10 <sup>5</sup>	2.594×10 <sup>5</sup>

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	θ <sub>w</sub> (rad)	l <sub>w</sub> (mm)
			2200	20.0	44.0 * <sup>1</sup>	3500	845	1400	0.368	350

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1000	300	5.639×10 <sup>10</sup>	1.802×10 <sup>9</sup>	5.639×10 <sup>7</sup>	6.008×10 <sup>6</sup>	2.078	1.410



$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$1.075 \times 10^5$	201000*4	77300*4	$5.414 \times 10^4$	$4.704 \times 10^4$	$4.012 \times 10^4$	$3.931 \times 10^4$

$K_{11}$ *2	$K_{12}$ *2	$K_{21}$ *2	$K_{22}$ *2	$K_{l1}$	$K_{l2}$	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$C_{l1}$	$C_{l2}$	$C_{c1}$	$C_{c2}$
		—	—								
		—	—								

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$d_3$ (mm)
15	8	4	2	650	2050	48 (M48)	$1.810 \times 10^3$	75	175	525

$S_y$ (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)
298*3 <small>(16mm&lt;厚さ≤40mm)</small>	461*3	—	231*4 <small>(16mm&lt;厚さ≤40mm)</small>	394*4	231	276	211*4 <small>(40mm&lt;径≤100mm)</small>	394*4	211	253

$t_1$ (mm)	$A_1$ ( $\text{mm}^2$ )	$S_y$ (補強材) (MPa)	$S_u$ (補強材) (MPa)	F (補強材) (MPa)	$F^*$ (補強材) (MPa)
19	12350	231*4 <small>(16mm&lt;厚さ≤40mm)</small>	394*4	231	276

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

3.3 計算数値

3.3.1 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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
	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	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$
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	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$
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	—	$\sigma_{x 6}=9$	—	$\sigma_{x 6}=9$	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=4$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=6$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell}=77$		$\sigma_{0c}=77$		$\sigma_{0\ell}=82$		$\sigma_{0c}=77$	

(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	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	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	
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	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	
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	—	$\sigma_{x 6}=9$	—	$\sigma_{x 6}=9$	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 3}=24$	$\sigma_{x 3}=23$	$\sigma_{\phi 3}=24$	$\sigma_{x 3}=23$	$\sigma_{\phi 3}=24$	$\sigma_{x 3}=23$	$\sigma_{\phi 3}=24$	$\sigma_{x 3}=23$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=11$	$\sigma_{x 71}=10$	$\sigma_{\phi 71}=11$	$\sigma_{x 71}=10$	$\sigma_{\phi 71}=22$	$\sigma_{x 71}=20$	$\sigma_{\phi 71}=22$	$\sigma_{x 71}=20$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411}=12$	$\sigma_{x 411}=4$	$\sigma_{\phi 51}=15$	$\sigma_{x 51}=38$	$\sigma_{\phi 411}=20$	$\sigma_{x 411}=6$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x 51}=64$
		$\sigma_{\phi 412}=6$	$\sigma_{x 412}=6$			$\sigma_{\phi 412}=11$	$\sigma_{x 412}=10$		
	せん断	$\sigma_{\phi 41}=18$	$\sigma_{x 41}=13$			$\sigma_{\phi 41}=30$	$\sigma_{x 41}=21$		
組合せ応力	$\tau_{\ell}=19$		$\tau_{c}=4$		$\tau_{\ell}=32$		$\tau_{c}=7$		
組合せ応力	$\sigma_{1\ell}=140$		$\sigma_{1c}=137$		$\sigma_{1\ell}=178$		$\sigma_{1c}=183$		

(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	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	—	$\sigma_{x6}=9$	—	$\sigma_{x6}=9$	—	$\sigma_{x6}=18$	—	$\sigma_{x6}=18$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	$\sigma_{\phi 71}=11$ $\sigma_{\phi 72}=37$	$\sigma_{x71}=10$ $\sigma_{x72}=21$	$\sigma_{\phi 71}=11$ $\sigma_{\phi 72}=37$	$\sigma_{x71}=10$ $\sigma_{x72}=21$	$\sigma_{\phi 71}=22$ $\sigma_{\phi 72}=75$	$\sigma_{x71}=20$ $\sigma_{x72}=43$	$\sigma_{\phi 71}=22$ $\sigma_{\phi 72}=75$	$\sigma_{x71}=20$ $\sigma_{x72}=43$	
水平方向地震 による応力	引張り	$\sigma_{\phi 41}=18$	$\sigma_{x41}=13$	$\sigma_{\phi 51}=15$	$\sigma_{x51}=38$	$\sigma_{\phi 41}=30$	$\sigma_{x41}=21$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x51}=64$
		$\sigma_{\phi 421}=11$	$\sigma_{x421}=26$	$\sigma_{\phi 52}=116$	$\sigma_{x52}=54$	$\sigma_{\phi 421}=19$	$\sigma_{x421}=44$	$\sigma_{\phi 52}=198$	$\sigma_{x52}=92$
		$\sigma_{\phi 422}=21$	$\sigma_{x422}=12$			$\sigma_{\phi 422}=36$	$\sigma_{x422}=21$		
	せん断	$\sigma_{\phi 42}=32$	$\sigma_{x42}=38$			$\sigma_{\phi 42}=54$	$\sigma_{x42}=65$		
せん断	$\tau_{\ell}=19$		$\tau_{c}=4$		$\tau_{\ell}=32$		$\tau_{c}=7$		
組合せ応力	$\sigma_{2\ell}=223$		$\sigma_{2c}=356$		$\sigma_{2\ell}=411$		$\sigma_{2c}=639$		

3.3.2 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		
	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	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=5$	$\sigma_{s4}=5$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=33$	$\sigma_{s3}=8$	$\sigma_{s2}=56$	$\sigma_{s3}=13$
	せん断	$\tau_{s2}=12$	$\tau_{s3}=8$	$\tau_{s2}=19$	$\tau_{s3}=13$
組合せ応力	$\sigma_{s\ell}=44$	$\sigma_{sc}=19$	$\sigma_{s\ell}=73$	$\sigma_{sc}=31$	

3.3.3 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		
	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	$\sigma_{b1}=42$	$\sigma_{b2}=24$	$\sigma_{b1}=98$	$\sigma_{b2}=70$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	—	—

3.3.4 補強材に生じる応力 (単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
	地震の方向	横方向	
水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_a=37$	$\sigma_a=62$

3.4 結論

3.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	T <sub>1</sub> = <input type="text"/>
横方向	T <sub>2</sub> = <input type="text"/>
鉛直方向	T <sub>3</sub> = <input type="text"/>

3.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM50B*1	一次一般膜	$\sigma_o=77$	S <sub>a</sub> =277	$\sigma_o=82$	S <sub>a</sub> =277
		一次	$\sigma_1=140$	S <sub>a</sub> =415	$\sigma_1=183$	S <sub>a</sub> =415
		一次+二次	$\sigma_2=356$	S <sub>a</sub> =597	$\sigma_2=639^{*2}$	S <sub>a</sub> =597
脚	SS400	組合せ	$\sigma_s=44$	f <sub>ts</sub> =231	$\sigma_s=73$	f <sub>ts</sub> =276
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=42$	f <sub>ts</sub> =158	$\sigma_b=98$	f <sub>ts</sub> =190
		せん断	—	—	—	—
補強材	SS400	引張り	$\sigma_a=37$	f <sub>ta</sub> =231	$\sigma_a=62$	f <sub>ta</sub> =276

注記\*1：SM490B 相当

\*2：算出応力が許容応力を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

3.4.3 疲労評価

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> <sup>*</sup> (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
胴板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：E<sub>0</sub>=2.07×10<sup>5</sup> MPa E=2.00×10<sup>5</sup> MPa として補正する。

【原子炉補機冷却水系熱交換器(C), (F)の耐震性についての計算結果】

4. 重大事故等対処設備

4.1 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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			
原子炉補機冷却水系熱交換器 (C), (F)	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張)	タービン建屋 T. M. S. L. -4.8 (T. M. S. L. -1.1*)			—	—	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90	1.37	70	50

注記\* : 基準床レベルを示す。

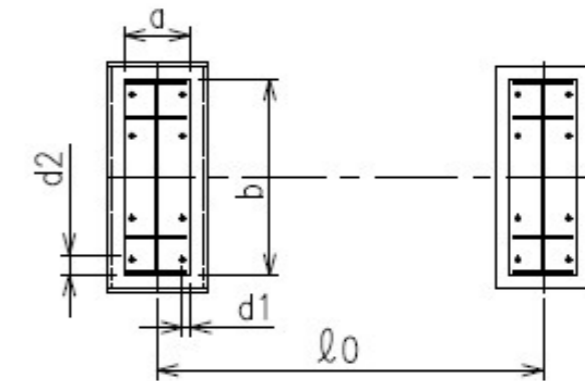
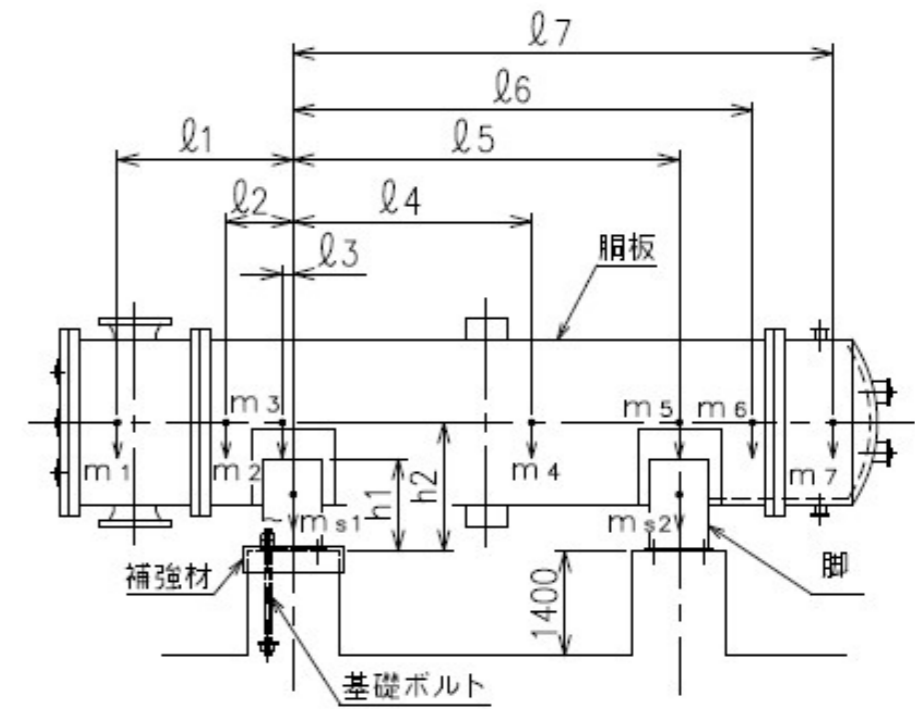
4.2 機器要目

m <sub>1</sub> (kg)	m <sub>2</sub> (kg)	m <sub>3</sub> (kg)	m <sub>4</sub> (kg)	m <sub>5</sub> (kg)	m <sub>6</sub> (kg)	m <sub>7</sub> (kg)

l <sub>1</sub> (mm)	l <sub>2</sub> (mm)	l <sub>3</sub> (mm)	l <sub>4</sub> (mm)	l <sub>5</sub> (mm)	l <sub>6</sub> (mm)	l <sub>7</sub> (mm)	M <sub>1</sub> (N・mm)	M <sub>2</sub> (N・mm)	R <sub>1</sub> (N)	R <sub>2</sub> (N)
-1714	-535	0	1750	3500	4035	4661	3.801×10 <sup>8</sup>	1.438×10 <sup>8</sup>	4.983×10 <sup>5</sup>	2.594×10 <sup>5</sup>

m <sub>0</sub> (kg)	m <sub>s1</sub> (kg)	m <sub>s2</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	t <sub>e</sub> (mm)	l <sub>0</sub> (mm)	h <sub>1</sub> (mm)	h <sub>2</sub> (mm)	θ <sub>w</sub> (rad)	l <sub>w</sub> (mm)
			2200	20.0	44.0 *1	3500	845	1400	0.368	350

C <sub>1</sub> (mm)	C <sub>2</sub> (mm)	I <sub>sx</sub> (mm <sup>4</sup> )	I <sub>sy</sub> (mm <sup>4</sup> )	Z <sub>sx</sub> (mm <sup>3</sup> )	Z <sub>sy</sub> (mm <sup>3</sup> )	θ <sub>0</sub> (rad)	θ (rad)
1000	300	5.639×10 <sup>10</sup>	1.802×10 <sup>9</sup>	5.639×10 <sup>7</sup>	6.008×10 <sup>6</sup>	2.078	1.410





$A_s$ ( $\text{mm}^2$ )	$E_s$ (MPa)	$G_s$ (MPa)	$A_{s1}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s2}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s3}$ ( $\text{mm}^2$ )	$A_{s4}$ ( $\text{mm}^2$ )
$1.075 \times 10^5$	201000*4	77300*4	$5.414 \times 10^4$	$4.704 \times 10^4$	$4.012 \times 10^4$	$3.931 \times 10^4$

$K_{11}$ *2	$K_{12}$ *2	$K_{21}$ *2	$K_{22}$ *2	$K_{l1}$	$K_{l2}$	$K_{c1}$	$K_{c2}$	$C_{l1}$	$C_{l2}$	$C_{c1}$	$C_{c2}$
		—	—								
		—	—								

s	n	$n_1$	$n_2$	a (mm)	b (mm)	d (mm)	$A_b$ ( $\text{mm}^2$ )	$d_1$ (mm)	$d_2$ (mm)	$d_3$ (mm)
15	8	4	2	650	2050	48 (M48)	$1.810 \times 10^3$	75	175	525

$S_y$ (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)
298*3 (16mm<厚さ≤40mm)	461*3	—	231*4 (16mm<厚さ≤40mm)	394*4	—	276	211*4 (40mm<径≤100mm)	394*4	—	253

$t_1$ (mm)	$A_1$ ( $\text{mm}^2$ )	$S_y$ (補強材) (MPa)	$S_u$ (補強材) (MPa)	F (補強材) (MPa)	$F^*$ (補強材) (MPa)
19	12350	231*4 (16mm<厚さ≤40mm)	394*4	—	276

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

4.3 計算数値

4.3.1 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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>			
	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	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$
長手方向地震により胴軸断面 全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=6$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0l}=82$		$\sigma_{0c}=77$	

(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	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	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	$\sigma_{\phi 1}=77$	$\sigma_{x 1}=38$	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=20$	—	$\sigma_{x 2}=20$	
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=18$	—	$\sigma_{x 6}=18$	
運転時質量による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=24$	$\sigma_{x 3}=23$	$\sigma_{\phi 3}=24$	$\sigma_{x 3}=23$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=22$	$\sigma_{x 71}=20$	$\sigma_{\phi 71}=22$	$\sigma_{x 71}=20$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 411}=20$	$\sigma_{x 411}=6$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x 51}=64$
		—	—			$\sigma_{\phi 412}=11$	$\sigma_{x 412}=10$		
	せん断	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=30$	$\sigma_{x 41}=21$	—	—
組合せ応力	—		—		$\tau_l=32$		$\tau_c=7$		
	—		—		$\sigma_{1l}=178$		$\sigma_{1c}=183$		

(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 <sub>d</sub> 又は静的震度				基準地震動 S <sub>s</sub>				
	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	—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=18$	—	$\sigma_{x6}=18$	
鉛直方向地震による脚反力 により生じる応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=22$ $\sigma_{\phi 72}=75$	$\sigma_{x71}=20$ $\sigma_{x72}=43$	$\sigma_{\phi 71}=22$ $\sigma_{\phi 72}=75$	$\sigma_{x71}=20$ $\sigma_{x72}=43$	
水平方向地震 による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 41}=30$	$\sigma_{x41}=21$	$\sigma_{\phi 51}=26$	$\sigma_{x51}=64$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 421}=19$ $\sigma_{\phi 422}=36$	$\sigma_{x421}=44$ $\sigma_{x422}=21$	$\sigma_{\phi 52}=198$	$\sigma_{x52}=92$
		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 42}=54$	$\sigma_{x42}=65$		
せん断	—	—	—	—	$\tau_{\ell}=32$	—	$\tau_c=7$	—	
組合せ応力	—	—	—	—	$\sigma_{2\ell}=411$	—	$\sigma_{2c}=639$	—	

4.3.2 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		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	—	—	$\sigma_{s1}=5$	$\sigma_{s1}=5$
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	—	—	$\sigma_{s2}=56$	$\sigma_{s3}=13$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=19$	$\tau_{s3}=13$
組合せ応力	—	—	—	$\sigma_{s\ell}=73$	$\sigma_{sc}=31$

4.3.3 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
		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	—	—	$\sigma_{b1}=98$	$\sigma_{b2}=70$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	—	—

4.3.4 補強材に生じる応力 (単位：MPa)

	地震の種類	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
	地震の方向	横方向	
水平方向地震による応力	引張り	—	$\sigma_a=62$

4.4 結論

4.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	T <sub>1</sub> = <input type="text"/>
横方向	T <sub>2</sub> = <input type="text"/>
鉛直方向	T <sub>3</sub> = <input type="text"/>

4.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM50B* <sup>1</sup>	一次一般膜	—	—	$\sigma_o=82$	S <sub>a</sub> =277
		一次	—	—	$\sigma_1=183$	S <sub>a</sub> =415
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=639^{*2}$	S <sub>a</sub> =597
脚	SS400	組合せ	—	—	$\sigma_s=73$	f <sub>t</sub> =276
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=98$	f <sub>ts</sub> =190
		せん断	—	—	—	—
補強材	SS400	引張り	—	—	$\sigma_a=62$	f <sub>ta</sub> =276

注記\*1：SM490B 相当

\*2：算出応力が許容応力を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

4.4.3 疲労評価

評価部位	S <sub>n</sub> (MPa)	K <sub>e</sub>	S <sub>p</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> (MPa)	S <sub>ℓ</sub> <sup>*</sup> (MPa)	N <sub>a</sub> (回)	N <sub>c</sub> (回)	疲労累積係数 N <sub>c</sub> /N <sub>a</sub>
胴板	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記\*：E<sub>0</sub>=2.07×10<sup>5</sup> MPa E=2.00×10<sup>5</sup> MPa として補正する。

VI-2-5-6-1-2 原子炉補機冷却水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
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	8
4.1 動的機能維持評価方法	8
5. 評価結果	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 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及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉補機冷却水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。

原子炉補機冷却水ポンプは、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）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及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機冷却水ポンプは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横軸ポンプであるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 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>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>うず巻形 (うず巻形横軸ポンプ)</p>	<p>The diagram shows a side view of a pump assembly. On the left is the motor (原動機), which is connected to the pump (ポンプ) via a coupling. The pump is mounted on a pump base (ポンプベース). The entire assembly is supported by a foundation (基礎) using foundation bolts (基礎ボルト). Labels include: 原動機 (Motor), 原動機取付ボルト (Motor mounting bolt), ポンプ (Pump), ポンプ取付ボルト (Pump mounting bolt), ポンプベース (Pump base), and 基礎ボルト (Foundation bolt). Dimensions are given as 1650 (C, F) and 1650 (A, B, D, E). A vertical dimension is labeled (軸) (Shaft). A note at the bottom right states (単位: mm) (Unit: mm).</p>



### 3. 構造強度評価

#### 3.1 構造強度評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 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行う。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

#### 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

原子炉補機冷却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

原子炉補機冷却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 のとおりとする。

##### 3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却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 3-4 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。

#### 3.3 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。

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	原子炉補機冷却水ポンプ	S	Non*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> 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 <sup>*1</sup>	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	原子炉補機冷却水ポンプ	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和 (DB拡張)	重大事故等 クラス2ポンプ <sup>*2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> 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）、「常設／緩和（DB拡張）」は常設重大事故緩和設備（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 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 <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ <sub>A</sub> S (Ⅴ <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	70			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50			—

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	50			—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	70			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50			—

#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 動的機能維持評価方法

原子炉補機冷却水ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-1 横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉補機冷却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/s<sup>2</sup>)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形転がり 軸受電動機	水平	4.7
		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

原子炉補機冷却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

原子炉補機冷却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。

【原子炉補機冷却水ポンプ(A), (B), (D), (E)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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	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			
原子炉補機冷却水ポンプ (A), (B), (D), (E)	S	タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9 <sup>*1</sup> )	— <sup>*2</sup>	— <sup>*2</sup>	C <sub>H</sub> =0.63	C <sub>V</sub> =0.46	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90		70	50

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。

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	ℓ <sub>2i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> <sup>*1</sup>
基礎ボルト (i=1)							12	6
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)					軸直角	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					軸直角	軸直角	
原動機取付ボルト (i=3)					軸直角	軸直角	

注記\*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2: 周囲環境温度で算出

\*3: 最高使用温度で算出

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)



1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
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=3)				

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 <sub>d</sub> 又は 静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=6$	$f_{ts1}=173^*$	$\sigma_{b1}=14$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=133$	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=4$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=141$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=5$	$f_{ts3}=158^*$	$\sigma_{b3}=11$	$f_{ts3}=190^*$
		せん断	$\tau_{b3}=5$	$f_{sb3}=122$	$\tau_{b3}=8$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 動的機能の評価結果

( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		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	0.88	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0
原動機	水平方向	0.88	4.7
	鉛直方向	0.75	1.0

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉補機冷却水ポンプ(A), (B), (D), (E)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	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	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			
原子炉補機冷却水ポンプ (A), (B), (D), (E)	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張)	タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9 <sup>*1</sup> )	— <sup>*2</sup>	— <sup>*2</sup>	—	—	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90		70	50

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 <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	ℓ <sub>2i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> <sup>*1</sup>
基礎ボルト (i=1)							12	6 2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2 2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2 2

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸直角	
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	軸直角	

注記\*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2: 周囲環境温度で算出

\*3: 最高使用温度で算出

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
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=3)	—		—	

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=14$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=7$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=8$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=141$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=11$	$f_{ts3}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=8$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

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

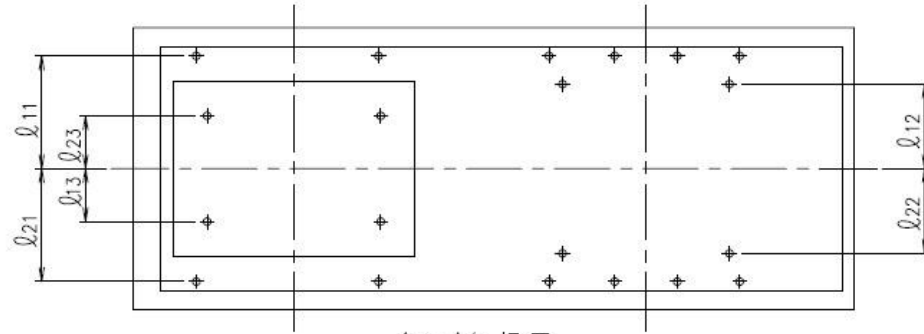
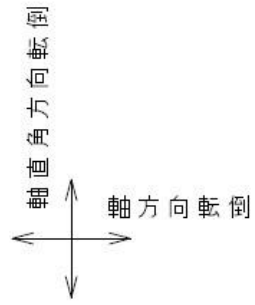
2.4.2 動的機能の評価結果

( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

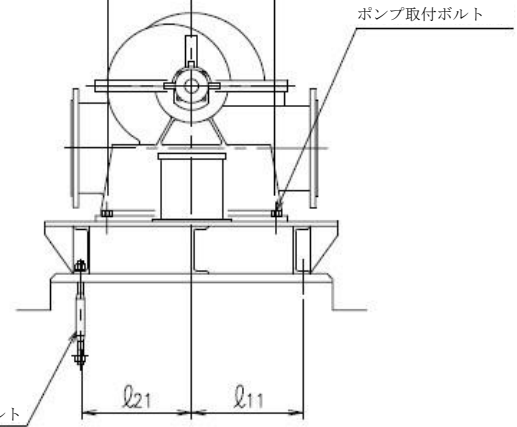
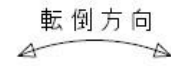
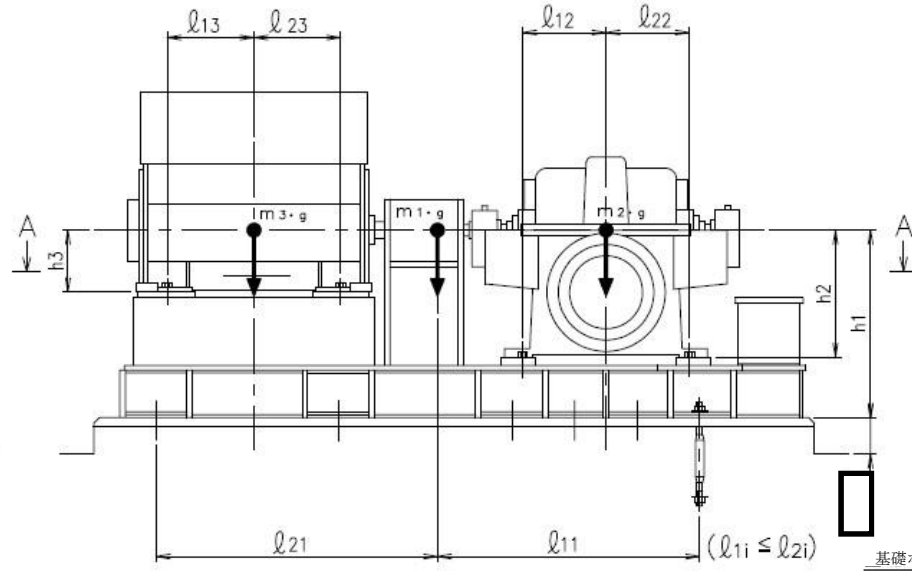
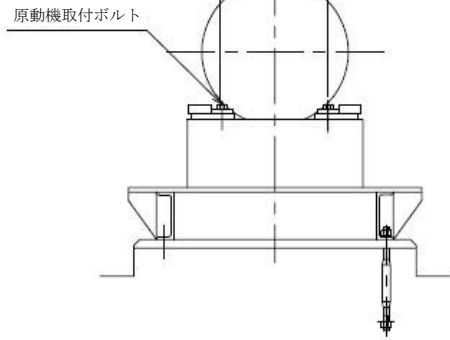
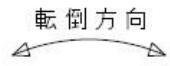
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.88	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0
原動機	水平方向	0.88	4.7
	鉛直方向	0.75	1.0

