Ⅴ-2-5-3　残留熱除去設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-3-1　残留熱除去系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-3-1-1　残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 …… 1
2.　一般事項 …… 1
2.1　構造計画 …… 1
3.　固有周期 …… 3
3.1　固有周期の算出 …… 3
4.　構造強度評価 …… 4
4.1　構造強度評価方法 …… 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 4
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 …… 4
4.2.2　許容応力 …… 4
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 …… 4
4.3　計算条件 …… 4
5.　評価結果 …… 10
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 10
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 10

1. 概要

本計算書は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，残留熱除去系熱交換器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

残留熱除去系熱交換器は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備，常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

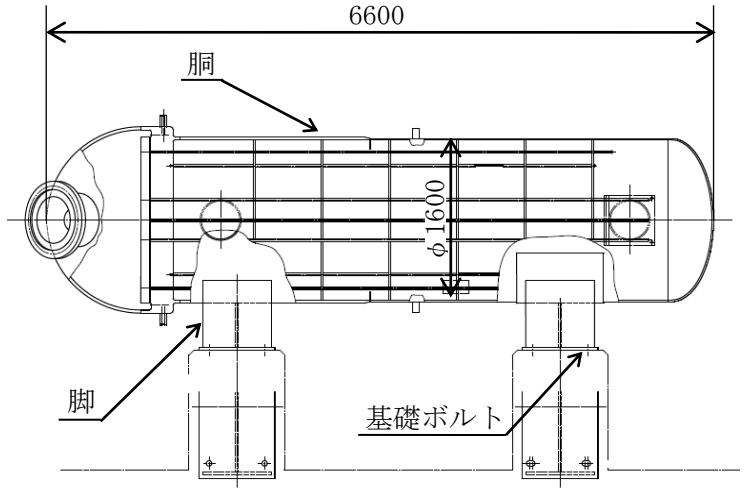
なお，残留熱除去系熱交換器は，V-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の横置一胴円筒形容器であるため，V-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-4　横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴を 2 個の脚で支持し，脚をそれぞれ基礎ボルトで基礎に据え付ける。	水室側及び胴側に，鏡板を有する横置一胴円筒形容器	

（単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の算出

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

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

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

水平	[redacted]
鉛直	[redacted]

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

残留熱除去系熱交換器の構造強度評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-4　横置一胴円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱除去系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－2 に示す。

4.2.2　許容応力

残留熱除去系熱交換器の許容応力は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－3 及び表 4－4 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－6 に示す。

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系熱交換器	S	クラス３容器*（胴側）	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：クラス３容器の支持構造物を含む。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系熱交換器	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等*2クラス２容器	D＋P_D＋M_D＋S s *3	ⅣAS
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S s	VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系熱交換器	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等*2クラス２容器	D＋P_D＋M_D＋S s *3	ⅣAS
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S s	VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）

（続き）

原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備 格納容器スプレイ冷却系	残留熱除去系熱交換器	常設／防止（ＤＢ拡張） 常設／緩和（ＤＢ拡張）	重大事故等*2 クラス２容器	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備 サプレッションチェンバプール水冷却系	残留熱除去系熱交換器	常設／防止（ＤＢ拡張） 常設／緩和（ＤＢ拡張）	重大事故等*2 クラス２容器	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備 代替循環冷却系	残留熱除去系熱交換器	常設／緩和	重大事故等*2 クラス２容器	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（ＤＢ拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２容器の支持構造物を含む。

＊3：「Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ」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
ⅢAS	Syと0.6・Su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Sｄ又は基準地震動Ｓｓ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・Sy以下であれば，疲労解析は不要。	
ⅣAS	0.6・Su	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Ｓｓ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・Sy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
ⅢAS	1.5・ft	1.5・ft	1.5・fs
ⅣAS	1.5・ft*	1.5・ft*	1.5・fs*
VAS （VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）			

注記＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4－5　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（℃）		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SGV480	最高使用温度	70	—	248	453	—
脚	SM400A (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	66	—	225	385	—
基礎ボルト	SS400 (径＞40mm)	周囲環境温度	66	—	206	385	—

表 4－6　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SGV480	最高使用温度	90	—	241	438	—
脚	SM400A (16mm＜厚さ≦40mm)	周囲環境温度	100	—	212	373	—
基礎ボルト	SS400 (径＞40mm)	周囲環境温度	100	—	194	373	—

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系熱交換器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	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			
残留熱除去系熱交換器	S	原子炉建屋 T.M.S.L. -7.0 (T.M.S.L. -8.2*)			C_H＝0.58	C_V＝0.50	C_H＝0.92	C_V＝1.00	1.37	70	66

注記＊：基準床レベルを示す。

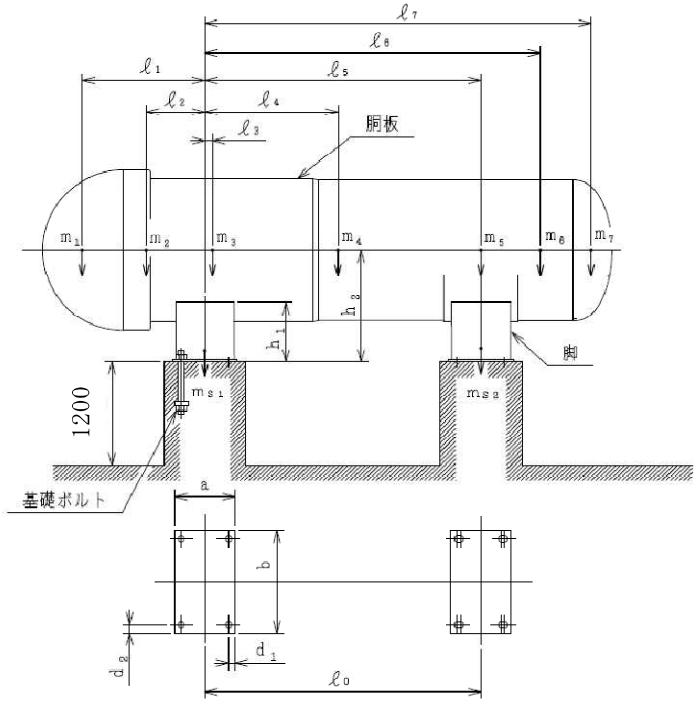
1.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)
−1423	−682	5	1543	3199	3891	4478	9.767×10^{7}	3.017×10^{7}	2.095×10^{5}	9.866×10^{4}

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
			1600	32.0	32.0	3200	740	1300

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
615	340	1.753×10^{10}	1.469×10^{9}	2.850×10^{7}	4.321×10^{6}	2.310	1.217



A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
7.095×10^{1}	200000*1	76900*1	3.433×10^{4}	3.377×10^{4}	2.546×10^{4}	3.017×10^{1}

K_{11}*2	K_{12}*2	K_{21}*2	K_{22}*2	$K_{\ell1}$	$K_{\ell2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell1}$	$C_{\ell2}$	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	750	1300	48 (M48)	1.810×10^{3}	100	150

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*（脚） (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*（基礎ボルト） (MPa)
248*3	453*3	—	225*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	385*1	225	270	206*1 (径＞40mm)	385*1	206	247

注記＊1：周囲環境温度で算出

＊2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

＊3：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—
組合せ応力	$\sigma_{0\ell}=49$		$\sigma_{0c}=48$		$\sigma_{0\ell}=59$		$\sigma_{0c}=59$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力		$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	—	—	—	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=11$	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
運転時質量による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi 71}=9$	$\sigma_{x 71}=9$	$\sigma_{\phi 71}=9$	$\sigma_{x 71}=9$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$
水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{\phi 411}=8$ $\sigma_{\phi 412}=5$	$\sigma_{x 411}=4$ $\sigma_{x 412}=5$	$\sigma_{\phi 51}=11$	$\sigma_{x 51}=31$	$\sigma_{\phi 411}=12$ $\sigma_{\phi 412}=8$	$\sigma_{x 411}=6$ $\sigma_{x 412}=8$	$\sigma_{\phi 51}=18$	$\sigma_{x 51}=49$
		$\sigma_{\phi 41}=12$	$\sigma_{x 41}=9$			$\sigma_{\phi 41}=19$	$\sigma_{x 41}=15$		
	せん断	$\tau_{\ell}=5$		$\tau_{c}=2$		$\tau_{\ell}=7$		$\tau_{c}=3$	
組合せ応力		$\sigma_{1\ell}=86$		$\sigma_{1c}=106$		$\sigma_{1\ell}=99$		$\sigma_{1c}=118$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	—	—	—	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	$\sigma_{x6}=11$	—	$\sigma_{x6}=11$	—	$\sigma_{x6}=21$	—	$\sigma_{x6}=21$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		$\sigma_{\phi71}=9$ $\sigma_{\phi72}=40$	$\sigma_{x71}=9$ $\sigma_{x72}=19$	$\sigma_{\phi71}=9$ $\sigma_{\phi72}=40$	$\sigma_{x71}=9$ $\sigma_{x72}=19$	$\sigma_{\phi71}=18$ $\sigma_{\phi72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$	$\sigma_{\phi71}=18$ $\sigma_{\phi72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$
水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{\phi41}=12$	$\sigma_{x41}=9$	$\sigma_{\phi51}=11$	$\sigma_{x51}=31$	$\sigma_{\phi41}=19$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi51}=18$	$\sigma_{x51}=49$
		$\sigma_{\phi421}=10$ $\sigma_{\phi422}=21$	$\sigma_{x421}=21$ $\sigma_{x422}=10$	$\sigma_{\phi52}=93$	$\sigma_{x52}=41$	$\sigma_{\phi421}=16$ $\sigma_{\phi422}=32$	$\sigma_{x421}=33$ $\sigma_{x422}=15$	$\sigma_{\phi52}=148$	$\sigma_{x52}=65$
		$\sigma_{\phi42}=30$	$\sigma_{x42}=30$			$\sigma_{\phi42}=48$	$\sigma_{x42}=47$		
	せん断	$\tau_{\ell}=5$		$\tau_{c}=2$		$\tau_{\ell}=7$		$\tau_{c}=3$	
組合せ応力		$\sigma_{2\ell}=184$		$\sigma_{2c}=306$		$\sigma_{2\ell}=240$		$\sigma_{2c}=384$	

1.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=2$	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$
水平方向地震による応力	曲げ	$\sigma_{s2}=17$	$\sigma_{s3}=6$	$\sigma_{s2}=27$	$\sigma_{s3}=9$
	せん断	$\tau_{s2}=8$	$\tau_{s3}=5$	$\tau_{s2}=12$	$\tau_{s3}=7$
組合せ応力		$\sigma_{s\ell}=25$	$\sigma_{sc}=13$	$\sigma_{s\ell}=36$	$\sigma_{sc}=17$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張り	$\sigma_{b1}=26$	$\sigma_{b2}=30$	$\sigma_{b1}=54$	$\sigma_{b2}=69$
水平方向地震による応力	せん断	$\tau_{b1}=26$	$\tau_{b2}=18$	$\tau_{b1}=41$	$\tau_{b2}=28$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	T_1=
横方向	T_2=
鉛直方向	T_3=

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV480	一次一般膜	σ_o＝49	S_a＝248	σ_o＝59	S_a＝272
		一次	σ_1＝106	S_a＝373	σ_1＝118	S_a＝408
		一次＋二次	σ_2＝306	S_a＝497	σ_2＝384	S_a＝497
脚	SM400A	組合せ	σ_s＝25	f_t ＝225	σ_s＝36	f_t ＝270
基礎ボルト	SS400	引張り	σ_b＝30	f_{ts}＝154*	σ_b＝69	f_{ts}＝185*
		せん断	τ_b＝26	f_{sb}＝118	τ_b＝41	f_{sb}＝142

すべて許容応力以下である。

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

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	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			
残留熱除去系熱交換器	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L. -7.0 (T.M.S.L. -8.2*)			—	—	C_H＝0.92	C_V＝1.00	1.37	90	100

注記＊：基準床レベルを示す。

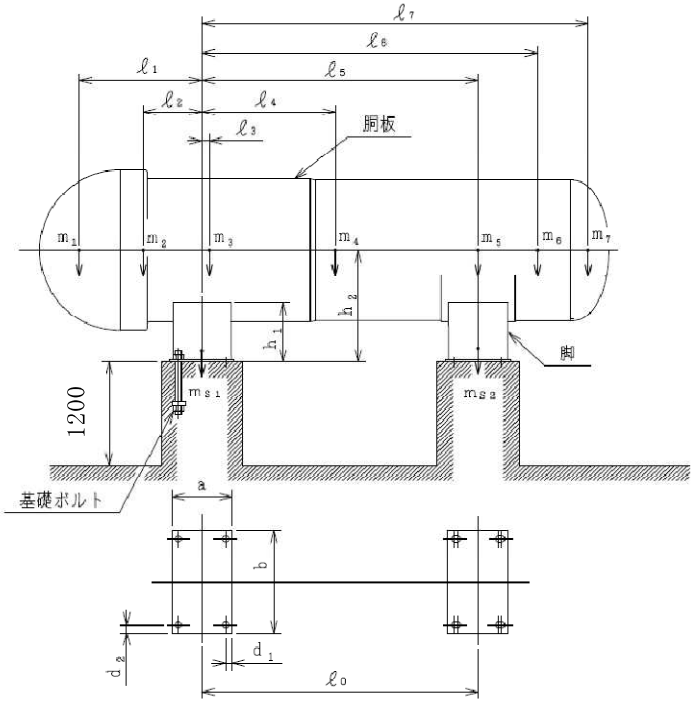
2.2 機器要目

m_1 (kg)	m_2 (kg)	m_3 (kg)	m_4 (kg)	m_5 (kg)	m_6 (kg)	m_7 (kg)

ℓ_1 (mm)	ℓ_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_4 (mm)	ℓ_5 (mm)	ℓ_6 (mm)	ℓ_7 (mm)	M_1 (N・mm)	M_2 (N・mm)	R_1 (N)	R_2 (N)
−1423	−682	5	1543	3199	3891	4478	9.767×10^7	3.017×10^7	2.095×10^5	9.866×10^4

m_0 (kg)	m_{s1} (kg)	m_{s2} (kg)	D_i (mm)	t (mm)	t_e (mm)	ℓ_0 (mm)	h_1 (mm)	h_2 (mm)
			1600	32.0	32.0	3200	740	1300

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sx} (mm^4)	I_{sy} (mm^4)	Z_{sx} (mm^3)	Z_{sy} (mm^3)	θ_0 (rad)	θ (rad)
615	340	1.753×10^{10}	1.469×10^9	2.850×10^7	4.321×10^6	2.310	1.217



A_s (mm^2)	E_s (MPa)	G_s (MPa)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	A_{s3} (mm^2)	A_{s4} (mm^2)
7.095×10^4	198000*1	76200*1	3.433×10^4	3.377×10^4	2.546×10^4	3.017×10^4

K_{11}*2	K_{12}*2	K_{21}*2	K_{22}*2	$K_{\ell1}$	$K_{\ell2}$	K_{c1}	K_{c2}	$C_{\ell1}$	$C_{\ell2}$	C_{c1}	C_{c2}
		—	—								
		—	—								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	d (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
15	4	2	2	750	1300	48 (M48)	1.810×10^3	100	150

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*(脚) (MPa)	S_y（基礎ボルト） (MPa)	S_u（基礎ボルト） (MPa)	F（基礎ボルト） (MPa)	F*(基礎ボルト) (MPa)
241*3	438*3	—	212*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	373*1	—	254	194*1 (径＞40mm)	373*1	—	232

注記＊1：周囲環境温度で算出

＊2：表中で上段は一次応力，下段は二次応力の係数とする。

＊3：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向	長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)	—	—	—	—	—	—	—	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
長手方向地震により胴軸断面全面に生じる引張応力	—	—	—	—	—	$\sigma_{x 413}=2$	—	—
組合せ応力	—		—		$\sigma_{0\ell}=59$		$\sigma_{0c}=59$	

(2) 一次応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$	$\sigma_{\phi 1}=35$	$\sigma_{x 1}=18$
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	—	—	—	—
運転時質量による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 2}=21$	—	$\sigma_{x 2}=21$
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x 6}=21$	—	$\sigma_{x 6}=21$
運転時質量による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$	$\sigma_{\phi 3}=18$	$\sigma_{x 3}=18$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		—	—	—	—	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$	$\sigma_{\phi 71}=18$	$\sigma_{x 71}=18$
水平方向地震による応力	引張り	— —	— —	—	—	$\sigma_{\phi 411}=12$ $\sigma_{\phi 412}=8$	$\sigma_{x 411}=6$ $\sigma_{x 412}=8$	$\sigma_{\phi 51}=18$	$\sigma_{x 51}=49$
		—	—			$\sigma_{\phi 41}=19$	$\sigma_{x 41}=15$		
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=7$		$\tau_{c}=3$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{1\ell}=99$		$\sigma_{1c}=118$	

(3) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力	周方向応力	軸方向応力
内圧による応力 (鉛直方向地震時)		—	—	—	—	—	—	—	—
鉛直方向地震による長手方向曲げモーメントにより生じる応力		—	—	—	—	—	$\sigma_{x6}=21$	—	$\sigma_{x6}=21$
鉛直方向地震による脚反力により生じる応力		— —	— —	— —	— —	$\sigma_{\phi71}=18$ $\sigma_{\phi72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$	$\sigma_{\phi71}=18$ $\sigma_{\phi72}=80$	$\sigma_{x71}=18$ $\sigma_{x72}=37$
水平方向地震による応力	引張り	—	—	—	—	$\sigma_{\phi41}=19$	$\sigma_{x41}=15$	$\sigma_{\phi51}=18$	$\sigma_{x51}=49$
		— —	— —	—	—	$\sigma_{\phi421}=16$ $\sigma_{\phi422}=32$	$\sigma_{x421}=33$ $\sigma_{x422}=15$	$\sigma_{\phi52}=148$	$\sigma_{x52}=65$
		—	—			$\sigma_{\phi42}=48$	$\sigma_{x42}=47$		
	せん断	—		—		$\tau_{\ell}=7$		$\tau_{c}=3$	
組合せ応力		—		—		$\sigma_{2\ell}=240$		$\sigma_{2c}=384$	

2.3.2 脚に生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s1}=3$	$\sigma_{s1}=3$
鉛直方向地震による応力	圧縮	—	—	$\sigma_{s4}=3$	$\sigma_{s4}=3$
水平方向地震による応力	曲げ	—	—	$\sigma_{s2}=27$	$\sigma_{s3}=9$
	せん断	—	—	$\tau_{s2}=12$	$\tau_{s3}=7$
組合せ応力		—	—	$\sigma_{s\ell}=36$	$\sigma_{sc}=17$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
地震の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=54$	$\sigma_{b2}=69$
水平方向地震による応力	せん断	—	—	$\tau_{b1}=41$	$\tau_{b2}=28$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
長手方向	T_1=
横方向	T_2=
鉛直方向	T_3=

2.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SGV480	一次一般膜	—	—	σ_0=59	S_a=262
		一次	—	—	σ_1=118	S_a=394
		一次＋二次	—	—	σ_2=384	S_a=482
脚	SM400A	組合せ	—	—	σ_s=36	f_t=254
基礎ボルト	SS400	引張り	—	—	σ_b=69	f_{ts}=174*
		せん断	—	—	τ_b=41	f_{sb}=133

すべて許容応力以下である。

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

Ⅴ-2-5-3-1-2　残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　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 ····· 10
3.4　固有周期 ····· 10
3.5　設計用地震力 ····· 11
3.6　計算条件 ····· 11
4.　機能維持評価 ····· 12
4.1　動的機能維持評価方法 ····· 12
5.　評価結果 ····· 13
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 13
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 13

1. 概要

本計算書は，Ｖ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，残留熱除去系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張），常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備に分類される。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。

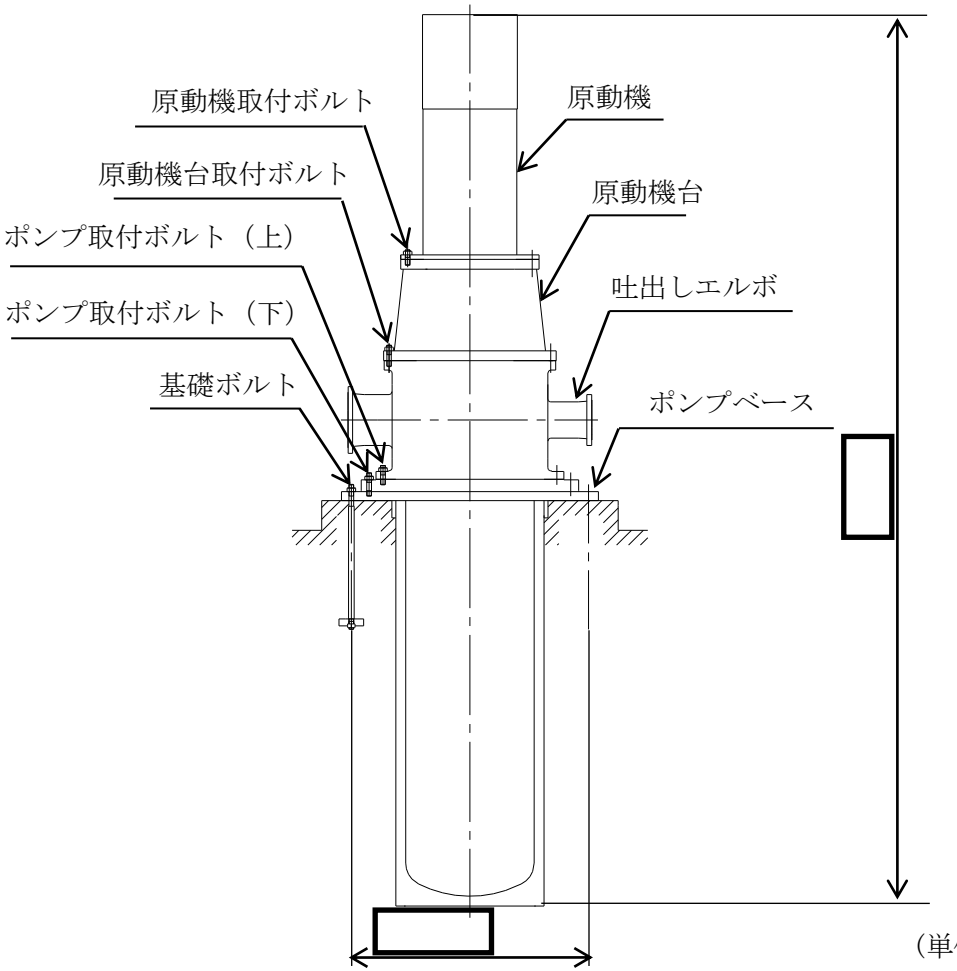
なお，残留熱除去系ポンプは，Ｖ-2-1-14「計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプであるため，Ｖ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-2　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ポンプの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
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。	ターボ形 （ターボ形たて軸ポンプ）	

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

残留熱除去系ポンプの構造強度評価は，V-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

残留熱除去系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3－1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3－2 に示す。

3.2.2　許容応力

残留熱除去系ポンプの許容応力は，V-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

残留熱除去系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	残留熱除去設備	残留熱除去系ポンプ	S	クラス２ポンプ*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２ポンプ*2	D＋P_D＋M_D＋S s *3	ⅣAS
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S s	VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）
	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２ポンプ*2	D＋P_D＋M_D＋S s *3	ⅣAS
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S s	VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）

（続き）

原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備格納容器スプレイ冷却系	残留熱除去系ポンプ	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＋Ｓｓ*3	ⅣＡＳ
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
	原子炉格納容器安全設備サプレッションチェンバプール水冷却系	残留熱除去系ポンプ	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＋Ｓｓ*3	ⅣＡＳ
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
	原子炉格納容器安全設備代替循環冷却系	残留熱除去系ポンプ	常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	ⅣＡＳ
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（ＤＢ拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプの支持構造物を含む。

＊3：「Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ」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）

<table>
<tr><td rowspan="2">許容応力状態</td><td colspan="4">許容限界*</td></tr>
<tr><td>一次一般膜応力</td><td>一次膜応力＋
一次曲げ応力</td><td>一次＋二次応力</td><td>一次＋二次＋
ピーク応力</td></tr>
<tr><td>ⅢＡＳ</td><td>Ｓｙと0.6・Ｓｕ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</td><td>左欄の1.5倍の値</td><td colspan="2" rowspan="2">弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。</td></tr>
<tr><td>ⅣＡＳ</td><td rowspan="2">0.6・Ｓｕ</td><td rowspan="2">左欄の1.5倍の値</td></tr>
<tr><td>ＶＡＳ
（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）</td><td colspan="2">基準地震動Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。</td></tr>
</table>

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
ⅢAS	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣAS	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ⅤAS （ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 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 (℃)		S (MPa)	Sy (MPa)	Su (MPa)	Sy（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	182	—			—
コラムパイプ		最高使用温度	182	—			—
基礎ボルト		周囲環境温度	66	—			—
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	182	—			—
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	182	—			—
原動機台取付ボルト		最高使用温度	182	—			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	66	—			—

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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	182	―			―
コラムパイプ		最高使用温度	182	―			―
基礎ボルト		周囲環境温度	100	―			―
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	182	―			―
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	182	―			―
原動機台取付ボルト		最高使用温度	182	―			―
原動機取付ボルト		周囲環境温度	100	―			―

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【残留熱除去系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に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。また，鉛直方向は5次モード以降で卓越し，固有周期は0.05秒以下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	0.032	―	―	―

3.5　設計用地震力

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Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-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Ⅴ-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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
原子炉建屋 T.M.S.L.　-8.2*	0.032	0.05 以下	C_H＝0.58	C_V＝0.62	C_H＝1.19	C_V＝1.24	—	—

注記＊：基準床レベルを示す。

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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
原子炉建屋 T.M.S.L.　-8.2*	0.032	0.05 以下	—	—	C_H＝1.19	C_V＝1.24	—	—

注記＊：基準床レベルを示す。

3.6　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系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

残留熱除去系ポンプの地震後の動的機能維持評価は，V-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。

残留熱除去系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表4－1に示す。

表4－1　機能確認済加速度　　(×9.8m/s^2)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受電動機	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

残留熱除去系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は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

残留熱除去系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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
残留熱除去系ポンプ	S	原子炉建屋 T.M.S.L.-8.2*	0.032	0.05以下	C_H=0.58	C_V=0.62	C_H=1.19	C_V=1.24		182	66	1.37	3.43

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N･mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—				
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	3.438×10^6				
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	3.438×10^6				
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	3.438×10^6				
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	3.438×10^6				

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—			1262	19.0
コラムパイプ	—				

注記＊：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）						
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）						
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）						
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）						
原動機取付ボルト（ｉ＝5）						

(2) バレルケーシング，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Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
バレルケーシング		
コラムパイプ		

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}＝0.032
鉛直 1次	T_{V1}＝0.05以下

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	σ_{b1}＝7	f_{ts1}＝455*	σ_{b1}＝33	f_{ts1}＝455*
		せん断	τ_{b1}＝9	f_{sb1}＝350	τ_{b1}＝17	f_{sb1}＝350
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）		引張り	σ_{b2}＝3	f_{ts2}＝444*	σ_{b2}＝11	f_{ts2}＝444*
		せん断	τ_{b2}＝3	f_{sb2}＝342	τ_{b2}＝6	f_{sb2}＝342
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）		引張り	σ_{b3}＝4	f_{ts3}＝444*	σ_{b3}＝11	f_{ts3}＝444*
		せん断	τ_{b3}＝2	f_{sb3}＝342	τ_{b3}＝4	f_{sb3}＝342
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）		引張り	σ_{b4}＝5	f_{ts4}＝444*	σ_{b4}＝13	f_{ts4}＝444*
		せん断	τ_{b4}＝4	f_{sb4}＝342	τ_{b4}＝8	f_{sb4}＝342
原動機取付ボルト（ｉ＝5）		引張り	σ_{b5}＝3	f_{ts5}＝455*	σ_{b5}＝8	f_{ts5}＝455*
		せん断	τ_{b5}＝3	f_{sb5}＝350	τ_{b5}＝4	f_{sb5}＝350

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]

1.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力 (単位:MPa)

部材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	σ＝46	S_a＝191
		基準地震動Ｓｓ	σ＝46	S_a＝218
コラムパイプ		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	σ＝20	S_a＝191
		基準地震動Ｓｓ	σ＝20	S_a＝218

すべて許容応力以下である。

1.4.4　動的機能の評価結果　　（×9.8m/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	0.74	10.0
	鉛直方向	0.84	1.0
原動機	水平方向	0.74	2.5
	鉛直方向	0.84	1.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・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・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			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			

(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^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		2.011×10^{6}	4.021×10^{6}
2	2-3	1		4.715×10^{6}	9.431×10^{6}
3	3-4	1		9.517×10^{6}	1.903×10^{7}
4	4-5	1		9.517×10^{6}	1.903×10^{7}
5	5-6	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
6	6-7	1		1.630×10^{7}	3.261×10^{7}
7	7-8	1		1.630×10^{7}	3.261×10^{7}
8	8-9	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
9	9-10	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
10	10-11	3		8.942×10^{7}	1.788×10^{8}
11	11-12	5		3.998×10^{6}	7.996×10^{6}
12	12-41	5		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
13	13-14	5		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
14	15-16	2		5.205×10^{8}	1.041×10^{9}
15	16-17	2		1.920×10^{9}	3.840×10^{9}
16	17-18	2		1.920×10^{9}	3.840×10^{9}
17	18-19	2		2.321×10^{9}	4.642×10^{9}
18	19-20	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
19	20-21	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
20	21-22	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
21	22-23	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
22	23-36	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
23	24-25	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
24	25-26	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
25	26-27	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
26	27-28	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
27	28-29	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
28	29-30	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
29	30-31	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
30	32-33	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
31	33-34	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
32	34-35	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
33	35-36	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
34	36-37	4		4.314×10^{10}	8.628×10^{10}
35	37-38	5		5.121×10^{9}	1.024×10^{10}
36	38-42	5		5.121×10^{9}	1.024×10^{10}
37	39-40	5		5.287×10^{9}	1.057×10^{10}
38	41-13	5		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
39	42-39	5		5.121×10^{9}	1.024×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	
3	17	
6	20	
9	23	
12	38	
13	39	
17	27	
13	39	
31	33	
31	33	

(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	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (—)	材質
1	182			0.3	
2	182			0.3	
3	66			0.3	
4	66			0.3	
5	90			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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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
残留熱除去系ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L.-8.2*	0.032	0.05以下	—	—	C_H=1.19	C_V=1.24		182	100	1.37	3.43

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N･mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)
基礎ボルト（ｉ＝1）					12	12	—			—	
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）					40	40	3.438×10^6			—	
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）					40	40	3.438×10^6			—	
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）					16	16	3.438×10^6			—	
原動機取付ボルト（ｉ＝5）					16	16	3.438×10^6			—	

注記＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	—		1262	19.0
コラムパイプ	—	—			

注記＊：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）	—		—		—	
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）	—		—		—	
原動機取付ボルト（ｉ＝5）	—		—		—	

(2) バレルケーシング，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Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