注記\*：基準地震動S<sub>s</sub>により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。



A~A矢视图



【原子炉補機冷却水ポンプ(C), (F)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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	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			
原子炉補機冷却水ポンプ (C), (F)	S	タービン建屋 T.M.S.L. -4.8 (T.M.S.L. -1.1 <sup>*1</sup> )	— <sup>*2</sup>	— <sup>*2</sup>	C <sub>H</sub> =0.58	C <sub>V</sub> =0.44	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90		70	50

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。

1.2 機器要目

部材	m <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	ℓ <sub>2i</sub> <sup>*1</sup> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> <sup>*1</sup>
基礎ボルト (i=1)							12	6 2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2 2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2 2

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)					軸直角	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)					軸直角	軸直角	
原動機取付ボルト (i=3)					軸直角	軸直角	

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。  
\*2: 周囲環境温度で算出  
\*3: 最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
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=3)				

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 <sub>d</sub> 又は 静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	$\sigma_{b1}=5$	$f_{ts1}=173^*$	$\sigma_{b1}=14$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=133$	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=3$	$f_{ts2}=153^*$	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=141$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=7$	$f_{ts3}=158^*$	$\sigma_{b3}=14$	$f_{ts3}=190^*$
		せん断	$\tau_{b3}=5$	$f_{sb3}=122$	$\tau_{b3}=8$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 動的機能の評価結果

( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		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	0.82	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0
原動機	水平方向	0.82	4.7
	鉛直方向	0.75	1.0

注記\*：基準地震動 S<sub>s</sub> により定まる応答加速度とする。

機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

【原子炉補機冷却水ポンプ(C), (F)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	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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	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			
原子炉補機冷却水ポンプ (C), (F)	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張)	タービン建屋 T. M. S. L. -4.8 (T. M. S. L. -1.1*1)	—*2	—*2	—	—	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90		70	50

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 <sub>i</sub> (kg)	h <sub>i</sub> (mm)	ℓ <sub>1i</sub> *1 (mm)	ℓ <sub>2i</sub> *1 (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>bi</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>fi</sub> *1
基礎ボルト (i=1)							12	6 2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2 2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2 2

部材	S <sub>yi</sub> (MPa)	S <sub>ui</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)	転倒方向		M <sub>p</sub> (N・mm)
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	
基礎ボルト (i=1)			—		—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)			—		—	軸直角	
原動機取付ボルト (i=3)			—		—	軸直角	

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

注記\*1: 各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

\*2: 周囲環境温度で算出

\*3: 最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b i</sub>		Q <sub>b i</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
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=3)	—		—	

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=14$	$f_{ts1}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=159$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=7$	$f_{ts2}=184^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=141$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=14$	$f_{ts3}=190^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=8$	$f_{sb3}=146$

すべて許容応力以下である。

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

2.4.2 動的機能の評価結果

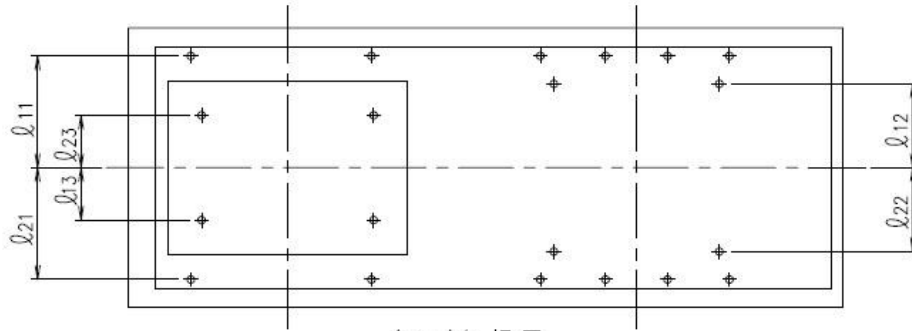
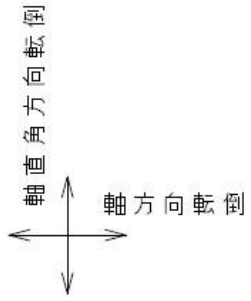
( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		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	0.82	1.4
	鉛直方向	0.75	1.0
原動機	水平方向	0.82	4.7
	鉛直方向	0.75	1.0

注記\*：基準地震動S<sub>s</sub>により定まる応答加速度とする。

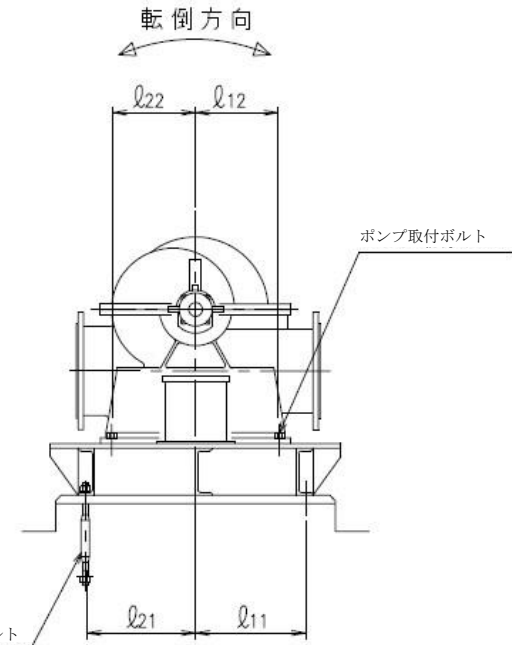
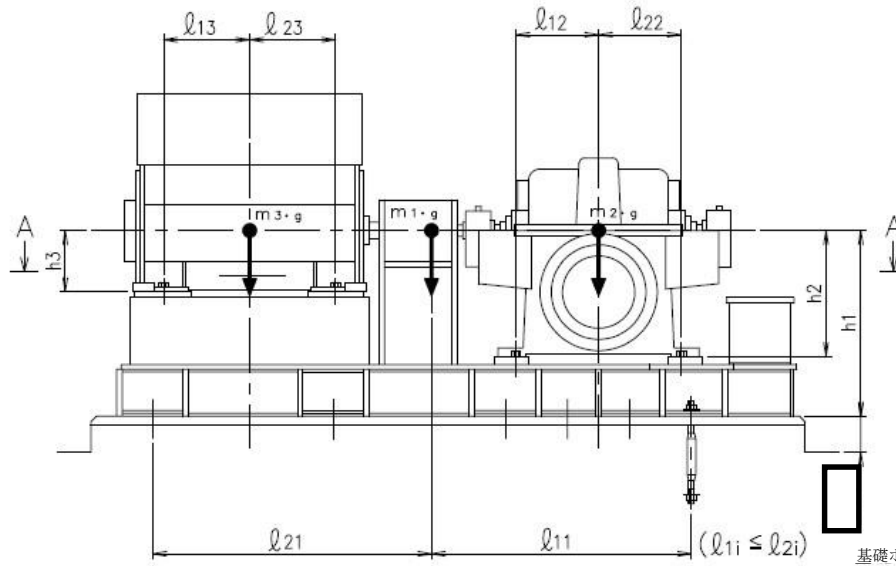
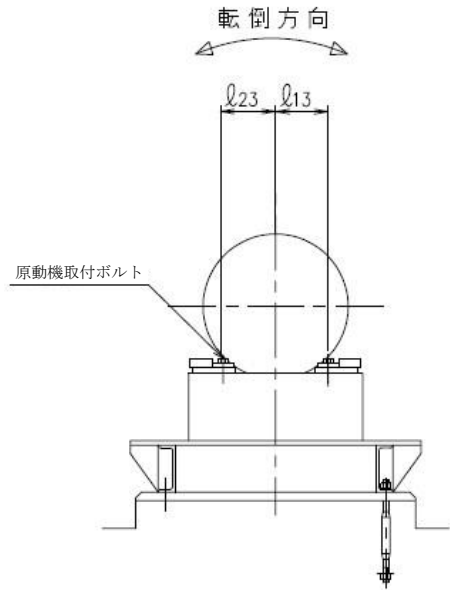
機能維持評価用加速度 (1.0・ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。





A~A矢视图

61



VI-2-5-6-1-3 原子炉補機冷却海水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. 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
3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	3
3.2.2 許容応力	3
3.2.3 使用材料の許容応力評価条件	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
3.6.1 記号の説明	13
3.6.2 応力の計算方法	13
3.7 計算条件	13
4. 機能維持評価	14
4.1 動的機能維持評価方法	14
5. 評価結果	15
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	15

## 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、原子炉補機冷却海水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。

原子炉補機冷却海水ポンプは、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）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及び動的機能維持評価を示す。

なお、原子炉補機冷却海水ポンプは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプであるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-2 たて軸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

原子炉補機冷却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>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。コラムパイプサポートは、サポート取付ボルトで中間基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形たて軸ポンプ)</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

原子炉補機冷却海水ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-2 たて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行う。

#### 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

原子炉補機冷却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

原子炉補機冷却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

原子炉補機冷却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	原子炉補機冷却海水ポンプ	S	Non*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> 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	原子炉補機冷却海水ポンプ	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和 (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 <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> 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），「常設／緩和（DB拡張）」は常設重大事故緩和設備（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*			
	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 $0.6 \cdot S_u$ 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。	
ⅣAS	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値		
ⅤAS (ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。)			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\* : 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 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 <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
Ⅴ <sub>A</sub> S (Ⅴ <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
コラムパイプ		最高使用温度	50				
基礎ボルト		周囲環境温度	50				
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50				
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50				
サポート取付ボルト		周囲環境温度	50				

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		コラムパイプ		最高使用温度	50		
基礎ボルト		周囲環境温度	50				
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	50				
原動機取付ボルト		周囲環境温度	50				
サポート取付ボルト		周囲環境温度	50				

### 3.3 解析モデル及び諸元

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【原子炉補機冷却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。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、別紙「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、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。

表3-7 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1次	水平	0.152	1.820	1.820	—
2次	水平	0.055	1.410	1.410	—
3次	水平	0.043	—	—	—

注記\*：刺激係数は、モード質量を正規化し、固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

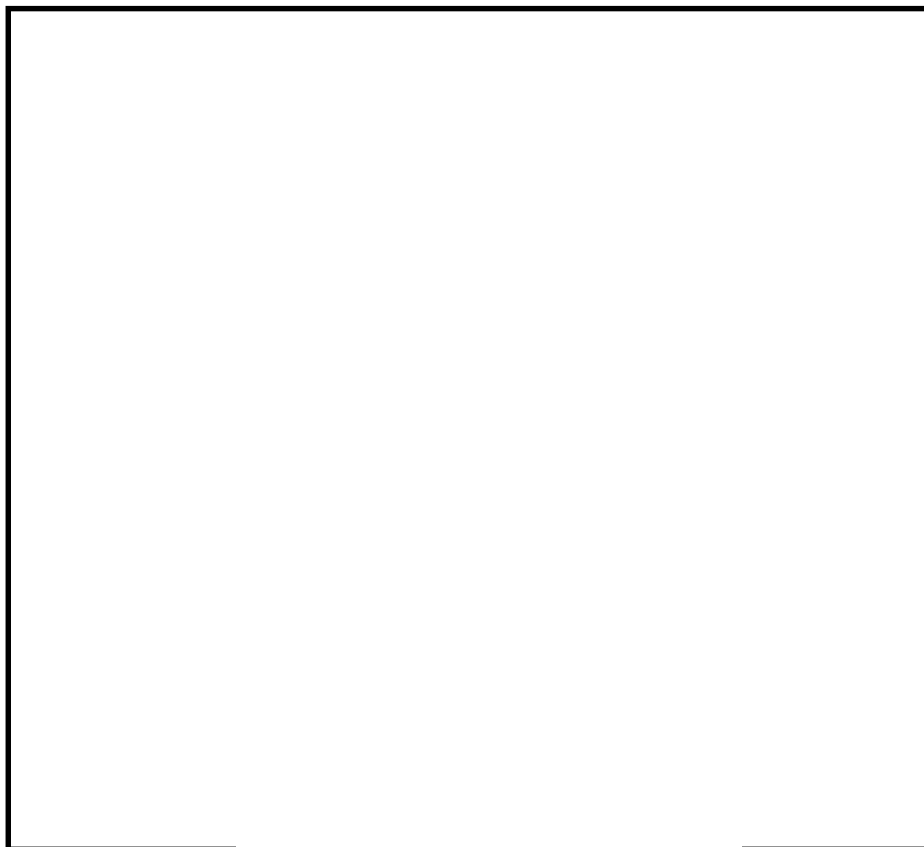


図3-1 振動モード（1次モード 水平方向 0.152s）

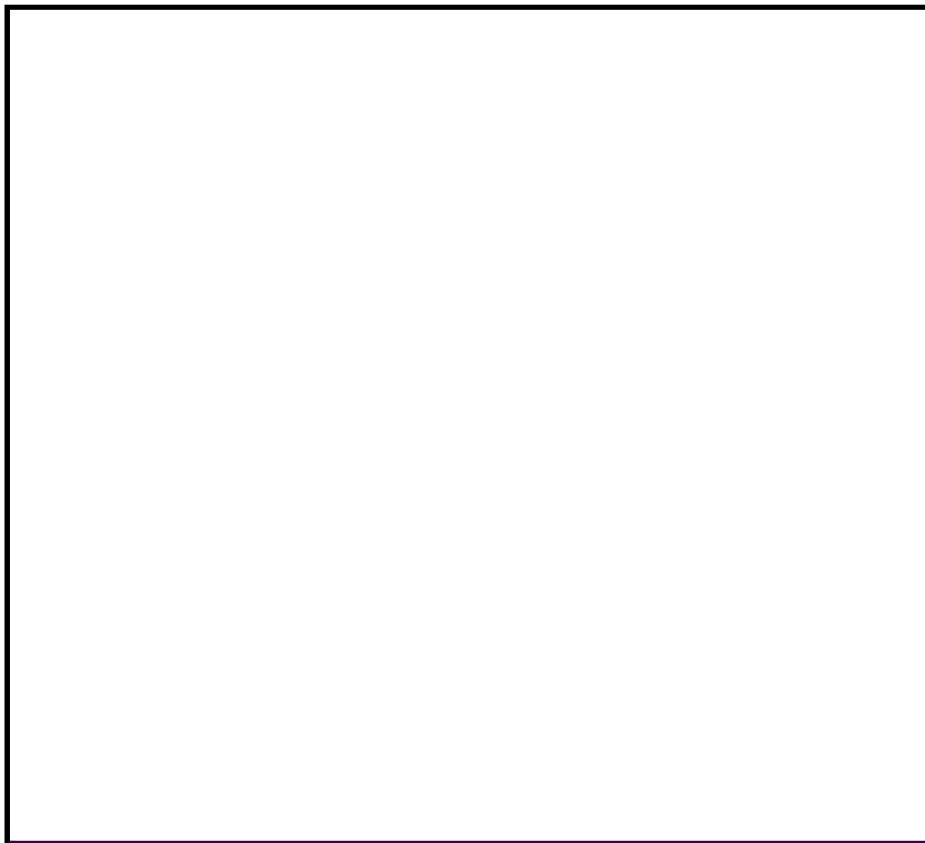


図 3-2 振動モード (2 次モード 水平方向 0.055s)

### 3.5 設計用地震力

耐震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<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」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)		タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9 <sup>*1</sup> )					
固有周期 (s)		水平 : 0.152 <sup>*2</sup> 鉛直 : — <sup>*7</sup>					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0 鉛直 : —					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直震度 <sup>*3</sup>	応答水平震度 <sup>*4</sup>		応答鉛直震度 <sup>*4</sup>
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.152	2.04	2.04	—	4.18	4.18	—
2 次	0.055	1.00	1.00	—	2.13	2.13	—
3 次	0.043	—	—	—	—	—	—
動的地震力 <sup>*5</sup>		0.56	0.56	0.46	1.06	1.06	0.90
静的地震力 <sup>*6</sup>		0.63	0.63	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 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S<sub>d</sub>) より得られる震度を示す。

\*4 : 各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線 (S<sub>s</sub>) より得られる震度を示す。

\*5 : S<sub>s</sub> 又は S<sub>d</sub> に基づく設計用最大応答加速度 (1.2・ZPA) より定めた震度を示す。

\*6 : 静的震度 (3.6・C<sub>i</sub> 及び 1.2・C<sub>v</sub>) を示す。

\*7 : 固有周期は十分に小さく計算は省略する。

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)		タービン建屋 T.M.S.L. 3.5(T.M.S.L. 4.9 <sup>*1</sup> )					
固有周期(s)		水平：0.152 <sup>*2</sup> 鉛直：— <sup>*5</sup>					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度 <sup>*3</sup>		応答鉛直震度 <sup>*3</sup>
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1次	0.152	—	—	—	4.18	4.18	—
2次	0.055	—	—	—	2.13	2.13	—
3次	0.043	—	—	—	—	—	—
動的地震力 <sup>*4</sup>		—	—	—	1.06	1.06	0.90
静的地震力		—	—	—	—	—	—

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：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線（S<sub>s</sub>）より得られる震度を示す。

\*4：S<sub>s</sub>又はS<sub>d</sub>に基づく設計用最大応答加速度（1.2・ZPA）より定めた震度を示す。

\*5：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

### 3.6 サポート部の計算方法

#### 3.6.1 記号の説明

原子炉補機冷却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
W	サポートに作用する荷重	N
$A_{sb}$	サポート取付ボルトの軸断面積	$\text{mm}^2$
$n_s$	サポート取付ボルトの本数	—
$\tau_{sb}$	サポート取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

#### 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，得られた荷重Wにより，サポート取付ボルトに生じるせん断応力は次式で求める。

$$\tau_{sb} = \frac{W}{A_{sb} \cdot n_s} \dots\dots\dots (3.6.2.1)$$

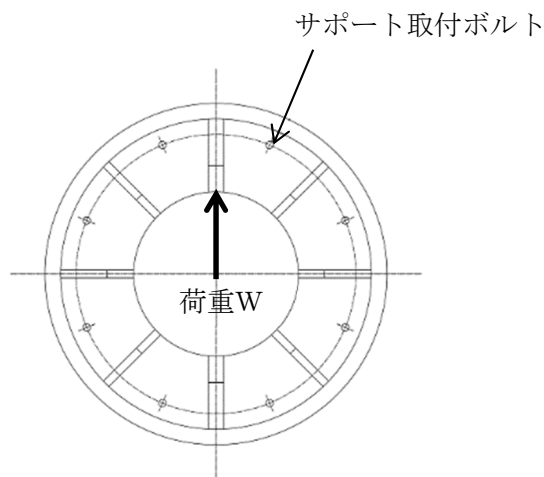


図 3-3 サポート部の応力計算モデル

#### 3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉補機冷却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。



#### 4. 機能維持評価

##### 4.1 動的機能維持評価方法

原子炉補機冷却海水ポンプの地震後の動的機能維持評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-2 たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

原子炉補機冷却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/s<sup>2</sup>)

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

原子炉補機冷却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

原子炉補機冷却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。

【原子炉補機冷却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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		ポンプ振動による震度	最高使用温度(℃)	周囲環境温度(℃)	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				吸込側	吐出側
原子炉補機冷却海水ポンプ	S	タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9 <sup>*1</sup> )	0.152	— <sup>*4</sup>	C <sub>H</sub> =0.63 又は*2	C <sub>V</sub> =0.46	C <sub>H</sub> =1.06 又は*3	C <sub>V</sub> =0.90	□	50	50	—	0.78

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> に基づく設計用床応答曲線より得られる値

\*3：基準地震動 S<sub>s</sub> に基づく設計用床応答曲線より得られる値

\*4：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m <sub>i</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f i</sub>	M <sub>p</sub> (N・mm)	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> <sup>*</sup> (MPa)
基礎ボルト (i=1)	□	□	□	□	12	12	—	□	□	□	□
ポンプ取付ボルト (i=2)	□	□	□	□	20	20	3.438×10 <sup>6</sup>	□	□	□	□
原動機取付ボルト (i=3)	□	□	□	□	8	8	3.438×10 <sup>6</sup>	□	□	□	□

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

(3) サポート取付ボルト

部材	A <sub>s b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>s</sub>	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F (MPa)	F <sup>*</sup> (MPa)
サポート取付ボルト	□	8	199 <sup>*</sup>	511 <sup>*</sup>	205	205	205

注記\*：周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>c</sub> (mm)	t (mm)
コラムパイプ	□	□	□	580	12

注記\*：最高使用温度で算出

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)
□	□

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M <sub>i</sub> (N・mm)		F <sub>b i</sub> (N)		Q <sub>b i</sub> (N)	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
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=3)						

(2) コラムパイプに作用する力

(単位: N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
コラムパイプ		

(3) サポート取付ボルトに作用する力

(単位: N)

部材	W	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
サポート取付ボルト		

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	$T_{H1}=0.152$
水平 2次	$T_{H2}=0.055$
鉛直 1次	—*

注記\*: 固有周期は十分に小さく計算は省略する。

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)		引張り	$\sigma_{b1}=3$	$f_{ts1}=475^*$	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=475^*$
		せん断	$\tau_{b1}=4$	$f_{sb1}=366$	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=366$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	$\sigma_{b2}=5$	$f_{ts2}=475^*$	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=475^*$
		せん断	$\tau_{b2}=2$	$f_{sb2}=366$	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=366$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	$\sigma_{b3}=16$	$f_{ts3}=475^*$	$\sigma_{b3}=43$	$f_{ts3}=475^*$
		せん断	$\tau_{b3}=7$	$f_{sb3}=366$	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=366$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.3 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	$\sigma = 83$	$S_a = 199$
		基準地震動 S s	$\sigma = 155$	$S_a = 306$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 サポート取付ボルトの応力 (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
サポート取付ボルト		せん断	$\tau_{sb}=9$	$f_{ssb}=118$	$\tau_{sb}=18$	$f_{ssb}=118$

すべて許容応力以下である。

## 1.4.5 動的機能の評価結果

( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		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	4.68	10.0
	鉛直方向	0.75	1.0
原動機	水平方向	1.88	2.5
	鉛直方向	0.75	1.0

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）を設定する。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			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			

## (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 <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )	断面二次 極モーメント (mm <sup>4</sup> )
1	1-2	91		5.743×10 <sup>6</sup>	—
2	2-3	91		8.585×10 <sup>6</sup>	—
3	3-4	91		8.585×10 <sup>6</sup>	—
4	4-5	91		8.585×10 <sup>6</sup>	—
5	5-6	91		1.018×10 <sup>7</sup>	—
6	6-7	91		6.803×10 <sup>6</sup>	—
7	7-8	91		6.803×10 <sup>6</sup>	—
8	8-9	91		8.585×10 <sup>6</sup>	—
9	9-10	91		8.585×10 <sup>6</sup>	—
10	10-11	91		6.803×10 <sup>6</sup>	—
11	11-12	91		6.803×10 <sup>6</sup>	—
12	12-13	91		1.018×10 <sup>7</sup>	—
13	13-14	91		8.585×10 <sup>6</sup>	—
14	14-15	91		4.346×10 <sup>6</sup>	—
15	15-16	94		7.190×10 <sup>6</sup>	—
16	16-17	94		1.070×10 <sup>7</sup>	—
17	17-18	94		7.190×10 <sup>6</sup>	—
21	21-22	91		9.259×10 <sup>8</sup>	—
22	22-23	91		6.760×10 <sup>9</sup>	—
23	23-24	91		2.475×10 <sup>9</sup>	—
24	24-25	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
25	25-26	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
26	26-27	91		5.642×10 <sup>10</sup>	—
27	27-28	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
28	28-29	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
29	29-30	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
30	30-31	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
31	31-32	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
32	32-33	91		9.781×10 <sup>8</sup>	—
33	33-34	91		5.891×10 <sup>9</sup>	—
34	34-35	91		1.887×10 <sup>9</sup>	—
41	41-42	93		2.588×10 <sup>10</sup>	—
42	42-43	93		4.421×10 <sup>9</sup>	—
43	43-44	93		4.296×10 <sup>9</sup>	—
44	44-45	94		3.340×10 <sup>9</sup>	—
45	45-46	94		3.590×10 <sup>9</sup>	—
46	46-47	94		2.940×10 <sup>9</sup>	—



(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	23	
5	26	
8	29	
10	31	
12	33	
16	45	
17	46	
34	42	
34	42	
27	—	
41	—	
41	—	

(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	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	

(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 <sup>3</sup> )	ポアソン比 (-)	材質
91	50			0.3	
93	50			0.3	
94	50			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				吸込側	吐出側
原子炉補機冷却海水ポンプ	常設/防止(D B 拡張) 常設/緩和(D B 拡張)	タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9*1)	0.152	—*3	—	—	C <sub>H</sub> =1.06 又は*2	C <sub>V</sub> =0.90		50	50	—	0.78