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}＝0.032
鉛直 1次	T_{V1}＝0.05以下

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	—	—	σ_{b1}＝33	f_{ts1}＝444*
		せん断	—	—	τ_{b1}＝17	f_{sb1}＝342
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）		引張り	—	—	σ_{b2}＝11	f_{ts2}＝444*
		せん断	—	—	τ_{b2}＝6	f_{sb2}＝342
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）		引張り	—	—	σ_{b3}＝11	f_{ts3}＝444*
		せん断	—	—	τ_{b3}＝4	f_{sb3}＝342
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）		引張り	—	—	σ_{b4}＝13	f_{ts4}＝444*
		せん断	—	—	τ_{b4}＝8	f_{sb4}＝342
原動機取付ボルト（ｉ＝5）		引張り	—	—	σ_{b5}＝8	f_{ts5}＝444*
		せん断	—	—	τ_{b5}＝4	f_{sb5}＝342

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]

2.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力 (単位:MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	—	—
		基準地震動Ｓｓ	σ＝46	S_a＝218
コラムパイプ		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	—	—
		基準地震動Ｓｓ	σ＝20	S_a＝218

すべて許容応力以下である。

2.4.4　動的機能の評価結果　　(×9.8m/s²)

		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	0.74	10.0
	鉛直方向	0.84	1.0
原動機	水平方向	0.74	2.5
	鉛直方向	0.84	1.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・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・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			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			

(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^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		2.011×10^{6}	4.021×10^{6}
2	2-3	1		4.715×10^{6}	9.431×10^{6}
3	3-4	1		9.517×10^{6}	1.903×10^{7}
4	4-5	1		9.517×10^{6}	1.903×10^{7}
5	5-6	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
6	6-7	1		1.630×10^{7}	3.261×10^{7}
7	7-8	1		1.630×10^{7}	3.261×10^{7}
8	8-9	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
9	9-10	1		4.909×10^{6}	9.817×10^{6}
10	10-11	3		8.942×10^{7}	1.788×10^{8}
11	11-12	5		3.998×10^{6}	7.996×10^{6}
12	12-41	5		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
13	13-14	5		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
14	15-16	2		5.205×10^{8}	1.041×10^{9}
15	16-17	2		1.920×10^{9}	3.840×10^{9}
16	17-18	2		1.920×10^{9}	3.840×10^{9}
17	18-19	2		2.321×10^{9}	4.642×10^{9}
18	19-20	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
19	20-21	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
20	21-22	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
21	22-23	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
22	23-36	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
23	24-25	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
24	25-26	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
25	26-27	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
26	27-28	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
27	28-29	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
28	29-30	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
29	30-31	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
30	32-33	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
31	33-34	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
32	34-35	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
33	35-36	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
34	36-37	4		4.314×10^{10}	8.628×10^{10}
35	37-38	5		5.121×10^{9}	1.024×10^{10}
36	38-42	5		5.121×10^{9}	1.024×10^{10}
37	39-40	5		5.287×10^{9}	1.057×10^{10}
38	41-13	5		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
39	42-39	5		5.121×10^{9}	1.024×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

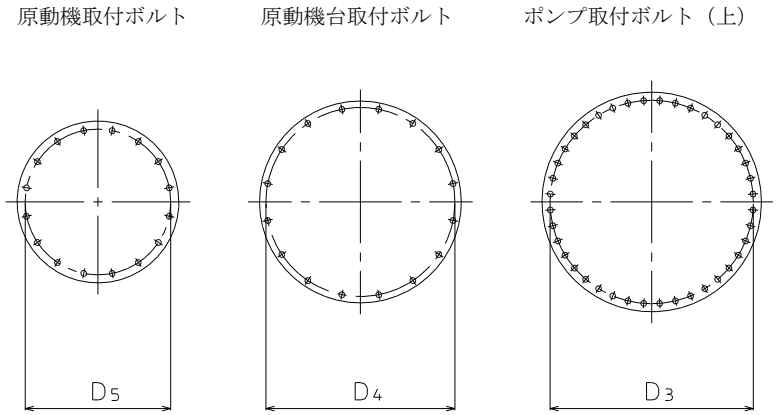
ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	15	
3	17	
6	20	
9	23	
12	38	
13	39	
17	27	
13	39	
31	33	
31	33	

(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	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	

(5) 材料物性値

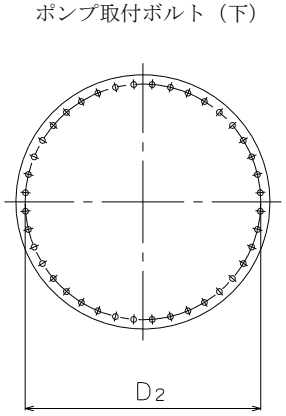
材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (—)	材質
1	182			0.3	
2	182			0.3	
3	100			0.3	
4	100			0.3	
5	100			0.3	



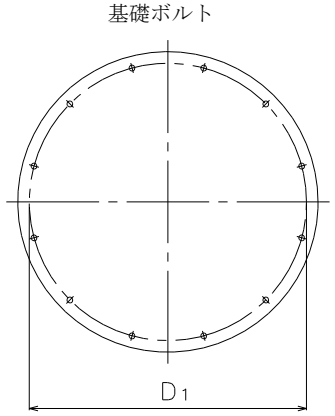
A～A矢視図

B～B矢視図

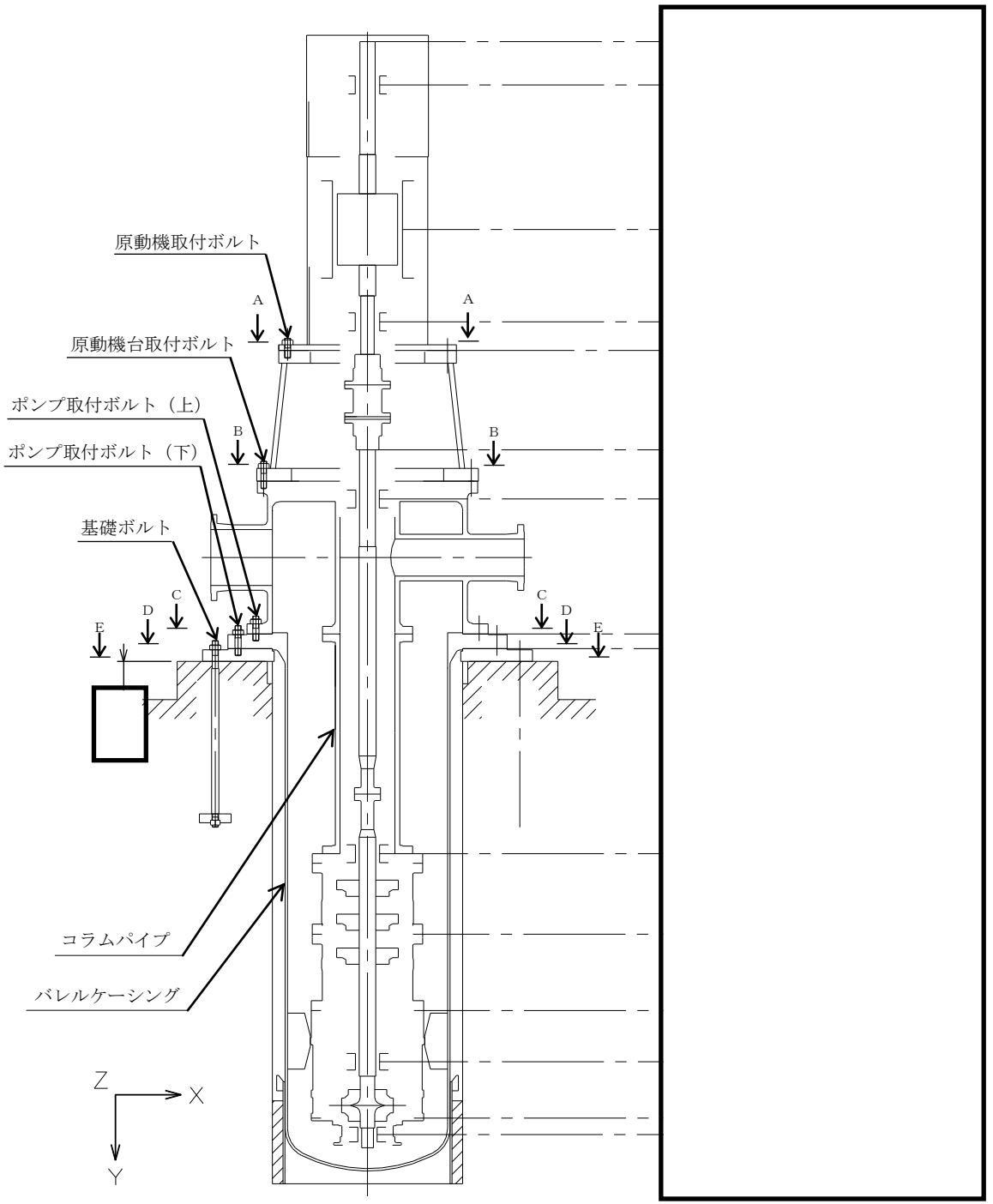
C～C矢視図



D～D矢視図



E～E矢視図



Ⅴ-2-5-3-1-3　残留熱除去系ストレー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.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 10
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
4.2.2　許容応力 ····· 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
4.2.4　設計荷重 ····· 17
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 21
4.4　固有周期 ····· 22
4.5　設計用地震力 ····· 23
4.6　計算方法 ····· 24
4.6.1　応力評価点 ····· 24
4.6.2　応力計算方法 ····· 26
4.7　計算条件 ····· 31
4.8　応力の評価 ····· 31
5.　評価結果 ····· 31
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 31
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 31
6.　引用文献 ····· 32

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，残留熱除去系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。その耐震評価は残留熱除去系ストレーナの応力評価により行う。

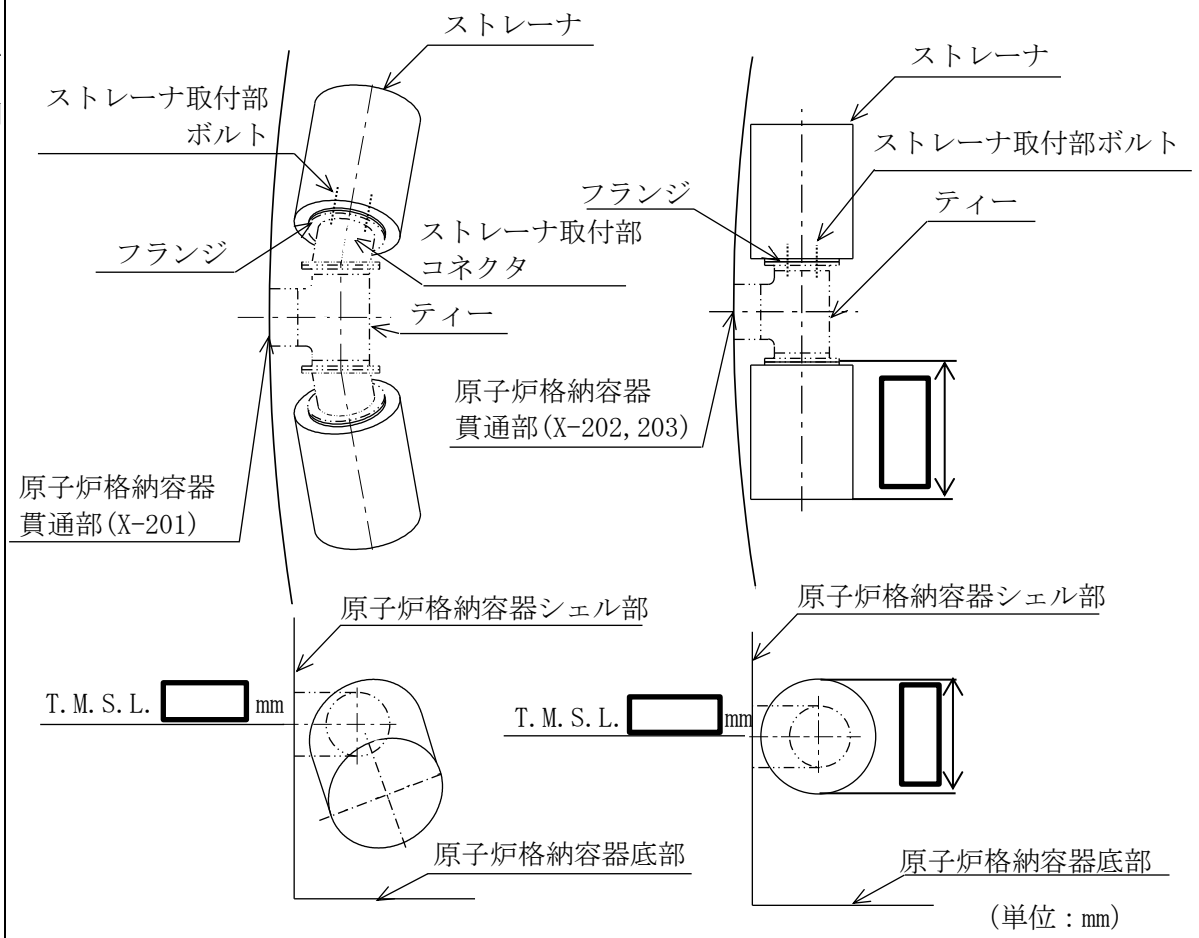
残留熱除去系ストレーナは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張），常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去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	
ストレーナはサプレッションプール内に水没された状態で設置されており，コネクタ又は原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及び取付ボルトにより据え付けられる。	外径 [　　] mm，長さ [　　] mm の円錐支持ディスクで構成される鋼製構造物である。	

2.2　評価方針

残留熱除去系ストレーナの応力評価は，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき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」にて示す残留熱除去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，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で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，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

残留熱除去系ストレーナの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

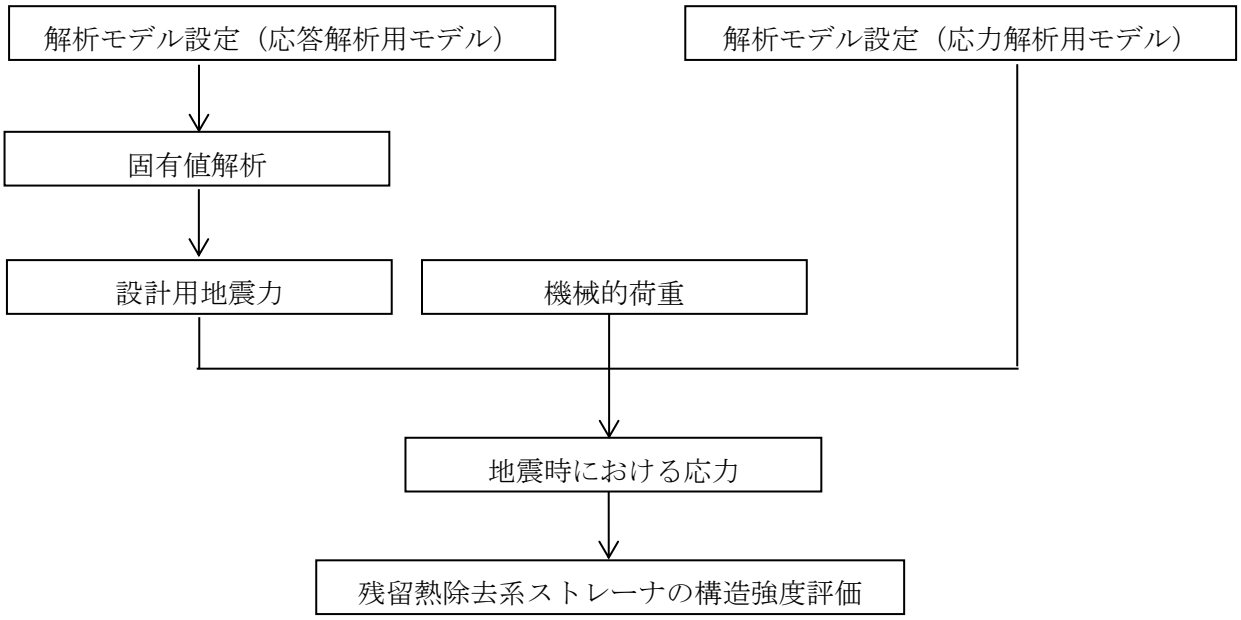


図 2－1　残留熱除去系ストレーナの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（(社)日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm^2
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D_i	各部位の直径（ｉ＝1，2，3…）	mm
d	孔径，ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f_t	ボルトの発生応力	MPa
L_i	各部位の長さ（ｉ＝1，2，3…）	mm
ℓ	ディスク間ギャップ，ボルトのＺ軸からの距離	mm
M	モーメント	N･mm
n	ボルトの本数	—
P	孔の間隔（中心間）	mm
Ｓｄ*	弾性設計用地震動Ｓｄにより定まる地震力又は静的地震力	—
Ｓｓ	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	—
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	—
X	軸直角方向（水平）	—
Y	軸方向	—
Z	軸直角方向（鉛直）	—
β	形状係数	—
σ_r	曲げ応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

＊2：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。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，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

残留熱除去系ストレーナの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，主要部品であるディスク，スペーサ，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

残留熱除去系ストレーナの取付け状況，形状及び主要寸法を図 3－1，図 3－2 に示し，ディスクセット幅及びスペーサ内径を表 3－1 に示す。

なお，残留熱除去系ストレーナは，ストレーナ取付部ボルトにて，残留熱除去系ストレーナ部ティーに直接接続されるもの（貫通部番号：X-202，X-203）及びコネクタを介してストレーナ部ティーに接続されるもの（貫通部番号：X-201）があり，本計算書においては評価上厳しくなるコネクタを介してストレーナ部ティーに接続されるもの（貫通部番号：X-201）を評価する。

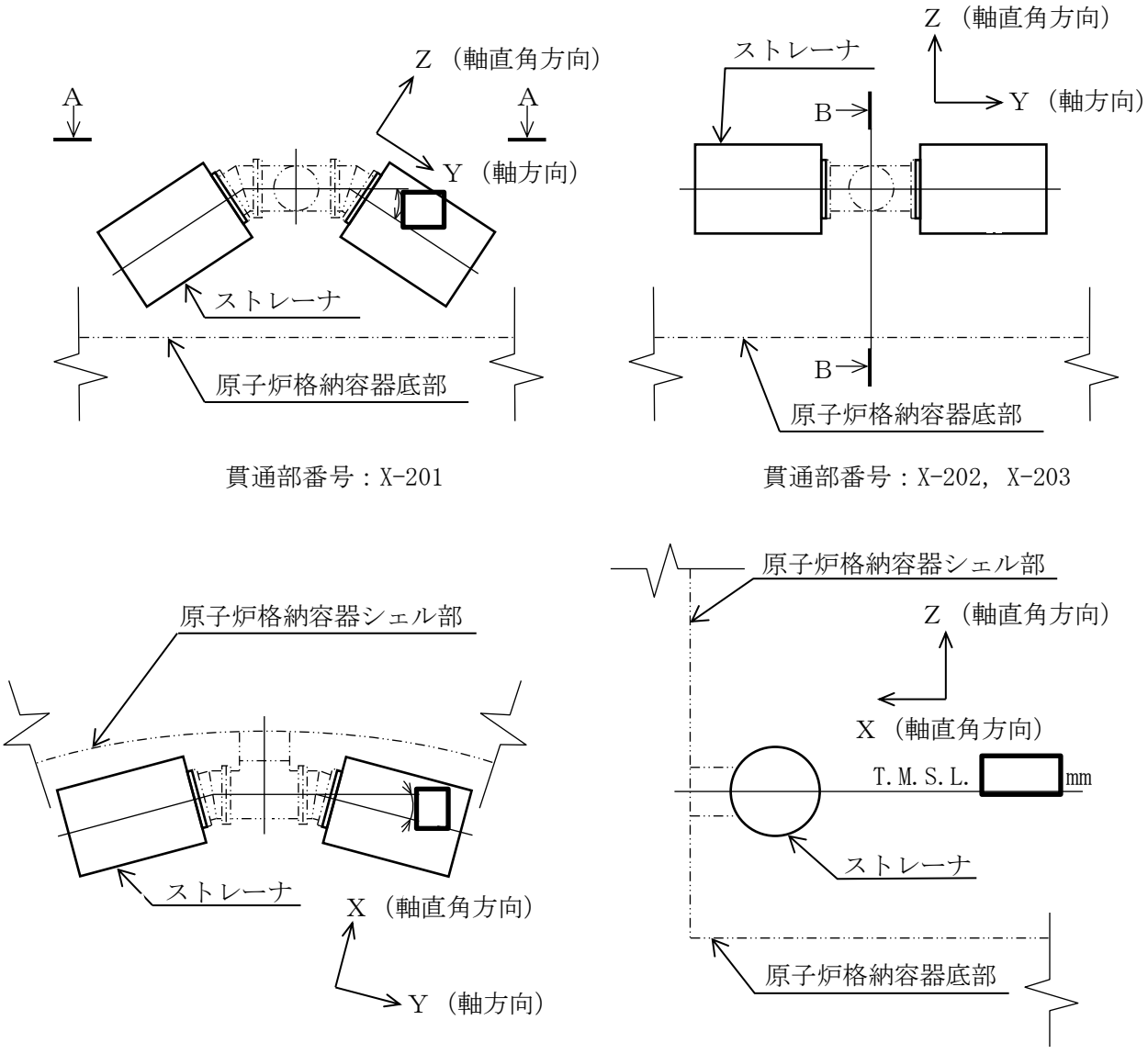
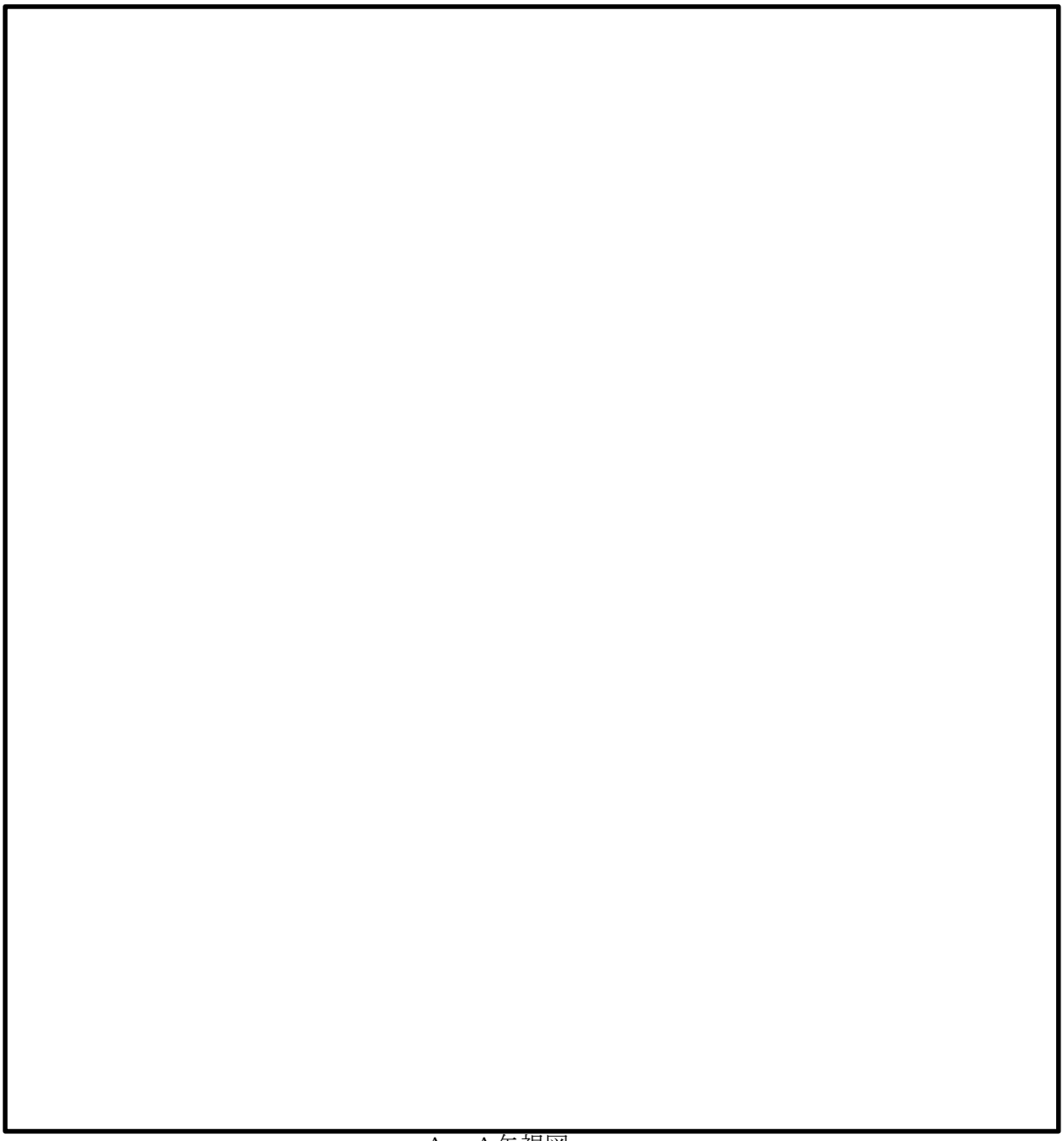


図 3－1　残留熱除去系ストレーナの取付け状況



A～A矢視図

D_1＝　D_2＝　D_3＝　D_4＝　L_1＝
L_2＝　L_3＝　L_4＝　L_5＝　L_6＝
ℓ＝　d＝　P＝

①ディスクセット１　②中間ディスクセット（２～１７）
③ディスクセット１８　④スペーサ（１～１７）
⑤リブ　（厚さ　mm）　⑥コンプレッションプレート　（厚さ　mm）
⑦フィンガ　（厚さ　mm）　⑧ディスクサポートリング　（厚さ　mm）
⑨ストラップ　（厚さ　mm）　⑩ボトムスペーサ
⑪フランジ，ストレーナ取付部ボルト
（①～④及び⑩は多孔プレート形状であり，多孔プレートの厚さは　mm である。）

図３－２　残留熱除去系ストレーナの形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3－1　ディスクセット幅及びスペーサ内径

（単位：mm）

ディスクセット番号	ディスクセット幅	スペーサ内径

注：各部品寸法はインチから換算した値であるため，桁処理の影響で合計値が公称値と一致しない場合がある。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　残留熱除去系ストレーナの質量には，ストレーナに付着する異物量を考慮し，荷重の算出において組み合わせるものとする。

(2)　地震力は，残留熱除去系ストレーナに対して軸方向及び軸直角方向（水平，鉛直）に作用するものとし，軸直角方向に作用する荷重については水平方向と鉛直方向地震力の二乗和平方根により算出する。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値に基づき設定する。

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

残留熱除去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。また，荷重の組合せ整理表を表 4－3 に示す。

4.2.2　許容応力

残留熱除去系ストレーナの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 及び表 4－5 に示す。なお，評価対象は，構造又は形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分小さいため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ストレーナ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 4－6 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－7 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

多孔プレート
リブ
コンプレッションプレート
フィンガ
ストラップ
フランジ
ストレーナ取付部ボルト

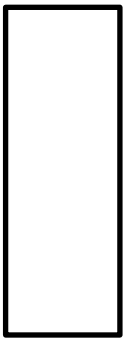


表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣＡＳ

表4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系ストレーナ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備格納容器スプレイ冷却系	残留熱除去系ストレーナ	常設／防止（ＤＢ拡張）常設／緩和（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

（続き）

原子炉 格納施設	原子炉格納容器 安全設備 サプレッション チェンバプール 水冷却系	残留熱除去系 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	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉 格納施設	原子炉格納容器 安全設備 代替循環冷却系	残留熱除去系 ストレーナ	常設／緩和	重大事故等 クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（ＤＢ拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」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　荷重の組合せ整理表

組合せNo.		運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	Ｓｄ*荷重	Ｓｓ荷重	
ＤＢＡ*1	DBA-1	運転状態Ⅰ	○								○		ⅢＡＳ
	DBA-2	運転状態Ⅰ	○									○	ⅣＡＳ
	DBA-3	運転状態Ⅱ	○			○					○		ⅢＡＳ
	DBA-4	運転状態Ⅱ	○			○						○	ⅣＡＳ
	DBA-5	運転状態Ⅳ（Ｌ）	○	○	○						○		ⅢＡＳ
ＳＡ*2	SA-1	運転状態Ⅴ（Ｌ）*3	○	○	○						○		ⅤＡＳ*4
	SA-2	運転状態Ⅴ（ＬＬ）	○	○	○							○	ⅤＡＳ*4

注記＊1：設計基準対象施設

＊2：重大事故等対処設備

＊3：運転状態Ⅴ（Ｌ）は，温度条件を重大事故等時における最高使用温度166℃とした運転状態Ⅴ（ＬＬ）の評価で代表される。

＊4：許容応力状態ⅤＡＳとしてⅣＡＳの許容応力を用いる。

表4－4　許容応力（クラス２管及び重大事故等クラス２管）

許容応力状態	許容限界*1		
	一次一般膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）	一次＋二次応力*2
ⅢAS	Ｓｙと0.6・Ｓｕ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	Ｓｙ 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	弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。
ⅣAS	0.6・Ｓｕ	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Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。

注記＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表4－5　許容応力（クラス２耐圧部テンションボルト及び重大事故等クラス２耐圧部テンションボルト）

許容応力状態	許容限界
ⅢＡＳ	1.5・Ｓ
ⅣＡＳ	2・Ｓ
ＶＡＳ （ＶＡＳとして，$Ⅳ_{A}$Ｓの許容限界を用いる。）	

表 4－6　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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
多孔プレート		最高使用温度	104				—
リブ，フランジ等		最高使用温度	104				—
ストレーナ取付ボルト		最高使用温度	104				—

表4－7　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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
多孔プレート		最高使用温度	166				—
リブ，フランジ等		最高使用温度	166				—
ストレーナ取付ボルト		最高使用温度	166				—

4.2.4　設計荷重

(1)　死荷重

残留熱除去系ストレーナの自重による荷重及び残留熱除去系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重*の2つの死荷重を考慮する。

残留熱除去系ストレーナの自重＝ [　　] N

異物荷重＝ [　　] N

注記＊：異物荷重は運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

(2)　差圧

差圧による荷重*は，異物付着時の残留熱除去系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し，以下のとおりとする。

また，差圧による荷重の作用方向を図4－1に示す。

差圧荷重＝ [　　] MPa

注記＊：差圧による荷重は運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

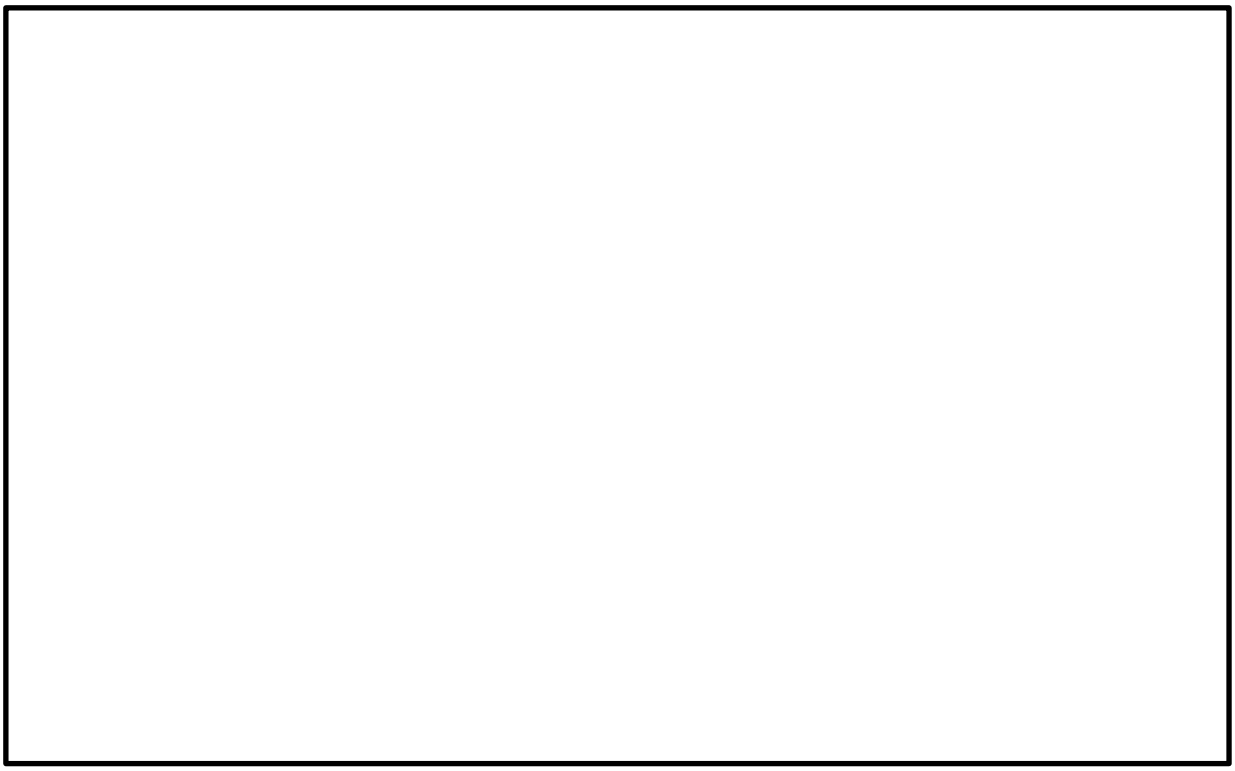


図 4－1　差圧荷重の作用方向

(3)　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

逃がし安全弁作動時には，サプレッションチェンバ内の水中構造物に水力学的動荷重が作用する。この荷重については，原子力安全委員会が策定した評価指針「ＢＷＲ，ＭＡＲＫ-Ⅱ型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」(以下「ＭＡＲＫ-Ⅱ動荷重指針」という。）に準じて荷重の評価を実施する。

ＭＡＲＫ-Ⅱ動荷重指針に基づき，残留熱除去系ストレーナに加わる水力学的動荷重を算出した結果を表 4－8 に示す。表 4－8 に示した荷重は，考慮すべき水力学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値であり，地震荷重と組み合わせる逃がし安全弁作動時荷重のみ記載する。

また，残留熱除去系ストレーナは，逃がし安全弁作動時荷重のうち，水ジェット及び蒸気凝縮過程による荷重については十分小さいため評価対象としない。

水力学的動荷重の作用方向を図 4－2 に示す。

軸方向の荷重は，引用文献(1)の考え方に基づき，最前列のディスクと最後列のディスクで軸方向荷重の 1/2 ずつを受け持つとし，この荷重を最前列と最後列のディスクの投影面積で除算し，軸方向の圧力荷重として作用させる。

軸直角方向の荷重は，ストレーナの片面のみで荷重を受け持つとし，ストレーナの片面の投影面積で軸直角方向荷重を除算し，軸直角方向の圧力荷重として作用させる。

表4－8　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

（単位：N）

荷重名称	軸方向荷重	軸直角方向荷重
ＳＲＶ荷重（運転時）＊	[redacted]	[redacted]

注記＊：方向は図 3－1 参照。ただし，軸直角方向の荷重については，二乗和平方根としている。定常ドラッグ荷重と圧力荷重との二乗和平方根とする。

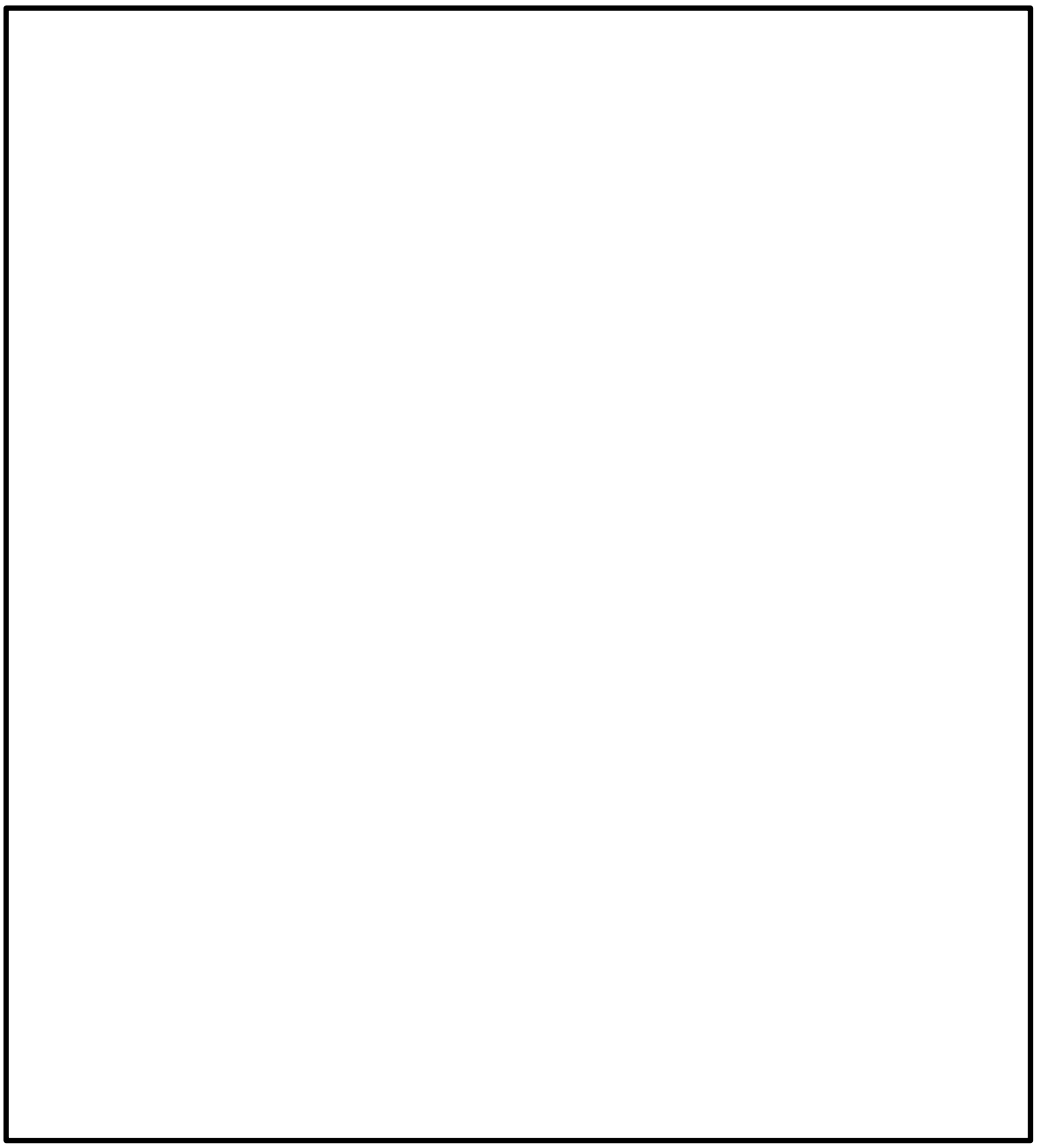


図 4－2　水力学的動荷重の作用方向

4.3　解析モデル及び諸元

残留熱除去系ストレーナの応答解析及び応力評価は，はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。なお，ストレーナ本体の応力計算に用いた三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）については，「4.6.2　応力計算方法」で説明する。本項においては，ストレーナから原子炉格納容器貫通部までをモデル化したはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）について説明する。

残留熱除去系ストレーナの応答解析用モデルを図 4－3 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【残留熱除去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。

(1) 応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，固有値及び荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化する。

(2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は完全拘束とする。

(3) 各部の質量は，各部の重心位置（図 4－3 の△の節点）に集中質量を与える。

(4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(5) 解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる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。

図 4－3　応答解析用モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－9 に示す。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 4－9　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
			X方向	Y方向	
1 次	ねじり*	0.030	―	―	―

注記＊：図 4－3 の貫通部スリーブ（X 軸）を中心としたねじり

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－10 及び表 4－11 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。なお，図 3－1 に示すように，ストレーナの軸方向には水平方向の震度，軸直角方向には水平方向及び鉛直方向の震度が作用するため，軸方向及び軸直角方向に作用する地震力を表 4－12 に示す。

表 4－10　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－11　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	―	―	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－12　ストレーナに作用する地震力

取付け位置　T.M.S.L.[redacted] m		
地震荷重	軸方向震度	軸直角方向震度
Ｓｄ*	0.59	0.87
Ｓｓ	1.30	1.82

注：方向は図 3－1 参照。
ただし，軸直角方向震度については，水平方向と鉛直方向の設計震度の二乗和平方根としている。

4.6　計算方法

4.6.1　応力評価点

残留熱除去系ストレーナは，図 3－2 に示すとおり，リブ及びフィンガが主強度部材となり各ディスクを支える構造になっている。各ディスクの表面は多孔プレートとなっており，ろ過装置としての機能を果たしている。作用する荷重の大部分は，フィンガにより支えられた各ディスクの多孔プレート表面に加わり，負荷された荷重は最終的にはリブに伝達される。したがって，ここではストレーナの主要構成部材である多孔プレート，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトの構造，形状を考慮した応力評価点を選定し，評価を実施する。

応力評価点を表 4－13 及び図 4－4 に示す。

表 4－13　応力評価点

名称		応力評価点番号	応力評価点
多孔プレート	ディスク	P1	全ディスクセットの多孔プレート
	スペーサ*	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート
リブ		P3	リブ
コンプレッションプレート		P4	コンプレッションプレート
フィンガ		P5	フィンガ
ストラップ		P6	ストラップ
フランジ		P7	フランジ
ストレーナ取付部ボルト		P8	ボルト

注記＊：ボトムスペーサを含む。

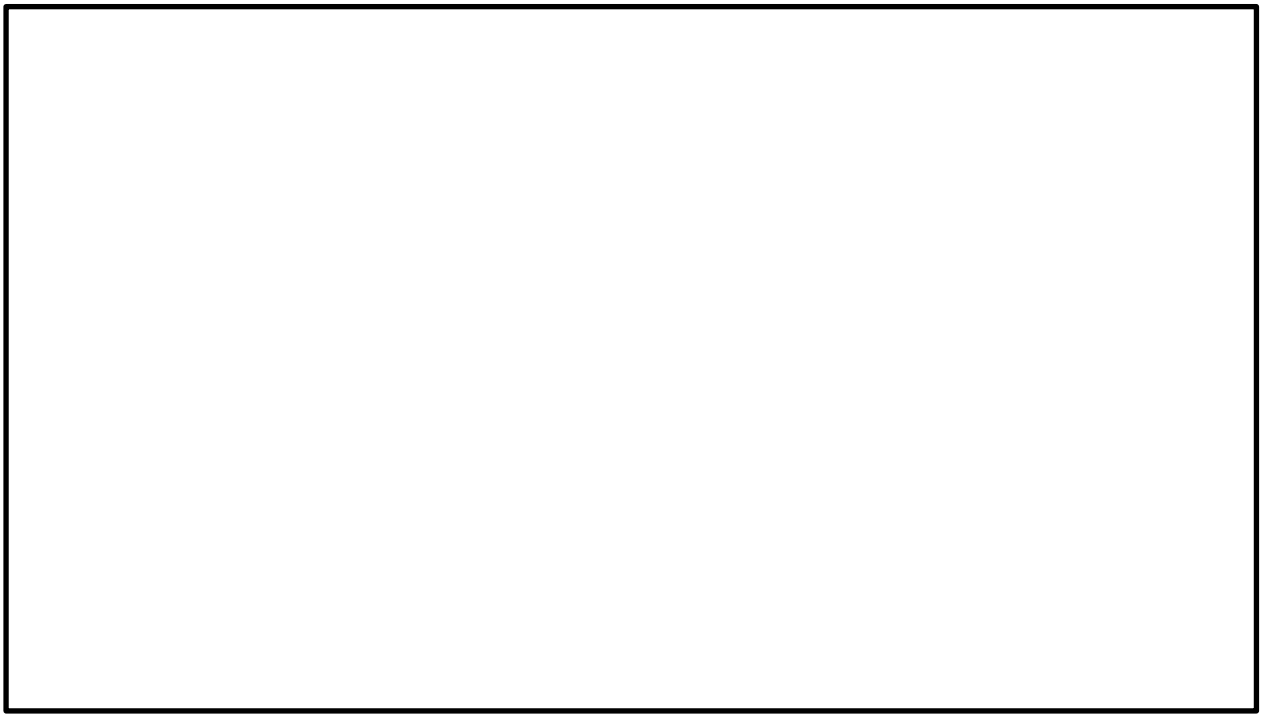


図 4－4　応力評価点

4.6.2　応力計算方法

応力計算方法について，以下に示す。なお，フランジ及びボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1)　ストレーナ（応力評価点 P1～P6）

ストレーナの応力計算は応力解析用モデルにより行う。ストレーナの応力解析用モデルを図 4－5 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【残留熱除去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。

a.　応力解析用モデルではストレーナをシェル要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行う。

b.　計算モデルの各部材は溶接により接合されており，溶接部は健全性が確保されるよう設計する。

c.　多孔プレートの等価縦弾性係数，等価ポアソン比及び応力増倍率は，引用文献(2)の考え方に基づき設定する。

d.　各部の質量は，各シェル要素に密度を与える。

e.　4.2.4 で設定した設計荷重及び設計用地震力により残留熱除去系ストレーナに生じる応力は，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用して計算する。

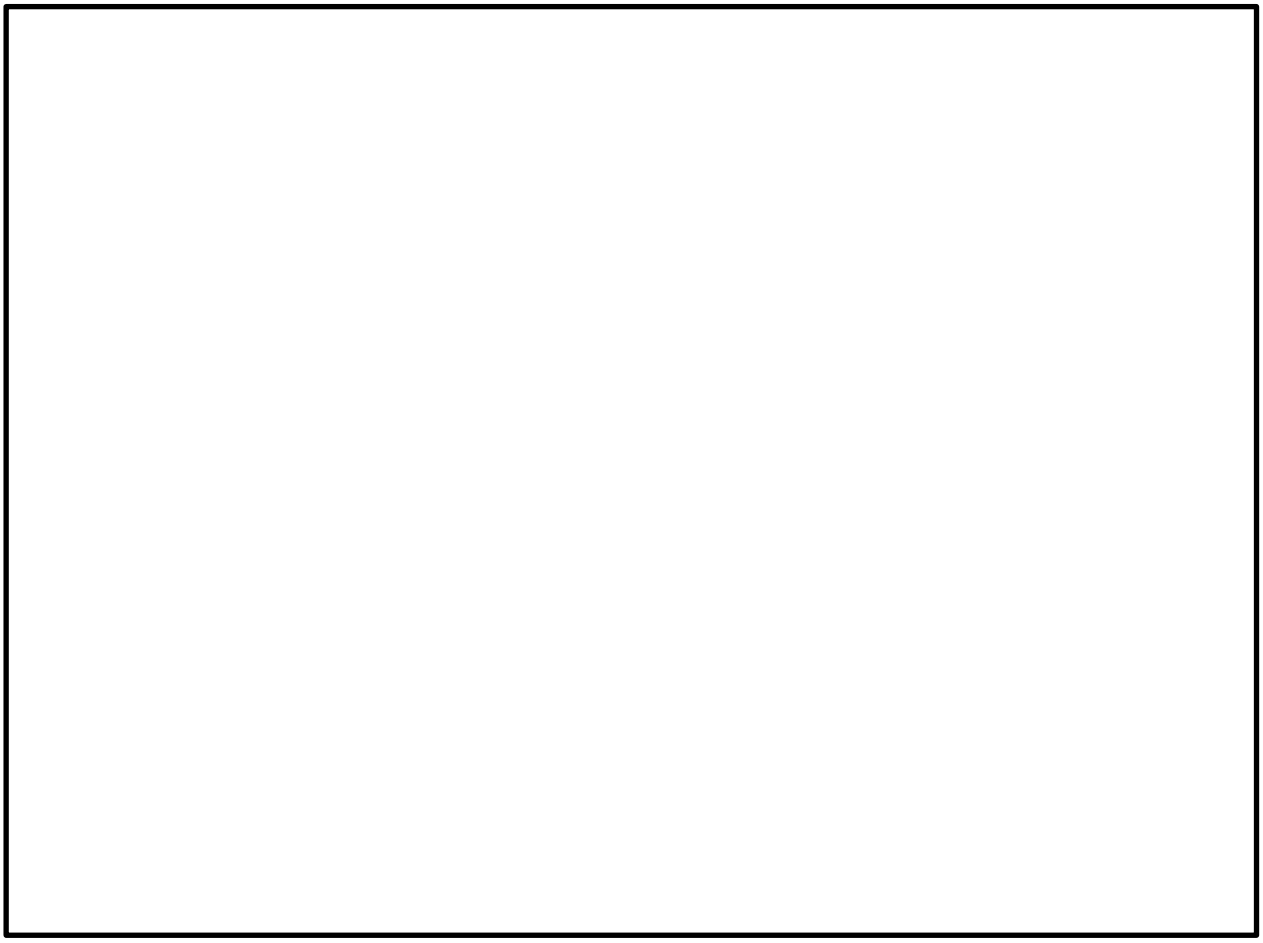


図 4－5　残留熱除去系ストレーナの計算モデル

(2)　フランジ（応力評価点 P7）

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部フランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで，フランジを以下のようにモデル化し，応力評価を行う。

フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4－14 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(3)より，図 4－6 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに，

σ_r　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4－14 に示すモーメント(N･mm)

a　：ボルト穴中心円半径＝[　　](mm)

b　：フランジ内半径＝[　　](mm)

t　：フランジ板厚＝[　　](mm)

β　：b／a （＝[　　]）から決まる計算上の係数＝[　　]

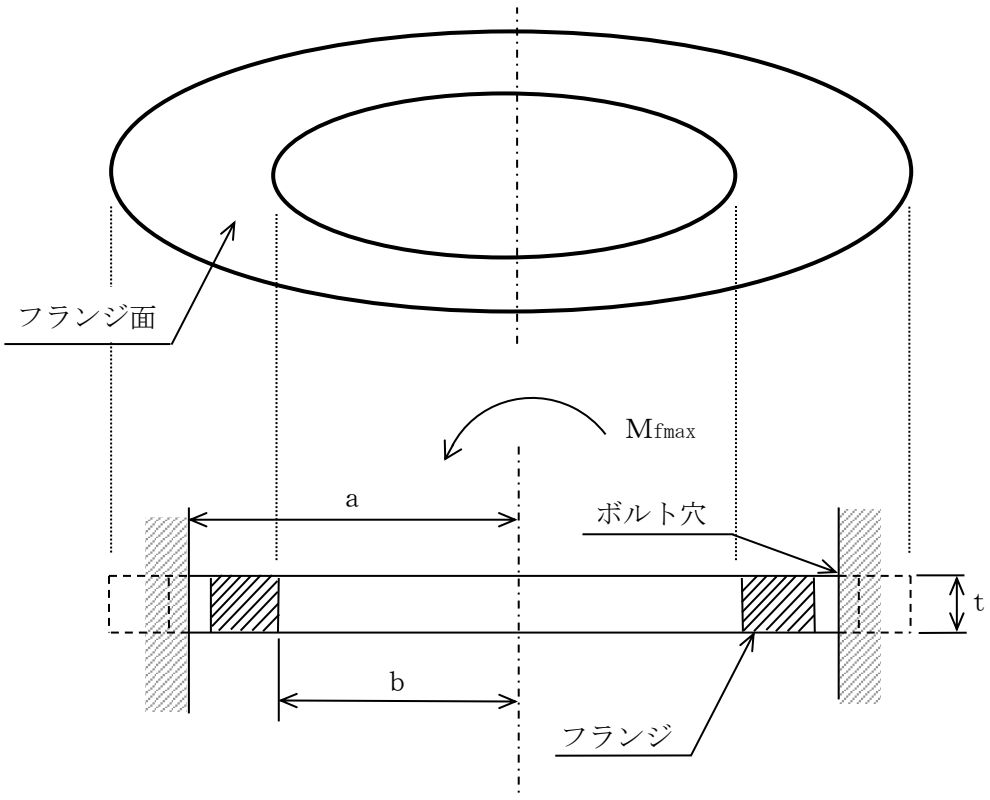


図 4－6　フランジ断面の計算モデル

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は，ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは，図 4－7 に示すように，ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり，フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4－14 に示す。

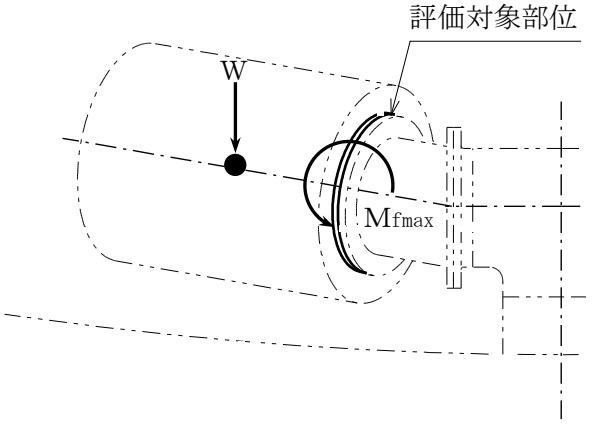


図 4－7　フランジに作用するモーメント

表 4－14　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

(3)　ストレーナ取付部ボルト（応力評価点 P8）

ボルトには，表 4－14 に示すモーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより，ボルトに生じる軸力は，以下のように算出する。

図 4－8 に示すフランジの中心を通る中立軸（Ｚ軸）まわりのモーメントを考える。このとき，Ｚ軸まわりのモーメントは，各ボルトに発生する軸力とボルトのＺ軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで，軸方向荷重によって中立軸が移動するが，軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため，軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって，Ｚ軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_Z = \sum_{k=1}^{n} F_{tk} \cdot \ell_k$$

ここに，M_Z　　：Ｚ軸まわりのモーメント（N･mm）

F_{tk}　　：各ボルトに発生する軸力（N）

ℓ_k　　：任意のボルトｋにおけるＺ軸からの距離（mm）

ｎ　　：ボルトの本数＝□

なお，ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

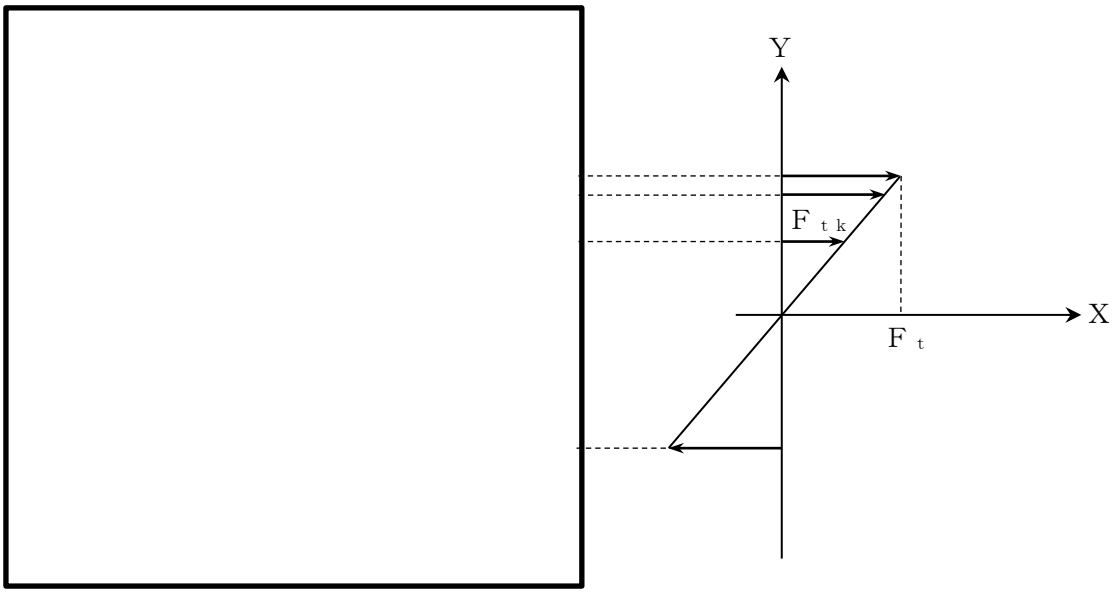


図 4－8　各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また，ボルト軸力のＺ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり，図4－8に示すように，曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合，ボルトに発生する最大の軸力をF_tとすると，各ボルトに発生する軸力F_{tk}は下記となる。

$$F_{tk}=F_t\cdot\frac{\ell_k}{D_5/2}$$

ここに，F_t　：最大の軸力が発生するボルトの軸力（N）

F_{tk}　：各ボルトに発生する軸力（N）

D_5　：ボルト孔中心円直径＝[redacted]（mm）

以上より，ｎが偶数の場合，Ｚ軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_Z=\frac{2\cdot F_t}{D_5}\cdot\sum_{k=1}^{n}\ell_k^2=\frac{F_t\cdot D_5\cdot n}{4}$$

ただし，$\ell_k=\frac{D_5}{2}\cdot\sin\{\frac{2\cdot\pi}{n}\cdot(k-1)\}$

よって，表4－14に示すモーメントから，ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t=\frac{4\cdot M_{fmax}}{D_5\cdot n}$$

したがって，ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t=\frac{F_t}{A_S}+\frac{F_{axl}}{A_S\cdot n}$$

ここに，f_t　：ボルトの発生応力（MPa）

A_S　：ボルトの有効断面積＝$\frac{\pi\cdot d_b^2}{4}$（mm²）

d_b　：ボルトのねじ部谷径＝[redacted]（mm）

F_{axl}　：表4－15に示す軸方向荷重（N）

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は，4.6.2(2)に示すフランジに作用する最大モーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため，ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。

ボルトの設計荷重を表4－15に示す。

表 4－15　ボルトの設計荷重

（単位：N）

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

4.7　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8　応力の評価

「4.6　計算方法」で求めた応力が表 4－4，表 4－5，表 4－6 及び表 4－7 を用いて算出した許容応力以下であること。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ストレー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態ⅢＡＳ及びⅣＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ストレー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態ＶＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

(1) NEDO-32721, “Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer” Licensing Topical Report, General Electric, March 2003.

(2) ASME B&PV CODE, Section Ⅲ, Division 1, Appendices, Article A-8000, “Stresses in Perforated Flat Plates,” 1989 Edition, No Addenda.