注記\*1：基準床レベルを示す。

\*2：基準地震動 S s に基づく設計用床応答曲線より得られる値

\*3：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m <sub>i</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	d <sub>i</sub> (mm)	A <sub>b i</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>i</sub>	n <sub>f i</sub>	M <sub>p</sub> (N・mm)	S <sub>y i</sub> (MPa)	S <sub>u i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> (MPa)	F <sub>i</sub> * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—				
ポンプ取付ボルト (i=2)					20	20	3.438×10 <sup>6</sup>				
原動機取付ボルト (i=3)					8	8	3.438×10 <sup>6</sup>				

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

(3) サポート取付ボルト

部材	A <sub>s b</sub> (mm <sup>2</sup> )	n <sub>s</sub>	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
サポート取付ボルト		8	199*	511*	205	—	205

注記\*：周囲環境温度で算出

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	D <sub>c</sub> (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—			580	12

注記\*：最高使用温度で算出

H <sub>p</sub> (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M <sub>i</sub> (N・mm)		F <sub>b i</sub> (N)		Q <sub>b i</sub> (N)	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
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=3)	—		—		—	

(2) コラムパイプに作用する力

(単位：N・mm)

部材	M	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
コラムパイプ	—	

(3) サポート取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	W	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
サポート取付ボルト		

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

モード	固有周期
水平 1次	$T_{H1}=0.152$
水平 2次	$T_{H2}=0.055$
鉛直 1次	—*

注記\*: 固有周期は十分に小さく計算は省略する。

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張り	—	—	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=6$	$f_{sb1}=366$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張り	—	—	$\sigma_{b2}=18$	$f_{ts2}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=3$	$f_{sb2}=366$
原動機取付ボルト (i=3)		引張り	—	—	$\sigma_{b3}=43$	$f_{ts3}=475^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=366$

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 サポート取付ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
サポート取付ボルト		せん断	—	—	$\tau_{sb}=18$	$f_{ssb}=118$

すべて許容応力以下である。

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 <sub>d</sub> 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 <sub>d</sub> 又は静的震度	—	—
		基準地震動 S <sub>s</sub>	$\sigma = 155$	$S_a = 306$

すべて許容応力以下である。

## 2.4.5 動的機能の評価結果

( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )

		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	4.68	10.0
	鉛直方向	0.75	1.0
原動機	水平方向	1.88	2.5
	鉛直方向	0.75	1.0

注記\*：基準地震動  $S_s$  により定まる応答加速度を設定する。なお、水平方向の機能維持評価用加速度はコラム先端（原動機にあつては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）のいずれか大きい方を、鉛直方向は設計用最大応答加速度（ $1.0 \cdot ZPA$ ）を設定する。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			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			



(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 <sup>2</sup> )	断面二次 モーメント (mm <sup>4</sup> )	断面二次 極モーメント (mm <sup>4</sup> )
1	1-2	91			—
2	2-3	91			—
3	3-4	91			—
4	4-5	91			—
5	5-6	91			—
6	6-7	91			—
7	7-8	91			—
8	8-9	91			—
9	9-10	91			—
10	10-11	91			—
11	11-12	91			—
12	12-13	91			—
13	13-14	91			—
14	14-15	91			—
15	15-16	94			—
16	16-17	94			—
17	17-18	94			—
21	21-22	91			—
22	22-23	91			—
23	23-24	91			—
24	24-25	91			—
25	25-26	91			—
26	26-27	91			—
27	27-28	91			—
28	28-29	91			—
29	29-30	91			—
30	30-31	91			—
31	31-32	91			—
32	32-33	91			—
33	33-34	91			—
34	34-35	91			—
41	41-42	93			—
42	42-43	93			—
43	43-44	93			—
44	44-45	94			—
45	45-46	94			—
46	46-47	94			—

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	23	
5	26	
8	29	
10	31	
12	33	
16	45	
17	46	
34	42	
34	42	
27	—	
41	—	
41	—	

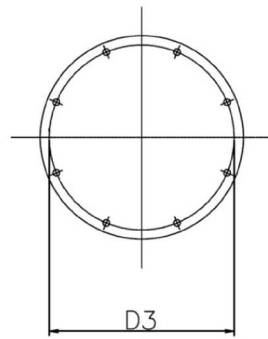
(4) 節点の質量

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	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	

(5) 材料物性値

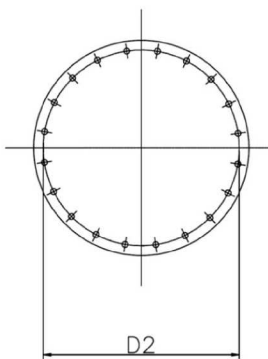
材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm <sup>3</sup> )	ポアソン比 (—)	材質
91	50			0.3	
93	50			0.3	
94	50			0.3	

原動機取付ボルト



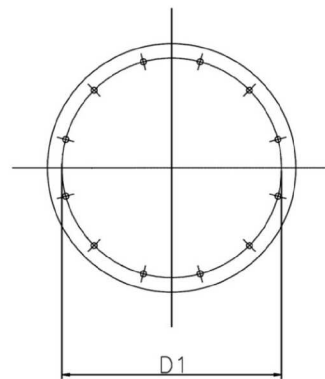
A~A矢視図

ポンプ取付ボルト

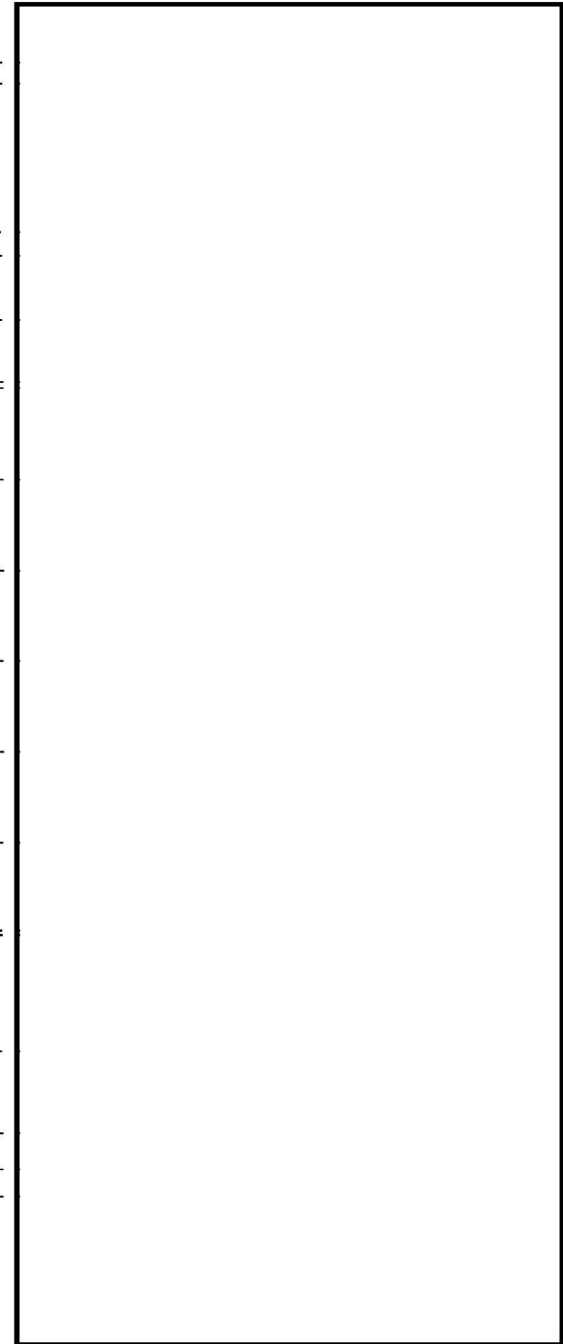
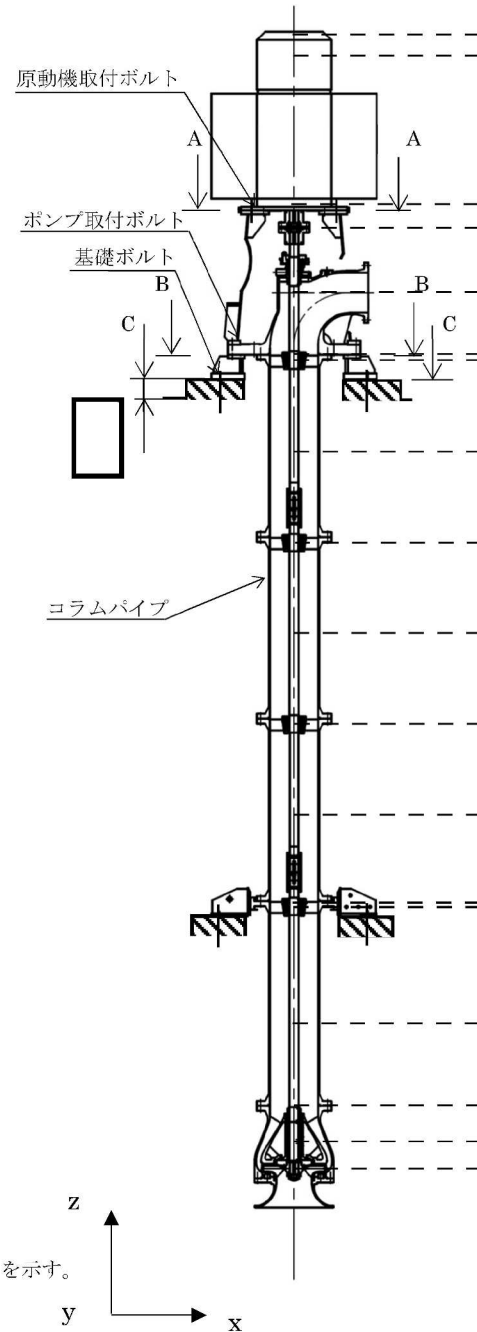


B~B矢視図

基礎ボルト



C~C矢視図



注記\* : ペDESTAL系とは、ポンプベース、原動機台及び原動機フレーム（固定子を含む）を示す。

VI-2-5-6-1-4 原子炉補機冷却水系サージタンクの  
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
4.2.1 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	9
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	9
5.2 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、原子炉補機冷却水系サージタンク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。

原子炉補機冷却水系サージタンクは、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、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、原子炉補機冷却水系サージタンクは、VI-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の平底たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-5 平底たて置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

原子炉補機冷却水系サージタンクの構造計画を表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>胴下端を基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に平板を有するたて置円筒形容器)</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【原子炉補機冷却水系サージタンク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

原子炉補機冷却水系サージタンクの構造強度評価は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-5 平底たて置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。なお、水平地震動による応力と鉛直地震動による応力の組合せには絶対値和を適用する。

##### 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

原子炉補機冷却水系サージタンク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

原子炉補機冷却水系サージタンクの許容応力は、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

原子炉補機冷却水系サージタンク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【原子炉補機冷却水系サージタンク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	原子炉補機 冷却設備	原子炉補機冷却水系 サージタンク	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> 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 <sup>*1</sup>	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 冷却水系	原子炉補機冷却水系 サージタンク	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	重大事故等 <sup>*2</sup> クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> Sの許容限 界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	原子炉補機 冷却設備 代替原子炉補機 冷却系	原子炉補機冷却水系 サージタンク	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 <sup>*2</sup> クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{sAD} + M_{sAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> 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）、「常設/緩和(DB 拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）、「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備及び「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 <sub>A</sub> S	S <sub>y</sub> と 0.6・S <sub>u</sub> 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	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は基準地震動 S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 以下であれば、疲労解析は不要。	
Ⅳ <sub>A</sub> S	0.6・S <sub>u</sub>	左欄の 1.5 倍の値		
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> Sの許容限界を用いる。)			基準地震動 S <sub>s</sub> 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 <sub>y</sub> 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 <sup>*1, *2</sup> (ボルト等)	
	一次応力	
	引張り	せん断
Ⅲ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM400B (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	70	—	233	383	—
基礎ボルト	SS400 (16 < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (RT) (MPa)
		最高使用温度					
胴板	SM400B (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	70	—	233	383	—
基礎ボルト	SS400 (16 < 径 ≤ 40mm)	周囲環境温度	50	—	231	394	—

## 5. 評価結果

### 5.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却水系サージタンク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

原子炉補機冷却水系サージタンク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。



【原子炉補機冷却水系サージタンク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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	比重
			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				
原子炉補機冷却水系 サージタンク	S	原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7*			C <sub>H</sub> =0.88	C <sub>V</sub> =0.58	C <sub>H</sub> =1.37	C <sub>V</sub> =1.16	静水頭	70	50	1.00

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m <sub>o</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	l <sub>g</sub> (mm)	H (mm)	s	n
		2500	9.0	200000*1	77000*1	1774	3305	15	16

D <sub>c</sub> (mm)	D <sub>b0</sub> (mm)	D <sub>b1</sub> (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	M <sub>s</sub> (N・mm)	
					弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
2700	2850	2500	30 (M30)	706.9	3.184×10 <sup>8</sup>	4.957×10 <sup>8</sup>

S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
233*1 (厚さ≤16mm)	383*1	—	231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	231	276

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

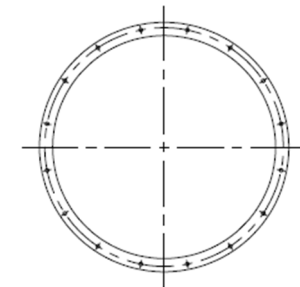
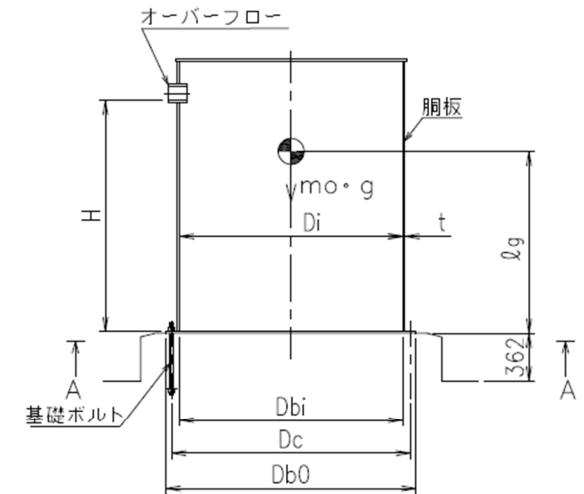
1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
静水頭による応力	σ <sub>φ1</sub> =5	—	—	σ <sub>φ1</sub> =5	—	—	
鉛直方向地震による引張応力	σ <sub>φ2</sub> =3	—	—	σ <sub>φ2</sub> =6	—	—	
空質量による圧縮応力	—	σ <sub>x2</sub> =1	—	—	σ <sub>x2</sub> =1	—	
鉛直方向地震による軸方向応力	—	σ <sub>x3</sub> =1	—	—	σ <sub>x3</sub> =1	—	
水平方向地震による応力	—	σ <sub>x4</sub> =8	τ=5	—	σ <sub>x4</sub> =12	τ=8	
応力の和	引張側	σ <sub>φ</sub> =8	σ <sub>xt</sub> =7	—	σ <sub>φ</sub> =10	σ <sub>xt</sub> =12	
	圧縮側	σ <sub>φ</sub> =-8	σ <sub>xc</sub> =9	—	σ <sub>φ</sub> =-10	σ <sub>xc</sub> =13	
組合せ応力	引張り	σ <sub>ot</sub> =12			σ <sub>ot</sub> =19		
	圧縮	σ <sub>oc</sub> =10			σ <sub>oc</sub> =15		



A~A 矢視図

(2) 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度			基準地震動 S <sub>s</sub>			
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	
鉛直方向地震による応力	$\sigma_{\phi 2}=3$	$\sigma_{x 3}=1$	—	$\sigma_{\phi 2}=6$	$\sigma_{x 3}=1$	—	
水平方向地震による応力	—	$\sigma_{x 4}=8$	$\tau=5$	—	$\sigma_{x 4}=12$	$\tau=8$	
応力の和	引張側	$\sigma_{2\phi}=3$	$\sigma_{2xt}=8$	—	$\sigma_{2\phi}=6$	$\sigma_{2xt}=12$	
	圧縮側	$\sigma_{2\phi}=-3$	$\sigma_{2xc}=8$	—	$\sigma_{2\phi}=-6$	$\sigma_{2xc}=12$	
組合せ応力 (変動値)	引張り	$\sigma_{2t}=22$			$\sigma_{2t}=35$		
	圧縮	$\sigma_{2c}=20$			$\sigma_{2c}=30$		

1.3.2 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
引張応力	$\sigma_b=23$	$\sigma_b=53$
せん断応力	$\tau_b=16$	$\tau_b=25$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM400B	一次一般膜	$\sigma_o=12$	$S_a=230$	$\sigma_o=19$	$S_a=230$
		一次+二次	$\sigma_2=22$	$S_a=466$	$\sigma_2=35$	$S_a=466$
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	$\frac{\alpha_B \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\alpha_B \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$		$\frac{\alpha_B \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\alpha_B \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	
			0.05 (無次元)		0.07 (無次元)	
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b=23$	$f_{ts}=173^*$	$\sigma_b=53$	$f_{ts}=207^*$
		せん断	$\tau_b=16$	$f_{sb}=133$	$\tau_b=25$	$f_{sb}=159$

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)	比重
			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				
原子炉補機冷却水系 サージタンク	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	原子炉建屋 T.M.S.L. 31.7*			—	—	C <sub>H</sub> =1.37	C <sub>V</sub> =1.16	静水頭	70	50	1.00

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

m <sub>o</sub> (kg)	m <sub>e</sub> (kg)	D <sub>i</sub> (mm)	t (mm)	E (MPa)	G (MPa)	ℓ <sub>g</sub> (mm)	H (mm)	s	n
		2500	9.0	200000*1	77000*1	1774	3305	15	16

D <sub>c</sub> (mm)	D <sub>b0</sub> (mm)	D <sub>bi</sub> (mm)	d (mm)	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	M <sub>s</sub> (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
2700	2850	2500	30 (M30)	706.9	—	4.957×10 <sup>8</sup>

S <sub>y</sub> (胴板) (MPa)	S <sub>u</sub> (胴板) (MPa)	S (胴板) (MPa)	S <sub>y</sub> (基礎ボルト) (MPa)	S <sub>u</sub> (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
233*1 (厚さ ≤ 16mm)	383*1	—	231*2 (16mm < 径 ≤ 40mm)	394*2	—	276

注記\*1：最高使用温度で算出

\*2：周囲環境温度で算出

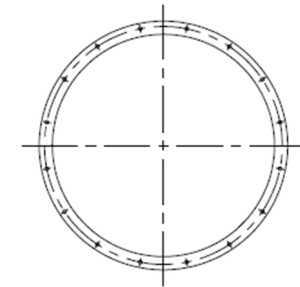
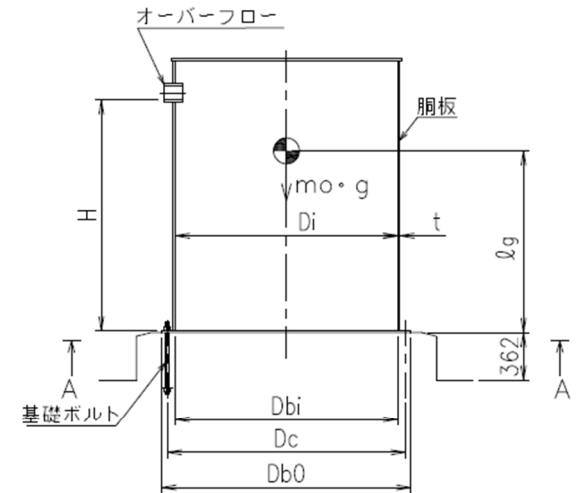
2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭による応力	—	—	—	σ <sub>φ1</sub> =5	—	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	σ <sub>φ2</sub> =6	—	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	σ <sub>x2</sub> =1	—
鉛直方向地震による軸方向応力	—	—	—	—	σ <sub>x3</sub> =1	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	σ <sub>x4</sub> =12	τ=8
応力の和	引張側	—	—	σ <sub>φ</sub> =10	σ <sub>xt</sub> =12	—
	圧縮側	—	—	σ <sub>φ</sub> =-10	σ <sub>xc</sub> =13	—
組合せ応力	引張り	—	—	—	σ <sub>ot</sub> =19	—
	圧縮	—	—	—	σ <sub>oc</sub> =15	—



A~A矢視図

(2) 地震動のみによって生じる一次応力と二次応力の和の変動値 (単位: MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 2}=6$	$\sigma_{x 3}=1$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{x 4}=12$	$\tau=8$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi}=6$	$\sigma_{2xt}=12$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi}=-6$	$\sigma_{2xc}=12$	—
組合せ応力 (変動値)	引張り	—		$\sigma_{2t}=35$		
	圧縮	—		$\sigma_{2c}=30$		

2.3.2 基礎ボルトに生じる応力 (単位: MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b=53$
せん断応力	—	$\tau_b=25$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
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	SM400B	一次一般膜	—	—	$\sigma_o=19$	$S_a=230$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2=35$	$S_a=466$
		圧縮と曲げの 組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\alpha_B \cdot (\sigma_{x2} + \sigma_{x3})}{f_c} + \frac{\alpha_B \cdot \sigma_{x4}}{f_b} \leq 1$	0.07 (無次元)
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b=53$	$f_{ts}=207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b=25$	$f_{sb}=159$

すべて許容応力以下である。

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

VI-2-5-6-1-5 原子炉補機冷却海水系ストレナの  
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
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	8
4.3 固有周期の計算結果	9
5. 構造強度評価	10
5.1 構造強度評価方法	10
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
5.2.2 許容応力	10
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
5.3 設計用地震力	14
5.4 計算方法	15
5.4.1 応力の計算方法	15
5.5 計算条件	17
5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件	17
5.6 応力の評価	17
5.6.1 ボルトの応力評価	17
6. 評価結果	18
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	18
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	18

## 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、原子炉補機冷却海水系ストレーナ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。

原子炉補機冷却海水系ストレーナは、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）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。

## 2. 一般事項

### 2.1 構造計画

原子炉補機冷却海水系ストレーナの構造計画を表 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	
原子炉補機冷却海水系ストレーナはストレーナ胴部を脚で支持する。脚は基礎ボルトで基礎に据え付ける。	横置円筒形ストレーナ	<div style="text-align: center;"> <p>側面図</p> <p>正面図</p> <p>ストレーナ胴体</p> <p>脚</p> <p>基礎ボルト (評価部)</p> <p>1330</p> <p>(短辺方向*)</p> <p>基礎ボルト (評価部)</p> <p>(長辺方向*)</p> </div> <p>注記* : 基礎ボルト (評価部) 間の水平方向距離が大きい方を長辺方向, 小さい方を短辺方向とする。</p> <p style="text-align: right;">(単位:mm)</p>



## 2.2 評価方針

原子炉補機冷却海水系ストレーナの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す原子炉補機冷却海水系ストレーナの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

原子炉補機冷却海水系ストレーナの耐震評価フローを図2-1に示す。

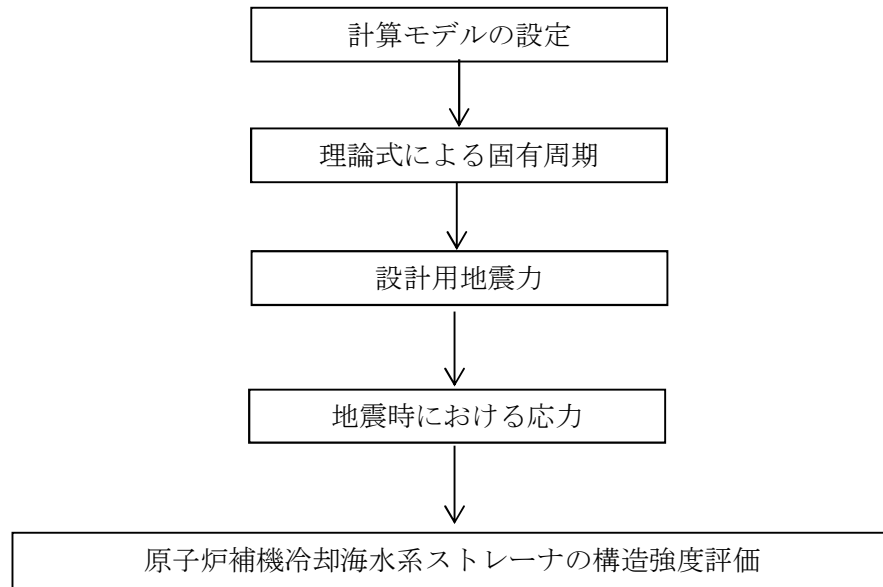


図2-1 原子炉補機冷却海水系ストレーナの耐震評価フロー

### 2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1・補-1984((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1987 ((社)日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社)日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社)日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	脚の断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	基礎ボルトの軸断面積	mm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub>	脚の有効せん断断面積	mm <sup>2</sup>
C <sub>H</sub>	水平方向設計震度	—
C <sub>V</sub>	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
E <sub>s</sub>	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F <sup>*</sup>	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F <sub>b</sub>	基礎ボルトに作用する引張力 (1本当たり)	N
f <sub>s b</sub>	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f <sub>t o</sub>	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f <sub>t s</sub>	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力	MPa
G <sub>s</sub>	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s <sup>2</sup>
h	据付面から重心までの距離	mm
I <sub>s</sub>	脚の断面二次モーメント	mm <sup>4</sup>
l <sub>1</sub>	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
l <sub>2</sub>	重心とボルト間の水平方向距離*	mm
m	運転時質量	kg
n	基礎ボルトの本数	—
n <sub>f</sub>	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q <sub>b</sub>	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S <sub>u</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S <sub>y</sub>	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S <sub>y</sub> (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
T <sub>H</sub>	水平方向固有周期	s
T <sub>V</sub>	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ <sub>b</sub>	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ <sub>b</sub>	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記\* :  $l_1 \leq l_2$

## 2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 <sup>*1</sup>
面積	mm <sup>2</sup>	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 <sup>*2</sup>
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 <sup>*3</sup>	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記\*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

\*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

\*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

### 3. 評価部位

原子炉補機冷却海水系ストレナーナの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。原子炉補機冷却海水系ストレナーナの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

原子炉補機冷却海水系ストレーナの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 原子炉補機冷却海水系ストレーナの質量は重心に集中するものとする。
- b. 原子炉補機冷却海水系ストレーナは基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

原子炉補機冷却海水系ストレーナは，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

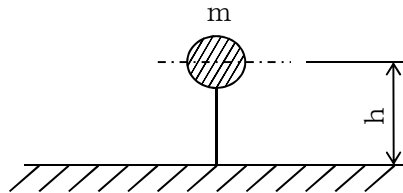


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \left( \frac{h^3}{3 \cdot E_s \cdot I_s} + \frac{h}{A_s \cdot G_s} \right)} \dots (4.1.1)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_V = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000} \cdot \frac{h}{A \cdot E_s}} \dots (4.1.2)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【原子炉補機冷却海水系ストレーナの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

#### 4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 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。

表 4-1 固有周期 (単位 : s)

水平			
鉛直			

## 5. 構造強度評価

### 5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ～c. のほか，次の条件で計算する。

- (1) 地震力は原子炉補機冷却海水系ストレーナに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。
- (2) 転倒方向は図 5-1，図 5-2 における短辺方向及び長辺方向について検討し，計算書には計算結果の厳しい方を記載する。

### 5.2 荷重の組合せ及び許容応力

#### 5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

原子炉補機冷却海水系ストレーナ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 5-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

#### 5.2.2 許容応力

原子炉補機冷却海水系ストレーナの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

#### 5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

原子炉補機冷却海水系ストレーナ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 5-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。



表 5-1 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	原子炉補機冷却海水系 ストレーナ	S	クラス3容器*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ <sub>A</sub> S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ <sub>A</sub> S

注記\*：クラス3容器の支持構造物を含む。

表 5-2 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* <sup>1</sup>	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	原子炉補機冷却海水系 ストレーナ	常設／防止 (DB拡張) 常設／緩和 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器* <sup>2</sup>	$D + P_D + M_D + S_s^{*3}$	Ⅳ <sub>A</sub> S
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> Sとして Ⅳ <sub>A</sub> 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），「常設／緩和（DB拡張）」は常設重大事故緩和設備（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 5-3 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 <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ <sub>A</sub> S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V <sub>A</sub> S (V <sub>A</sub> SとしてⅣ <sub>A</sub> 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 5-4 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—

表 5-5 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 <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	S <sub>y</sub> (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—

### 5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S<sub>d</sub> 又は静的震度」及び「基準地震動 S<sub>s</sub>」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

表 5-6 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)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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
タービン建屋 T. M. S. L. 3.5* <sup>1</sup> (T. M. S. L. 4.9* <sup>2</sup> )	□		C <sub>H</sub> =0.56	C <sub>V</sub> =0.46	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90
タービン建屋 T. M. S. L. -4.8* <sup>3</sup> (T. M. S. L. -1.1* <sup>2</sup> )			C <sub>H</sub> =0.50	C <sub>V</sub> =0.44	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90

注記\*1：原子炉補機冷却海水系ストレーナ(A), (B), (D), (E)の据付場所及び床面高さを示す。

\*2：基準床レベルを示す。

\*3：原子炉補機冷却海水系ストレーナ(C), (F)の据付場所及び床面高さを示す。

表 5-7 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)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
	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
タービン建屋 T. M. S. L. 3.5* <sup>1</sup> (T. M. S. L. 4.9* <sup>2</sup> )	□		—	—	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90
タービン建屋 T. M. S. L. -4.8* <sup>3</sup> (T. M. S. L. -1.1* <sup>2</sup> )			—	—	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90

注記\*1：原子炉補機冷却海水系ストレーナ(A), (B), (D), (E)の据付場所及び床面高さを示す。

\*2：基準床レベルを示す。

\*3：原子炉補機冷却海水系ストレーナ(C), (F)の据付場所及び床面高さを示す。

## 5.4 計算方法

### 5.4.1 応力の計算方法

#### 5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

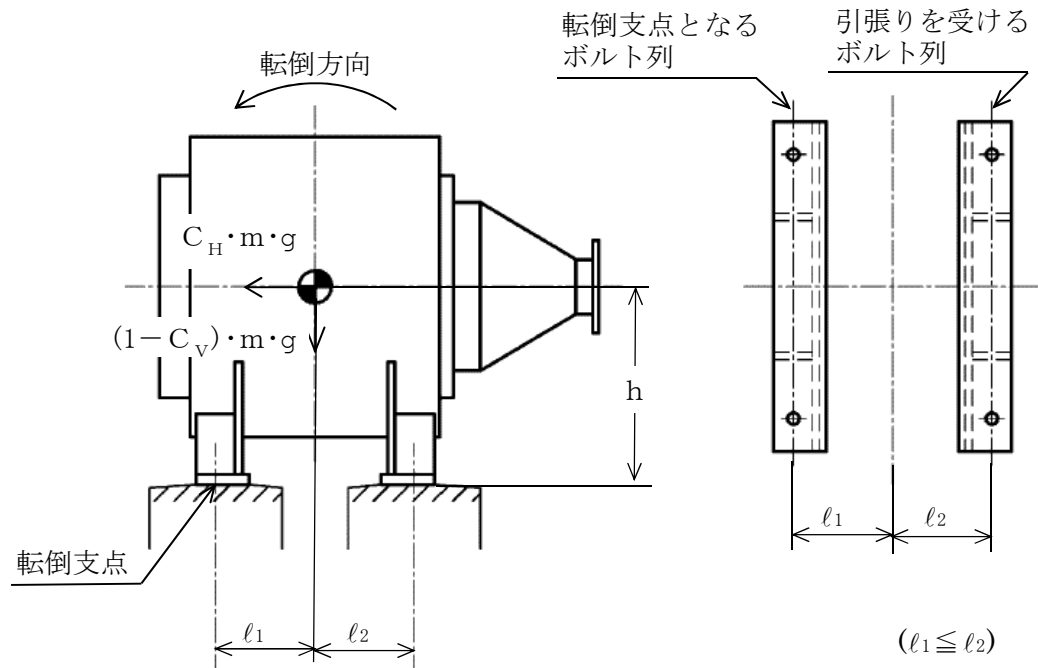


図 5-1 計算モデル（短辺方向転倒）

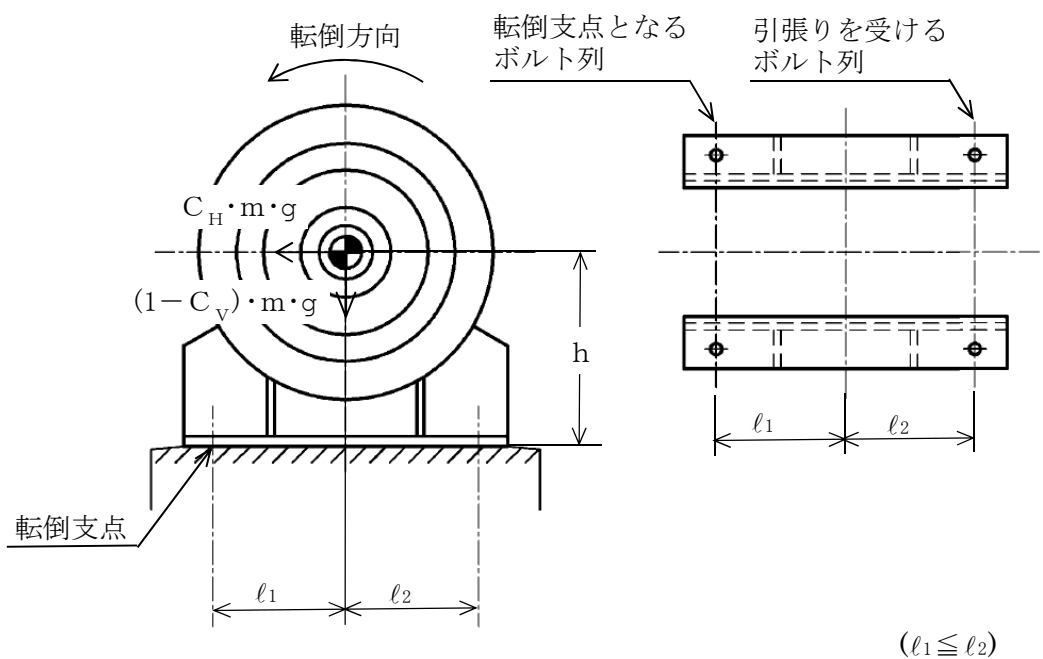


図 5-2 計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_b = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot l_1}{n_f \cdot (l_1 + l_2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積  $A_b$  は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots \dots \dots (5.4.1.1.3)$$

ただし、 $F_b$  が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_b = C_H \cdot m \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \dots \dots \dots (5.4.1.1.5)$$

## 5.5 計算条件

### 5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【原子炉補機冷却海水系ストレナー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。

## 5.6 応力の評価

### 5.6.1 ボルトの応力評価

5.4項で求めたボルトの引張応力 $\sigma_b$ は次式より求めた許容引張応力 $f_{ts}$ 以下であること。ただし、 $f_{to}$ は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 $\tau_b$ はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 $f_{sb}$ 以下であること。ただし、 $f_{sb}$ 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 $f_{to}$	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 $f_{sb}$	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

## 6. 評価結果

### 6.1 設計基準対象施設としての評価結果

原子炉補機冷却海水系ストレナ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。

### 6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

原子炉補機冷却海水系ストレナ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。



【原子炉補機冷却海水系ストレーナ(A), (B), (D), (E)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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度(℃)
			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	
原子炉補機冷却海水系ストレーナ(A), (B), (D), (E)	S	タービン建屋 T.M.S.L. 3.5 (T.M.S.L. 4.9*)			C <sub>H</sub> =0.56	C <sub>V</sub> =0.46	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90	50

注記\*：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m(kg)	h(mm)	d(mm)	l <sub>1</sub> *1(mm)	l <sub>2</sub> *1(mm)	n	n <sub>f</sub>
基礎ボルト						4	2 2

部材	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F(MPa)	F*(MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト		231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	231	276	短辺方向	短辺方向

E <sub>s</sub> (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)	I <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A(mm <sup>2</sup> )
201000*2	77300*2	2.349×10 <sup>9</sup>	1.176×10 <sup>4</sup>	4.506×10 <sup>4</sup>

注記\*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

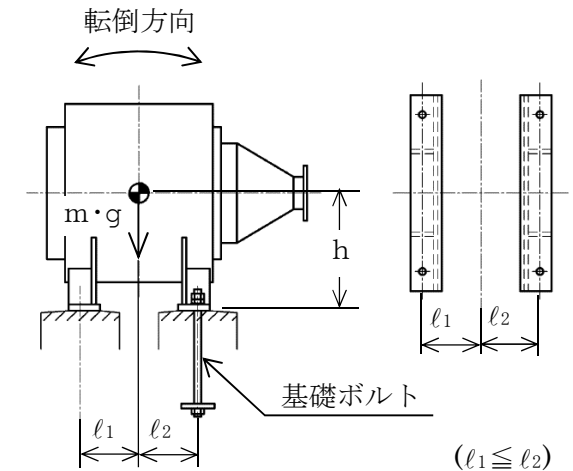
\*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト				



## 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 3$	$f_{ts} = 173^*$	$\sigma_b = 11$	$f_{ts} = 207^*$
		せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 159$

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	
原子炉補機冷却海水系 ストレーナ(A), (B), (D), (E)	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張)	タービン建屋 T. M. S. L. 3.5 (T. M. S. L. 4.9*)			—	—	C <sub>H</sub> =1.06	C <sub>V</sub> =0.90	50

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ <sub>1</sub> * <sup>1</sup> (mm)	ℓ <sub>2</sub> * <sup>1</sup> (mm)	n	n <sub>f</sub>
基礎ボルト						4	2 2

部材	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト		231* <sup>2</sup> (16mm<径≤40mm)	394* <sup>2</sup>	—	276	—	短辺方向

E <sub>s</sub> (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)	I <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )
201000* <sup>2</sup>	77300* <sup>2</sup>	2.349×10 <sup>9</sup>	1.176×10 <sup>4</sup>	4.506×10 <sup>4</sup>

注記\*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

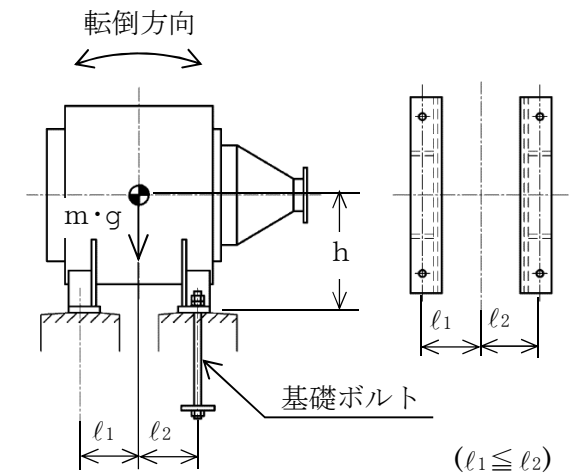
\*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	—		—	



## 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 11$	$f_{ts} = 207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

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

【原子炉補機冷却海水系ストレーナ (C), (F)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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		周囲環境温度 (℃)
			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	
原子炉補機冷却海水系 ストレーナ (C), (F)	S	タービン建屋 T. M. S. L. -4.8 (T. M. S. L. -1.1*)			C <sub>H</sub> =0.50	C <sub>V</sub> =0.44	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90	50

注記\* : 基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	l <sub>1</sub> *1 (mm)	l <sub>2</sub> *1 (mm)	n	n <sub>f</sub>
基礎ボルト						4	2 2

部材	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト		231*2 (16mm<径≤40mm)	394*2	231	276	短辺方向	短辺方向

E <sub>s</sub> (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)	I <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )
201000*2	77300*2	2.349×10 <sup>9</sup>	1.176×10 <sup>4</sup>	4.506×10 <sup>4</sup>

注記\*1 : ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

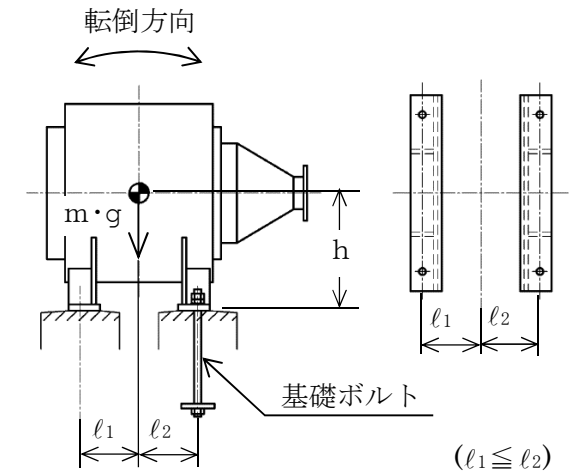
\*2 : 周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位 : N)

部材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト				



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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	$\sigma_b = 3$	$f_{ts} = 173^*$	$\sigma_b = 10$	$f_{ts} = 207^*$
		せん断	$\tau_b = 3$	$f_{sb} = 133$	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 159$

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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>		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	
原子炉補機冷却海水系 ストレーナ (C), (F)	常設/防止 (DB 拡張) 常設/緩和 (DB 拡張)	タービン建屋 T. M. S. L. -4.8 (T. M. S. L. -1.1*)			—	—	C <sub>H</sub> =0.99	C <sub>V</sub> =0.90	50

注記\*：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	d (mm)	ℓ <sub>1</sub> * <sup>1</sup> (mm)	ℓ <sub>2</sub> * <sup>1</sup> (mm)	n	n <sub>f</sub>
基礎ボルト						4	2 2

部材	A <sub>b</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>y</sub> (MPa)	S <sub>u</sub> (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト		231* <sup>2</sup> (16mm < 径 ≤ 40mm)	394* <sup>2</sup>	—	276	—	短辺方向

E <sub>s</sub> (MPa)	G <sub>s</sub> (MPa)	I <sub>s</sub> (mm <sup>4</sup> )	A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	A (mm <sup>2</sup> )
201000* <sup>2</sup>	77300* <sup>2</sup>	2.349×10 <sup>9</sup>	1.176×10 <sup>4</sup>	4.506×10 <sup>4</sup>

注記\*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

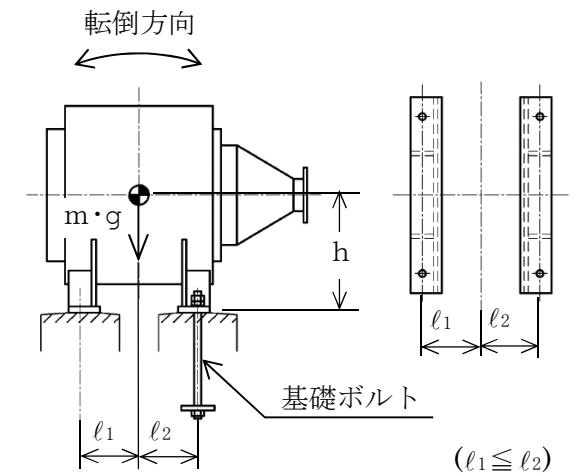
\*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F <sub>b</sub>		Q <sub>b</sub>	
	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>	弾性設計用地震動 S <sub>d</sub> 又は静的震度	基準地震動 S <sub>s</sub>
基礎ボルト	—		—	



## 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 <sub>d</sub> 又は静的震度		基準地震動 S <sub>s</sub>	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	$\sigma_b = 10$	$f_{ts} = 207^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 6$	$f_{sb} = 159$

すべて許容応力以下である。

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



VI-2-5-6-1-6 管の耐震性についての計算書

- (1) 原子炉補機冷却水系
- (2) 原子炉補機冷却海水系

(1) 原子炉補機冷却水系

## 設計基準対象施設

## 目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	12
3. 計算条件	20
3.1 計算方法	20
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	21
3.3 設計条件	22
3.4 材料及び許容応力	32
3.5 設計用地震力	33
4. 解析結果及び評価	34
4.1 固有周期及び設計震度	34
4.2 評価結果	46
4.2.1 管の応力評価結果	46
4.2.2 支持構造物評価結果	48
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	49
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	50

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉補機冷却水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全 39 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

### (2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。



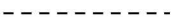


### (3) 弁

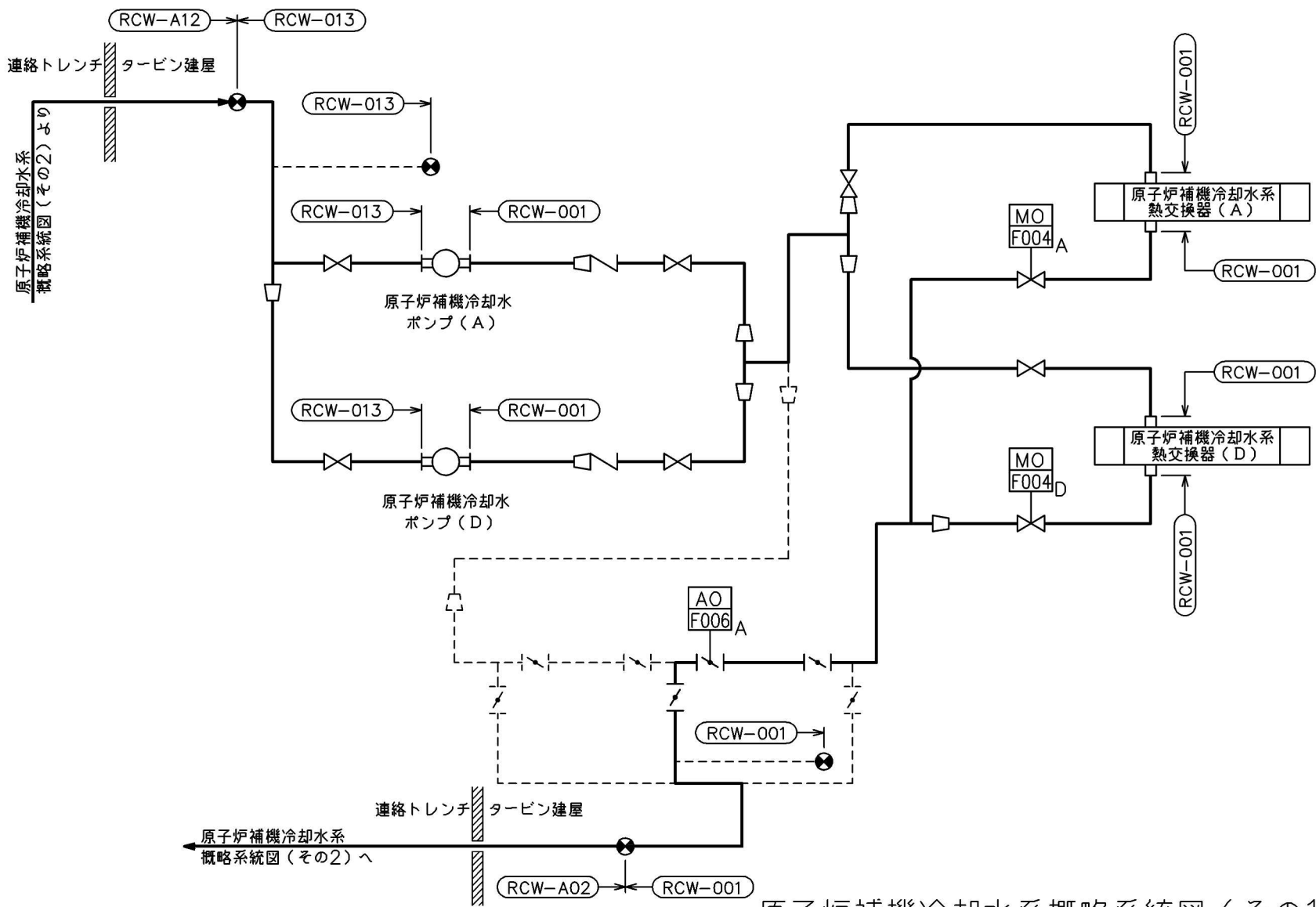
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

### 2.1 概略系統図

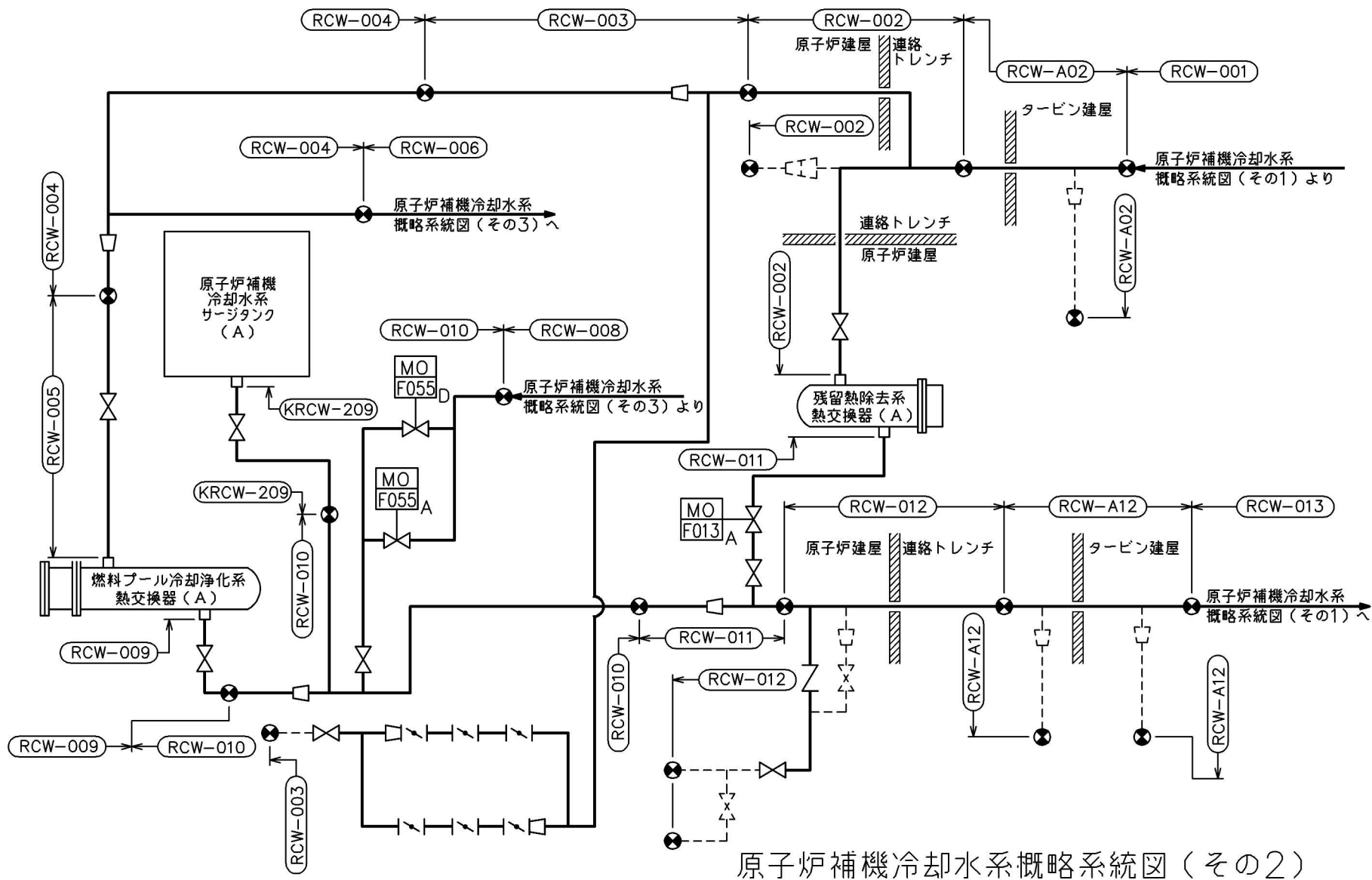
概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ

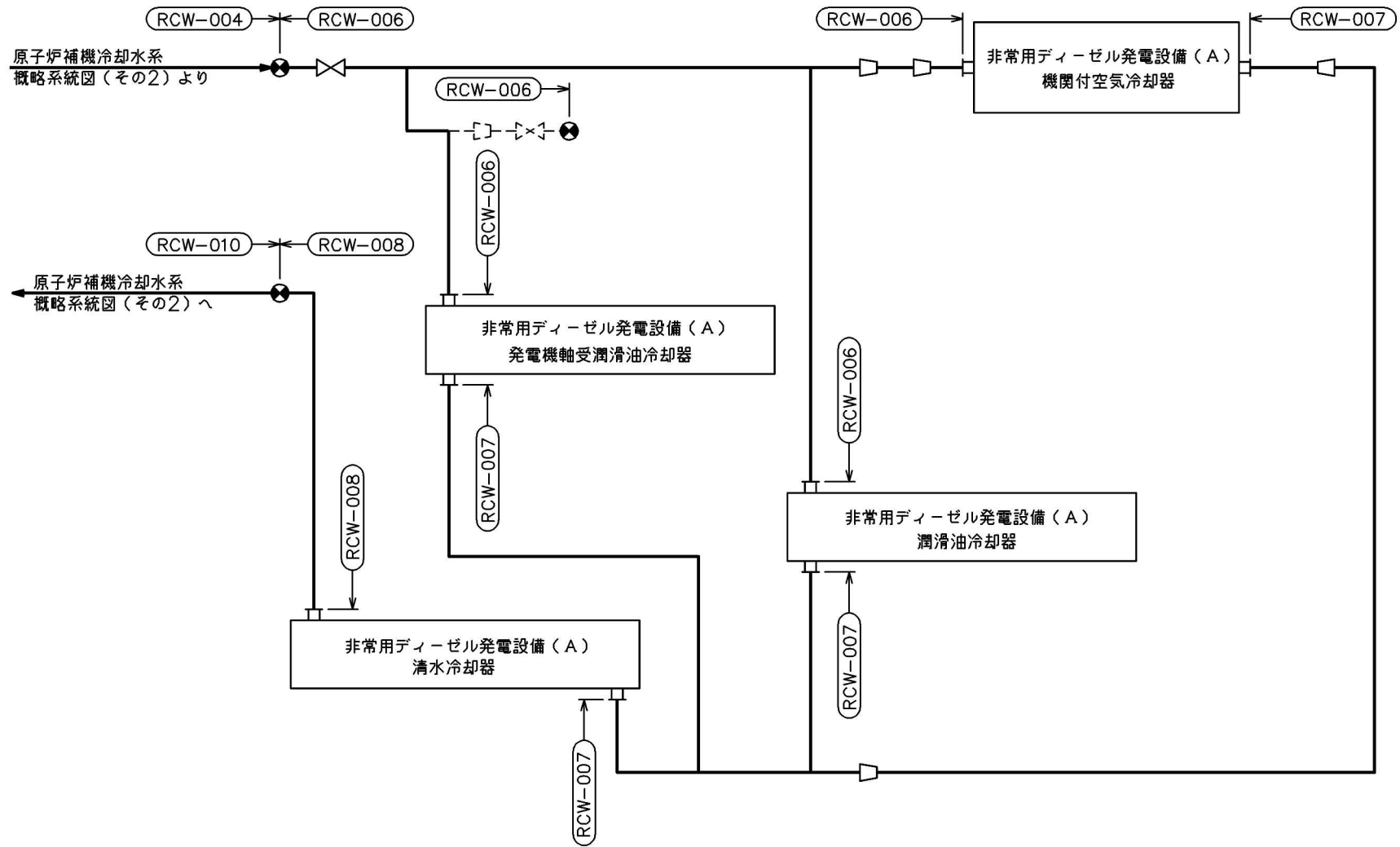


原子炉補機冷却水系概略系統図(その1)



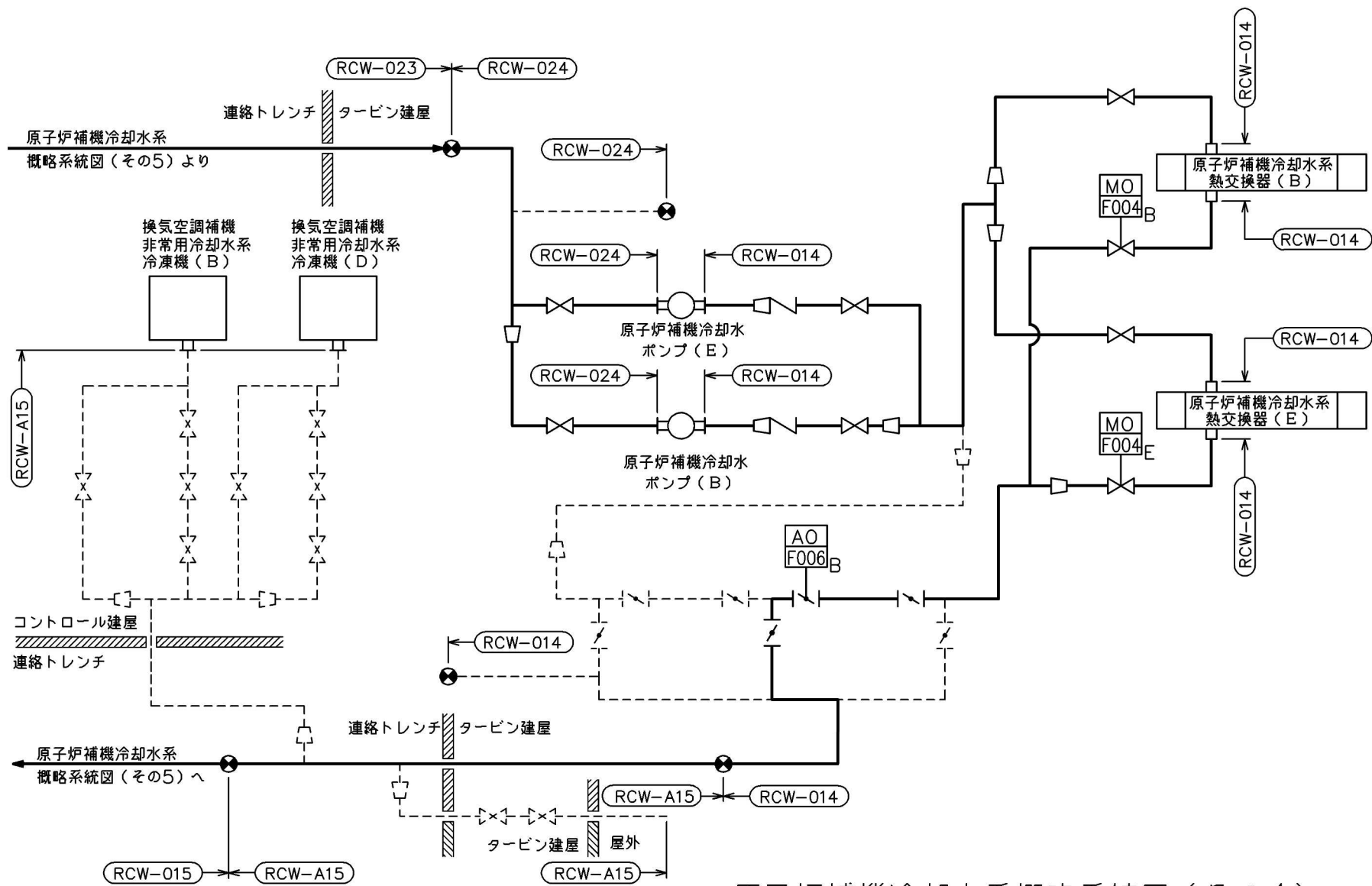


原子炉補機冷却水系概略系統図 (その2)

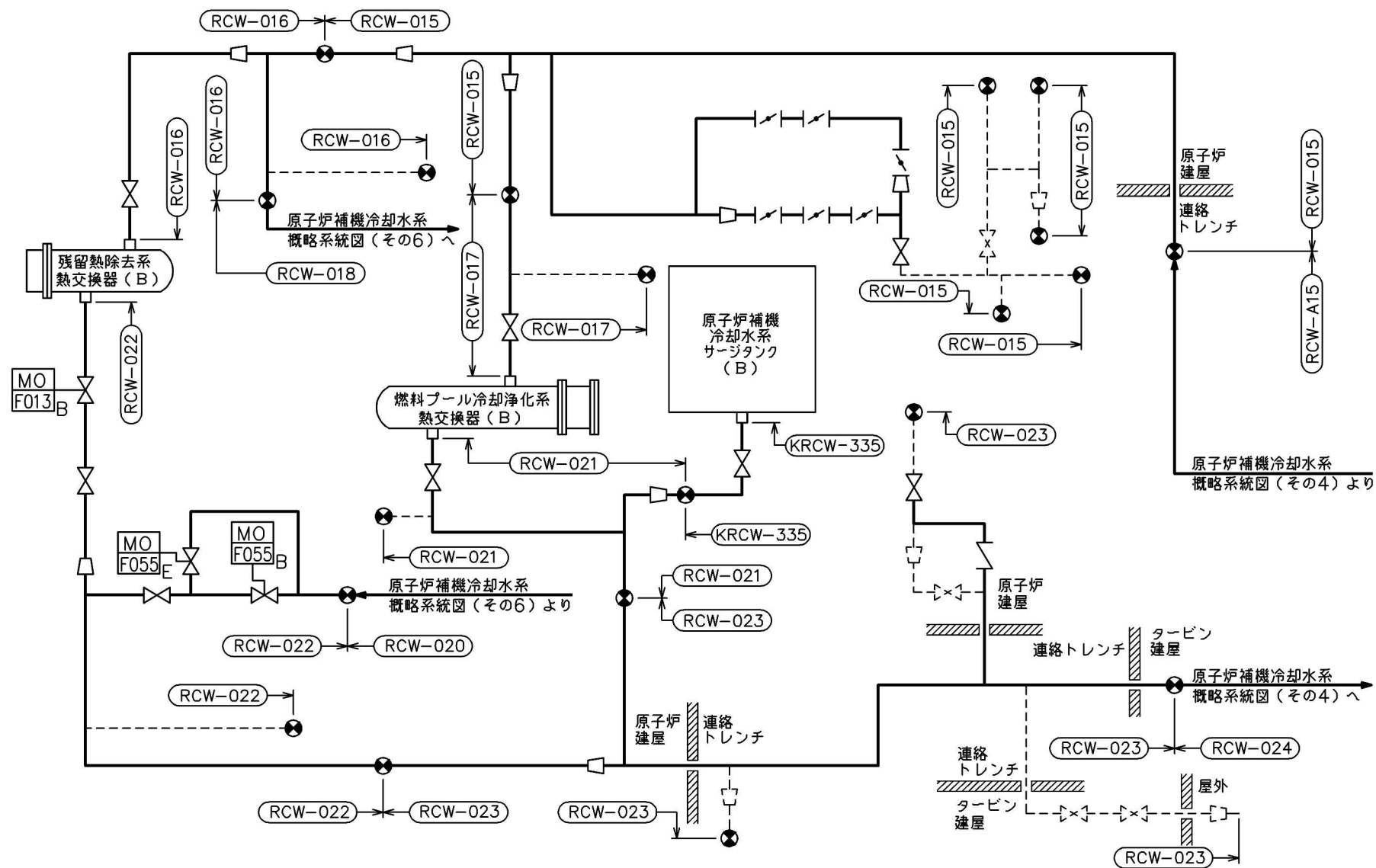


原子炉補機冷却水系概略系統図 (その3)

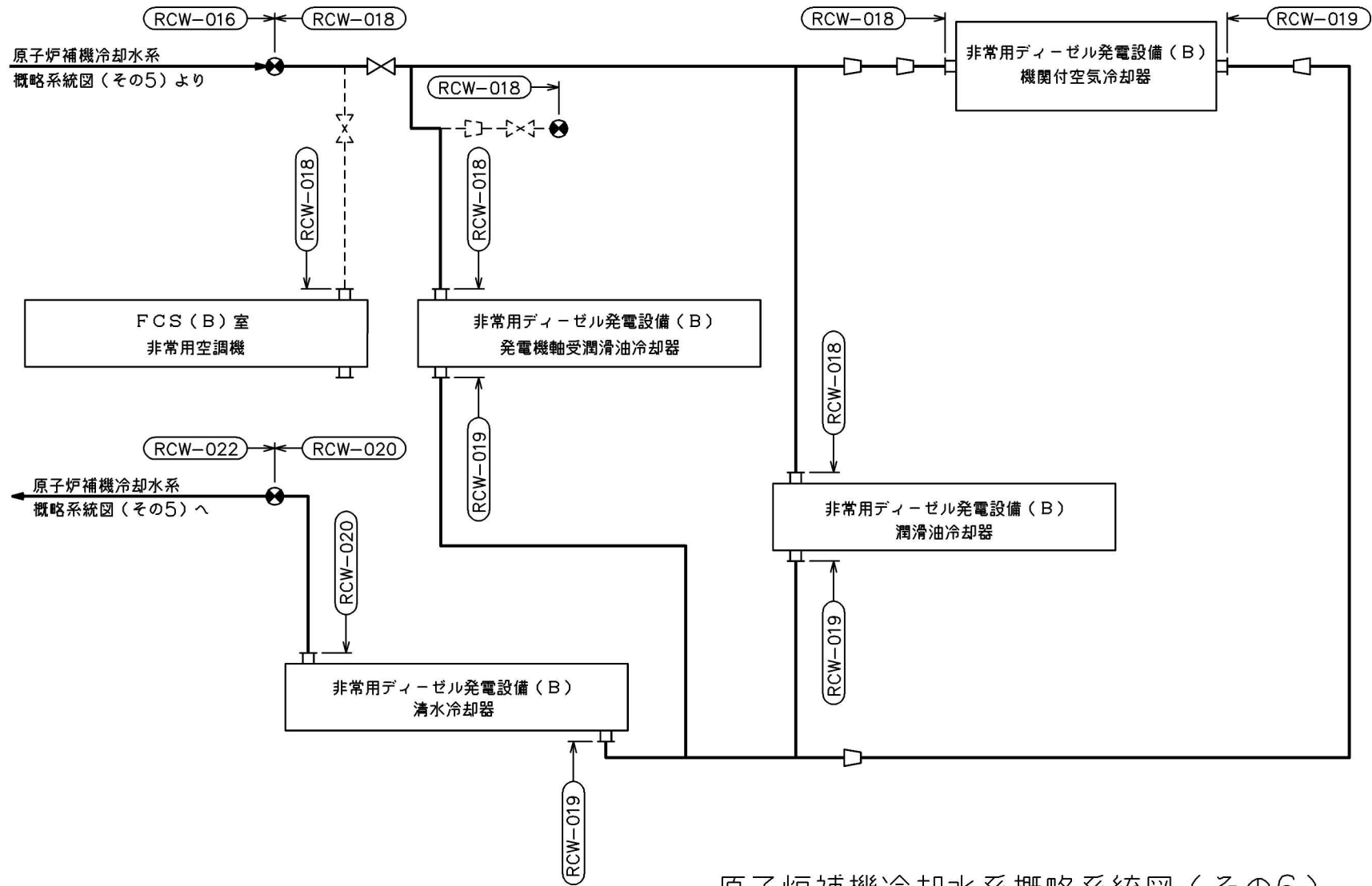
9



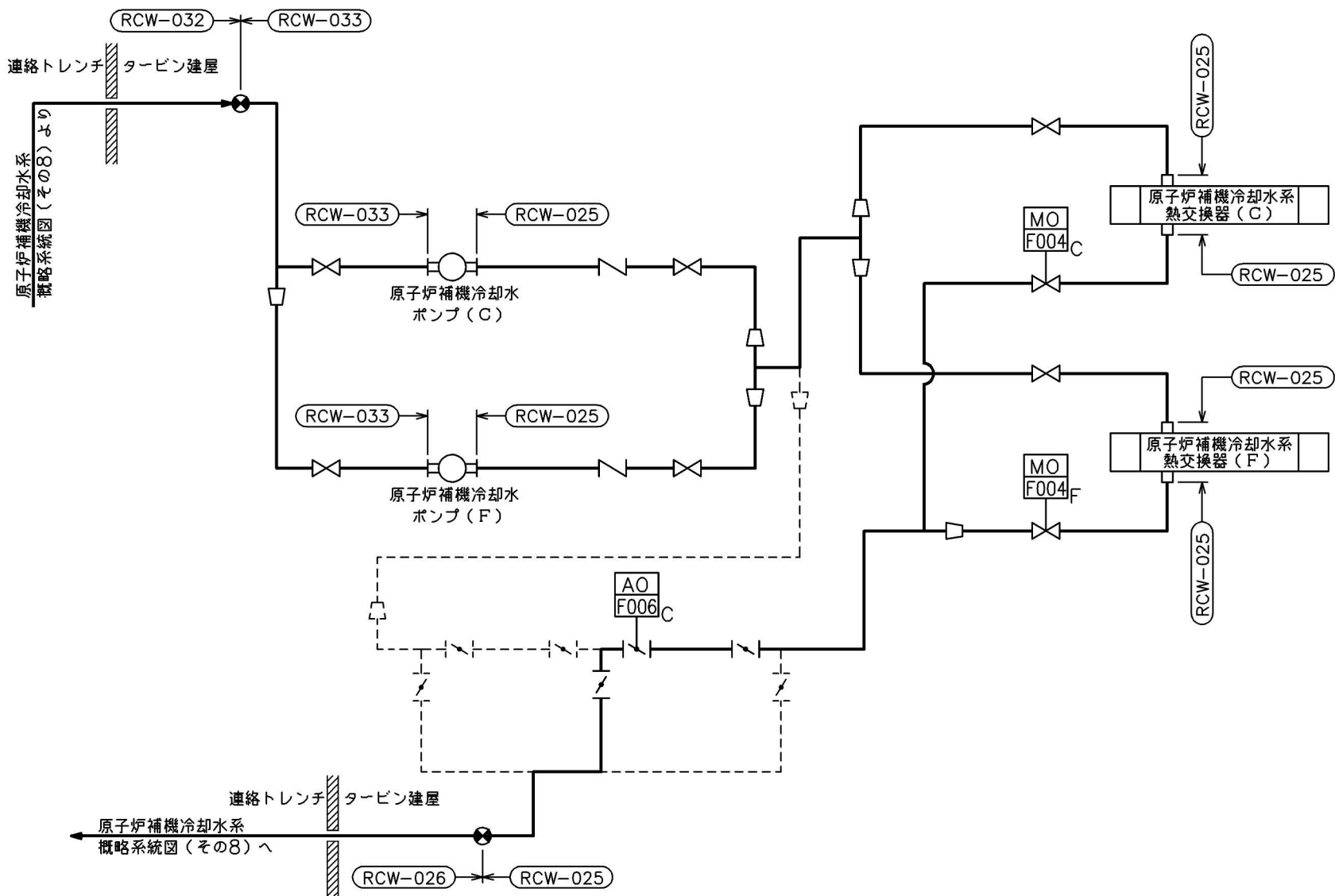
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その4)



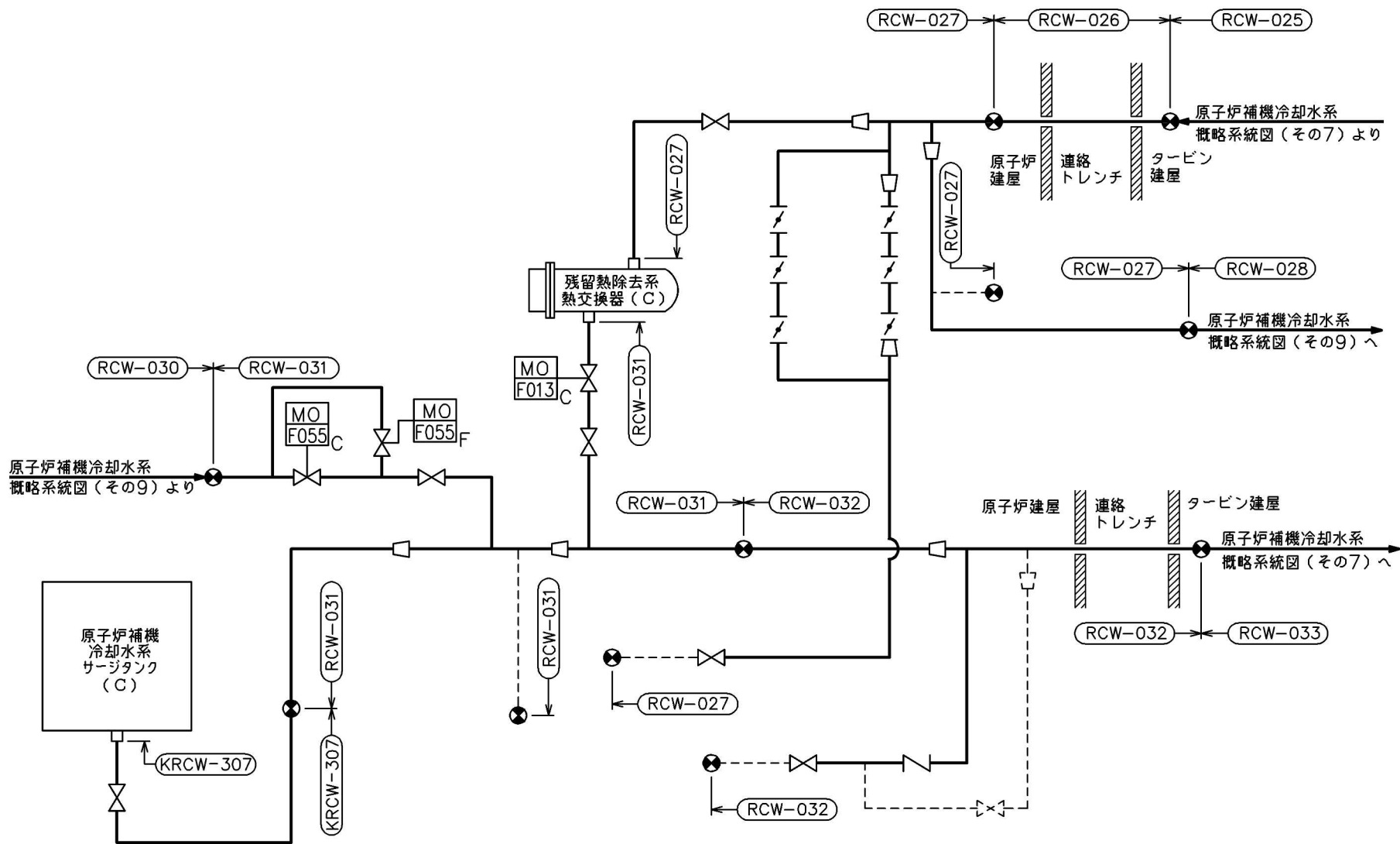
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その5)



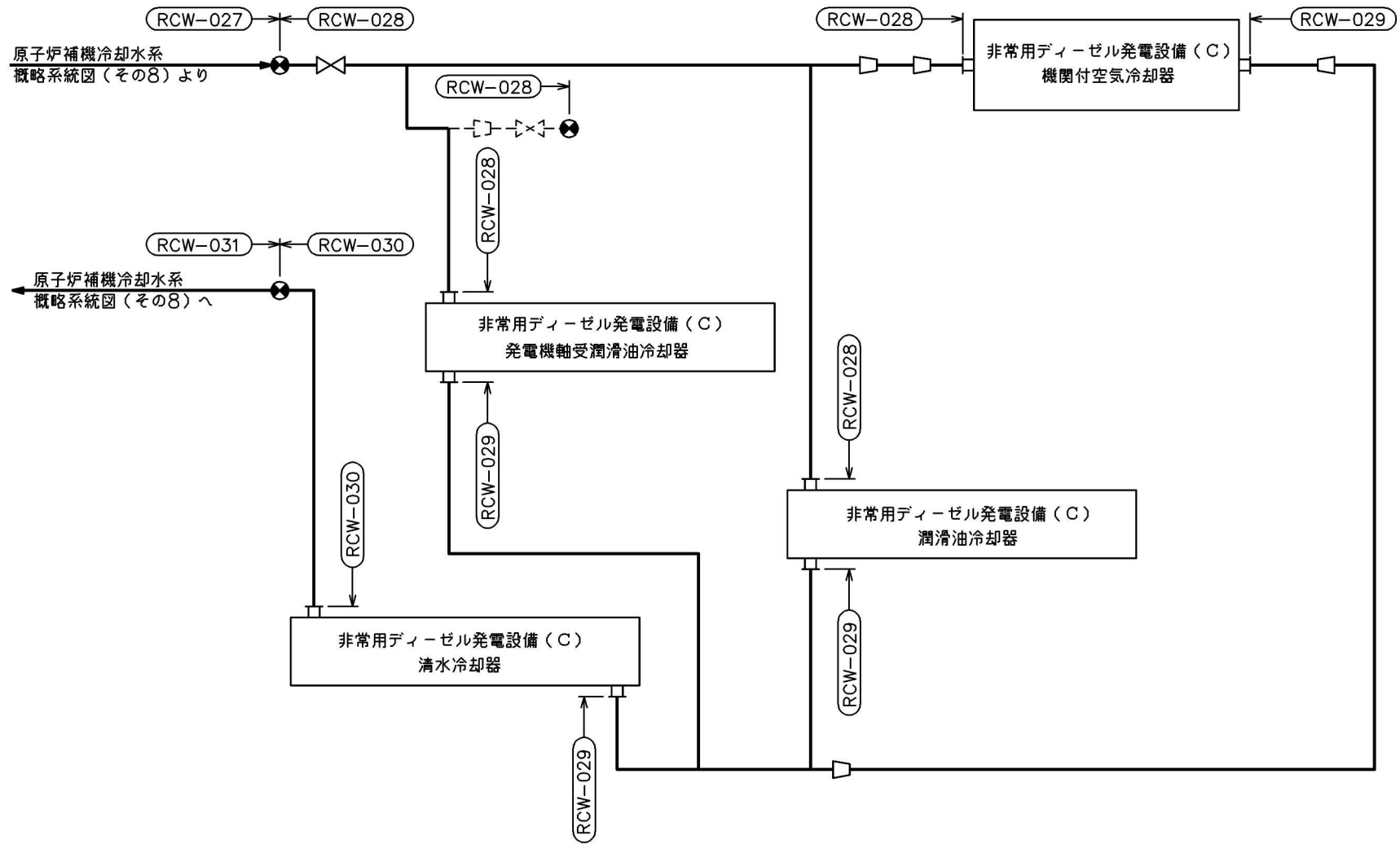
原子炉補機冷却水系概略系統図(その6)