(3) WARREN C. YOUNG
“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain”7th Edition

【残留熱除去系ストレーナ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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
残留熱除去系ストレーナ	S	原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27	104	—

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	D_2	D_3	D_4

（単位：mm）

L_1	L_2	L_3	L_4

（単位：mm）

L_5	L_6	ℓ	d

P (mm)

（解析モデルの諸元（応答解析用））

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナの材質	—	
残留熱除去系ストレーナの質量	kg/個	
残留熱除去系ストレーナの内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ１個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

（解析モデルの諸元（応力解析用））

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナの材質	—	
残留熱除去系ストレーナの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	
多孔プレートの応力増倍率	—	
要素数	個	
節点数	個	

（単位：MPa）

部材	材料	S	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｙ（ＲＴ）
多孔プレート					—
リブ，フランジ等					—
取付ボルト					—

1.3 計算数値

1.3.1 水力学的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

(単位：N)

荷重名称	軸方向荷重	軸直角方向荷重
ＳＲＶ荷重		

1.3.2 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	異物荷重 (N)	差圧 (MPa)

1.3.3 フランジの設計荷重

(単位：N･mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.3.4　ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.4 結論

1.4.1 固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.030

1.4.2 応力

（単位：MPa）

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	ⅢAS			ⅣAS		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系ストレーナ	P1	全ディスクセットの多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	25	143	DBA-3	31	365	DBA-4
	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	31	143	DBA-3	40	365	DBA-4
	P3	リブ		一次膜応力＋一次曲げ応力	30	169	DBA-3	38	395	DBA-4
	P4	コンプレッションプレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	12	169	DBA-3	14	395	DBA-4
	P5	フィンガ		一次膜応力＋一次曲げ応力	36	169	DBA-3	48	395	DBA-4
	P6	ストラップ		一次膜応力＋一次曲げ応力	13	169	DBA-3	14	395	DBA-4
	P7	フランジ		曲げ応力	67	169	DBA-3	93	395	DBA-4
	P8	ボルト		引張応力	17	157	DBA-3	24	210	DBA-4

すべて許容応力以下である。

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
残留熱除去系ストレーナ	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27	166	—

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	D_2	D_3	D_4

（単位：mm）

L_1	L_2	L_3	L_4

（単位：mm）

L_5	L_6	ℓ	d

P (mm)

（解析モデルの諸元（応答解析用））

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナの材質	—	
残留熱除去系ストレーナの質量	kg/個	
残留熱除去系ストレーナの 内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ１個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

（解析モデルの諸元（応力解析用））

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナの材質	—	
残留熱除去系ストレーナの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	
多孔プレートの応力増倍率	—	
要素数	個	
節点数	個	

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
多孔プレート					—
リブ，フランジ等					—
取付ボルト					—

2.3 計算数値

2.3.1 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	異物荷重 (N)	差圧 (MPa)

2.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N･mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ストレーナＳｄ*地震荷重	
5	ストレーナＳｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.3.3　ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ストレーナＳｄ*地震荷重	
5	ストレーナＳｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.030

2.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	VAS		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系ストレーナ	P1	全ディスクセットの多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	29	345	SA-2
	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	30	345	SA-2
	P3	リブ		一次膜応力＋一次曲げ応力	28	373	SA-2
	P4	コンプレッションプレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	14	373	SA-2
	P5	フィンガ		一次膜応力＋一次曲げ応力	41	373	SA-2
	P6	ストラップ		一次膜応力＋一次曲げ応力	10	373	SA-2
	P7	フランジ		曲げ応力	77	373	SA-2
	P8	ボルト		引張応力	20	187	SA-2

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-5-3-1-4　残留熱除去系ストレーナ部ティー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.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 8
4.2.2　許容応力 ····· 8
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 8
4.2.4　設計荷重 ····· 14
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 15
4.4　固有周期 ····· 16
4.5　設計用地震力 ····· 17
4.6　計算方法 ····· 18
4.6.1　応力の計算方法 ····· 18
4.6.2　応力解析に用いるモーメント ····· 18
4.7　計算条件 ····· 19
4.8　応力の評価 ····· 19
5.　評価結果 ····· 20
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 20
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，残留熱除去系ストレーナ部ティー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。その耐震評価は残留熱除去系ストレーナ部ティーの応力評価により行う。

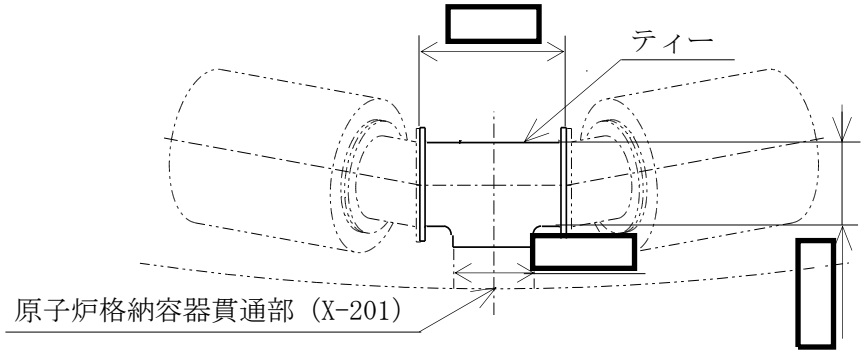
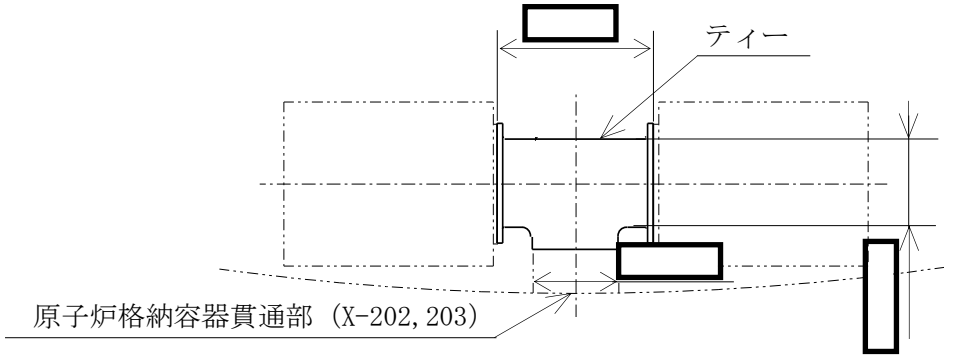
残留熱除去系ストレーナ部ティーは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張），常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ部ティーの構造計画を表 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	
ストレーナ部ティーは，サプレッションプール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。	ティー形の管継手	 残留熱除去系ストレーナ部ティー（貫通部：X-201）  残留熱除去系ストレーナ部ティー（貫通部：X-202,203） （単位：mm）

2.2　評価方針

残留熱除去系ストレーナ部ティーの応力評価は，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき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」にて示す残留熱除去系ストレーナ部ティーの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で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，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

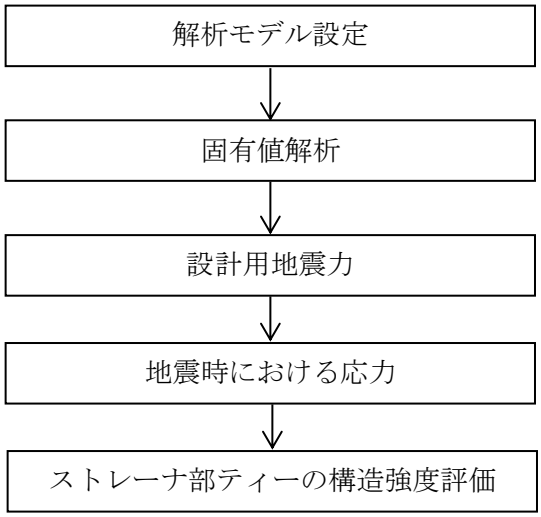


図 2－1　残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（(社)日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
S_{prm}	発生応力	MPa
P	最高使用圧力（設計圧力）	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1	設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数（＝ ）	—
B_{2b}	設計・建設規格　式 PPB-4.29 により計算した分岐管の応力係数 $=0.4\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$（＝ ）	—
R_m	主管の平均半径	mm
T_r	主管の厚さ	mm
B_{2r}	設計・建設規格　式 PPB-4.30 により計算した主管の応力係数 $=0.5\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$（＝ ）	—
M_b	表 4－11 に示す分岐管に作用する最大モーメント	N･mm
M_r	表 4－11 に示す主管に作用する最大モーメント	N･mm
Z_b	分岐管の断面係数	mm^3
Z_r	主管の断面係数	mm^3
S_d^*	弾性設計用地震動Ｓｄにより定まる地震力又は静的地震力	—
S_s	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	—

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

＊2：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。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，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

残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ティーについて実施する。なお，残留熱除去系ストレーナ部ティーのフランジの評価は，コネクタ側フランジより板厚を大きく設計しており（ティー側フランジ厚さ□mm，コネクタ側フランジ厚さ□mm），ティー側フランジにかかる荷重はコネクタ側フランジと同じであるため，V-2-5-3-1-5「残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書」に示すコネクタ側フランジの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

残留熱除去系ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図 3－1，図 3－2 及び表 3－1 に示す。

なお，残留熱除去系ストレーナは，ストレーナ取付部ボルトにて，残留熱除去系ストレーナ部ティーに直接接続されるもの（貫通部番号：X-202，X-203）及びコネクタを介してストレーナ部ティーに接続されるもの（貫通部番号：X-201）があり，本計算書においては評価上厳しくなるコネクタを介してストレーナ部ティーに接続されるもの（貫通部番号：X-201）を評価する。

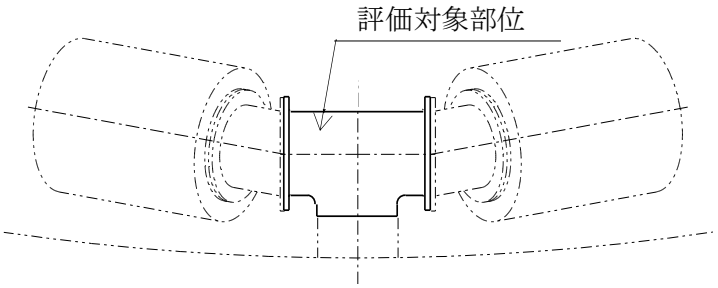


図 3－1　残留熱除去系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-201）

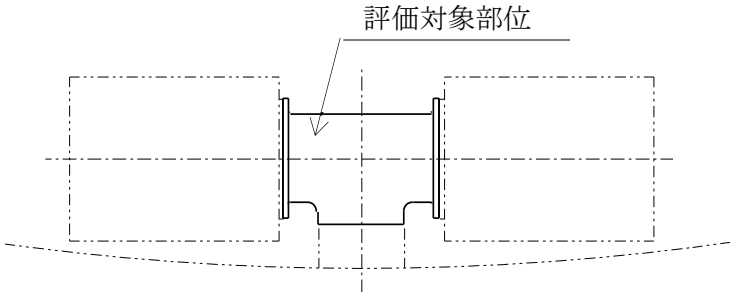


図 3－2　残留熱除去系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-202，203）

表 3－1　残留熱除去系ストレーナ部ティーの主要寸法

（単位：mm）

貫通部番号	外径	板厚	フランジ間距離
X-201～203			

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　ストレーナ部ティーは，ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナ部から作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

(2)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

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

残留熱除去系ストレーナ部ティー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。また，荷重の組合せの整理表を表 4－3 に示す。

4.2.2　許容応力

残留熱除去系ストレーナ部ティーの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 に示す。なお，評価対象は，基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ストレーナ部ティー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。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー　[redacted]

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ部ティー	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣＡＳ

表4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類[*1]	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ部ティー	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ [*2]	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系ストレーナ部ティー	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ [*2]	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備格納容器スプレイ冷却系	残留熱除去系ストレーナ部ティー	常設／防止（ＤＢ拡張）常設／緩和（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ [*2]	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

（続き）

原子炉 格納施設	原子炉格納容器 安全設備 サプレッション チェンバプール 水冷却系	残留熱除去系 ストレーナ部 ティー	常設／防止 （ＤＢ拡張） 常設／緩和 （ＤＢ拡張）	重大事故等 クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉 格納施設	原子炉格納容器 安全設備 代替循環冷却系	残留熱除去系 ストレーナ部 ティー	常設／緩和	重大事故等 クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（ＤＢ拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」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　荷重の組合せ整理表

組合せ No.		運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	Ｓｄ＊荷重	Ｓｓ荷重	
ＤＢＡ[*1]	DBA-1	運転状態Ⅰ	○								○		ⅢＡＳ
	DBA-2	運転状態Ⅰ	○									○	ⅣＡＳ
	DBA-3	運転状態Ⅱ	○			○					○		ⅢＡＳ
	DBA-4	運転状態Ⅱ	○			○						○	ⅣＡＳ
	DBA-5	運転状態Ⅳ（Ｌ）	○	○	○						○		ⅢＡＳ
ＳＡ[*2]	SA-1	運転状態Ⅴ（Ｌ）[*3]	○	○	○						○		ⅤＡＳ[*4]
	SA-2	運転状態Ⅴ（ＬＬ）	○	○	○							○	ⅤＡＳ[*4]

注記＊1：設計基準対象施設

＊2：重大事故等対処設備

＊3：運転状態Ⅴ（Ｌ）の評価は，温度条件を重大事故等時における最高使用温度 166℃とした運転状態Ⅴ（ＬＬ）の評価で代表される。

＊4：許容応力状態ⅤＡＳとしてⅣＡＳの許容応力を用いる。

表4－4　許容応力（クラス２，３管及び重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力*2	一次＋二次応力＋ピーク応力*2
ⅢＡＳ	Ｓｙと0.6・Ｓｕ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	Ｓｙ 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	弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。	
ⅣＡＳ	0.6・Ｓｕ	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Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。	

注記＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
ティー	[redacted]	最高使用温度	104	[redacted]	[redacted]	[redacted]	—

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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
ティー	[redacted]	最高使用温度	166	[redacted]	[redacted]	[redacted]	—

4.2.4　設計荷重

ストレーナ部に作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重，地震荷重等）はフランジを介してティーに伝達され，最終的に貫通部に伝達される。このため，ティーの設計荷重としては，ティー自身に作用する荷重に加え，先の伝達荷重を考慮する。

(1)　死荷重

ティーの死荷重を表 4－7 に示す。

表 4－7　死荷重

(単位：N)

部位	残留熱除去系
ティー	[redacted]

(2)　差圧

ティーの設計圧力は[redacted]MPa を考慮する。

4.3　解析モデル及び諸元

残留熱除去系ストレーナ部ティーの応答解析用モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはＶ-2-5-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また，機器の諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1) 応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，固有値及び荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化する。

(2) ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は完全拘束とする。

(3) 各部の質量は，各部の重心位置（図 4－1 の△の節点）に集中質量を与える。

(4) 本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(5) 解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる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。

図 4－1　応答解析用モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－8 に示す。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 4－8　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
			X方向	Y方向	
1 次	ねじり*	0.030	―	―	―

注記＊：図 4－1 の貫通部スリーブ（X 軸）を中心としたねじり

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－9 及び表 4－10 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-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 4－9　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－10　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

ティーに発生する応力は，設計・建設規格　PPC-3520 に従い算出する。なお，ティーの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計しているため，ここでは管についての評価を行う。

$$S_{prm} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b} \cdot M_b}{Z_b} + \frac{B_{2r} \cdot M_r}{Z_r}$$

4.6.2　応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは，図 4－2 に示す主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管のモーメントは 4.2.4 項に示したようにストレーナ部からの伝達荷重を考慮し，分岐管のモーメントは先の伝達荷重に加え，ティー自身に作用する荷重から算出したモーメントを考慮する。

算出したモーメントを表 4－11 に示す。ここでのモーメントとは，設計・建設規格　解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

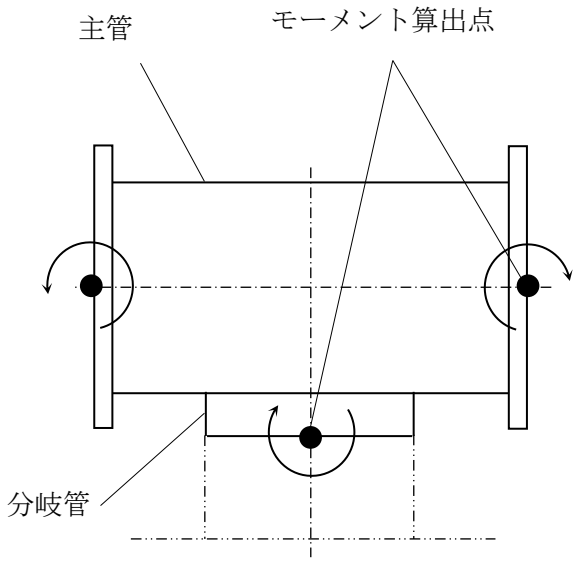


図 4－2　ティーのモーメント算出点

表 4－11　ティーの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	ＳＲＶ荷重		
5	Ｓｄ*地震荷重		
6	Ｓｓ地震荷重		
7	異物Ｓｄ*地震荷重		
8	異物Ｓｓ地震荷重		

4.7　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8　応力の評価

「4.6　計算方法」で求めた応力が表 4－4，表 4－5 及び表 4－6 を用いて算出した許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ストレーナ部ティー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態ⅢＡＳ及びⅣＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ストレーナ部ティー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態ＶＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

【残留熱除去系ストレーナ部ティー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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
残留熱除去系ストレーナ部ティー	S	原子炉建屋 T.M.S.L.□ (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27	104	—

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

（単位：mm）

貫通部番号	外径D_o	板厚 t	フランジ間距離 L
X-201～203			

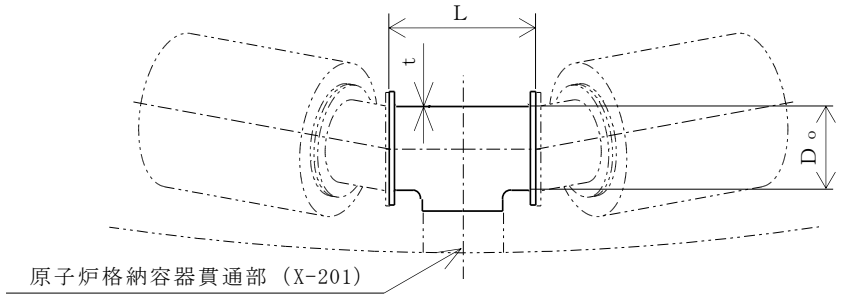
B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

（単位：MPa）

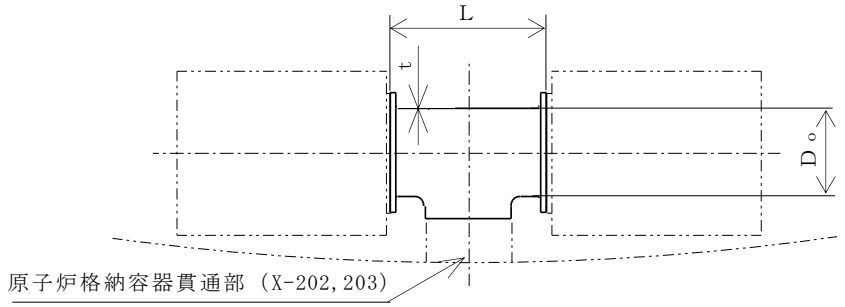
部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
ティー					—

（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナ部ティーの材質	—	
残留熱除去系ストレーナ部ティーの質量	kg	
残留熱除去系ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	



残留熱除去系ストレーナ部ティー（貫通部：X-201）



残留熱除去系ストレーナ部ティー（貫通部：X-202,203）

1.3 計算数値

1.3.1 水力学的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

（単位：N）

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	ＳＲＶ荷重			

1.3.2 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力Ｐ (MPa)

（単位：N･mm）

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	ＳＲＶ荷重		
5	Ｓｄ*地震荷重		
6	Ｓｓ地震荷重		
7	異物Ｓｄ*地震荷重		
8	異物Ｓｓ地震荷重		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.030

1.4.2 応力

（単位：MPa）

評価対象設備	材料	応力分類	ⅢAS			ⅣAS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレーナ部ティー	[redacted]	一次応力	47	169	DBA-3	69	395	DBA-4

すべて許容応力以下である。

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
残留熱除去系ストレーナ部ティー	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27	166	—

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

（単位：mm）

貫通部番号	外径D_o	板厚 t	フランジ間距離L
X-201～203			

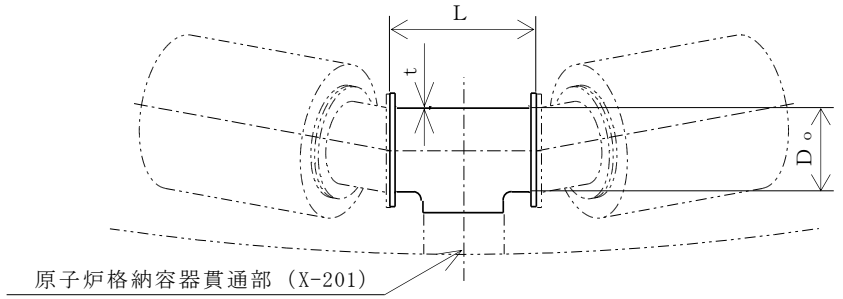
B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

（単位：MPa）

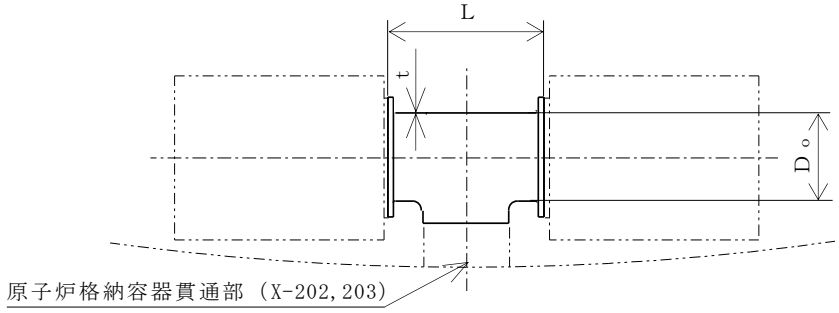
部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
ティー					—

（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナ部ティーの材質	—	
残留熱除去系ストレーナ部ティーの質量	kg	
残留熱除去系ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	



残留熱除去系ストレーナ部ティー（貫通部：X-201）



残留熱除去系ストレーナ部ティー（貫通部：X-202,203）

2.3 計算数値

2.3.1 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力P (MPa)

(単位：N･mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	Ｓｄ*地震荷重		
5	Ｓｓ地震荷重		
6	異物Ｓｄ*地震荷重		
7	異物Ｓｓ地震荷重		

2.4 結論

2.4.1 固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.030

2.4.2 応力

（単位：MPa）

評価対象設備	材料	応力分類	V_AS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系 ストレーナ部ティー	[redacted]	一次応力	69	373	SA-2

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-5-3-1-5　残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ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.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 8
4.2.2　許容応力 ····· 8
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 8
4.2.4　設計荷重 ····· 14
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 15
4.4　固有周期 ····· 16
4.5　設計用地震力 ····· 17
4.6　計算方法 ····· 18
4.6.1　コネクタの計算方法 ····· 18
4.6.2　フランジの計算方法 ····· 20
4.7　計算条件 ····· 21
4.8　応力の評価 ····· 21
5.　評価結果 ····· 22
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 22
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 22
6.　引用文献 ····· 22

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ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。その耐震評価は残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの応力評価により行う。

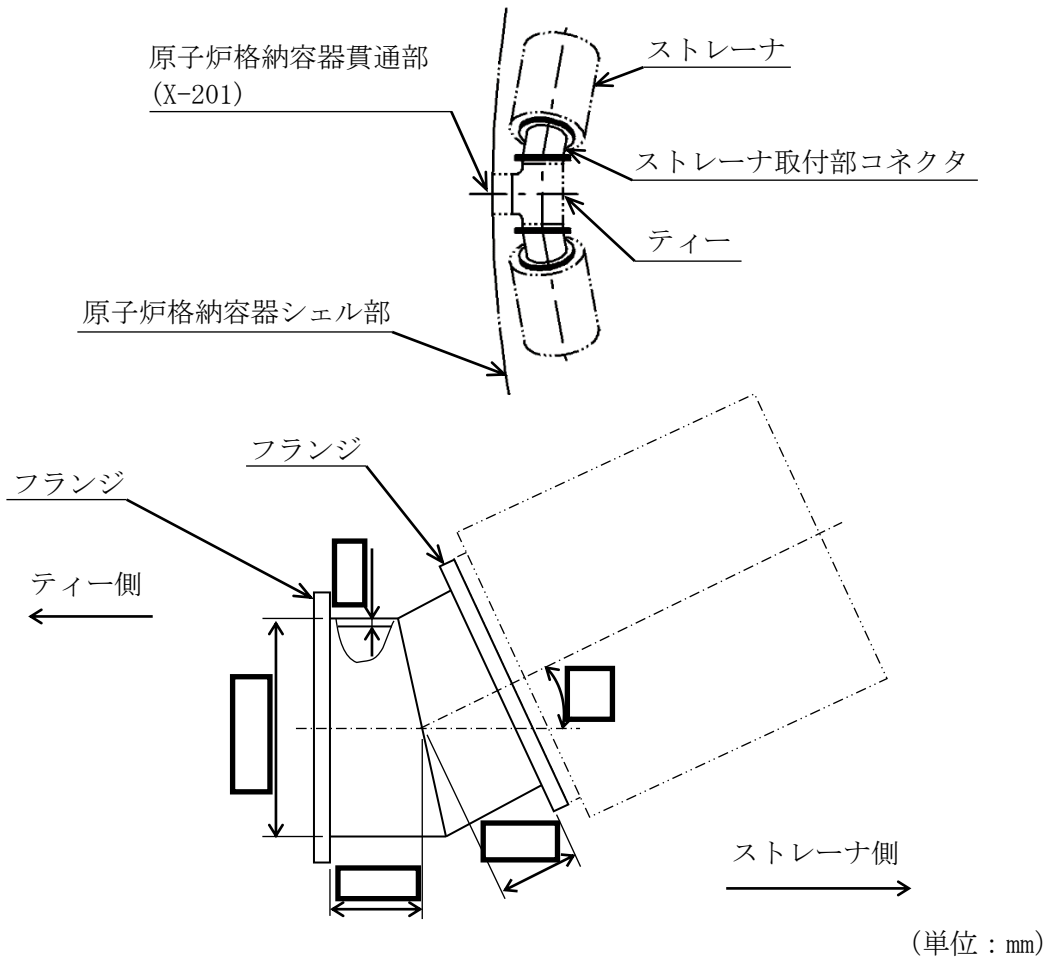
残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張），常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの構造計画を表 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	
ストレーナ取付部コネクタは，サプレッションプール内に水没された状態で設置されており，ティー及びストレーナの間に取り付けられる。	コネクタ	

2.2　評価方針

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの応力評価は,「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規)」(平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定)）及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき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」にて示す残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において,「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で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,「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

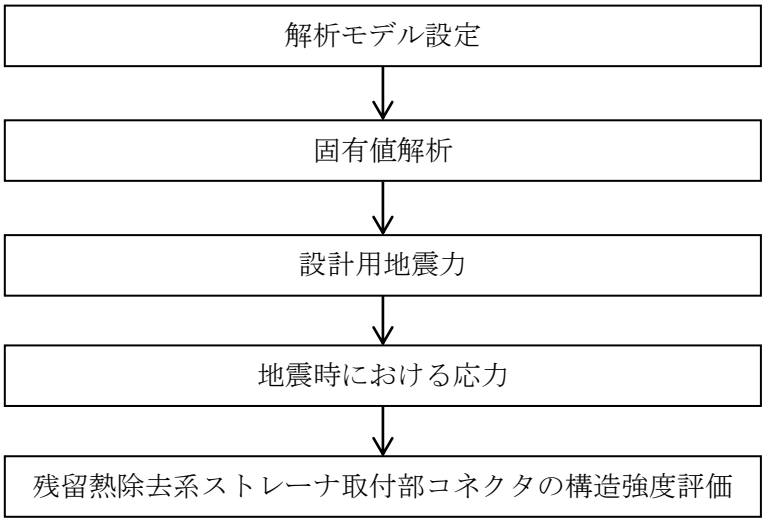


図 2－1　残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規)（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
B	応力係数	—
D	外径	mm
L	長さ	mm
M	モーメント	N･mm
P	圧力	MPa
Ｓｄ*	弾性設計用地震動Ｓｄにより定まる地震力又は静的地震力	—
Ｓｓ	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	—
t	厚さ	mm
Z	断面係数	mm^3
σ	応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

＊2：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。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，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。

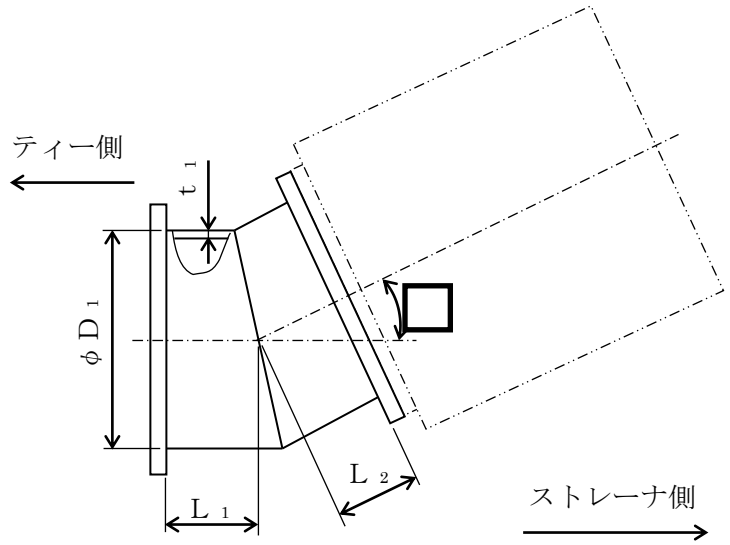
3. 評価部位

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ストレーナ取付部コネクタ及びフランジについて実施する。

なお，V-2-5-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ取付部ボルトの評価は，ストレーナ取付部で発生する荷重及びモーメントよりティーとコネクタ間で発生する荷重及びモーメントの方が大きいため，ティーとコネクタ間で発生する荷重及びモーメントを用いており，残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタをストレーナ部ティーに取り付けるためのボルトの評価は，V-2-5-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ取付部ボルトの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

また，残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタのフランジのうちストレーナと取り付けるフランジの評価は，ストレーナ側フランジより板厚を大きく設計しており（コネクタ側フランジ厚さ□mm，ストレーナ側□mm），V-2-5-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ側フランジの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの形状及び主要寸法を図3－1に示す。



残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ（貫通部番号：X-201）

D_1＝□　L_1＝□　L_2＝□　t_1＝□

図3－1　残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの形状及び主要寸法（単位：mm）

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　ストレーナ取付部コネクタは，ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

(2)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

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

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ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。また，荷重の組合せの整理表を表 4－3 に示す。

4.2.2　許容応力

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 に示す。なお，評価対象は，構造又は形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分小さいため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ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。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

コネクタ

フランジ

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣＡＳ

表4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備格納容器スプレイ冷却系	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	常設／防止（ＤＢ拡張）常設／緩和（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

（続き）

原子炉 格納施設	原子炉格納容器 安全設備 サプレッション チェンバプール 水冷却系	残留熱除去系 ストレーナ 取付部コネクタ	常設／防止 （ＤＢ拡張） 常設／緩和 （ＤＢ拡張）	重大事故等 クラス２	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*2	ⅣＡＳ
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）
原子炉 格納施設	原子炉格納容器 安全設備 代替循環冷却系	残留熱除去系 ストレーナ 取付部コネクタ	常設／緩和	重大事故等 クラス２	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*2	ⅣＡＳ
					Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張），「常設／緩和（ＤＢ拡張)」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：「Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ」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　荷重の組合せ整理表

組合せNo.		運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	Ｓｄ* 荷重	Ｓｓ荷重	
ＤＢＡ*1	DBA-1	運転状態Ⅰ	○								○		ⅢＡＳ
	DBA-2	運転状態Ⅰ	○									○	ⅣＡＳ
	DBA-3	運転状態Ⅱ	○			○					○		ⅢＡＳ
	DBA-4	運転状態Ⅱ	○			○						○	ⅣＡＳ
	DBA-5	運転状態Ⅳ（Ｌ）	○	○	○						○		ⅢＡＳ
ＳＡ*2	SA-1	運転状態Ⅴ（Ｌ）*3	○	○	○						○		ⅤＡＳ*4
	SA-2	運転状態Ⅴ（ＬＬ）	○	○	○							○	ⅤＡＳ*4

注記＊1：設計基準対象施設

＊2：重大事故等対処設備

＊3：運転状態Ⅴ（Ｌ）の評価は，温度条件を重大事故等時における最高使用温度166℃とした運転状態Ⅴ（ＬＬ）の評価で代表される。

＊4：許容応力状態ⅤＡＳとしてⅣＡＳの許容応力を用いる。

表4－4　許容応力（クラス２，３管及び重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力*2	一次＋二次応力＋ピーク応力*2
ⅢAS	S_yと0.6・Su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	S_y 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	弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は不要。	
ⅣAS	0.6・Su	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Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S_y以下であれば，疲労解析は不要。	

注記＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
コネクタ	[redacted]	最高使用温度	104	[redacted]	[redacted]	[redacted]	―
フランジ	[redacted]	最高使用温度	104	[redacted]	[redacted]	[redacted]	―

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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
コネクタ	[redacted]	最高使用温度	166	[redacted]	[redacted]	[redacted]	―
フランジ	[redacted]	最高使用温度	166	[redacted]	[redacted]	[redacted]	―

4.2.4　設計荷重

(1)　死荷重

残留熱除去系ストレーナとコネクタの自重による荷重及び残留熱除去系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重*の2つの死荷重を考慮する。

ストレーナ　　N

コネクタ　　N

異物　　N

注記＊：異物荷重は運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

(2)　差圧

コネクタの設計圧力は　　MPa を考慮する。

4.3　解析モデル及び諸元

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの応答解析用モデルを図 4－1 に,解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはＶ-2-5-3-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また，機器の諸元を本計算書の【残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，固有値及び荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化する。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており,付根部は完全拘束とする。

(3)　各部の質量は，各部の重心位置（図 4－1 の△の節点）に集中質量を与える。

(4)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため,応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(5)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる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。

図 4－1　応答解析用モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－7 に示す。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 4－7　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
			X方向	Y方向	
1 次	ねじり*	0.030	―	―	―

注記＊：図 4－1 の貫通部スリーブ（X 軸）を中心としたねじり

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－8 及び表 4－9 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-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 4－8　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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－9　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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	―	―	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

4.6　計算方法

4.6.1　コネクタの計算方法

(1)　応力の計算方法

コネクタに発生する応力は，設計・建設規格　PPC-3520 に従い算出する。なお，コネクタの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計するため，ここでは管について評価を行う。