原子炉補機冷却水系概略系統図 (その7)



原子炉補機冷却水系概略系統図 (その8)


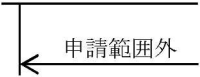
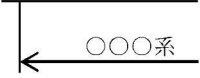


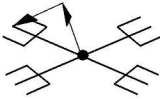
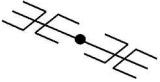

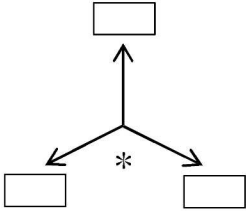


原子炉補機冷却水系概略系統図(その9)

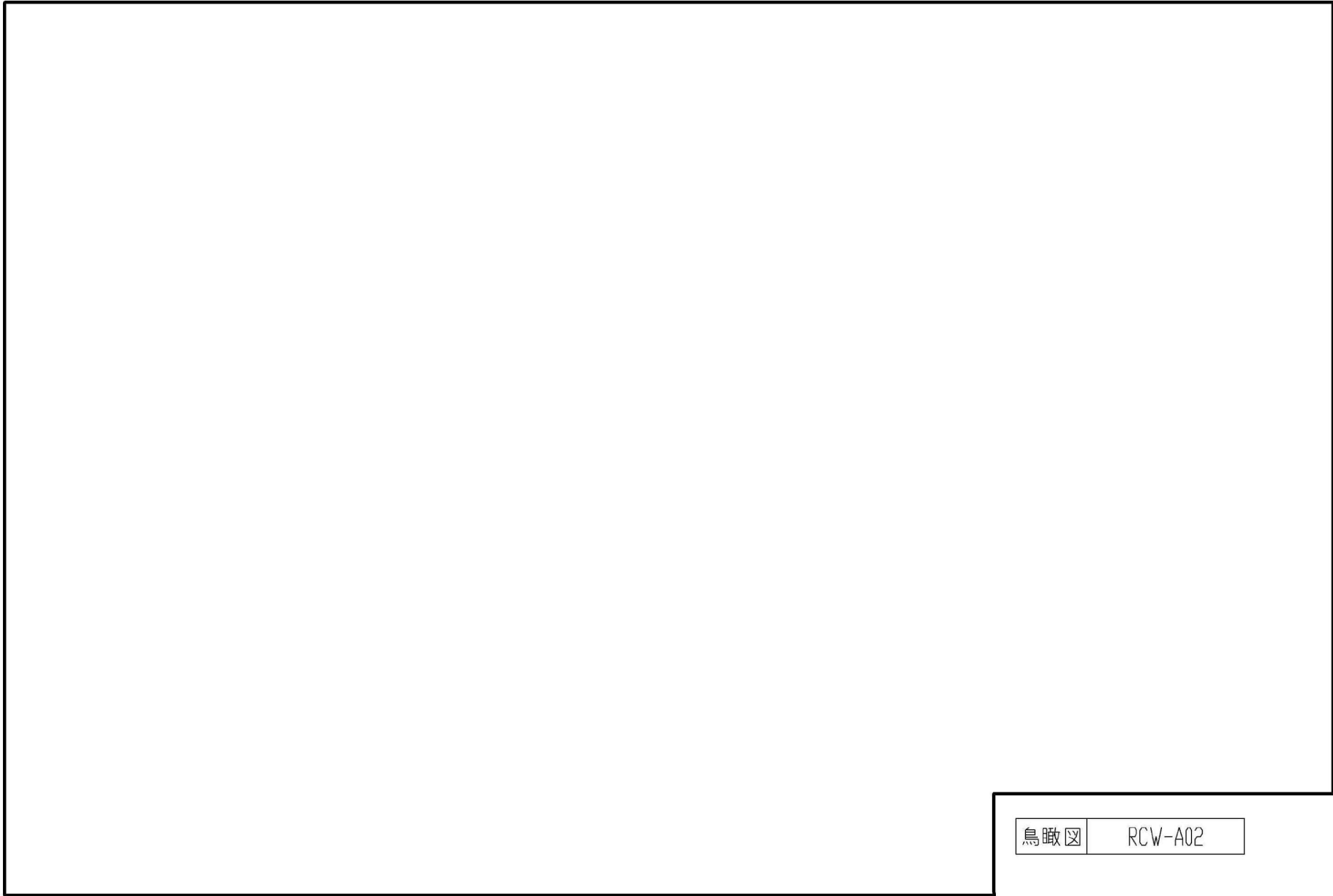


2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (設) R0

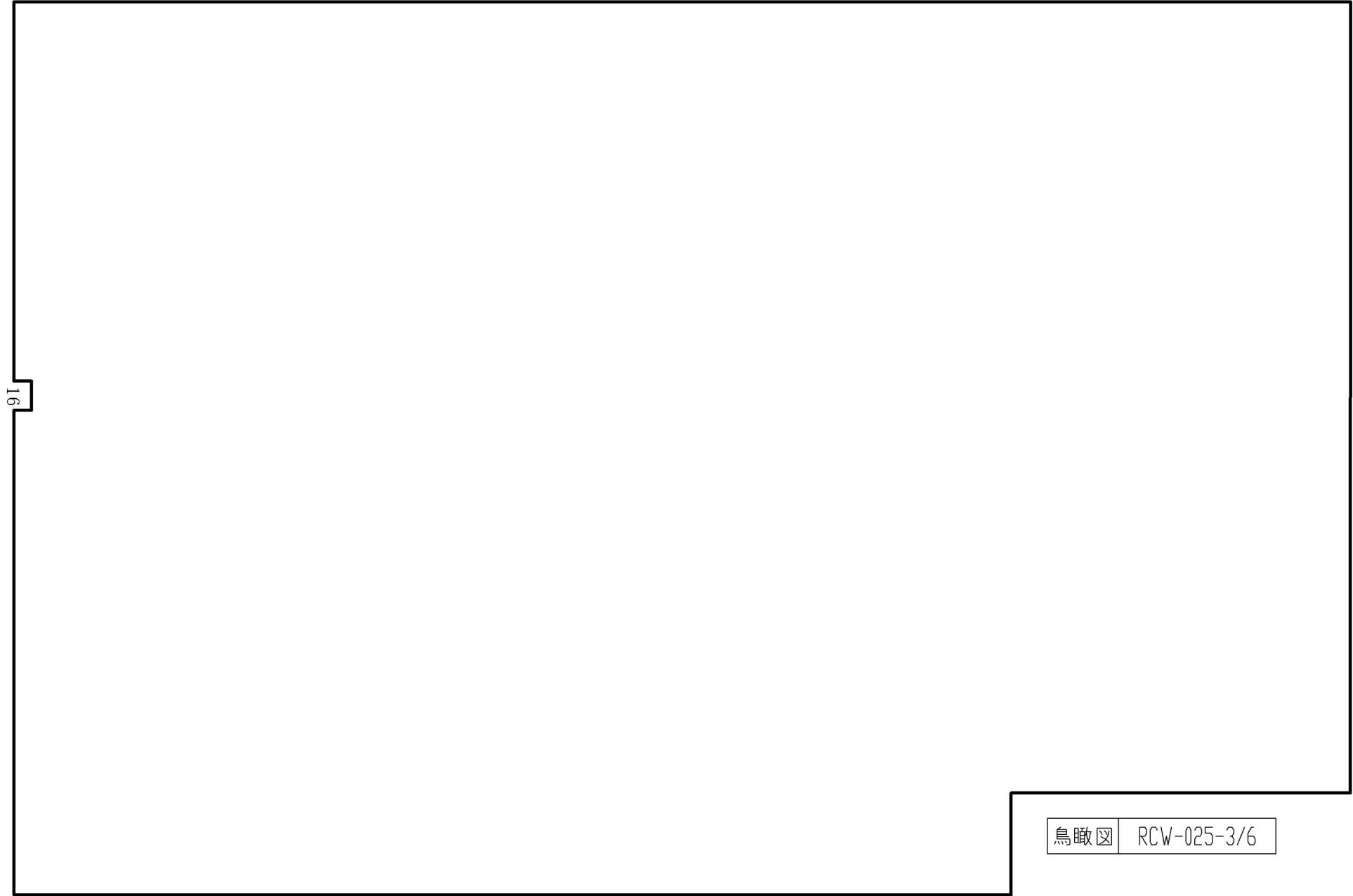


鳥瞰図	RCW-A02
-----	---------

14

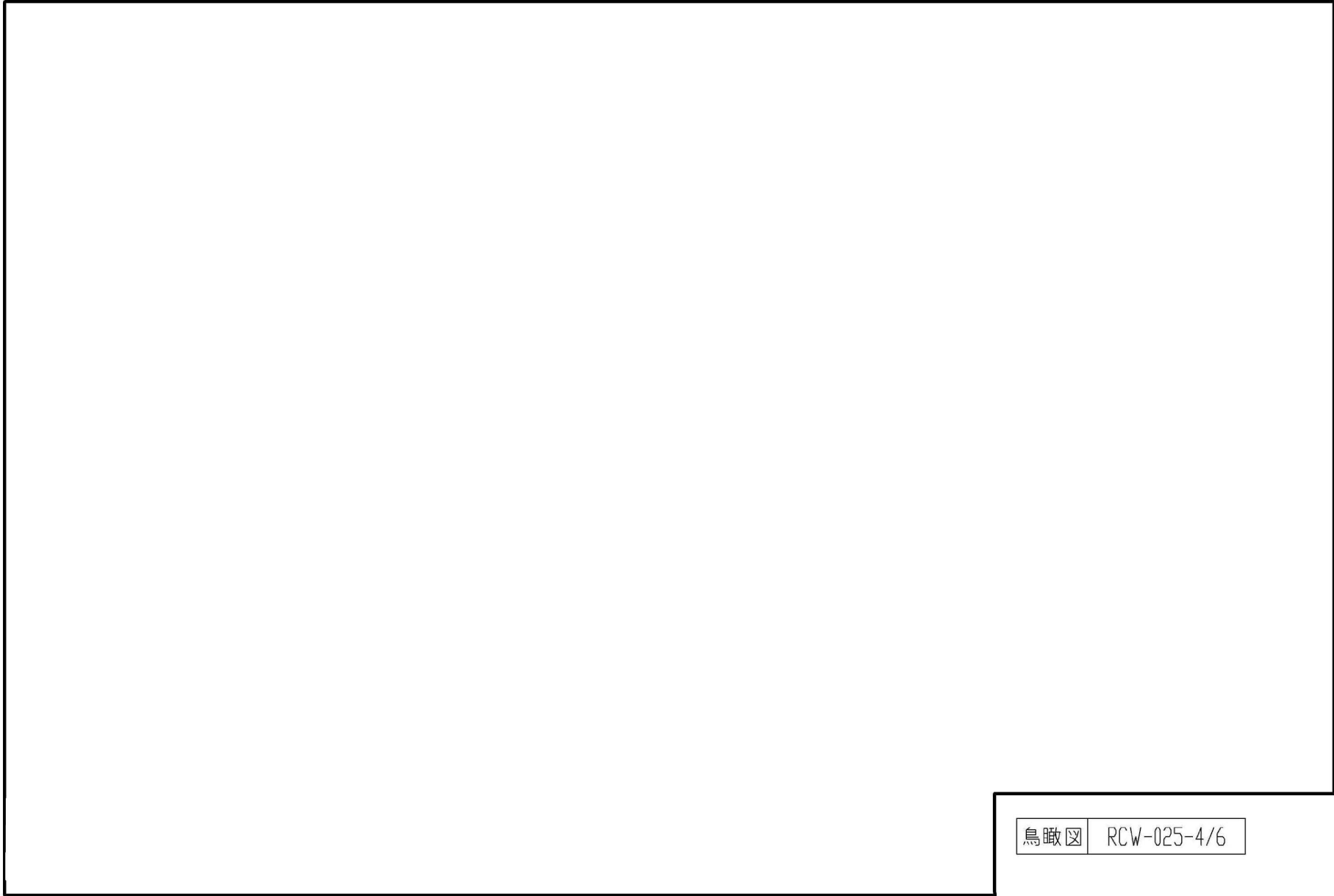
15

鳥瞰図 RCW-025-2/6



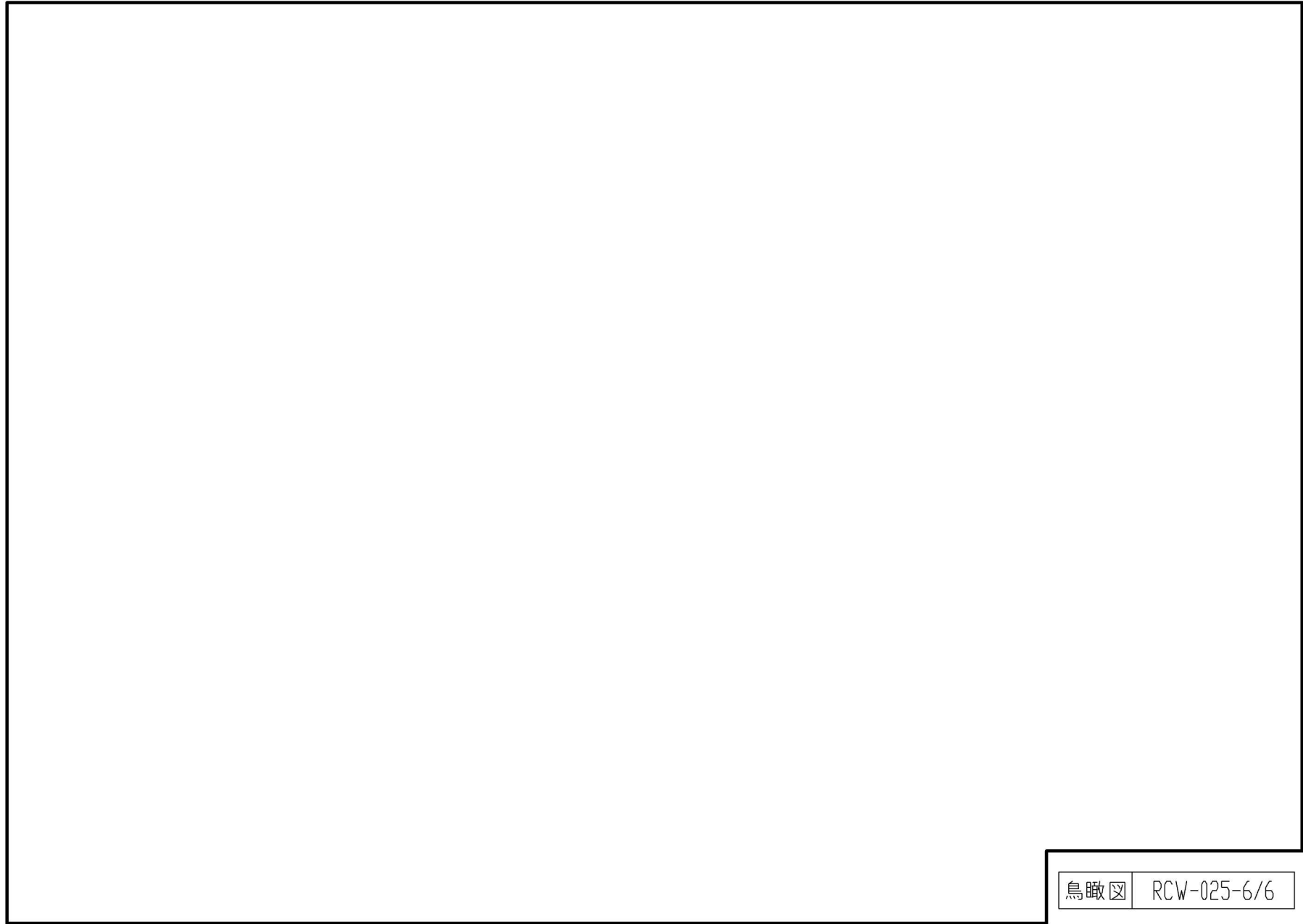
16

鳥瞰図	RCW-025-3/6
-----	-------------



鳥瞰図 RCW-025-4/6

18





### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」及び「S O L V E R」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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, 3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却水系	DB	—	クラス3管	S	I <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	III <sub>Δ</sub> S
							II <sub>L</sub> +S <sub>d</sub>	
							IV <sub>L(L)</sub> +S <sub>d</sub>	
							I <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	IV <sub>Δ</sub> S
							II <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	

21

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対象設備を示す。

\*2：運転状態の添字Lは荷重，(L)は荷重が長期間作用している状態を示す。

\*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し, 管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            R C W - A 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	70	609.6	9.5	SM400C	S	200200
2	1.37	70	609.6	17.5	SM400C	S	200200

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図            R C W - A 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	510	512	801	901	902	903	905	
2	21	22	510	511	512										

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図            RCW-A02

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		7		13		19		512	
2		8		14		20		801	
3		9		15		21		901	
4		10		16		22		902	
5		11		17		510		903	
6		12		18		511		905	

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            RCW-A02

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
9						
12						
19						
901						
903						
905						

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C W - 0 2 5

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	70	406.4	9.5	SM400C	S	200200
2	1.37	70	558.8	9.5	SM400C	S	200200

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図            R C W - 0 2 5

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	15	23	24	
	25	27	28	29	30	31	32	33	34	36	37	38	39	41	42	
	43	44	65	66	67	69	70	71	72	79	80	81	82	83	84	
	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	148	149	
	150	151	152	153	155	156	157	158	159	160	200	203	204	211	212	
2	236															
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	44	64	65	78	97	98	
	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	
	114	115	117	118	119	121	122	124	125	126	127	128	129	130	131	
	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	201	202	205	210	213	
	220	221	222	223	227	228	229	230	231	232	233	250	801	811	812	
	813	814														

K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (設) R0



配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 RCW-025

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		38		96		130		203	
2		42		97		131		204	
3		43		98		132		205	
7		44		99		133		210	
8		64		100		134		211	
12		65		101		135		212	
13		66		102		136		213	
14		70		103		137		220	
15		71		104		138		221	
16		72		105		139		222	
17		78		106		140		223	
18		79		107		141		227	
19		80		108		148		228	
20		81		109		149		229	
21		82		110		150		230	
22		83		111		151		231	
23		87		112		152		232	
24		88		113		156		233	
28		89		114		157		236	
29		90		118		158		250	
30		91		125		159		801	
31		92		126		160		811	
32		93		127		200		812	
33		94		128		201		813	
37		95		129		202		814	

K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (設) R0

鳥 瞰 図 RCW-025

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4		34		9		39		25	
5		35		10		40		26	
6		36		11		41		27	

弁 6		弁 7		弁 8		弁 9		弁 10	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
67		115		122		119		153	
68		116		123		120		154	
69		117		124		121		155	
						165		163	
						166		164	
						167			
						168			

弁 11

評価点	質量(kg)
84	
85	
86	
161	
162	

鳥 瞰 図            R C W - 0 2 5

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1	5			
弁2	35			
弁3	10			
弁4	40			
弁5	26			
弁6	68			
弁7	116			
弁8	123			
弁9	120			
弁10	154			
弁11	85			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            RCW-025

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
7						
** 14 **						
** 21 **						
30						
31						
37						
72						
79						
87						
** 94 **						
** 96 **						
103						
106						
108						
111						
118						
125						
** 130 **						
138						
141						
148						
156						

K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (設) R0

### 3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		$S_m$	$S_y$	$S_u$	$S_h$
SM400C* <sup>1</sup>	70	—	233	383	—
SM400C* <sup>2</sup>	70	—	223	383	—

注記\*1：厚さ $\leq 16\text{mm}$

\*2： $16\text{mm} < \text{厚さ} \leq 40\text{mm}$

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを  
用いる。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。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
RCW-A02	原子炉建屋		
	タービン建屋		
RCW-025	タービン建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C W - A 0 2

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
11 次								
12 次								
動的震度*2								
静的震度*3								

注記\*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。  
 \*2：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。  
 \*3： $3.6C_I$  及び  $1.2C_V$  より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図      R C W - A 0 2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
11 次				

注記\*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。



## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

代表的振動モード図(2次)

38

点検図 RCW-A02

代表的振動モード図(3次)

39

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C W - 0 2 5

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
34 次							
35 次							
動的震度*2							
静的震度*3							

注記\*1：各モードの固有周期に対し、設計用床応答曲線より得られる震度を示す。  
 \*2：S d 又は S s 地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。  
 \*3： $3.6C_I$  及び  $1.2C_V$  より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C W - 0 2 5

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
34 次				

注記\*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

43

点検図 RCW-025



代表的振動モード図(2次)

44

代表的振動モード図(3次)

45

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_d)$ $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $S_y$ $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
RCW-A02	Ⅲ <sub>A</sub> S	7	$S_{pr m}(S_d)$	81	233	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	7	$S_{pr m}(S_s)$	111	344	—	—	—
	Ⅳ <sub>A</sub> S	22	$S_n(S_s)$	—	—	689	446	0.5613

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_d)$ $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $S_y$ $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
RCW-025	III <sub>A</sub> S	64	$S_{pr m}(S_d)$	138	233	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	64	$S_{pr m}(S_s)$	249	344	—	—	—
	IV <sub>A</sub> S	64	$S_n(S_s)$	—	—	447	466	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCW-001-118BB	ロッドレストレイント	RST-6	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		297	425

48

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RCW-023-034R	レストレイント	ラグ	SGV410	70	189	83	785	—	—	—	せん断	78	121
RCW-001-137A	アンカ	ラグ	SGV410	70	655	53	50	36	83	75	組合せ	122	252

## 4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度* ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
P21-F004A	止め弁	$\beta$ (Ss)	4.3	2.0	6.0	6.0	—	—
P21-F006B	制御弁	$\beta$ (Ss)	4.5	1.2	6.0	6.0	—	—
P21-F006C	制御弁	$\beta$ (Ss)	5.5	1.0	6.0	6.0	—	—
P21-F013B	止め弁	$\beta$ (Ss)	3.9	1.8	6.0	6.0	—	—

注記\* : 機能維持評価用加速度は、打ち切り振動数を 30Hz として計算した結果を示す。

## 4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 III <sub>A</sub> S					許容応力状態 IV <sub>A</sub> S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	RCW-001	121	120	233	1.94	—	121	176	344	1.95	—	180	359	466	1.29	—	—	—	—
2	RCW-002	42	70	233	3.32	—	42	113	344	3.04	—	23	233	466	2.00	—	—	—	—
3	RCW-A02	7	81	233	2.87	—	7	111	344	3.09	—	22	689	446	0.64	○	22	0.5613	○
4	RCW-003	6	60	233	3.88	—	6	115	344	2.99	—	17	232	458	1.97	—	—	—	—
5	RCW-004	14	82	229	2.79	—	14	140	366	2.61	—	14	305	458	1.50	—	—	—	—
6	RCW-005	58	63	229	3.63	—	37	102	366	3.58	—	37	181	458	2.53	—	—	—	—
7	RCW-006	78	36	229	6.36	—	78	52	366	7.03	—	78	145	458	3.15	—	—	—	—
8	RCW-007	39	33	229	6.93	—	39	40	366	9.15	—	66	83	458	5.51	—	—	—	—
9	RCW-008	1	27	229	8.48	—	1	39	366	9.38	—	1	113	458	4.05	—	—	—	—
10	RCW-009	42	104	229	2.20	—	42	179	366	2.04	—	42	330	458	1.38	—	—	—	—
11	RCW-010	6	50	233	4.66	—	6	77	344	4.46	—	6	297	466	1.56	—	—	—	—
12	RCW-011	17	88	233	2.64	—	17	126	344	2.73	—	1	197	466	2.36	—	—	—	—
13	RCW-012	1	40	233	5.82	—	1	46	344	7.47	—	11	94	466	4.95	—	—	—	—

(続き)