応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prm} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_2 \cdot M_{max}}{Z}$$

ここに，

S_{prm}　：発生応力(MPa)

P　：最高使用圧力（設計圧力）(MPa)

D_o　：管の外径(mm)

t　：管の厚さ(mm)

B_1　：設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数（＝　　）

B_2　：設計・建設規格　式 PPB-4.20 により算出した応力係数（＝　　）

$$= \frac{1.30}{h^{\frac{2}{3}}}$$

h　：設計・建設規格　式 PPB-4.21 により計算した値

$$= \frac{t \cdot R}{r^2}$$

R　：コネクタ中心線の曲率半径＝　　(mm)

r　：設計・建設規格　式 PPB-4.19 により計算した値(mm)

$$= \frac{D_o - t}{2}$$

M_{max}　：表 4－10 に示す最大モーメント(N･mm)

Z　：管の断面係数(mm^3)

(2)　応力解析に用いるモーメント

コネクタの設計荷重は,ストレーナからの伝達荷重とコネクタ自身に作用する荷重から算出した，図 4－2 に示すコネクタのストレーナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。なお，ここでの最大モーメントとは，コネクタのティーとの取合い部における 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

算出した最大モーメントを表 4－10 に示す。

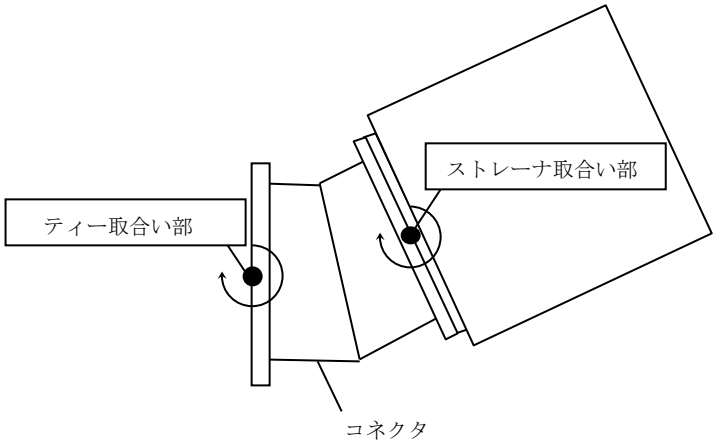


図 4－2　コネクタのモーメント算出点

表 4－10　コネクタの設計荷重

(単位：N･mm)

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

4.6.2　フランジの計算方法

(1)　応力の計算方法

ストレーナ取付部コネクタのストレーナ部ティーと取り付けるフランジは,一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで取付フランジを以下のようにモデル化し，応力評価を行う。

取付フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4－11 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は,引用文献(1)より,図 4－3 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに,

σ_r　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4－11 に示す最大モーメント(N･mm)

a　：ボルト穴中心円半径＝[　　](mm)

b　：フランジ内半径＝[　　](mm)

t　：フランジ板厚＝[　　](mm)

β　：b／a （＝[　　]）から決まる計算上の係数＝[　　]

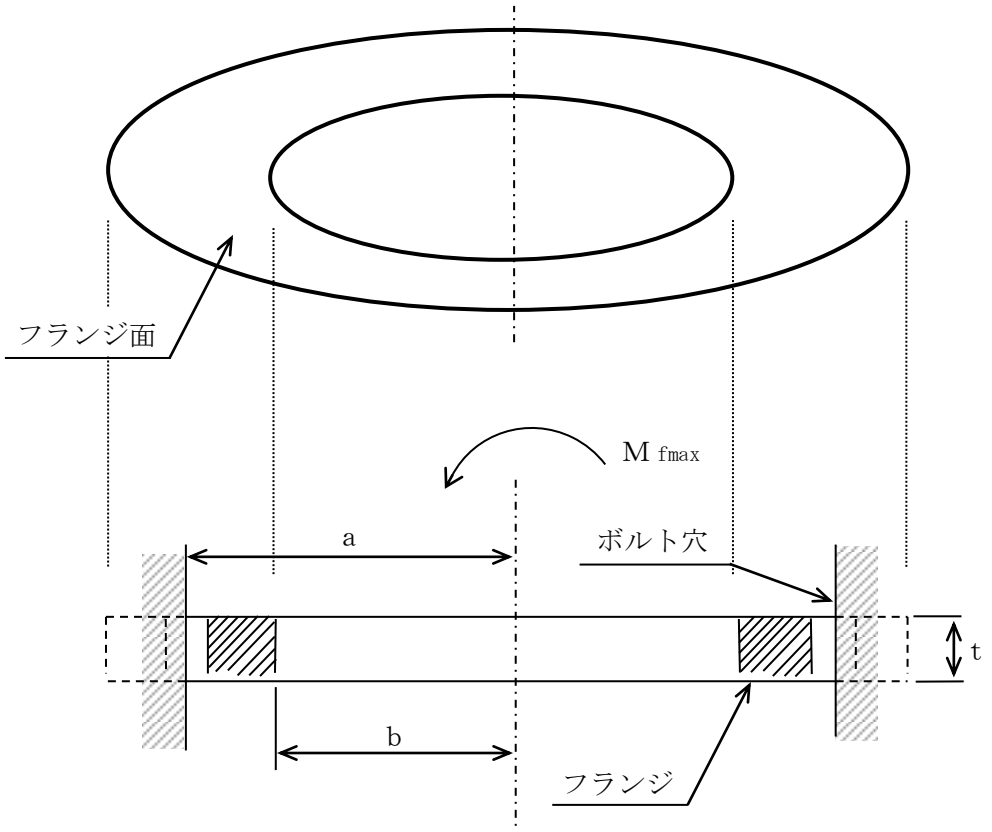


図 4－3　フランジ断面の計算モデル

(2)　応力解析に用いるモーメント

フランジの設計荷重は，図 4－2 に示すコネクタのストレーナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。算出した最大モーメントを表 4－11 に示す。ここでの最大モーメントとは，コネクタのティーとの取合い部におけるフランジに対して面外方向の曲げモーメントとする。フランジの面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は，フランジの面内剛性が大きいため，ここでは評価対象としない。

表 4－11　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

4.7　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8　応力の評価

「4.6　計算方法」で求めた残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの応力が表 4－4，表 4－5 及び表 4－6 を用いて算出した許容応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態ⅢＡＳ及びⅣＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態ＶＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

6. 引用文献

(1) WARREN C. YOUNG

“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

【残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	S	原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27	104	—

注記＊：基準床レベルを示す。

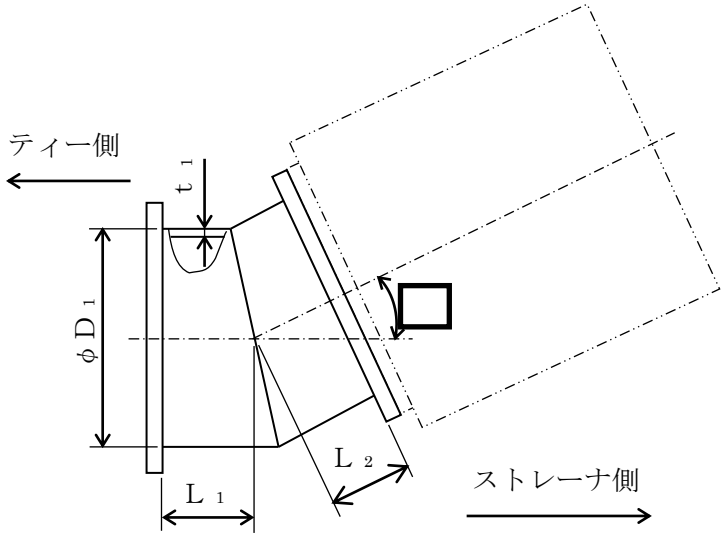
1.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	L_1	L_2	t_1

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
コネクタ					—
フランジ					—



（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタの材質	—	
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタの質量	kg/個	
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタの 内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

1.3 計算数値

1.3.1 水力学的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

(単位：N)

	荷重	X方向	Y方向	Z方向
1	ＳＲＶ荷重			

1.3.2 コネクタの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力Ｐ (MPa)

(単位：N･mm)

	荷重	最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.3.3　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.030

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	材料	応力分類	ⅢAS			ⅣAS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	[redacted]	一次応力	59	169	DBA-3	82	395	DBA-4
フランジ	[redacted]	一次応力	50	169	DBA-3	69	395	DBA-4

すべて許容応力以下である。

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L.[redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27	166	—

注記＊：基準床レベルを示す。

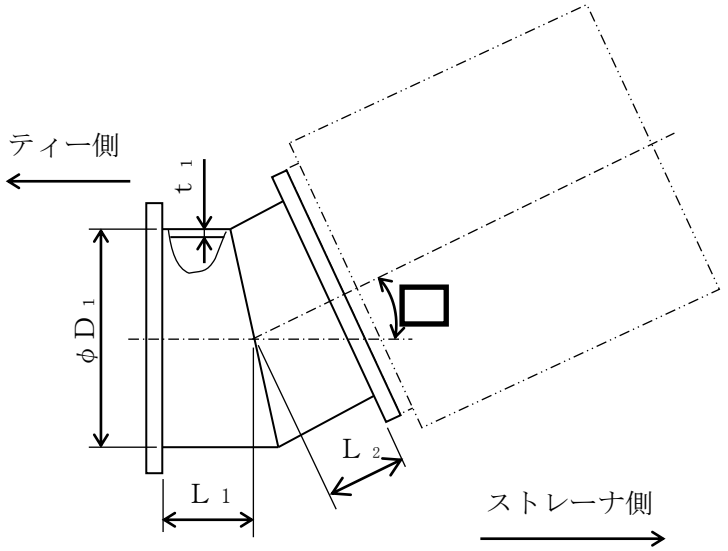
2.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	L_1	L_2	t_1

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
コネクタ					—
フランジ					—



（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタの材質	—	
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタの質量	kg/個	
残留熱除去系ストレーナ 取付部コネクタの 内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

2.3 計算数値

2.3.1 コネクタの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力P (MPa)

(単位：N･mm)

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	Ｓｄ*地震荷重	
5	Ｓｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.3.2　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	Ｓｄ*地震荷重	
5	Ｓｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.030

2.4.2 応力

（単位：MPa）

評価対象設備	材料	応力分類	VAS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ
残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタ	[redacted]	一次応力	71	373	SA-2
フランジ	[redacted]	一次応力	57	373	SA-2

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-5-3-1-6　管の耐震性についての計算書

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　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 9
3.　計算条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
3.1　計算方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 19
3.2　荷重の組合せ及び許容応力状態　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20
3.3　設計条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21
3.4　材料及び許容応力　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 45
3.5　設計用地震力　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
4.　解析結果及び評価　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
4.1　固有周期及び設計震度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
4.2　評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
4.2.1　管の応力評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
4.2.2　支持構造物評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 74
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 75
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果　・・・・・・・・・・・・・ 76

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-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，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

工事計画記載範囲の管のうち，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１６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

工事計画記載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

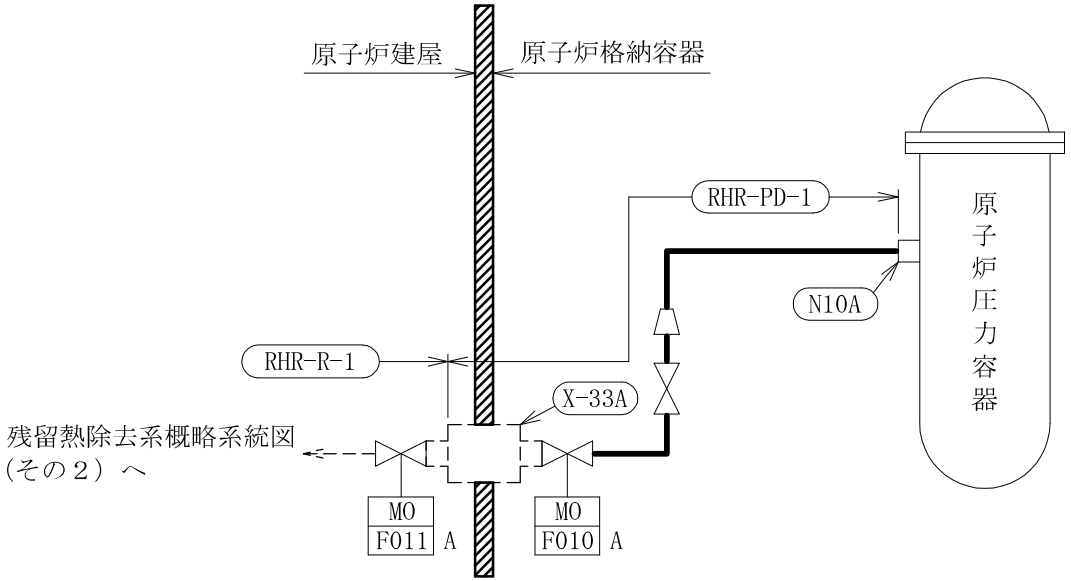
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

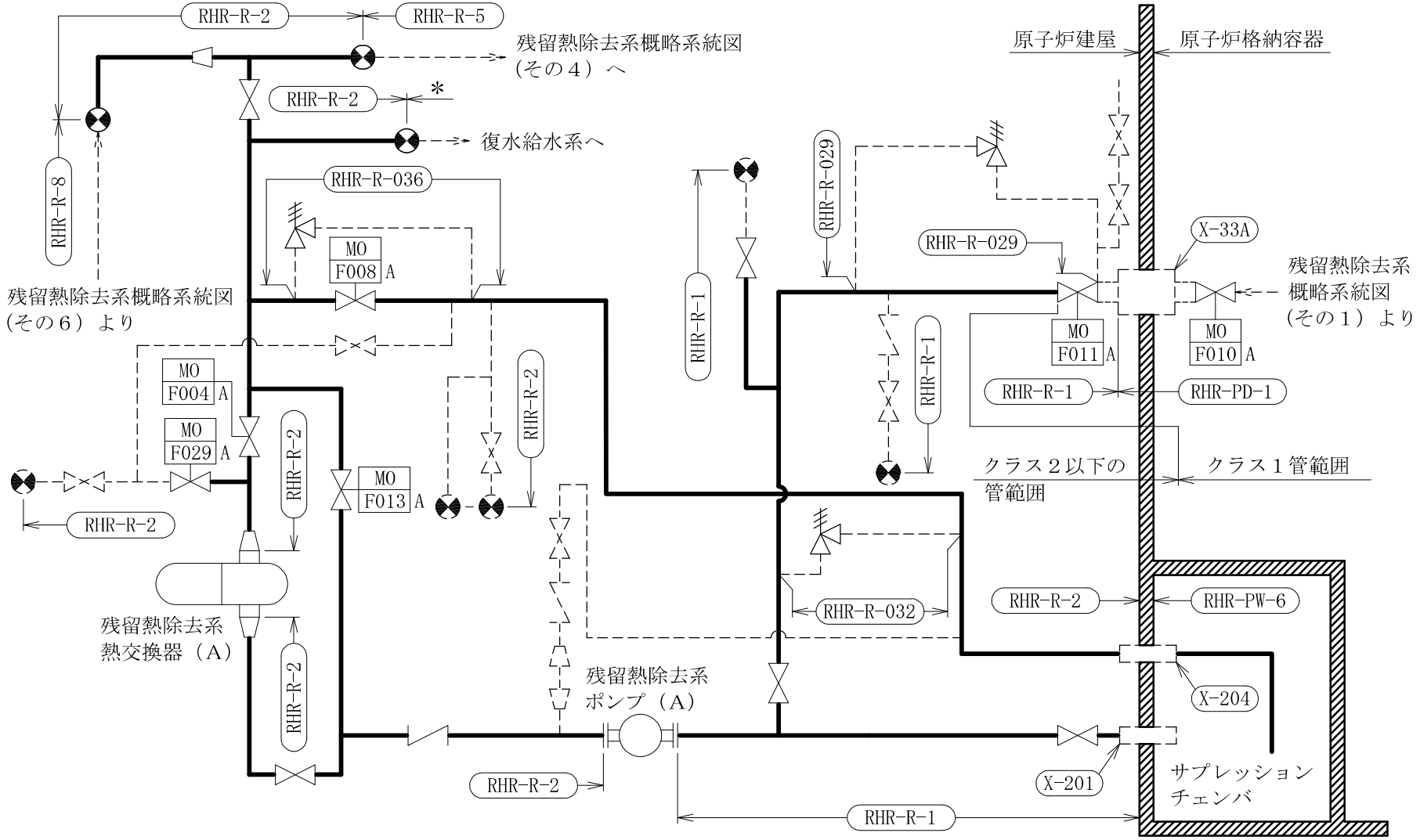
2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
━━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
――――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号
	アンカ

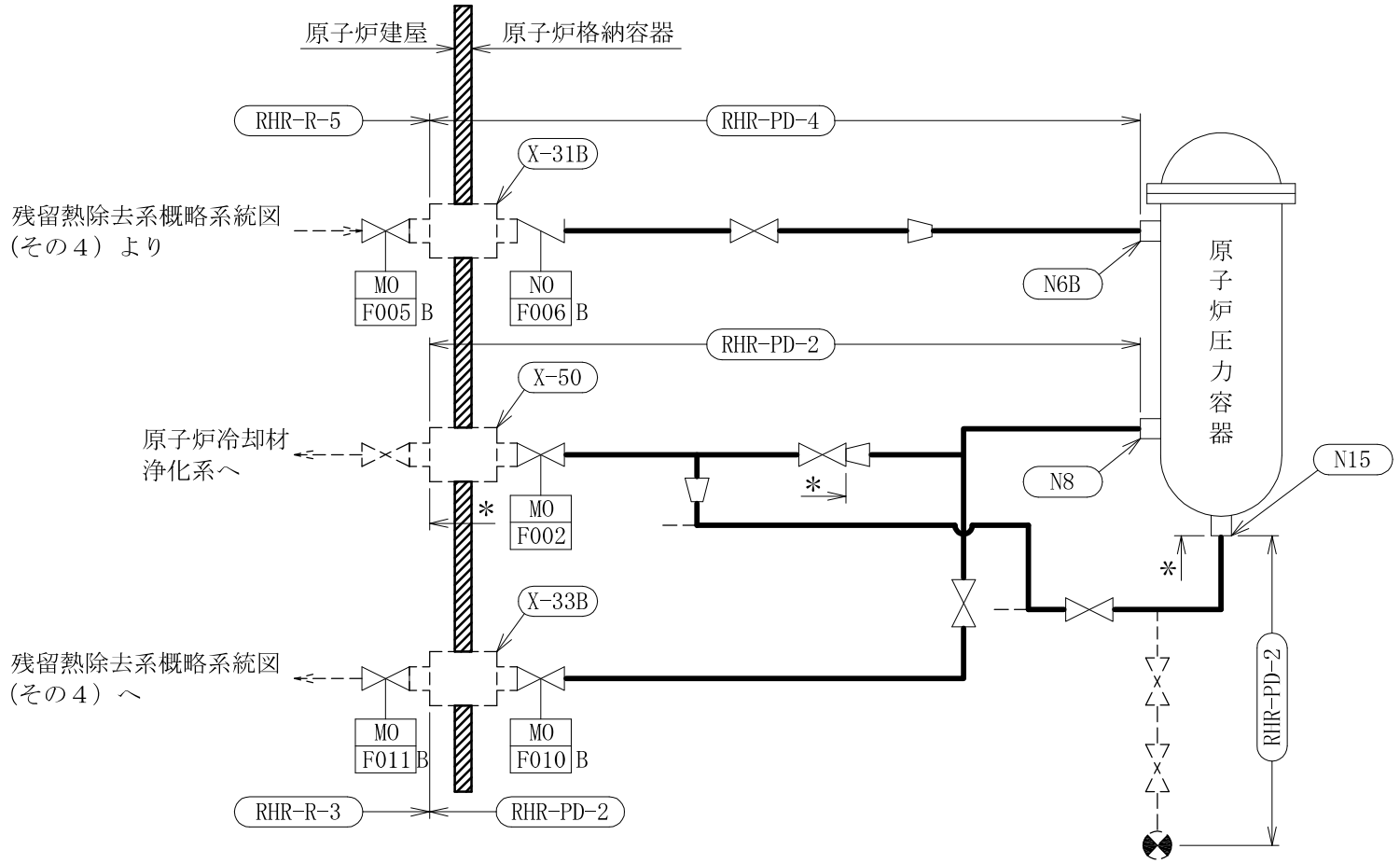


残留熱除去系概略系統図（その１）



注記＊：解析モデル上復水給水系に含める。

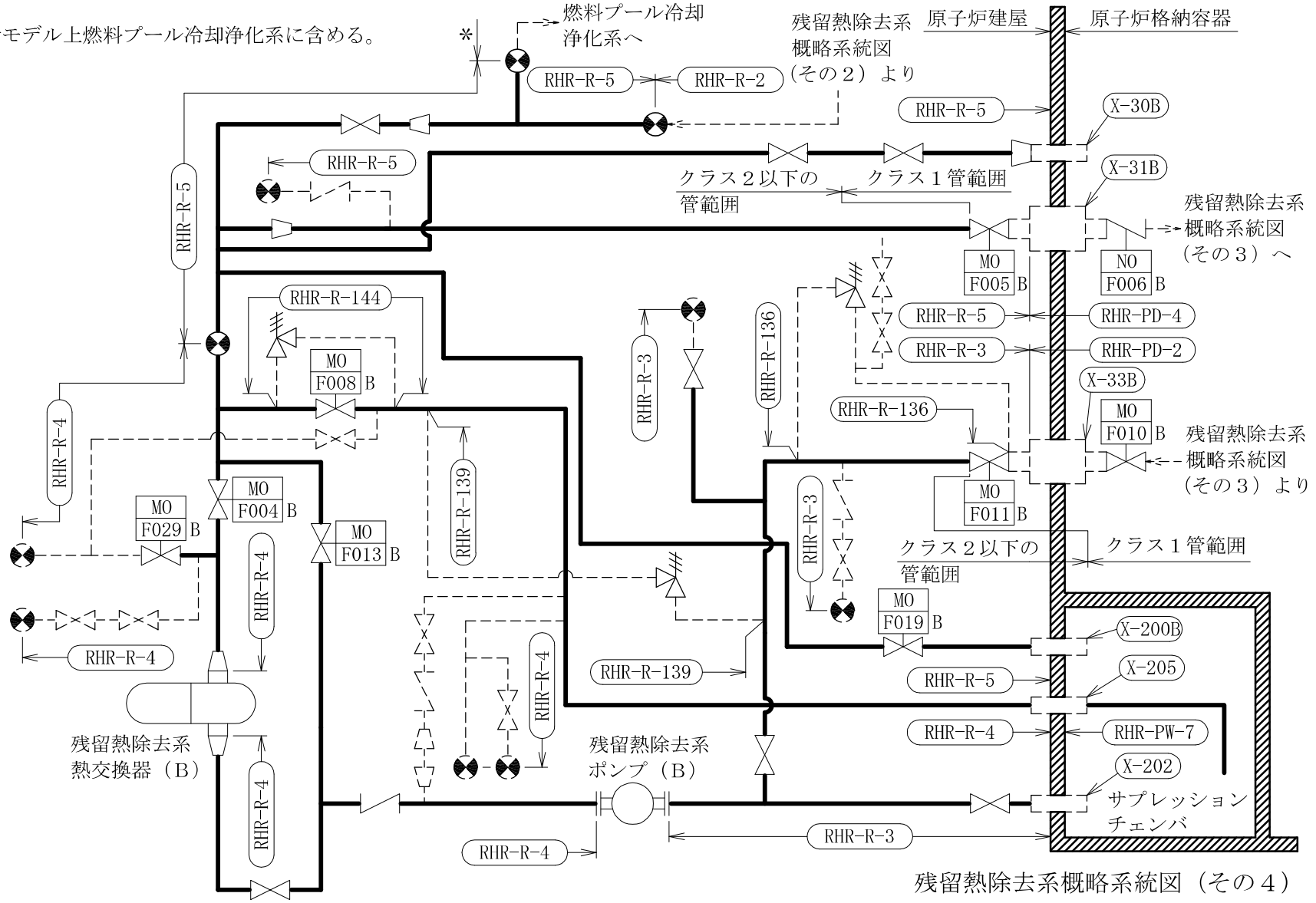
残留熱除去系概略系統図（その２）



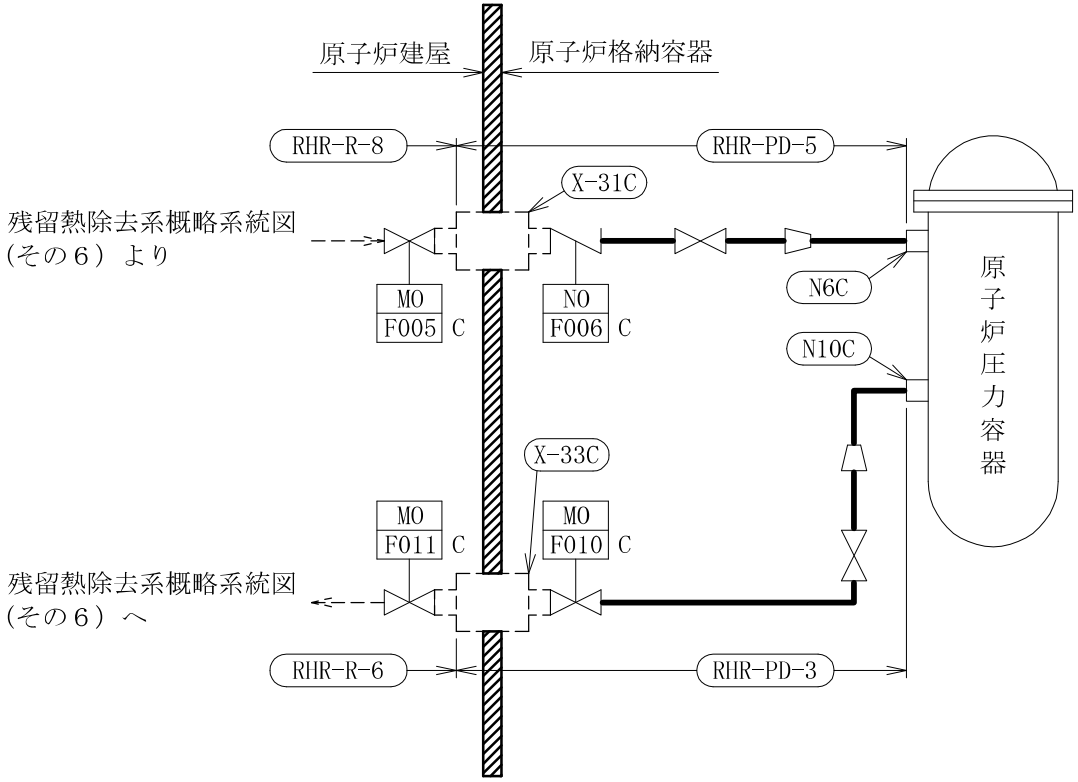
注記＊：原子炉冷却材浄化系 解析モデル上本系統に含める。

残留熱除去系概略系統図（その３）

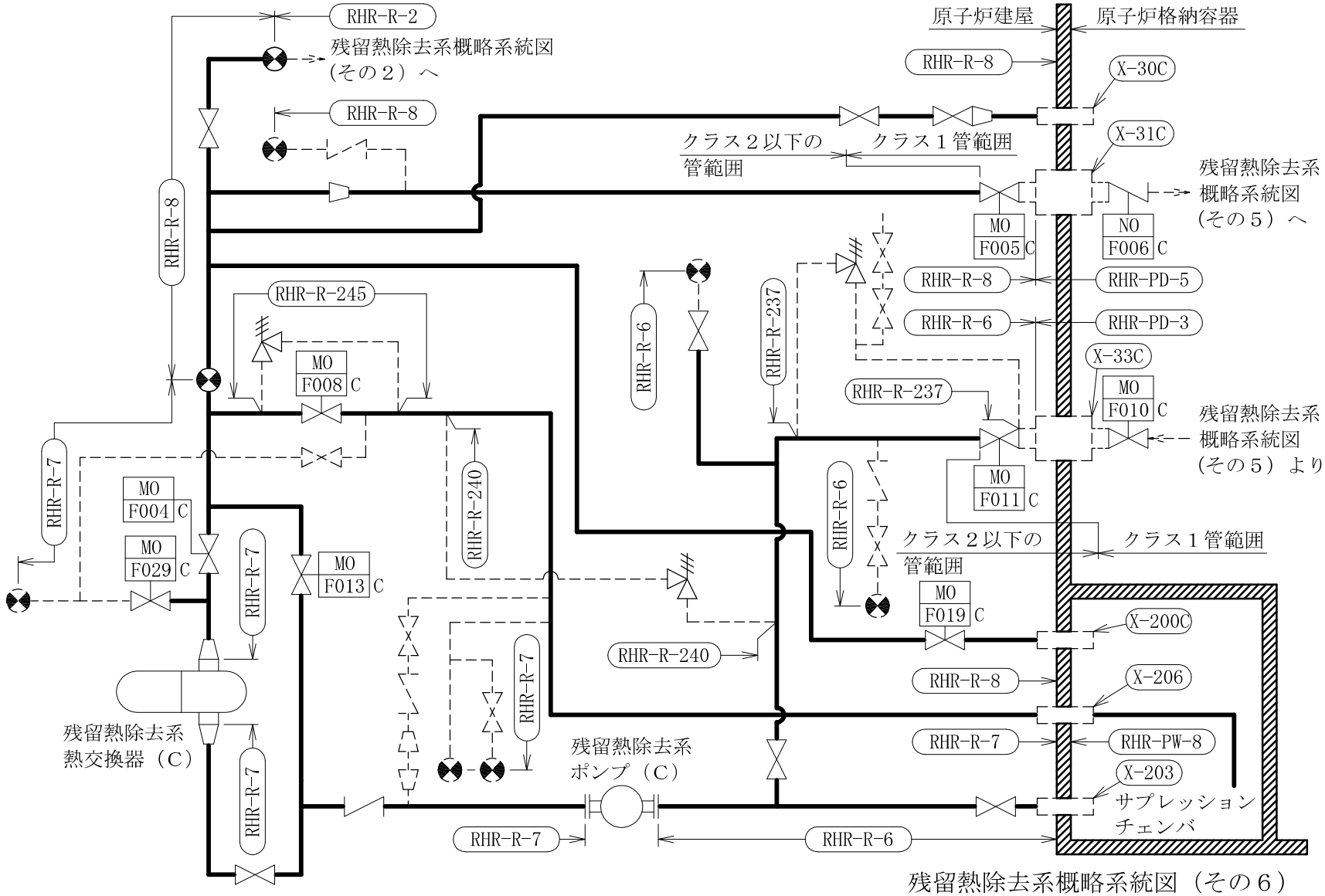
注記
＊：解析モデル上燃料プール冷却浄化系に含める。



残留熱除去系概略系統図（その４）



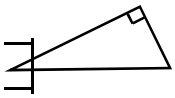
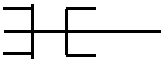
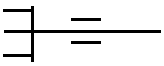
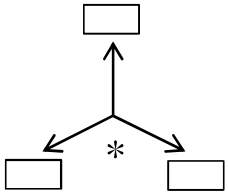
残留熱除去系概略系統図（その５）



残留熱除去系概略系統図（その６）

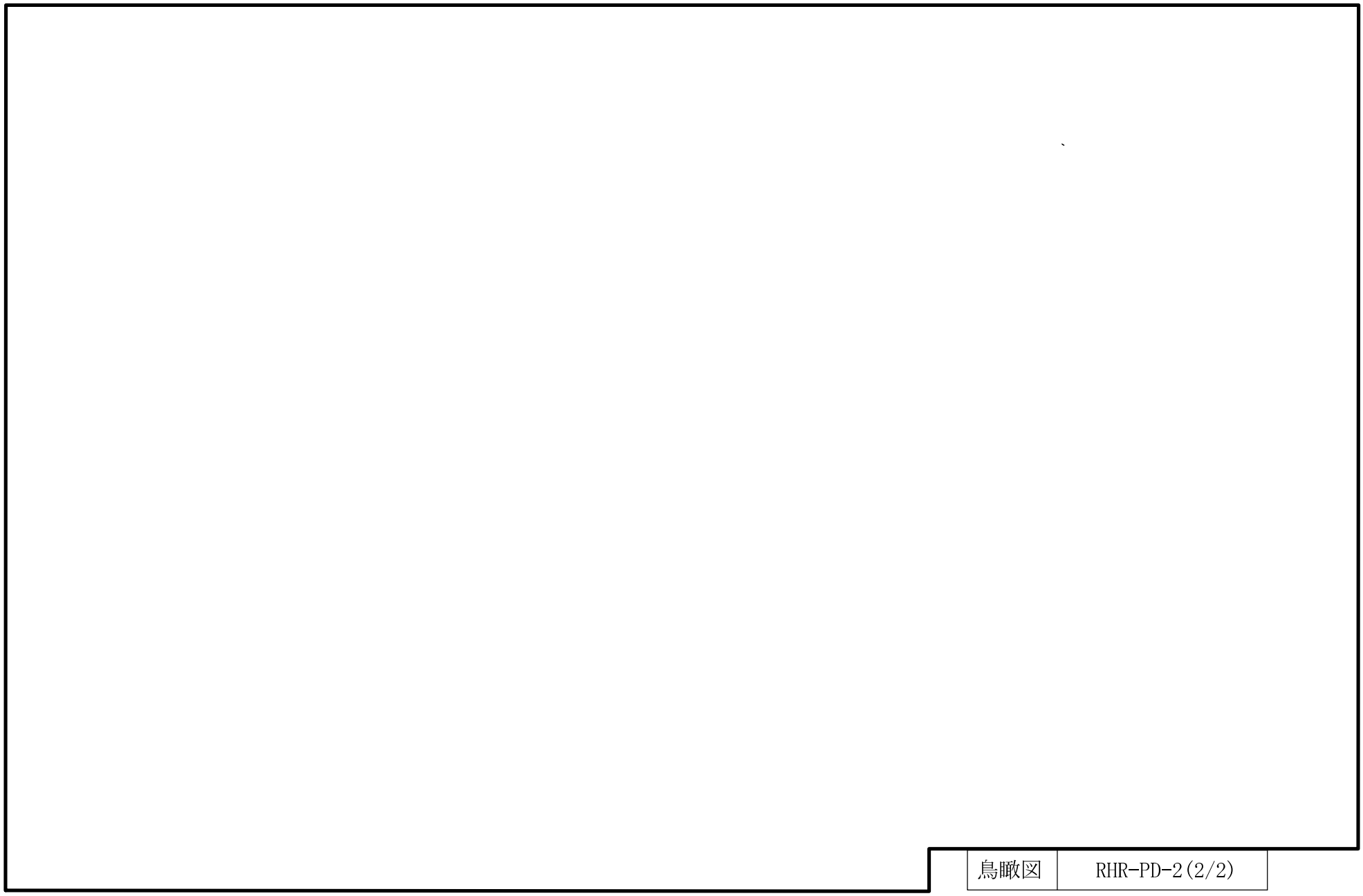
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

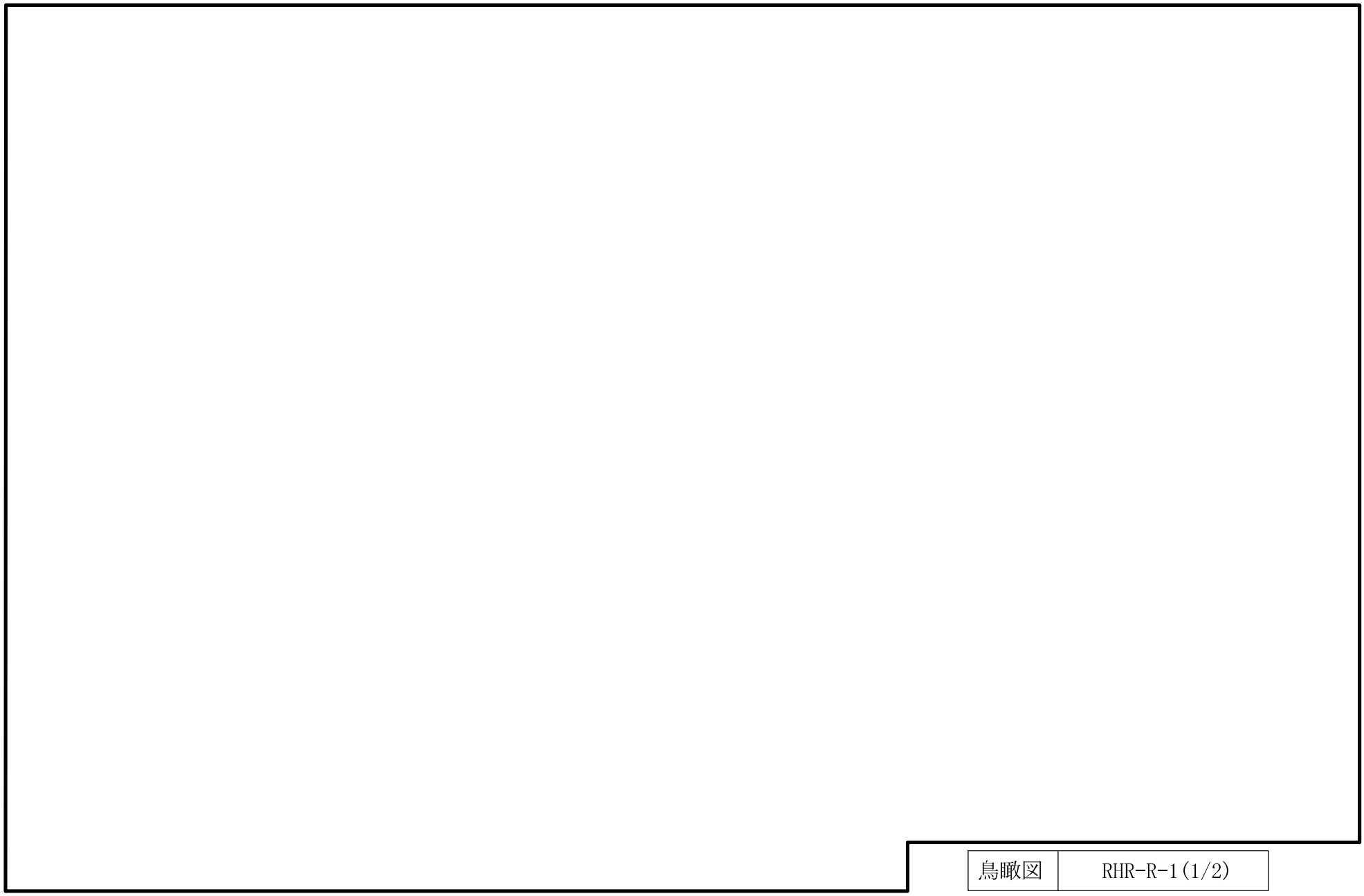
記号	内容
━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
──── （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
‐ ‐ ‐ ‐ ‐ （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質点
⊗	アンカ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) （＊は評価点番号，矢印は拘束方向を示す。また，□内に変位量を記載する。） 注1：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図	RHR-PD-1

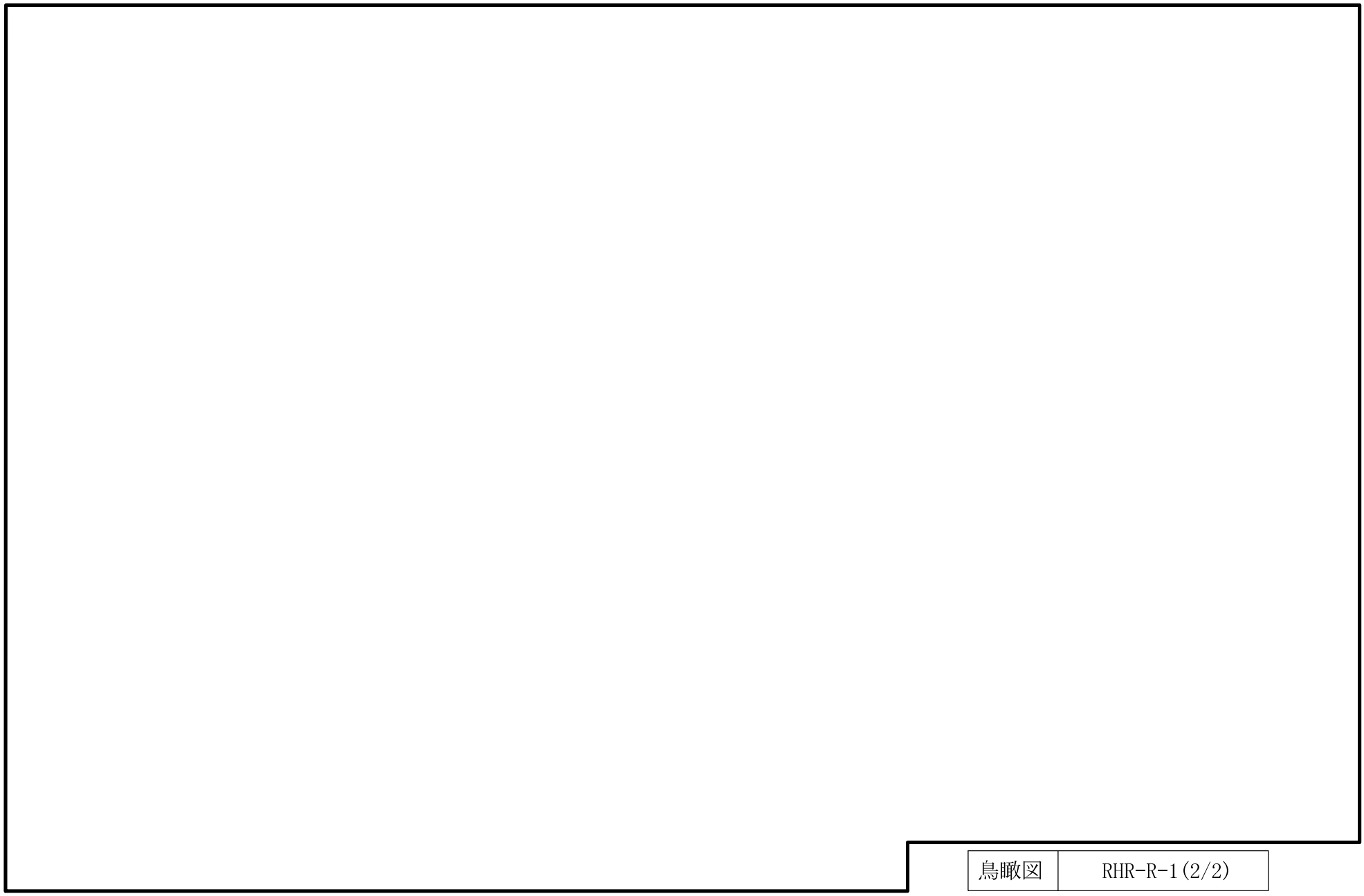
鳥瞰図	RHR-PD-2(1/2)



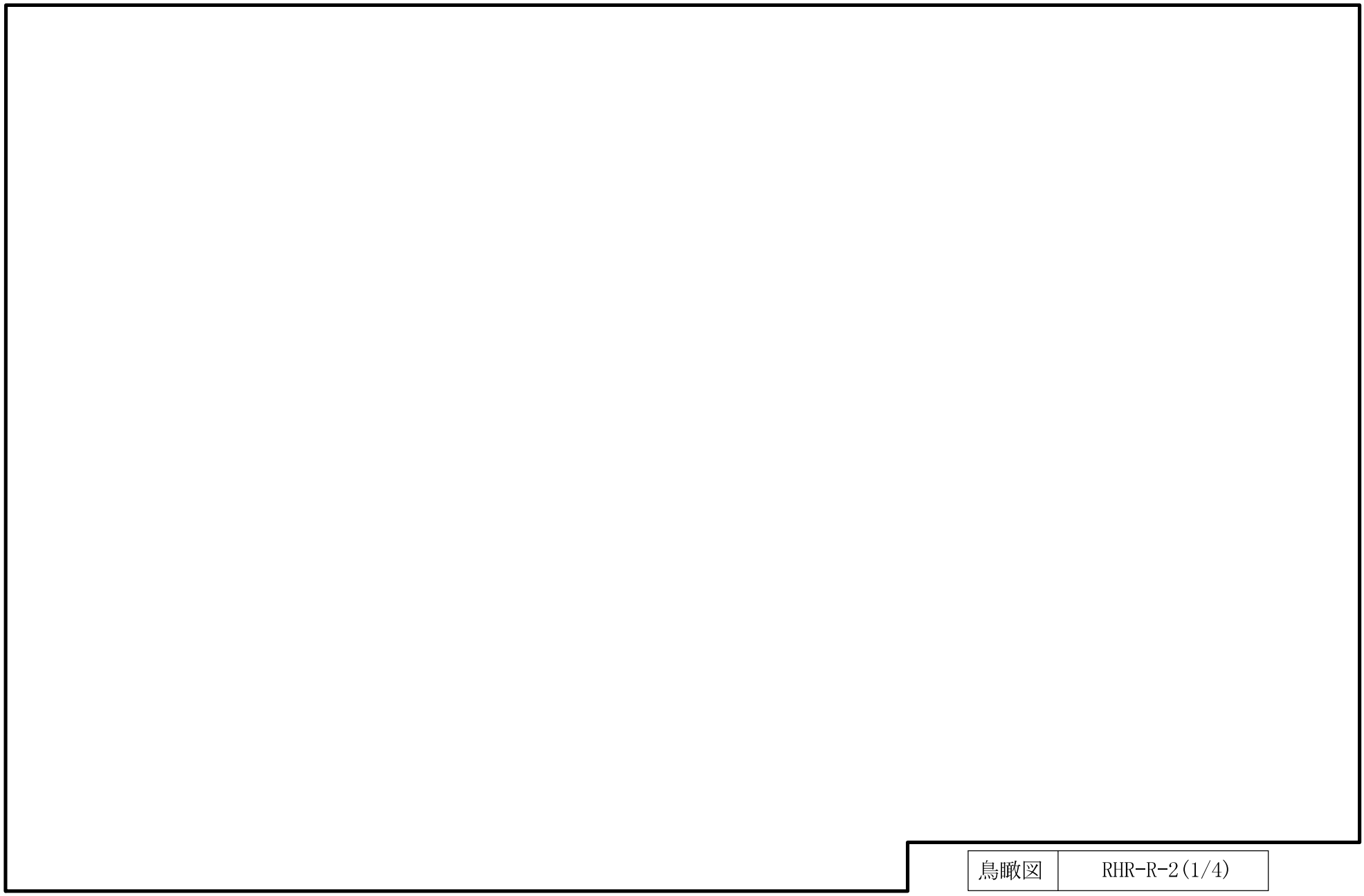
鳥瞰図	RHR-PD-2(2/2)



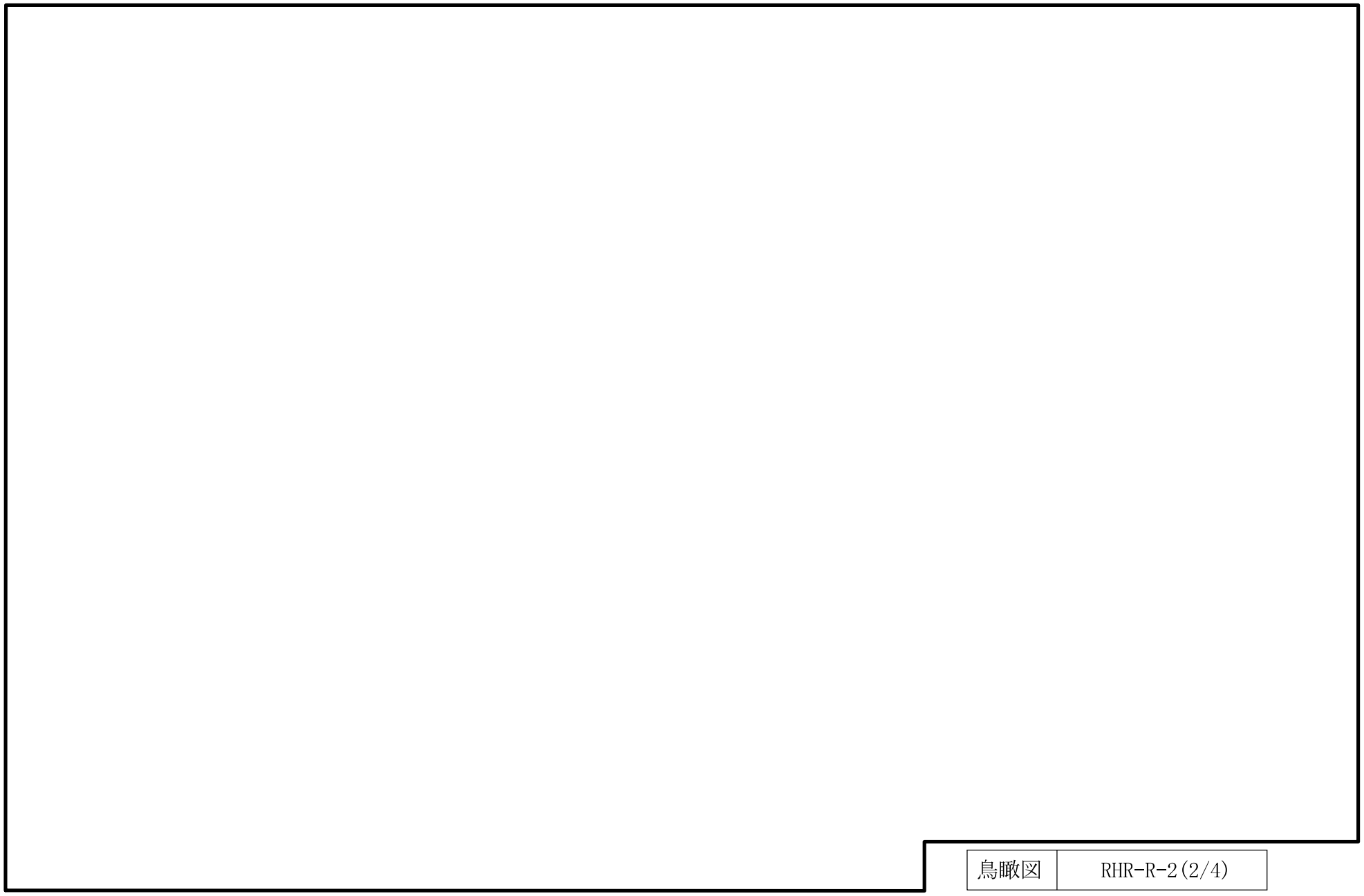
鳥瞰図	RHR-R-1(1/2)



鳥瞰図	RHR-R-1(2/2)



鳥瞰図	RHR-R-2(1/4)



鳥瞰図	RHR-R-2(2/4)

鳥瞰図	RHR-R-2(3/4)

鳥瞰図	RHR-R-2(4/4)

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，「ＨＩＳＡＰ」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	残留熱除去設備	残留熱除去系	ＤＢ	―	クラス１管 クラス２管	Ｓ	Ⅰ$_{L}$＋Ｓｄ	ⅢＡＳ
							Ⅱ$_{L}$＋Ｓｄ	
							Ⅳ$_{L}$（Ｌ）＋Ｓｄ	
							Ⅰ$_{L}$＋Ｓｓ	ⅣＡＳ
							Ⅱ$_{L}$＋Ｓｓ	
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材浄化設備	原子炉冷却材浄化系	ＤＢ	―	クラス１管	Ｓ	Ⅰ$_{L}$＋Ｓｄ	ⅢＡＳ
							Ⅱ$_{L}$＋Ｓｄ	
							Ⅰ$_{L}$＋Ｓｓ	ⅣＡＳ
							Ⅱ$_{L}$＋Ｓｓ	
							Ⅳ$_{L}$（Ｌ）＋Ｓｄ	

注記＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊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番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図　RHR-PD-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～3	8.62	302	318.5	21.4	STS410	S	186920
2	3～9	8.62	302	318.5	21.4	STS410	S	200400
3	10～15,19～23	8.62	302	355.6	23.8	STS410	S	200400

設計条件

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

鳥瞰図　RHR-PD-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～17,21～25 12～32	8.62	302	355.6	23.8	STS410	S	186920
2	34～51	8.62	302	216.3	15.1	STS410	S	186920
3	42～58	8.62	302	101.6	12.7	STS410	S	186920
4	59～72,73～112N	8.62	302	76.3	9.5	STS410	S	186920

設計条件

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

鳥瞰図　RHR-R-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～2	0.31	104	457.2	9.5	SM400C	S	200360
2	6～24N	1.37	182	457.2	9.5	SM400C	S	200360
3	9～25	1.37	182	355.6	11.1	SM400C	S	200360
4	25～26,30～421S	1.37	182	355.6	11.1	STPT410	S	200360
5	421S～78	1.37	182	355.6	11.1	STPT410	S	201667
6	71～101	1.37	182	318.5	10.3	STPT410	S	201667

設計条件

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

鳥瞰図　RHR-R-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～20,22～33S 265～269,270～277 278～281,274～286 290～24,265～339N	3.43	182	318.5	14.3	STPT410	S	200360
2	33S～61,63～72 300～321A,57～336A	3.43	182	318.5	14.3	STPT410	S	201667
3	72～88A,72～299	3.43	182	406.4	16.7	STS410	S	201667
4	16～93	3.43	182	165.2	7.1	STPT410	S	200360
5	164～168,164～183	3.43	104	267.4	9.3	STPT410	S	201667
6	172～36	3.43	182	267.4	12.7	STPT410	S	201667
7	183～196	0.31	104	267.4	9.3	STPT410	S	201667

配管の付加質量

鳥瞰図　RHR-PD-1

質量	対応する評価点
[redacted]	1N～1
[redacted]	1～301,6～6002,6003～8
[redacted]	301～6,6002～6003,8～9
[redacted]	10～12
[redacted]	12～1401
[redacted]	1401～15,19～23

配管の付加質量

鳥瞰図　RHR-PD-2

質量	対応する評価点
	1N～1
	1～3001, 4000～8001, 9001～10, 1301～1601, 2101～2401
	3001～4000, 8001～9001
	10～1301, 12～32, 34～3402
	1601～17
	21～2101
	2401～25
	3402～4001, 4411～4601, 47～5001
	4001～4411, 42～58, 59～60
	4601～47
	5001～51
	60～6200
	6200～6801, 7301～7601, 80～9301, 98～1000, 1010～107
	6801～72, 73～7301
	7601～80
	9301～98
	1000～1010

配管の付加質量

鳥瞰図　RHR-R-1

質量	対応する評価点
[redacted]	1～2, 6～1101, 1301～2001, 2002～24N
	1101～1301, 2001～2002
	9～2501, 2502～26, 30～31, 3501～3601, 39～3901 4201～43, 44～4501, 4502～461, 4801～4802, 5201～5301 5501～5502, 5901～5902, 64～65, 6901～6902, 7001～78 71～101
	2501～2502, 31～3501, 3601～39, 3901～4201, 43～44 4501～4502, 461～4801, 4802～5201, 5301～5501, 5502～5901 5902～64, 65～6901, 6902～7001

配管の付加質量

鳥瞰図　RHR-R-2

質量	対応する評価点
[redacted]	3～600, 1001～11, 1401～1801, 1802～20, 22～2201 2202～29, 3001～3101, 4401～4501, 4801～4802, 5102～52 55～5801, 6001～61, 283～286, 290～2921, 2941～2961 A297～2974, 2975～24, 57～3231, 3261～3271, 3291～3292 3331～3332
[redacted]	600～1001, 11～1401, 1801～1802, 2201～2202, 29～3001 3101～33S, 43S～4401, 4501～4801, 4802～5102, 52～55 5801～6001, 2921～2941, 2961～A297, 2974～2975, 3231～3261 3271～3291, 3292～3331, 3332～335S
[redacted]	33S～43S
[redacted]	63～72, 300～321A
[redacted]	72～88A, 72～299
[redacted]	16～8901, 9201～93
[redacted]	8901～9201, 265～269, 270～277, 278～281, 274～283, 265～339N
[redacted]	164～168, 172～36, 164～196
[redacted]	335S～336A

フランジ部の質量

鳥瞰図　RHR-R-1

質量	対応する評価点
[redacted]	20
[redacted]	24N

フランジ部の質量

鳥瞰図　RHR-R-2

質量	対応する評価点
[redacted]	1N, 282N
[redacted]	501, 640, 327, 2781
[redacted]	34
[redacted]	182, 183
[redacted]	339N

弁部の寸法

鳥瞰図　RHR-PD-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
15～16				16～17			
17～18				16～19			
23～24				24～2401			
2401～25				25～26			-
24～27							

弁部の寸法

鳥瞰図　RHR-PD-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
17～18				18～19			
19～20				18～21			
25～26				26～27			
27～28				26～29			
33～34				51～52			
52～53				53～54			
52～55				72～73			

弁部の寸法

鳥瞰図　RHR-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2～3			--	3～4			
4～5				3～6			
26～27				27～28			
28～29				27～30			
78～79				79～80			
80～81				79～82			
101～102							

弁部の寸法

鳥瞰図　RHR-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
20～21				21～2101			
2101～2102				21～22			
61～62				62～6201			
6201～6202				62～63			
93～94				94～95			
95～96				94～97			
168～169				169～170			
170～171				169～172			
269～270				277～278			
286～287				287～288			
288～289				287～290			

弁部の質量

鳥瞰図　RHR-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	17	[redacted]	18
[redacted]	2401	[redacted]	26

弁部の質量

鳥瞰図　RHR-PD-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	19	[redacted]	20
[redacted]	27	[redacted]	28
[redacted]	33～34	[redacted]	53
[redacted]	54	[redacted]	72～73

弁部の質量

鳥瞰図　RHR-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	4	[redacted]	5
[redacted]	28	[redacted]	29
[redacted]	80	[redacted]	81
[redacted]	101～102		

弁部の質量

鳥瞰図　RHR-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	2101,288	[redacted]	2102,289
[redacted]	6201	[redacted]	6202
[redacted]	95	[redacted]	96
[redacted]	170	[redacted]	171
[redacted]	269～270	[redacted]	277～278

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-PD-1

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
7						
** 13 **						
14						
22						
** 22 **						
** 25 **						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-PD-2

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
** 9 **						
16						
** 16 **						
16						
24						
** 24 **						
3401						
37						
3701						
39						
** 39 **						
40						
4002						
4401						
** 4402 **						
46						
50						
** 50 **						
** 6201 **						
** 63 **						
63						
64						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-PD-2

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
6601						
** 67 **						
** 68 **						
74						
77						
** 77 **						
** 81 **						
** 81 **						
** 84 **						
** 84 **						
** 87 **						
** 87 **						
** 90 **						
** 90 **						
93						
** 93 **						
1001						
106	-	-				

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-R-1

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
11						
24N						1
33						
36						
430						
431						
45						
53						
6101						
69						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-R-2

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
1N						
** 1N **						
** 1N **						
6						
18						
31						
3701						
45						
51						
5103						
5401						
** 5401 **						
64						
67						
7501						
81						
** 8401 **						
88A						
1650						
181						
184						
276						
282N						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-R-2

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
** 282N **						
** 282N **						
303						
307						
3121						
313						
317						
321A						
324						
**　324 **						
329						
336A						
339N						

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 (℃)	許容応力(MPa)			
		Ｓm	Ｓy	Ｓu	Ｓh
STS410	302	122	—	—	—
SM400C	104	—	219	373	—
SM400C	182	—	198	373	—
STPT410	182	—	209	404	—
STS410	182	—	209	404	—
STPT410	104	—	219	404	—

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Ⅴ-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Ⅴ-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	減衰定数(%)
RHR-PD-1	原子炉遮蔽壁		
RHR-PD-2	原子炉遮蔽壁		
RHR-R-1	原子炉建屋		
RHR-R-2	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RHR-PD-1

適用する地震動等		Ｓｄ及び静的震度			Ｓｓ		
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							
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：Ｓｄ又はＳｓ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。

＊3：3.6Ｃｉ及び1.2Ｃｖ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　RHR-PD-1

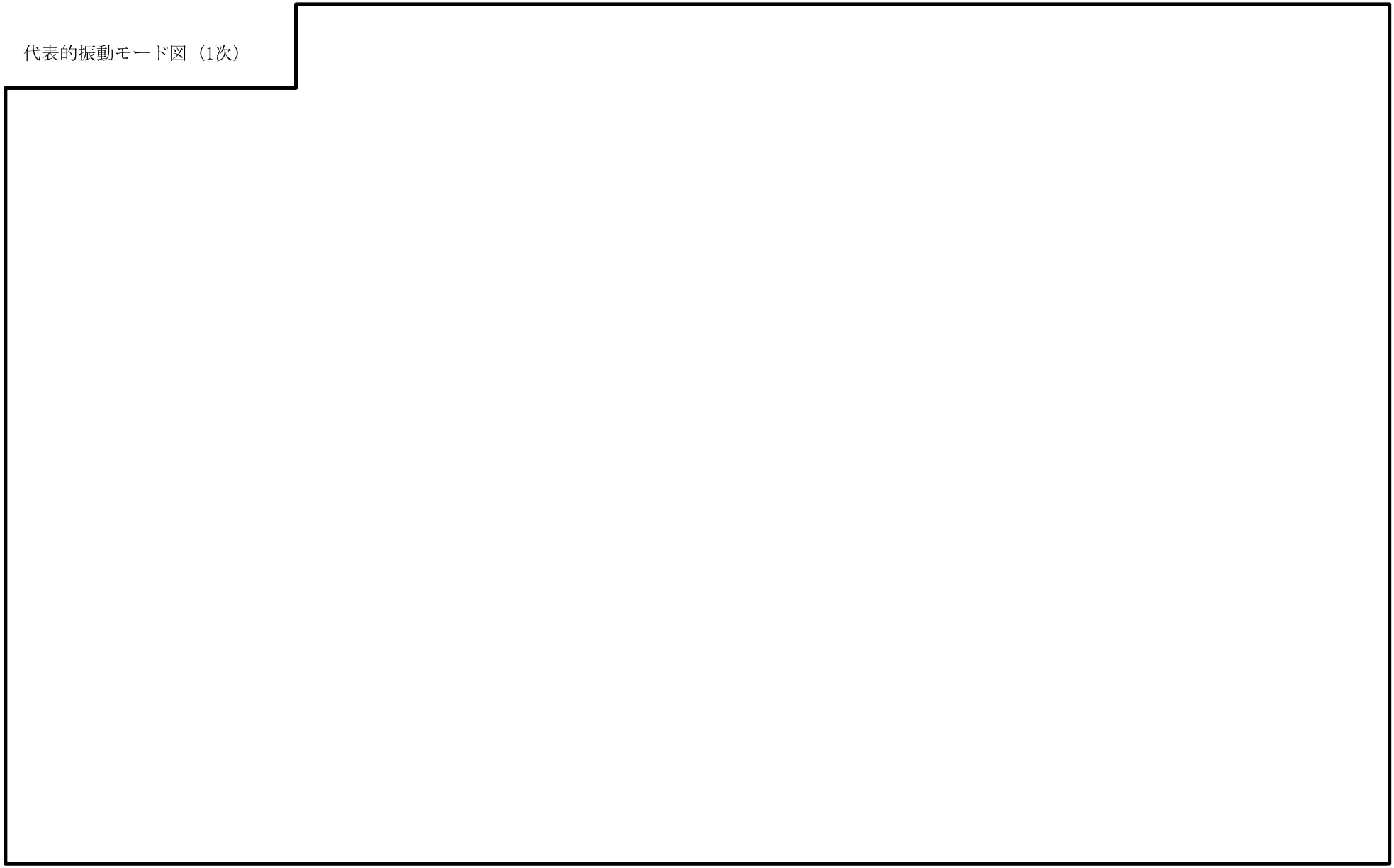
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