No.	配管 モデル	許容応力状態 III <sub>A</sub> S					許容応力状態 IV <sub>A</sub> S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 勞 累 積 係 数	代 表
14	RCW-A12	21	70	233	3.32	—	21	90	344	3.82	—	15	505	446	0.88	—	15	0.3881	—
15	RCW-013	201	97	233	2.40	—	201	163	344	2.11	—	201	334	466	1.39	—	—	—	—
16	RCW-014	100	123	233	1.89	—	100	189	344	1.82	—	97	312	466	1.49	—	—	—	—
17	RCW-015	54	72	233	3.23	—	54	96	344	3.58	—	35	465	466	1.00	—	—	—	—
18	RCW-A15	1	84	233	2.77	—	1	116	344	2.96	—	30	148	466	3.14	—	—	—	—
19	RCW-016	48	71	229	3.22	—	48	129	366	2.83	—	48	280	458	1.63	—	—	—	—
20	RCW-017	10	67	229	3.41	—	10	110	366	3.32	—	10	237	458	1.93	—	—	—	—
21	RCW-018	77	41	229	5.58	—	77	60	366	6.10	—	77	168	458	2.72	—	—	—	—
22	RCW-019	39	26	229	8.80	—	39	31	366	11.80	—	77	92	458	4.97	—	—	—	—
23	RCW-020	1	22	229	10.40	—	1	26	366	14.07	—	23	131	458	3.49	—	—	—	—
24	RCW-021	34	101	233	2.30	—	34	181	344	1.90	—	34	395	466	1.17	—	—	—	—
25	RCW-022	16	96	233	2.42	—	16	163	344	2.11	—	16	313	466	1.48	—	—	—	—
26	RCW-023	50	81	233	2.87	—	50	112	344	3.07	—	27	412	466	1.13	—	—	—	—



(続き)

No.	配管 モデル	許容応力状態 III <sub>A</sub> S					許容応力状態 IV <sub>A</sub> S												
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表
27	RCW-024	501	119	233	1.95	—	501	183	344	1.87	—	501	300	466	1.55	—	—	—	—
28	RCW-025	64	138	233	1.68	○	64	249	344	1.38	○	64	447	466	1.04	—	—	—	—
29	RCW-026	25	99	233	2.35	—	25	153	344	2.24	—	21	385	466	1.21	—	—	—	—
30	RCW-027	1	82	233	2.84	—	1	120	344	2.86	—	7	208	466	2.24	—	—	—	—
31	RCW-028	83	35	229	6.54	—	81	48	366	7.62	—	1	135	458	3.39	—	—	—	—
32	RCW-029	39	30	229	7.63	—	39	38	366	9.63	—	67	91	458	5.03	—	—	—	—
33	RCW-030	25	24	229	9.54	—	25	30	366	12.20	—	36	137	458	3.34	—	—	—	—
34	RCW-031	63	71	233	3.28	—	63	103	344	3.33	—	28	261	466	1.78	—	—	—	—
35	RCW-032	1	97	233	2.40	—	1	146	344	2.35	—	24	417	466	1.11	—	—	—	—
36	RCW-033	1	89	233	2.61	—	1	129	344	2.66	—	16	234	466	1.99	—	—	—	—
37	KRCW-209	9	57	229	4.01	—	9	83	366	4.40	—	9	144	458	3.18	—	—	—	—
38	KRCW-307	39	70	229	3.27	—	39	130	366	2.81	—	39	278	458	1.64	—	—	—	—
39	KRCW-335	13	35	229	6.54	—	13	55	366	6.65	—	13	164	458	2.79	—	—	—	—

注記\* : III<sub>A</sub>Sの一次+二次応力の許容値はIV<sub>A</sub>Sと同様であることから、地震荷重が大きいIV<sub>A</sub>Sの一次+二次応力裕度最小を代表とする。

## 重大事故等対処設備

## 目 次

1.	概要	1
2.	概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1	概略系統図	2
2.2	鳥瞰図	12
3.	計算条件	20
3.1	計算方法	20
3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	21
3.3	設計条件	22
3.4	材料及び許容応力	32
3.5	設計用地震力	33
4.	解析結果及び評価	34
4.1	固有周期及び設計震度	34
4.2	評価結果	46
4.2.1	管の応力評価結果	46
4.2.2	支持構造物評価結果	48
4.2.3	弁の動的機能維持評価結果	49
4.2.4	代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	50

## 1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」(以下「基本方針」という。)に基づき、原子炉補機冷却水系の管、支持構造物及び弁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。

評価結果記載方法は、以下に示すとおりである。

### (1) 管

設計及び工事の計画書に記載される範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全 39 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値/発生値(以下「裕度」という。)が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

### (2) 支持構造物

設計及び工事の計画書に記載される範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

### (3) 弁

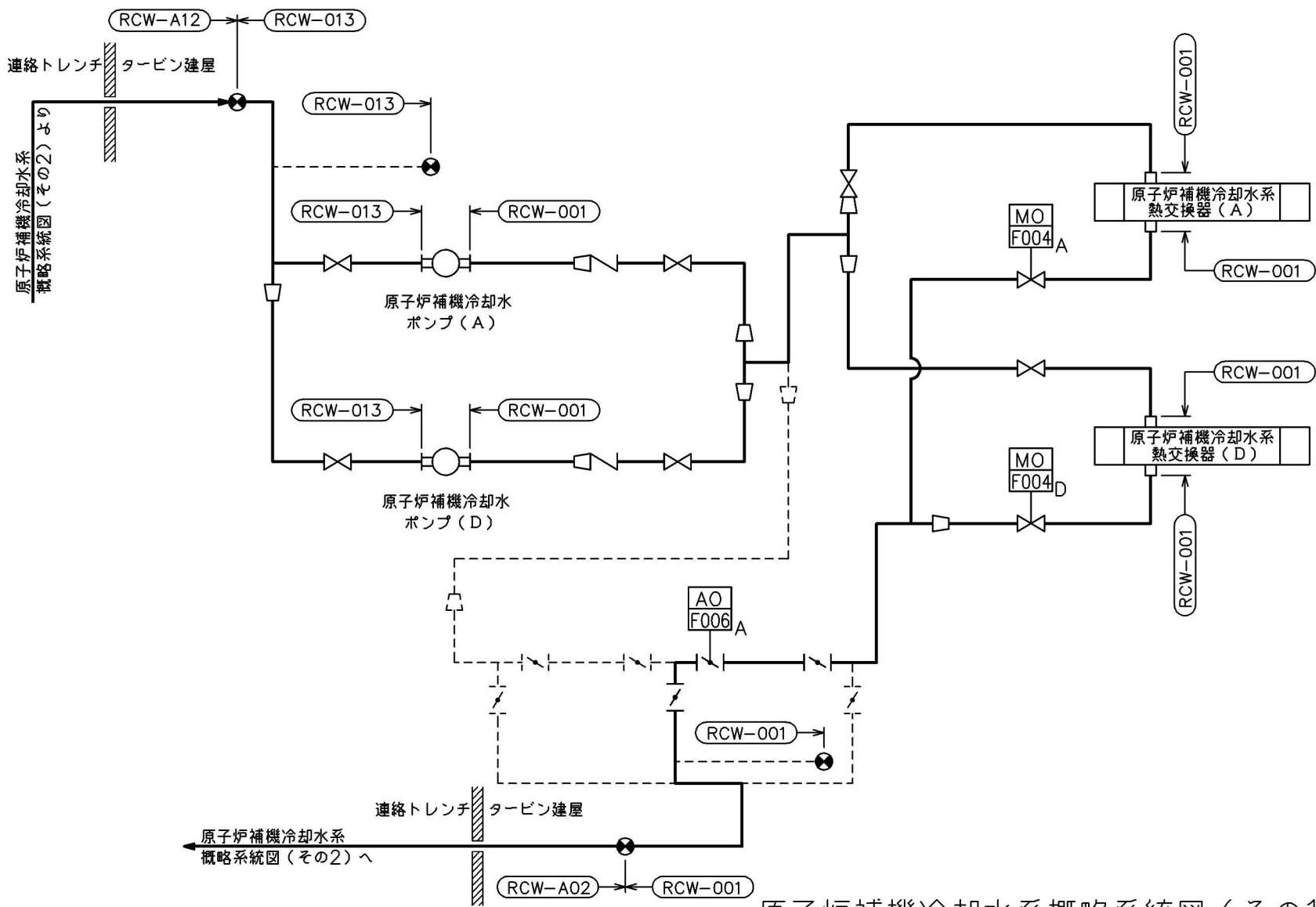
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

## 2. 概略系統図及び鳥瞰図

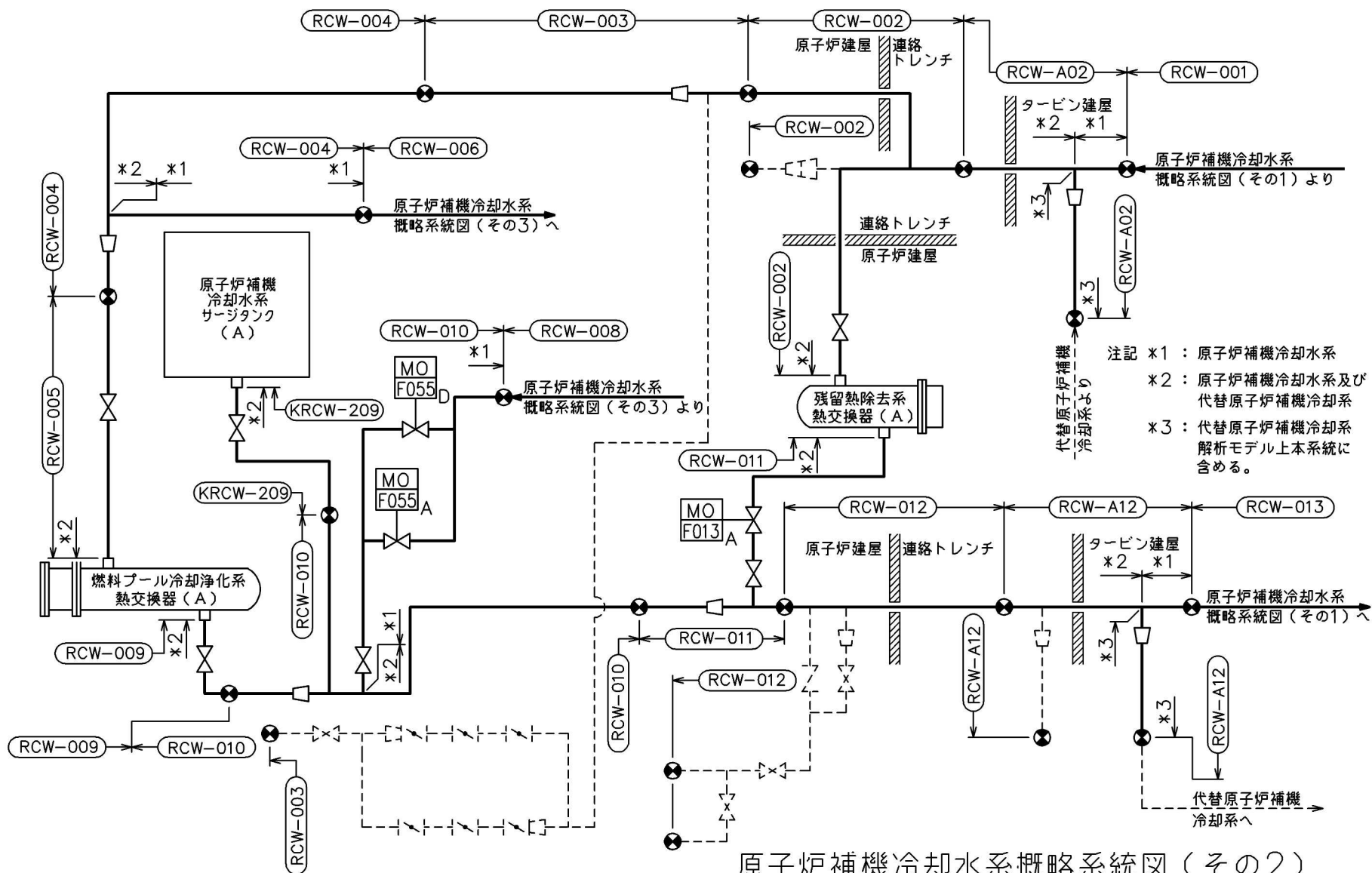
### 2.1 概略系統図

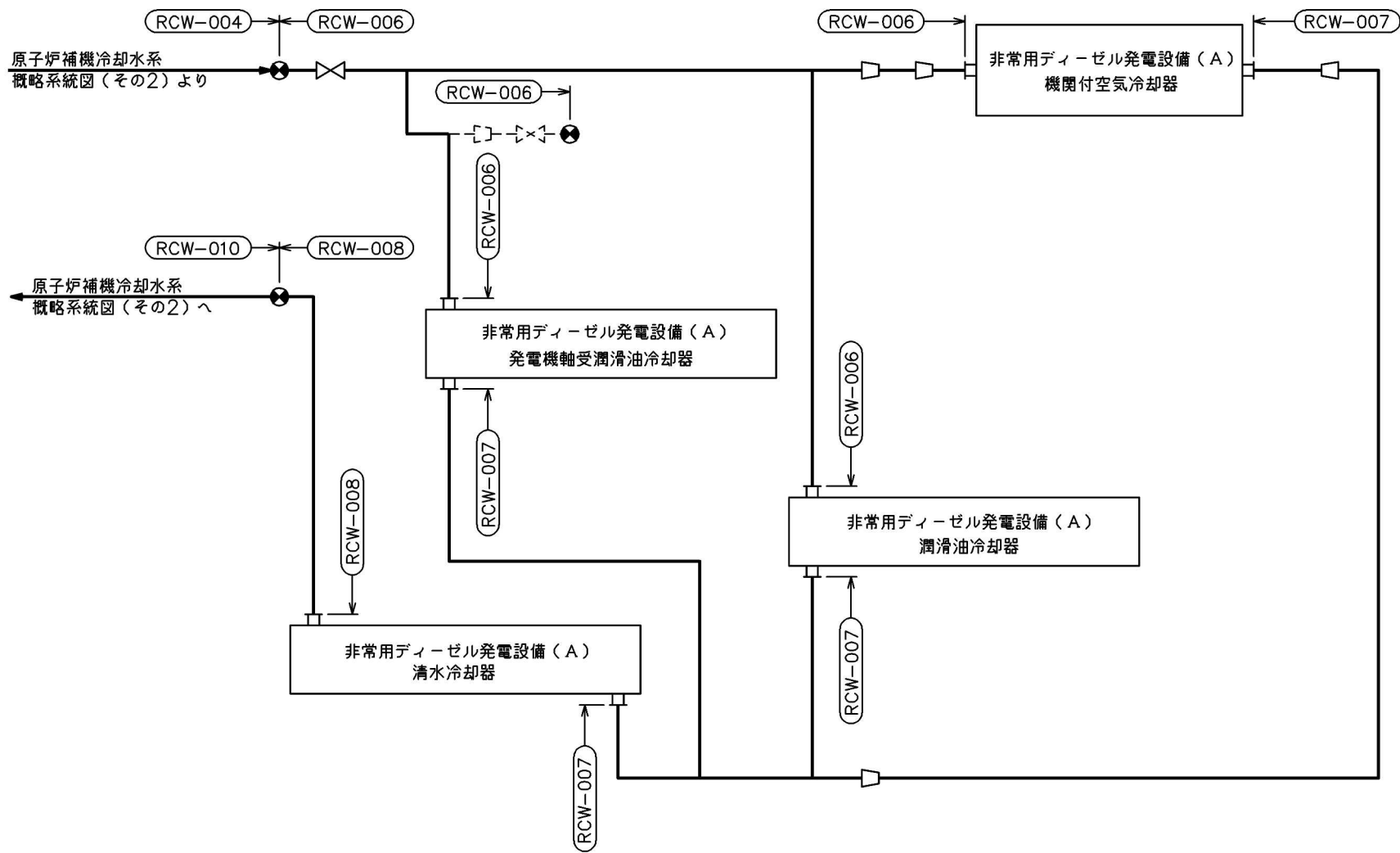
概略系統図記号凡例

記号例	内容
 (太線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
 (細線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	設計及び工事の計画書に記載されている範囲外の管又は設計及び工事の計画書に記載されている範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



原子炉補機冷却水系概略系統図(その1)

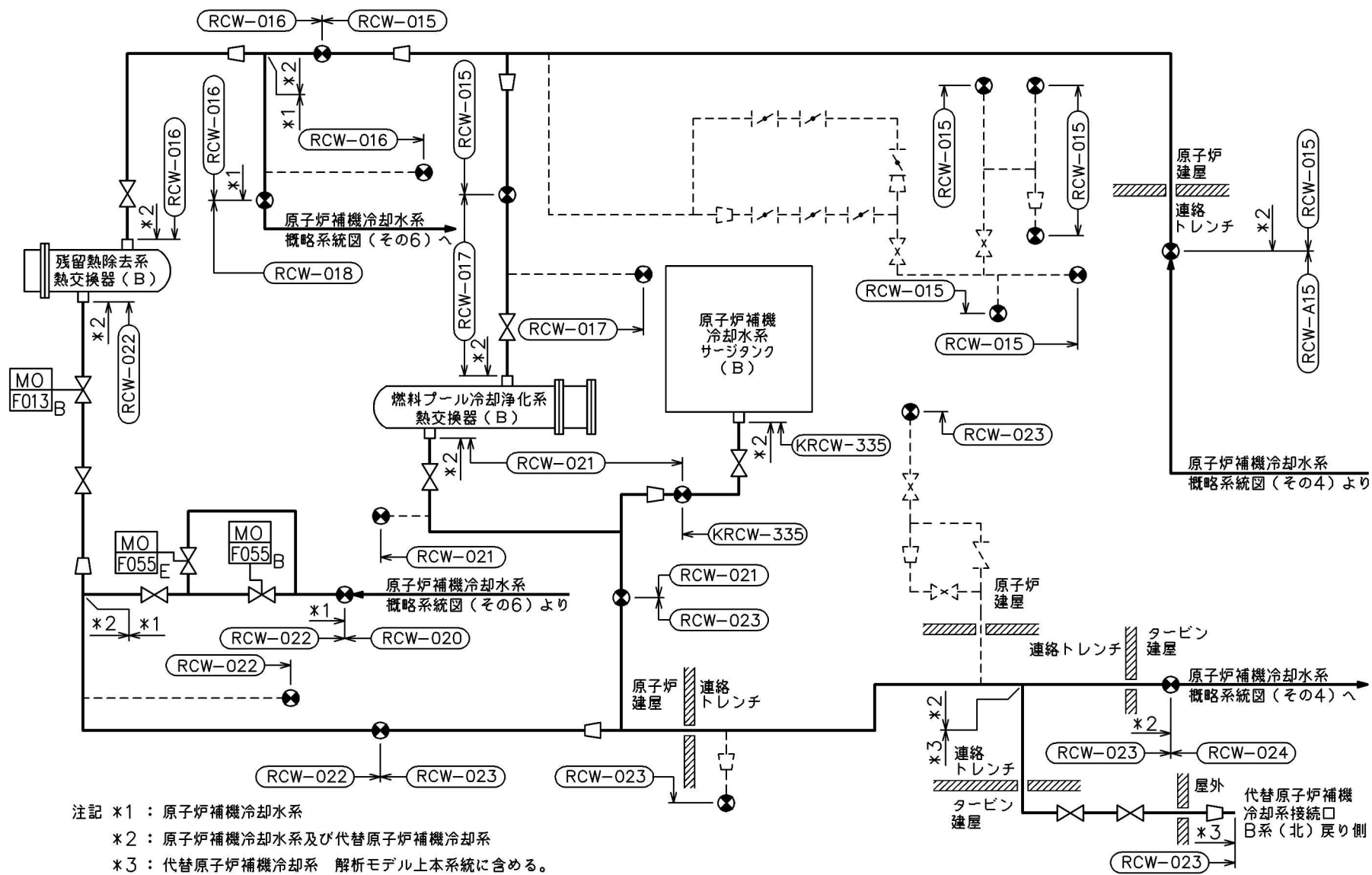




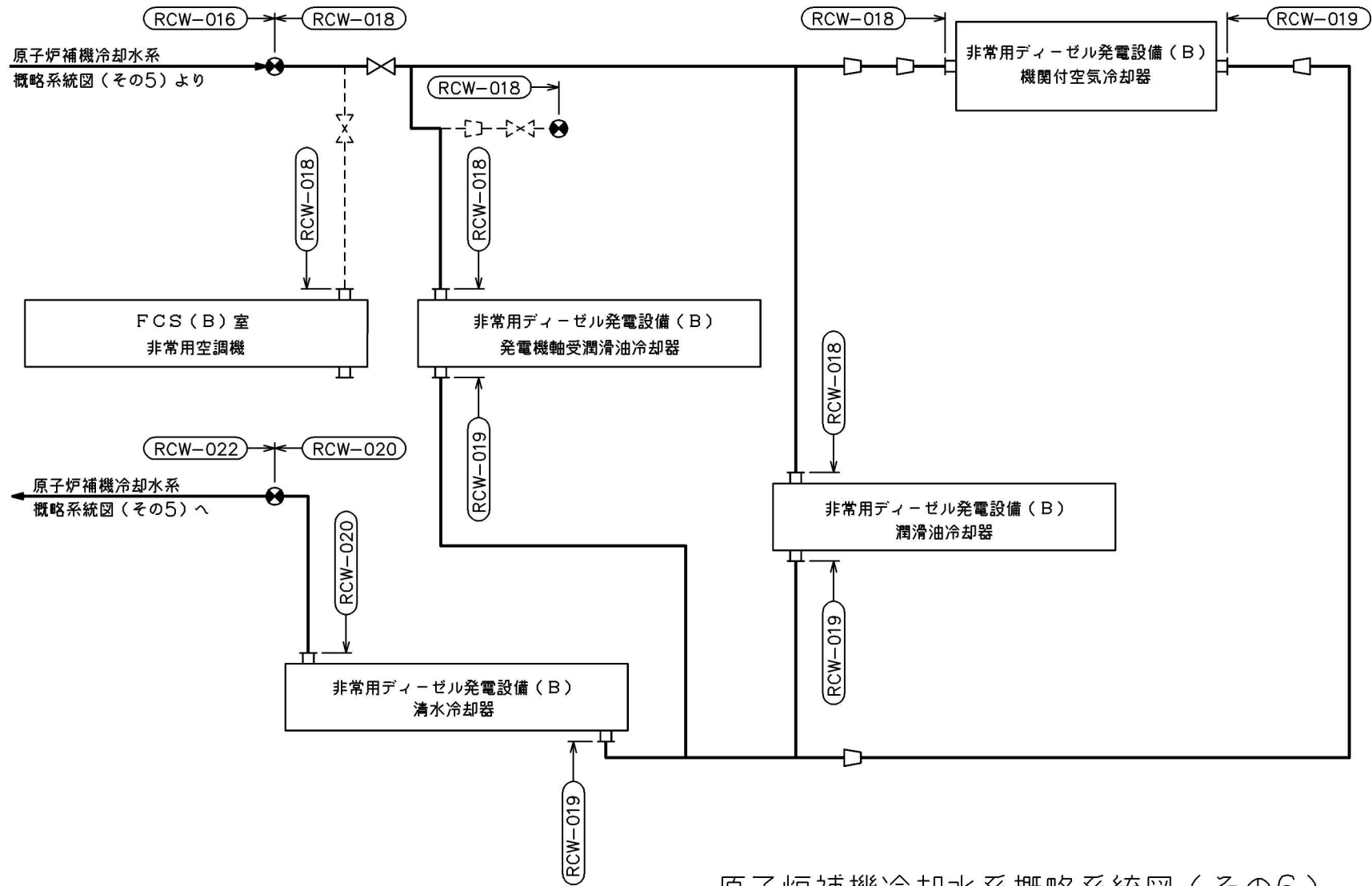
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その3)