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

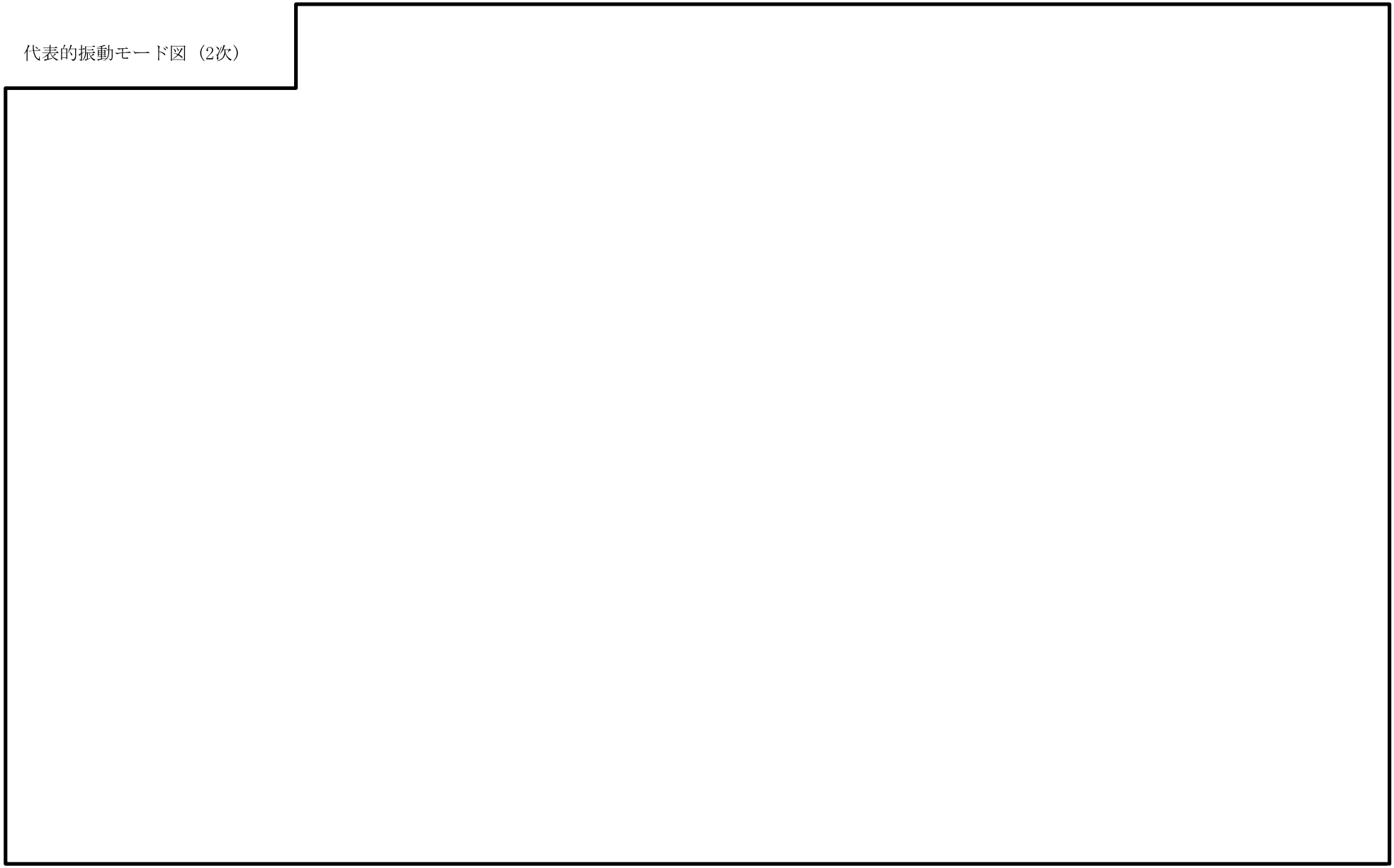
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）



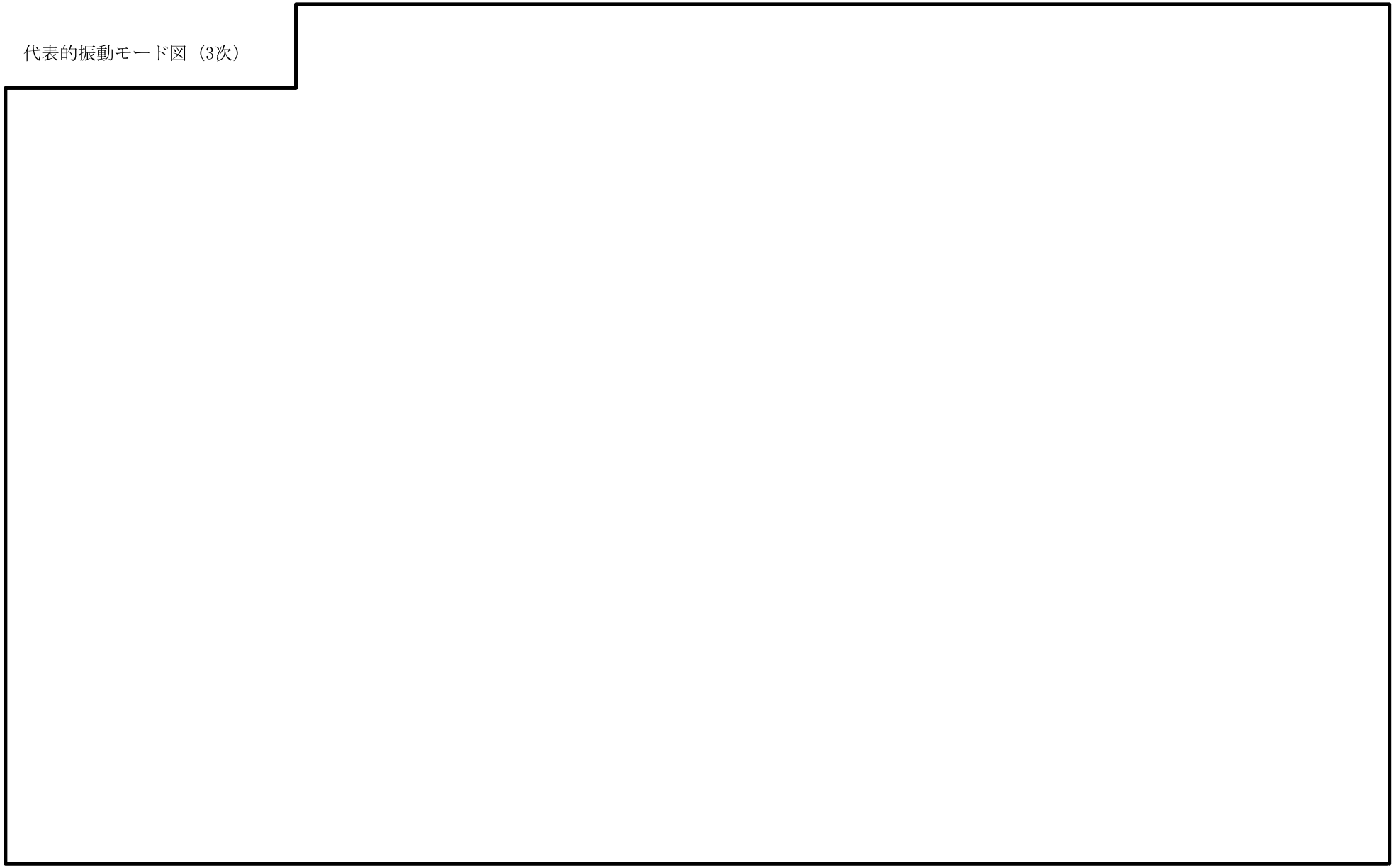
鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－１

代表的振動モード図（2次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－１

代表的振動モード図（3次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－１

固有周期及び設計震度

鳥瞰図　RHR-PD-2

適用する地震動等		Ｓｄ及び静的震度			Ｓｓ		
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							-
24 次							
25 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：Ｓｄ又はＳｓ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。

＊3：3.6Ｃｉ及び1.2Ｃｖ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　RHR-PD-2

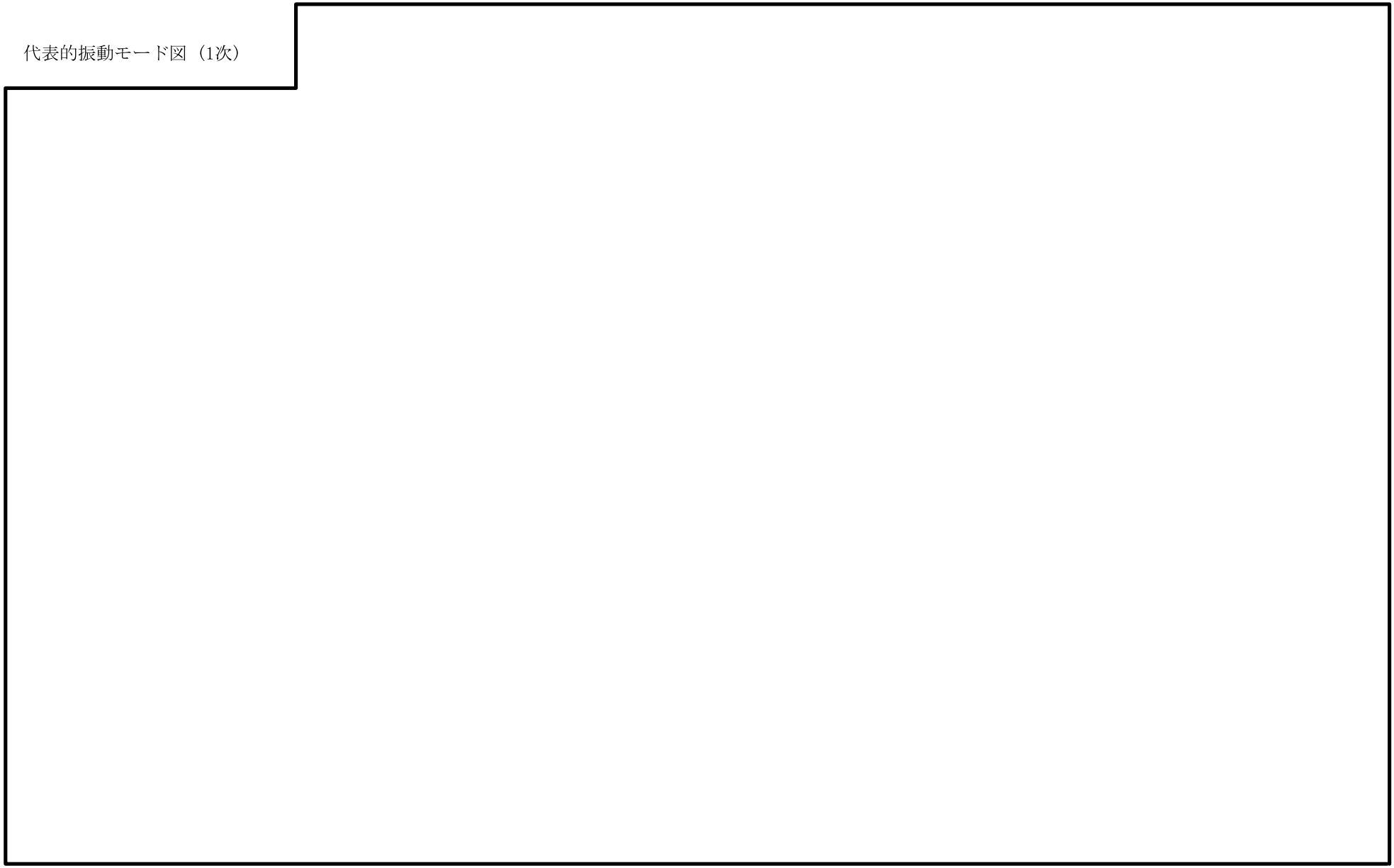
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
24 次				

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

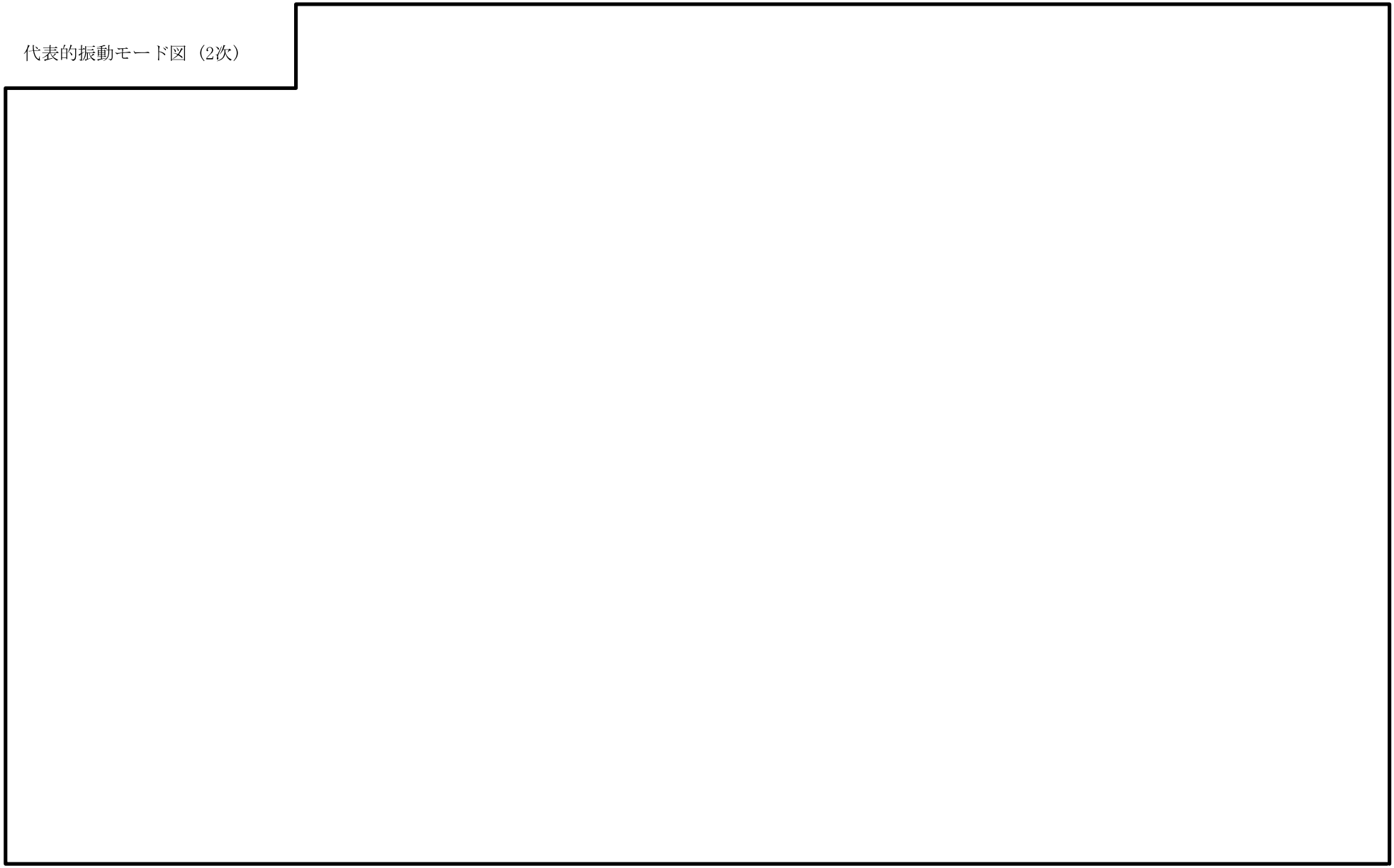
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）



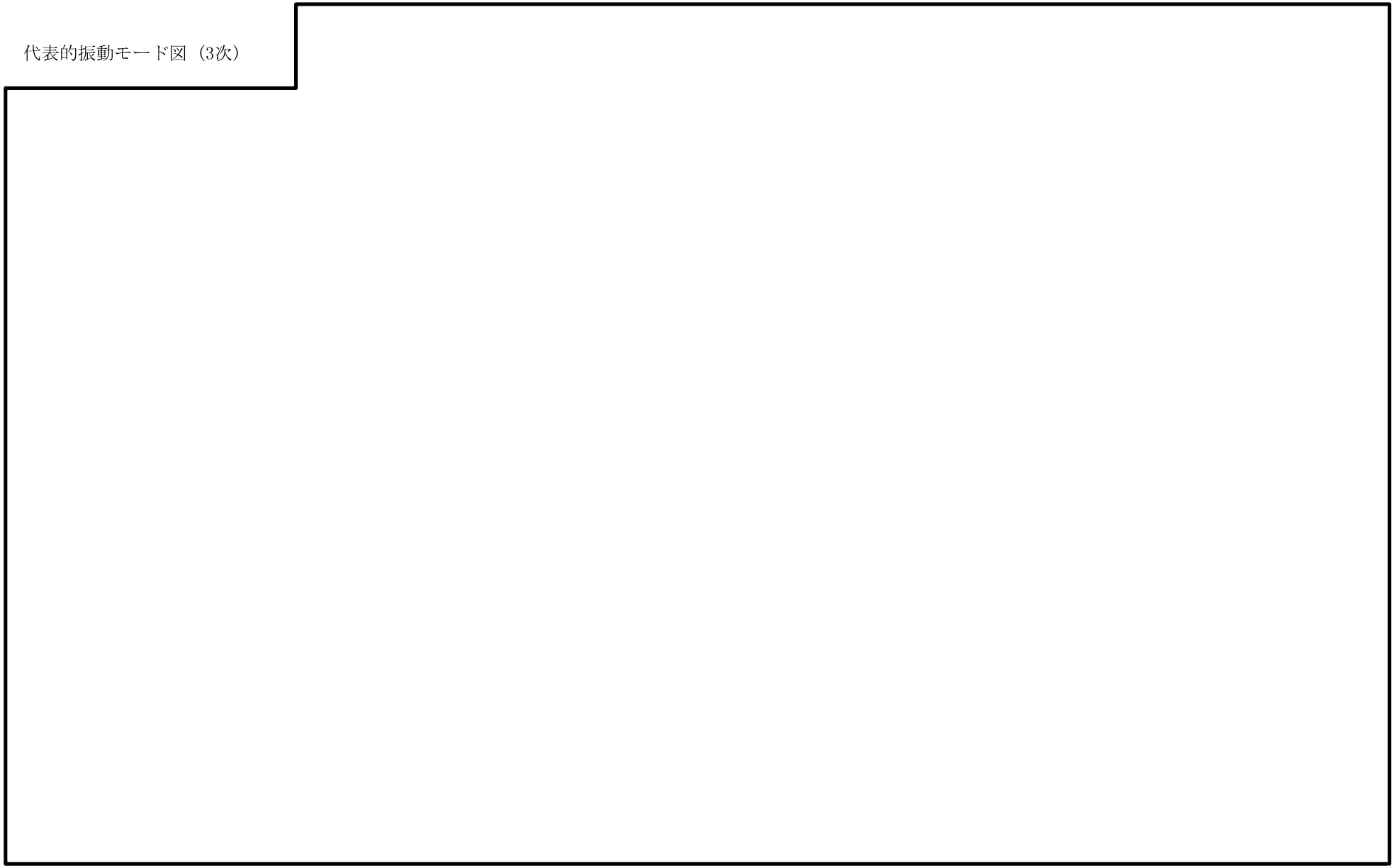
鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－２

代表的振動モード図（2次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－２

代表的振動モード図（3次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－２

固有周期及び設計震度

鳥瞰図　RHR-R-1

適用する地震動等		Ｓｄ及び静的震度			Ｓｓ		
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							
9 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：Ｓｄ又はＳｓ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。

＊3：3.6Ｃｉ及び1.2Ｃｖ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　RHR-R-1

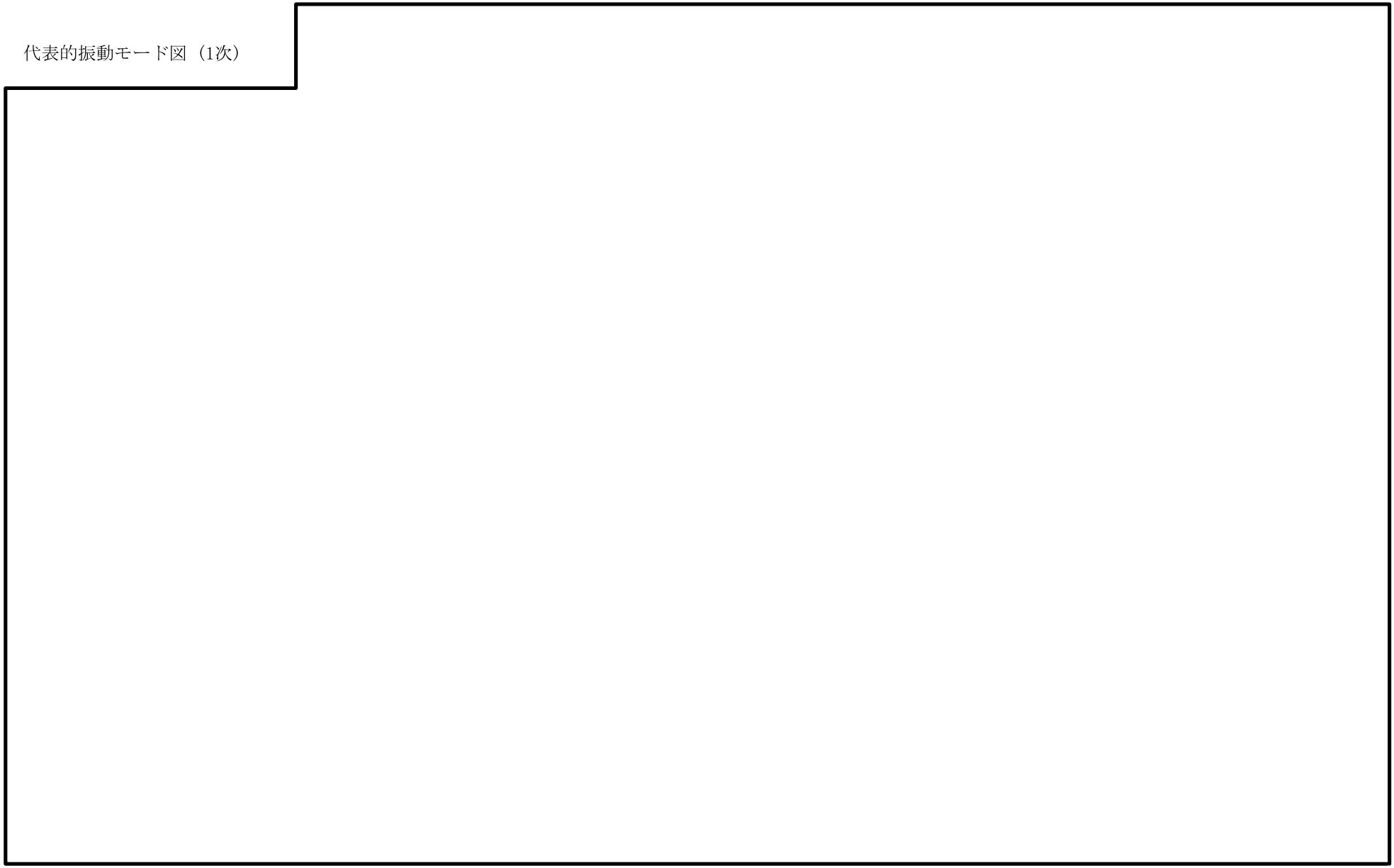
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				

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

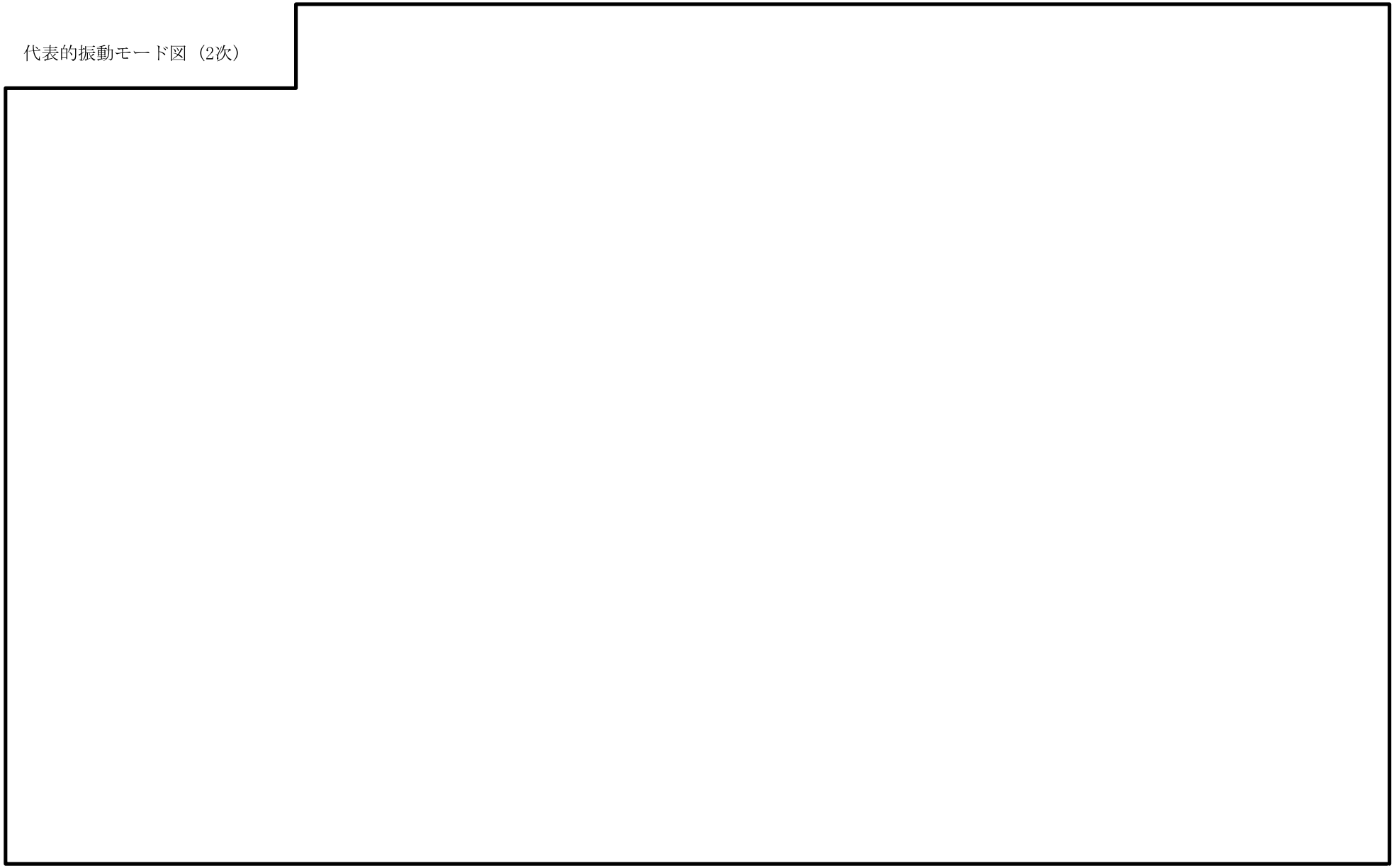
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－１

代表的振動モード図（2次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－１

代表的振動モード図（3次）

鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－１

固有周期及び設計震度

鳥瞰図　RHR-R-2

適用する地震動等		Ｓｄ及び静的震度			Ｓｓ		
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							
47 次							
48 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：Ｓｄ又はＳｓ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　RHR-R-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				
47 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）

鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－２

代表的振動モード図（2次）

鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－２

代表的振動モード図（3次）

鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－２

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１管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	配管要素名称	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
					一次応力 S_{prm}（Ｓｄ） S_{prm}（Ｓｓ）	許容応力 2.25Ｓｍ 3Ｓｍ	ねじり＊応力 Ｓｔ（Ｓｄ） Ｓｔ（Ｓｓ）	許容応力 0.55Ｓｍ 0.73Ｓｍ	一次＋二次応力 Ｓｎ（Ｓｓ）	許容応力 3Ｓｍ	疲労累積係数 U+ＵＳｓ
RHR-PD-1	ⅢＡＳ	4	ELBOW	S_{prm}（Ｓｄ）	130	274	—	—	—	—	—
RHR-PD-1	ⅢＡＳ	20	ELBOW	Ｓｔ（Ｓｄ）	—	—	50	67	—	—	—
RHR-PD-2	ⅣＡＳ	63	SUP.PT	S_{prm}（Ｓｓ）	192	366	—	—	—	—	—
RHR-PD-2	ⅣＡＳ	35	ELBOW	Ｓｔ（Ｓｓ）	—	—	92	89	—	—	—
RHR-PD-2	ⅣＡＳ	59	REDUCER	Ｓｎ（Ｓｓ）	—	—	—	—	599	366	0.6413
RHR-PD-2	ⅣＡＳ	59	REDUCER	U+ＵＳｓ	—	—	—	—	—	—	0.6413

注記＊：ねじり応力が許容応力状態ⅢＡＳのとき0.55Ｓｍ，又は許容応力状態ⅣＡＳのとき0.73Ｓｍを超える場合は，曲げ＋ねじり応力評価を実施する。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態ⅢＡＳのとき0.55Ｓｍ，又は許容応力状態ⅣＡＳのとき0.73Ｓｍを超える評価点のうち曲げとねじりによる応力は許容値を満足している。