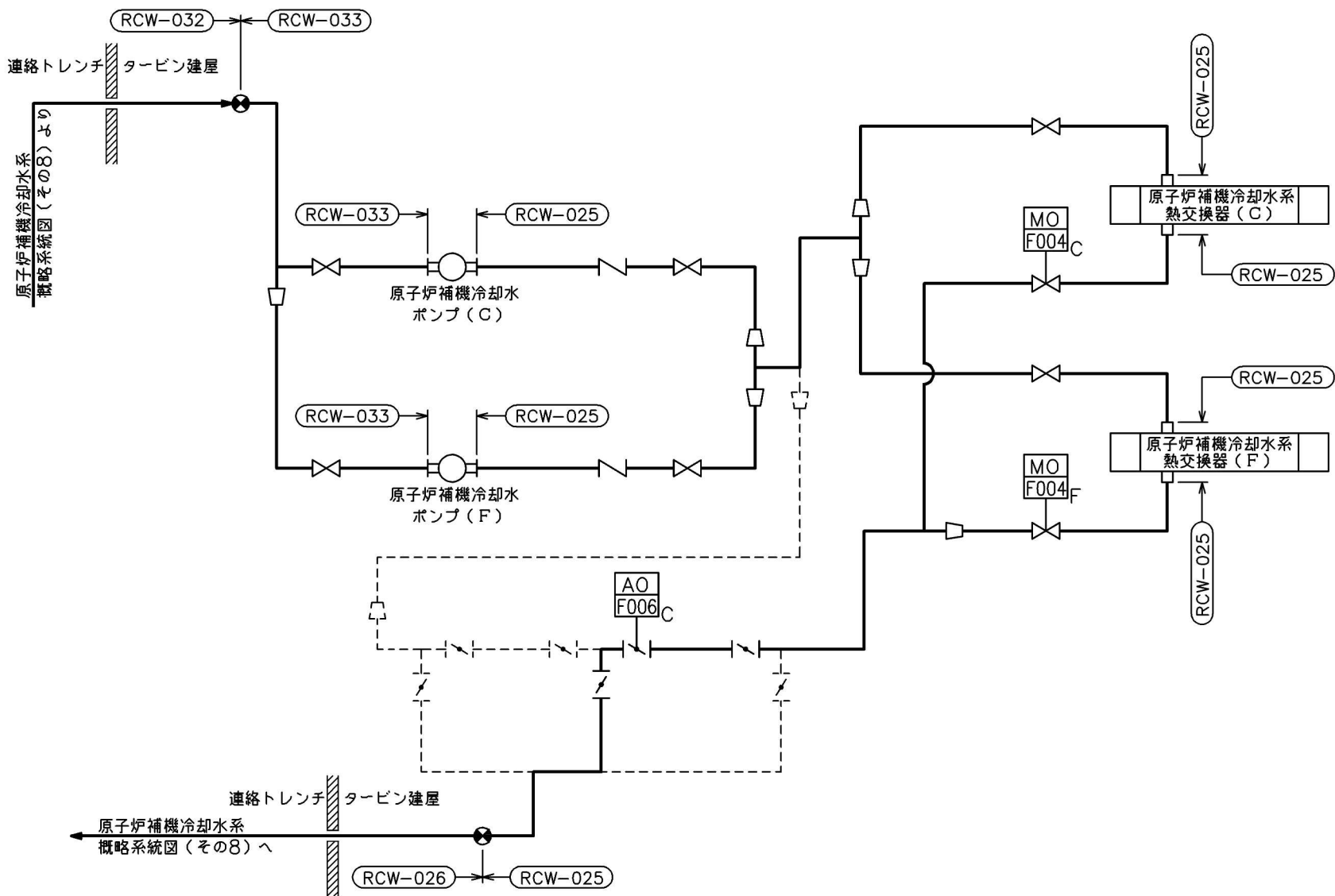




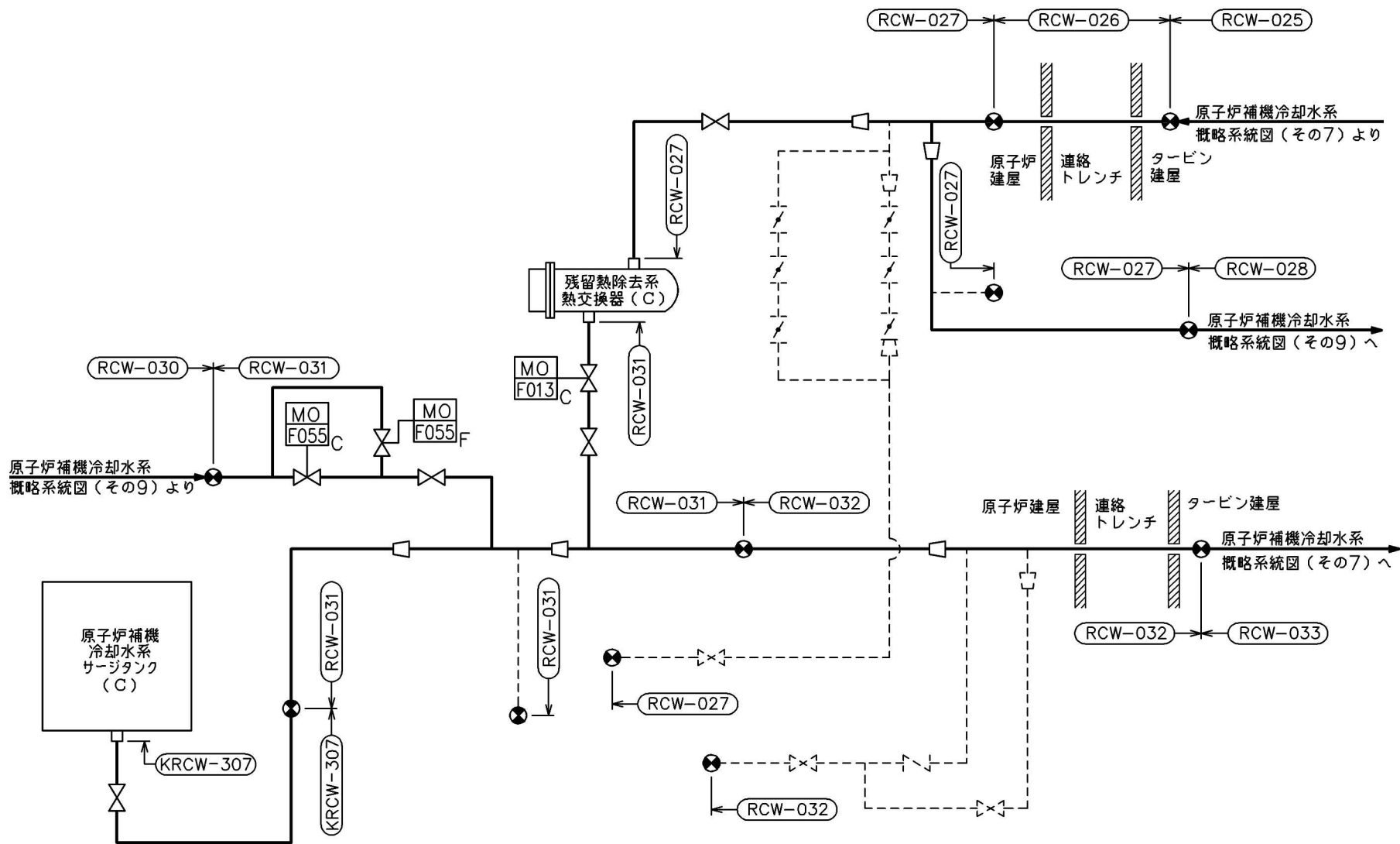
原子炉補機冷却水系概略系統図(その5)



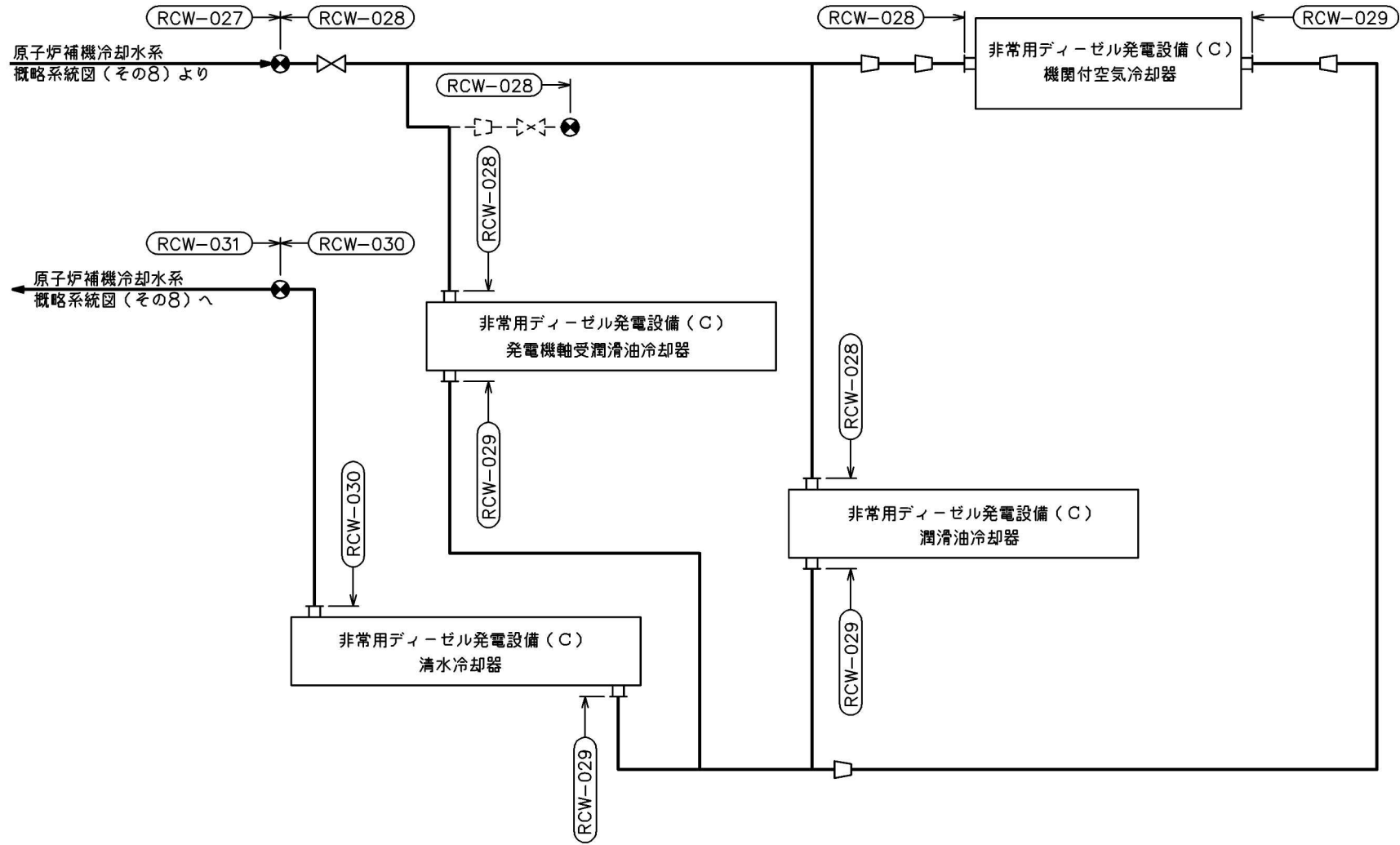
原子炉補機冷却水系概略系統図(その6)



原子炉補機冷却水系概略系統図 (その7)




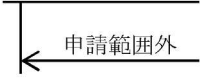
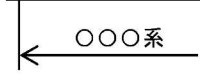


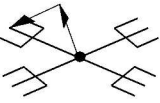
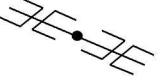

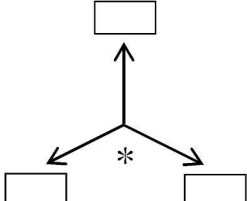
原子炉補機冷却水系概略系統図 (その8)



原子炉補機冷却水系概略系統図 (その9)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号例	内容
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲外の管</p>
	<p>設計及び工事の計画書記載範囲の管のうち、他系統の管であって本系統に記載する管</p>
	<p>質点</p>
	<p>アンカ</p>
	<p>レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)</p>
	<p>スナップ</p>
	<p>ハンガ</p>
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, <input type="text"/> 内に変位量を記載する。)</p>

13

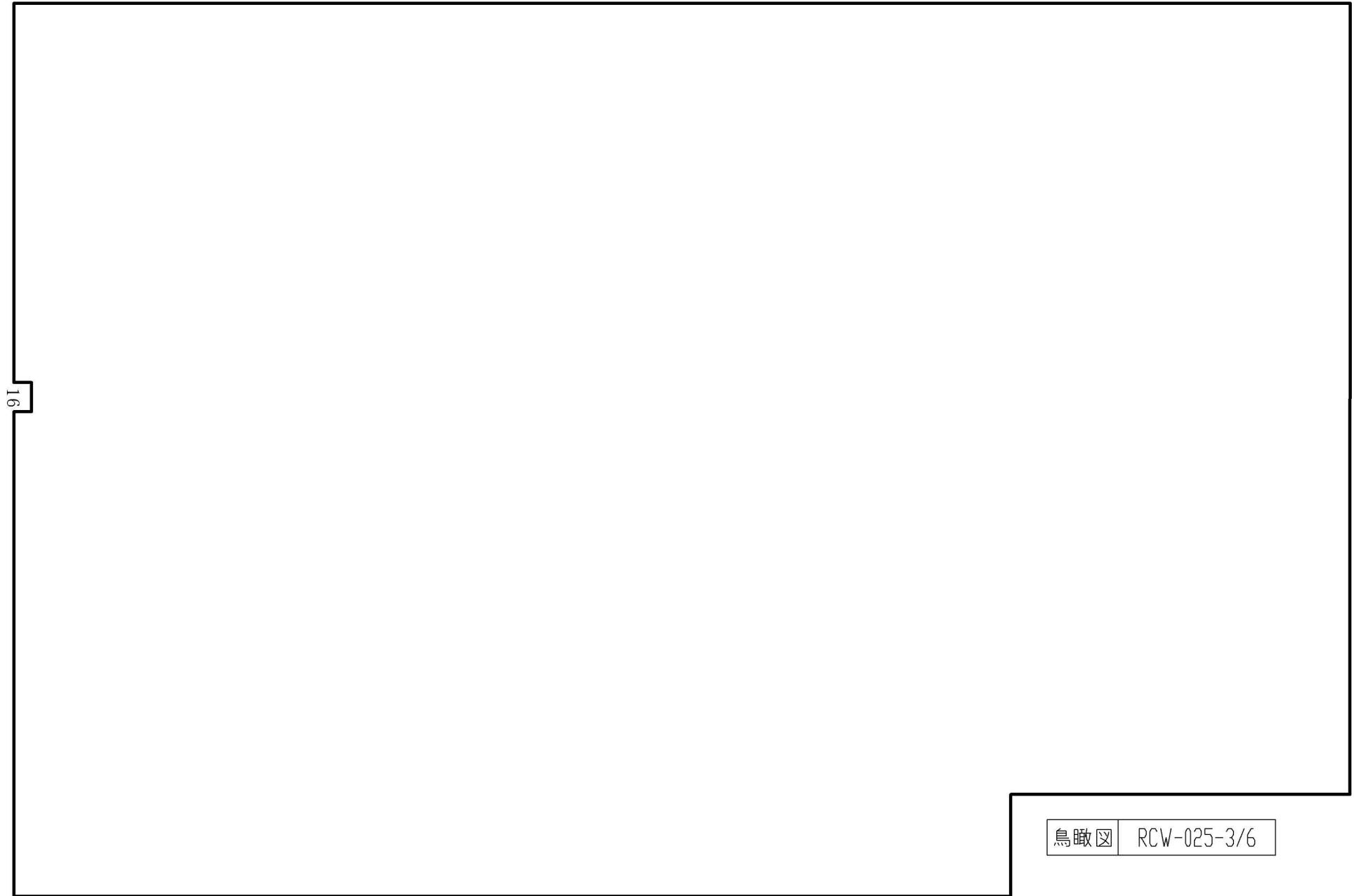
鳥瞰図	RCW-A02
-----	---------



14

15

鳥瞰図 RCW-025-2/6



16

鳥瞰図	RCW-025-3/6
-----	-------------



18



鳥瞰図	RCW-025-6/6
-----	-------------

### 3. 計算条件

#### 3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」及び「S O L V E R」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、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

## 3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*3	許容応力状態*4
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	原子炉補機冷却水系	S A	常設/防止 (DB拡張) 常設/緩和 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	V <sub>A</sub> S
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	代替原子炉補機冷却系	S A	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	—	V <sub>L</sub> +S <sub>s</sub>	V <sub>A</sub> S

21

注記\*1：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対象設備を示す。

\*2：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「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」は常設重大事故緩和設備，「常設/緩和 (DB拡張)」は常設重大事故緩和設備 (設計基準拡張) を示す。

\*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

\*4：許容応力状態V<sub>A</sub>Sは許容応力状態IV<sub>A</sub>Sの許容限界を使用し，許容応力状態IV<sub>A</sub>Sとして評価を実施する。



### 3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C W - A 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	70	609.6	9.5	SM400C	—	200200
2	1.37	70	609.6	17.5	SM400C	—	200200
3	1.37	70	216.3	8.2	STS410	—	200200
4	1.37	70	216.3	12.7	STS410	—	200200
5	1.37	70	318.5	17.4	STS410	—	200200
6	1.37	70	318.5	10.3	SM400C	—	200200

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図            R C W - A 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	510	512	801	901	902	903	905	
2	21	22	510	511	512										
3	496	497	498	499	500	502	503	504	505	506	507	521	522	523	524
	803	804	805	806	906	907	908								
4	507	508													
5	508	509													
6	509	511													

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図            RCW-A02

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		12		496		508		804	
2		13		497		509		805	
3		14		498		510		806	
4		15		499		511		901	
5		16		500		512		902	
6		17		502		521		903	
7		18		503		522		905	
8		19		504		523		906	
9		20		505		524		907	
10		21		506		801		908	
11		22		507		803			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            RCW-A02

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
9						
12						
19						
901						
903						
905						
906						
907						
908						

K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (重) R0

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管名称で区分し、管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図            R C W - 0 2 5

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1.37	70	406.4	9.5	SM400C	—	200200
2	1.37	70	558.8	9.5	SM400C	—	200200

管名称と対応する評価点  
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図            R C W - 0 2 5

管名称	対 応 す る 評 価 点															
1	1	2	3	4	6	7	8	9	11	12	13	14	15	23	24	
	25	27	28	29	30	31	32	33	34	36	37	38	39	41	42	
	43	44	65	66	67	69	70	71	72	79	80	81	82	83	84	
	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	148	149	
	150	151	152	153	155	156	157	158	159	160	200	203	204	211	212	
2	236															
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	44	64	65	78	97	98	
	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	
	114	115	117	118	119	121	122	124	125	126	127	128	129	130	131	
	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	201	202	205	210	213	
	220	221	222	223	227	228	229	230	231	232	233	250	801	811	812	
	813	814														

K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (重) R0

配管の質量（配管の付加質量及びフランジの質量を含む）

鳥 瞰 図 RCW-025

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		38		96		130		203	
2		42		97		131		204	
3		43		98		132		205	
7		44		99		133		210	
8		64		100		134		211	
12		65		101		135		212	
13		66		102		136		213	
14		70		103		137		220	
15		71		104		138		221	
16		72		105		139		222	
17		78		106		140		223	
18		79		107		141		227	
19		80		108		148		228	
20		81		109		149		229	
21		82		110		150		230	
22		83		111		151		231	
23		87		112		152		232	
24		88		113		156		233	
28		89		114		157		236	
29		90		118		158		250	
30		91		125		159		801	
31		92		126		160		811	
32		93		127		200		812	
33		94		128		201		813	
37		95		129		202		814	

K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (重) R0

鳥 瞰 図 RCW-025

弁部の質量を下表に示す。

弁 1		弁 2		弁 3		弁 4		弁 5	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
4		34		9		39		25	
5		35		10		40		26	
6		36		11		41		27	

弁 6		弁 7		弁 8		弁 9		弁 10	
評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
67		115		122		119		153	
68		116		123		120		154	
69		117		124		121		155	
						165		163	
						166		164	
						167			
						168			

弁 11

評価点	質量(kg)
84	
85	
86	
161	
162	



鳥 瞰 図            R C W - 0 2 5

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1				
弁2				
弁3				
弁4				
弁5				
弁6				
弁7				
弁8				
弁9				
弁10				
弁11				

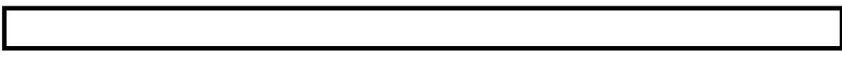
K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (重) R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図            RCW-025

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
7						
** 14 **						
** 21 **						
30						
31						
37						
72						
79						
87						
** 94 **						
** 96 **						
103						
106						
108						
111						
118						
125						
** 130 **						
138						
141						
148						
156						



K6 ① VI-2-5-6-1-6(1) (重) R0

### 3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S <sub>m</sub>	S <sub>y</sub>	S <sub>u</sub>	S <sub>h</sub>
SM400C* <sup>1</sup>	70	—	233	383	—
SM400C* <sup>2</sup>	70	—	223	383	—
STS410	70	—	229	407	—

注記\*1：厚さ≤16mm

\*2：16mm<厚さ≤40mm

### 3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答曲線を下表に示す。

なお、設計用床応答曲線はVI-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものを  
用いる。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。

鳥瞰図	建屋・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)
RCW-A02	原子炉建屋		
	タービン建屋		
RCW-025	タービン建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 R C W - A 0 2

適用する地震動等		S s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度 <sup>*1</sup>		応答鉛直震度 <sup>*1</sup>	
		X方向	Z方向	Y方向	
1 次					
2 次					
3 次					
4 次					
5 次					
6 次					
7 次					
8 次					
11 次					
12 次					
動的震度 <sup>*2</sup>					

注記\*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

\*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 R C W - A 0 2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
11 次				

注記\*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)



代表的振動モード図(2次)

38

代表的振動モード図(3次)

39

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RCW-025

適用する地震動等		S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
34 次				
35 次				
動的震度*2				

注記\*1：各モードの固有周期に対し，設計用床応答曲線より得られる震度を示す。

\*2：S s地震動に基づく設計用最大応答加速度より定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図      R C W - 0 2 5

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次		[Blank area for data]		
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
34 次				

注記\*：刺激係数は，モード質量を正規化し，固有ベクトルと質量マトリックスの積から算出した値を示す。

## 代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

代表的振動モード図(1次)

43

代表的振動モード図(2次)

44

代表的振動モード図(3次)

45



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
RCW-A02	V <sub>A</sub> S	7	$S_{pr m}(S_s)$	111	344	—	—	—
	V <sub>A</sub> S	22	$S_n(S_s)$	—	—	689	446	0.5613

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{pr m}(S_s)$	許容応力 $0.9 \cdot S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2 \cdot S_y$	疲労累積係数 $U S_s$
RCW-025	$V_A S$	64	$S_{pr m}(S_s)$	249	344	—	—	—
	$V_A S$	64	$S_n(S_s)$	—	—	447	466	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCW-001-118BB	ロッドレストレイント	RST-6	VI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		297	425

48

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>			
RCW-023-034R	レストレイント	ラグ	SGV410	90	190	83	789	—	—	—	せん断	79	117
RCW-001-137A	アンカ	ラグ	SGV410	70	655	53	50	36	83	75	組合せ	122	252

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能	機能維持評価用 加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		機能確認済加速度 ( $\times 9.8\text{m/s}^2$ )		構造強度評価結果 (MPa)	
			水平	鉛直	水平	鉛直	計算応力	許容応力
—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類毎に裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代 表	評価 点	疲労 累積 係数	代 表
1	RCW-001	121	176	344	1.95	—	180	359	466	1.29	—	—	—	—
2	RCW-002	42	113	344	3.04	—	23	233	466	2.00	—	—	—	—
3	RCW-A02	7	111	344	3.09	—	22	689	446	0.64	○	22	0.5613	○
4	RCW-003	6	115	344	2.99	—	17	232	458	1.97	—	—	—	—
5	RCW-004	14	140	366	2.61	—	14	305	458	1.50	—	—	—	—
6	RCW-005	37	102	366	3.58	—	37	181	458	2.53	—	—	—	—
7	RCW-006	78	52	366	7.03	—	78	145	458	3.15	—	—	—	—
8	RCW-007	39	40	366	9.15	—	66	83	458	5.51	—	—	—	—
9	RCW-008	1	39	366	9.38	—	1	113	458	4.05	—	—	—	—
10	RCW-009	42	179	366	2.04	—	42	330	458	1.38	—	—	—	—
11	RCW-010	6	77	344	4.46	—	6	297	466	1.56	—	—	—	—
12	RCW-011	17	126	338	2.68	—	1	197	466	2.36	—	—	—	—
13	RCW-012	1	46	338	7.34	—	11	94	450	4.78	—	—	—	—

(続き)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 勞 累 積 係 数	代 表
14	RCW-A12	21	90	344	3.82	—	15	505	432	0.85	—	15	0.4236	—
15	RCW-013	201	163	344	2.11	—	201	334	466	1.39	—	—	—	—
16	RCW-014	516	237	400	1.68	—	516	448	468	1.04	—	—	—	—
17	RCW-015	54	96	344	3.58	—	35	465	466	1.00	—	—	—	—
18	RCW-A15	602	136	366	2.69	—	602	247	458	1.85	—	—	—	—
19	RCW-016	48	129	366	2.83	—	48	280	458	1.63	—	—	—	—
20	RCW-017	10	110	366	3.32	—	10	237	458	1.93	—	—	—	—
21	RCW-018	77	60	366	6.10	—	77	168	458	2.72	—	—	—	—
22	RCW-019	39	31	366	11.80	—	77	92	458	4.97	—	—	—	—
23	RCW-020	1	26	366	14.07	—	23	131	458	3.49	—	—	—	—
24	RCW-021	34	182	338	1.85	—	34	397	450	1.13	—	—	—	—
25	RCW-022	16	163	338	2.07	—	16	313	450	1.43	—	—	—	—
26	RCW-023	358	116	364	3.13	—	27	412	450	1.09	—	—	—	—

(続き)

No.	配管 モデル	許容応力状態 VAS												
		一次応力					一次+二次応力					疲労評価		
		評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	計 算 応 力 (MPa)	許 容 応 力 (MPa)	裕 度	代 表	評 価 点	疲 勞 累 積 係 数	代 表
27	RCW-024	501	185	394	2.12	—	501	304	456	1.50	—	—	—	—
28	RCW-025	64	249	344	1.38	○	64	447	466	1.04	—	—	—	—
29	RCW-026	25	153	344	2.24	—	21	385	466	1.21	—	—	—	—
30	RCW-027	1	120	344	2.86	—	7	208	466	2.24	—	—	—	—
31	RCW-028	81	48	366	7.62	—	1	135	458	3.39	—	—	—	—
32	RCW-029	39	38	366	9.63	—	67	91	458	5.03	—	—	—	—
33	RCW-030	25	30	366	12.20	—	36	137	458	3.34	—	—	—	—
34	RCW-031	63	103	344	3.33	—	28	261	466	1.78	—	—	—	—
35	RCW-032	1	146	344	2.35	—	24	417	466	1.11	—	—	—	—
36	RCW-033	1	129	344	2.66	—	16	234	466	1.99	—	—	—	—
37	KRCW-209	9	83	366	4.40	—	9	144	458	3.18	—	—	—	—
38	KRCW-307	39	130	366	2.81	—	39	278	458	1.64	—	—	—	—
39	KRCW-335	13	55	366	6.65	—	13	164	458	2.79	—	—	—	—