鳥瞰図	評価点	一次応力評価 (MPa)			
		ねじり応力 Ｓｔ（Ｓｄ） Ｓｔ（Ｓｓ）	許容応力 0.55Ｓｍ 0.73Ｓｍ	曲げとねじり応力 Ｓｔ+Ｓｂ（Ｓｄ） Ｓｔ+Ｓｂ（Ｓｓ）	許容応力 1.8Ｓｍ 2.4Ｓｍ
RHR-PD-1	20	—	—	—	—
RHR-PD-2	35	92	89	111	292

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_{prm}（Ｓｄ） S_{prm}（Ｓｓ）	許容応力 S_y* 0.9S_u	計算応力 S_n（Ｓｓ）	許容応力 2S_y	疲労累積係数 US_s
RHR-R-1	ⅢＡＳ	9	S_{prm}（Ｓｄ）	108	198	—	—	—
RHR-R-1	ⅣＡＳ	9	S_{prm}（Ｓｓ）	171	335	—	—	—
RHR-R-2	ⅣＡＳ	280	S_n（Ｓｓ）	—	—	298	418	—

注記＊： 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，S_yと1.2S_hのうち大きい方の値とする。

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(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNM-RHR-P001T-1	メカニカルスナッバ	SMS-16A-160	Ⅴ-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		136	240
RO-FPC-R115	ロッドレストレイント	RTS-10			23	180
SH-RHR-P005-2	スプリングハンガ	VS1G-16(A)(B)			49	2×30

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(℃)	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_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-RHR-R501	アンカ	ラグ	SGV410	182	171	81	137	106	278	49	せん断	83	109
RE-RHR-P006	レストレイント	架構	STKR400 SM400B	65	0	127	208	—	—	—	組合せ	90	150

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＊ (×9.8m/s^2)		機能確認済加速度 (×9.8m/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
E11-F013A	止め弁	β(Ss)	3.8	2.4	6.0	6.0	—	—
G31-F002	止め弁	α(Ss)	4.3	1.5	6.0	6.0	—	—
E11-F006B	逆止め弁	β(Ss)	1.5	1.1	6.0	6.0	—	—
E11-F006C	逆止め弁	β(Ss)	2.2	1.1	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，設計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１管）

No.	配管モデル	許容応力状態　ⅢＡＳ					許容応力状態　ⅣＡＳ													
		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	RHR-PD-1	4	130	274	2.10	○	4	161	366	2.27	—	1N	306	366	1.19	—	1N	0.0366	—
2	RHR-PD-2	95	124	274	2.20	—	63	192	366	1.90	○	59	599	366	0.61	○	59	0.6413	○
3	RHR-PD-3	4	120	274	2.28	—	4	153	366	2.39	—	5	362	366	1.01	—	1N	0.0590	—
4	RHR-PD-4	23N	89	274	3.07	—	23N	115	366	3.18	—	23N	240	366	1.52	—	23N	0.0803	—
5	RHR-PD-5	23N	113	274	2.42	—	23N	170	366	2.15	—	23N	446	366	0.82	—	23N	0.4731	—

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

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 ⅢAS					許容応力状態 ⅣAS												
		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	RHR-PW-6	7	8	169	21.12	—	7	13	395	30.38	—	7	19	338	17.78	—	—	—	—
2	RHR-PW-7	2	16	169	10.56	—	2	22	395	17.95	—	3	22	338	15.36	—	—	—	—
3	RHR-PW-8	6	8	169	21.12	—	6	13	395	30.38	—	6	19	338	17.78	—	—	—	—
4	RHR-R-1	9	108	198	1.83	○	9	171	335	1.95	○	9	260	396	1.52	—	—	—	—
5	RHR-R-2	284	78	209	2.67	—	280	176	363	2.06	—	280	298	418	1.40	○	—	—	—
6	RHR-R-3	11	92	198	2.15	—	11	131	335	2.55	—	79	189	418	2.21	—	—	—	—
7	RHR-R-4	42	83	209	2.51	—	12	149	363	2.43	—	12	250	418	1.67	—	—	—	—
8	RHR-R-5	780	75	219	2.92	—	780	105	363	3.45	—	780	132	438	3.31	—	—	—	—
9	RHR-R-6	12	97	198	2.04	—	12	146	335	2.29	—	12	199	396	1.98	—	—	—	—
10	RHR-R-7	68	68	209	3.07	—	65	103	363	3.52	—	65	158	418	2.64	—	—	—	—
11	RHR-R-8	31	87	209	2.40	—	76	130	363	2.79	—	76	213	422	1.98	—	—	—	—
12	RHR-R-029	211	49	182	3.71	—	211	74	363	4.90	—	8	163	364	2.23	—	—	—	—
13	RHR-R-032	28	27	209	7.74	—	28	35	363	10.37	—	42N	275	438	1.59	—	—	—	—
14	RHR-R-036	1N	29	209	7.20	—	1N	37	363	9.81	—	39N	222	438	1.97	—	—	—	—
15	RHR-R-136	10	50	182	3.64	—	10	65	363	5.58	—	38N	163	418	2.56	—	—	—	—
16	RHR-R-139	19	24	209	8.70	—	19	35	363	10.37	—	6	218	418	1.91	—	—	—	—
17	RHR-R-144	20	36	209	5.80	—	20	47	363	7.72	—	1N	276	418	1.51	—	—	—	—
18	RHR-R-237	13	50	182	3.64	—	13	77	363	4.71	—	38N	234	418	1.78	—	—	—	—
19	RHR-R-240	18	25	209	8.36	—	18	35	363	10.37	—	7	178	418	2.34	—	—	—	—
20	RHR-R-245	22	31	209	6.74	—	22	41	363	8.85	—	1N	114	418	3.66	—	—	—	—

注記＊：ⅢASの一次＋二次応力の許容値はⅣASと同様であることから，地震荷重が大きいⅣAS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　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　11

3.　計算条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　19

3.1　計算方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　19

3.2　荷重の組合せ及び許容応力状態　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　20

3.3　設計条件　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　22

3.4　材料及び許容応力　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　39

3.5　設計用地震力　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　40

4.　解析結果及び評価　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　41

4.1　固有周期及び設計震度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　41

4.2　評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59

4.2.1　管の応力評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59

4.2.2　支持構造物評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　61

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　62

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果　・・・・・・・・・・・・・　63

1. 概要

本計算書は，Ｖ-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，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

工事計画記載範囲の管のうち，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１６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

工事計画記載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。

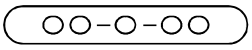
(3) 弁

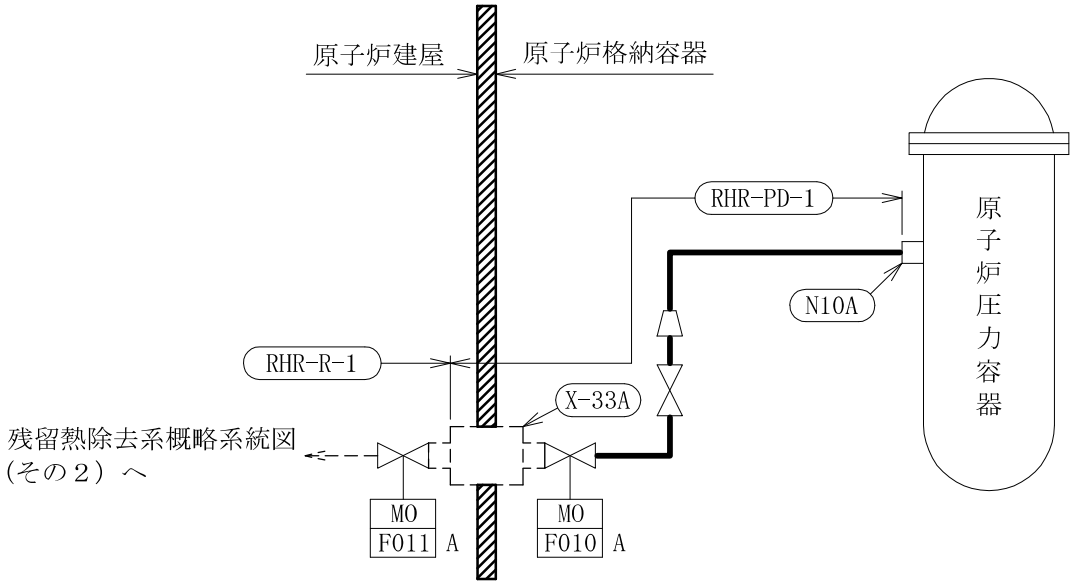
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

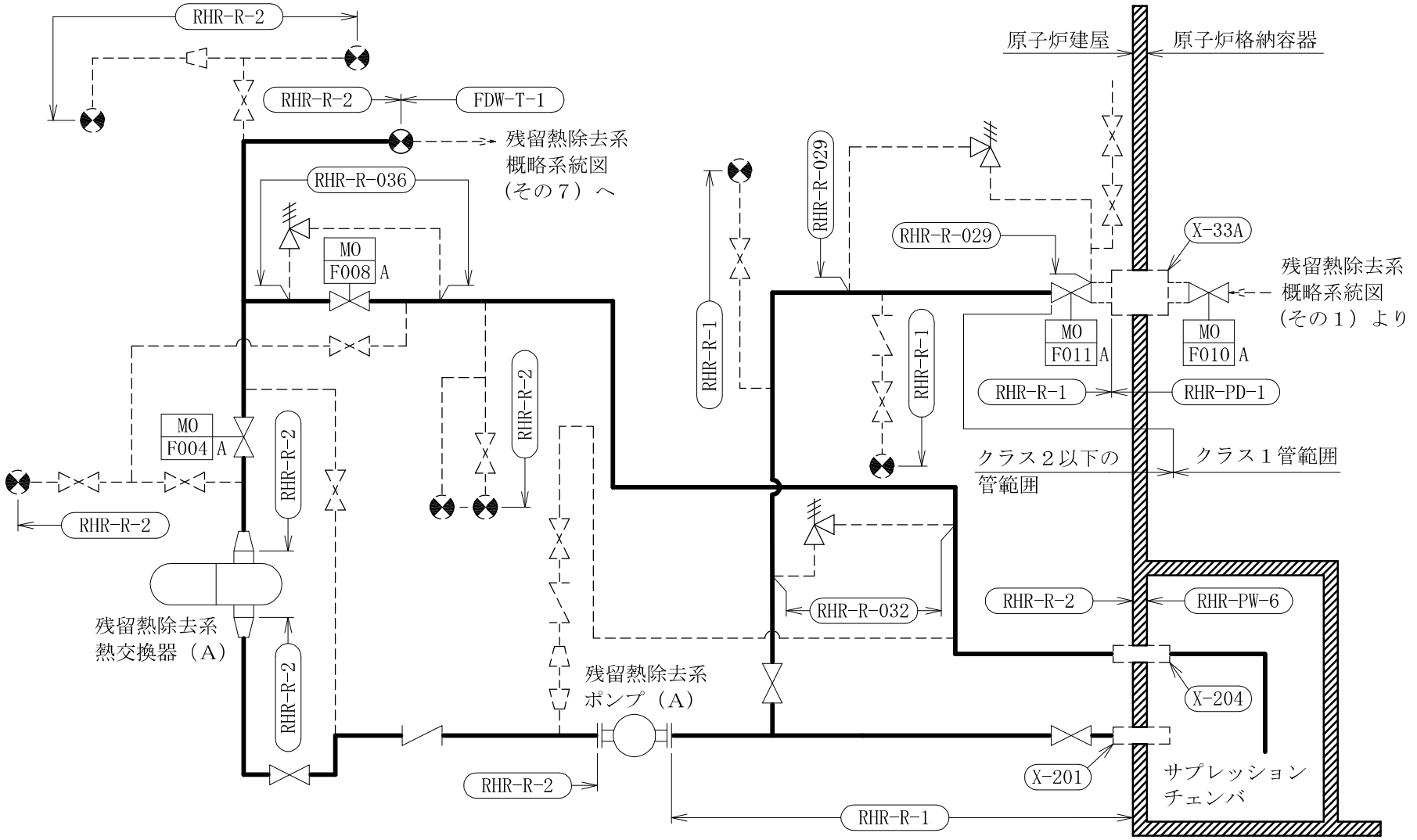
2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

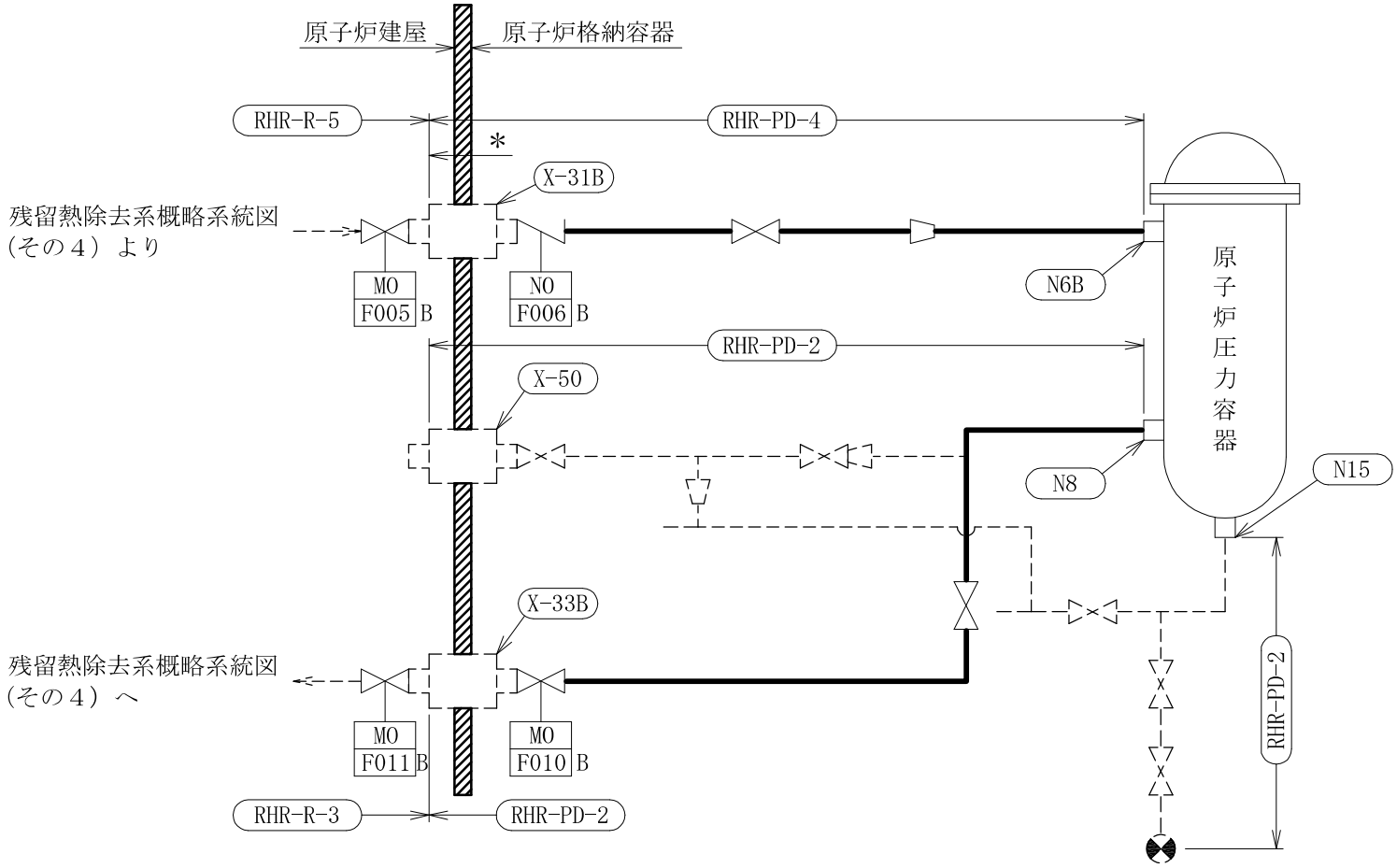
記号	内容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号
	アンカ



残留熱除去系概略系統図（その１）

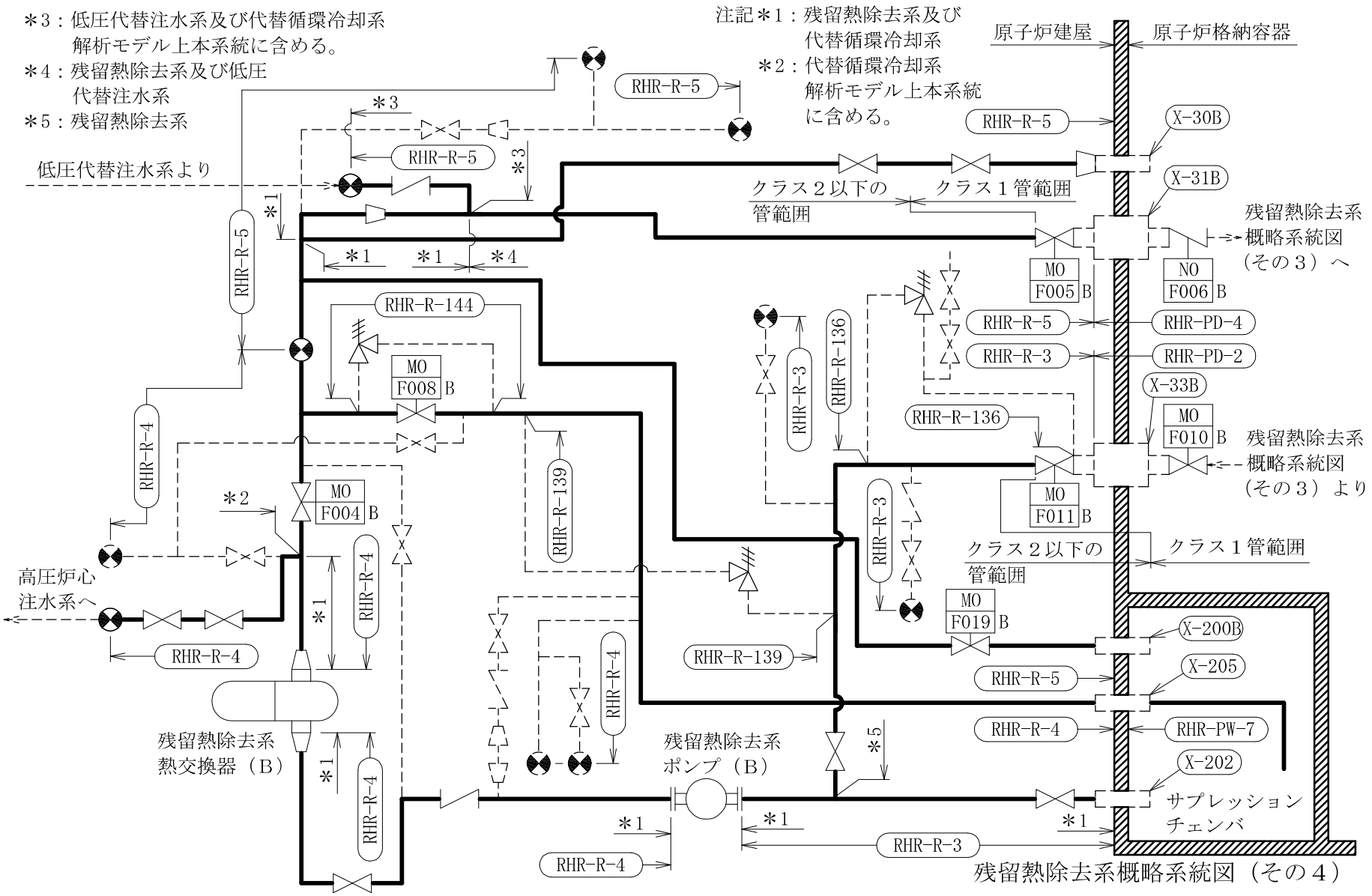


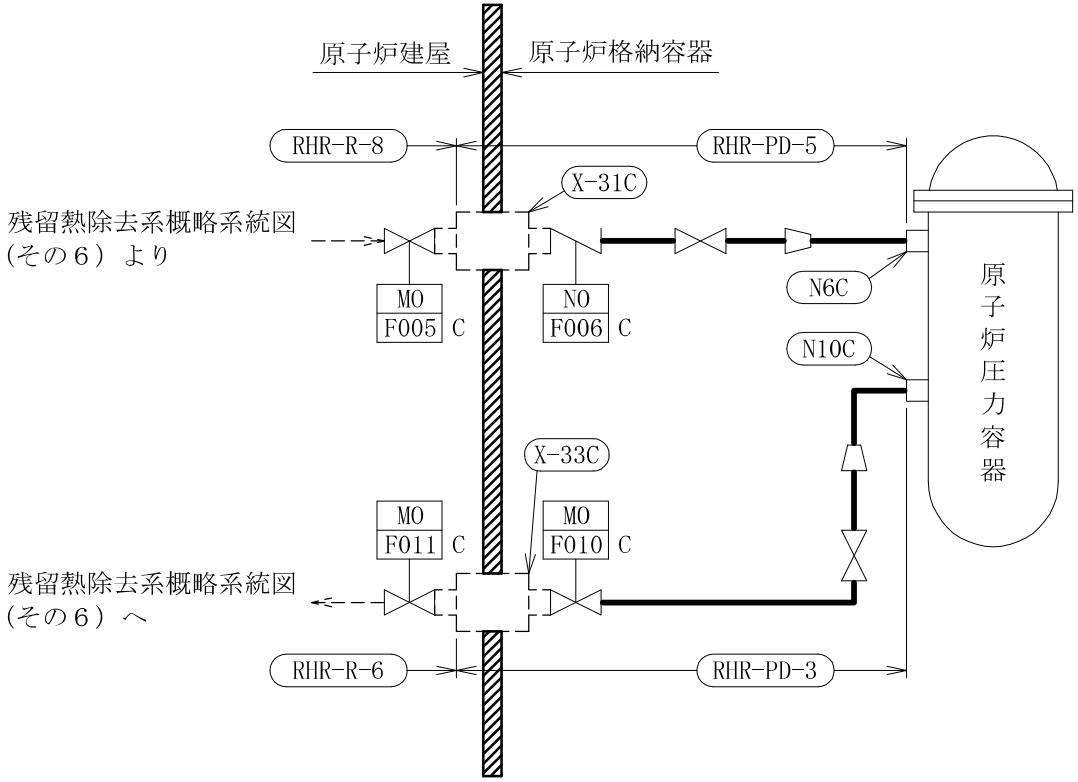
残留熱除去系概略系統図（その２）



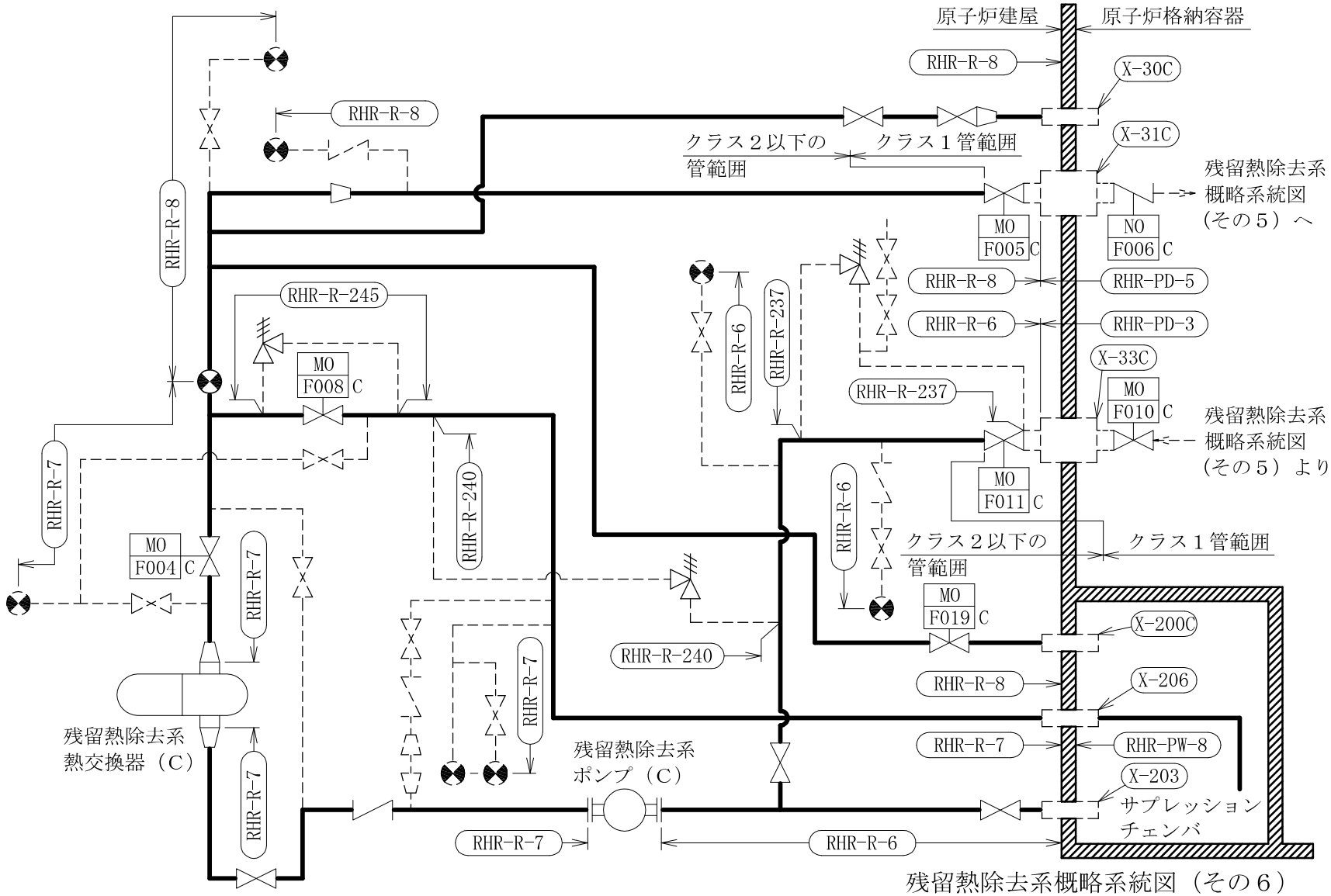
注記＊：残留熱除去系及び低圧代替注水系

残留熱除去系概略系統図（その３）

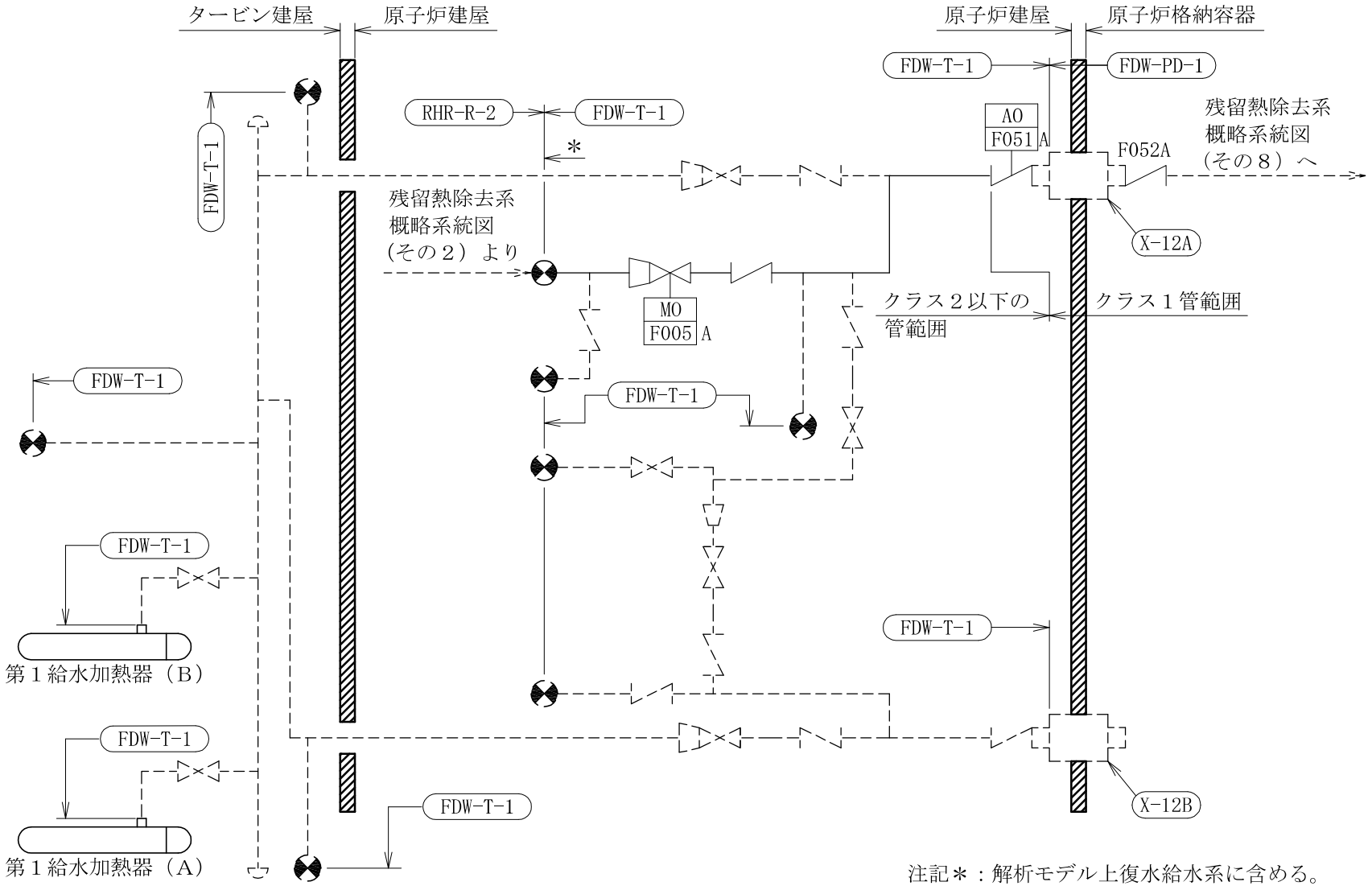

＊3：低圧代替注水系及び代替循環冷却系
解析モデル上本系統に含める。
＊4：残留熱除去系及び低圧
代替注水系
＊5：残留熱除去系
注記＊1：残留熱除去系及び
代替循環冷却系
＊2：代替循環冷却系
解析モデル上本系統
に含める。
原子炉建屋
原子炉格納容器
低圧代替注水系より
RHR-R-5
＊3
＊1
＊4
クラス２以下の
管範囲
クラス１管範囲
X-30B
X-31B
残留熱除去系
概略系統図
（その３）へ
MO
F005 B
NO
F006 B
RHR-PD-4
RHR-PD-2
RHR-R-144
MO
F008 B
RHR-R-4
RHR-R-3
RHR-R-136
X-33B
MO
F010 B
残留熱除去系
概略系統図
（その３）より
MO
F011 B
RHR-R-139
＊2
MO
F004 B
高圧炉心
注水系へ
MO
F019 B
X-200B
X-205
RHR-PW-7
X-202
サプレッション
チェンバ
残留熱除去系
熱交換器（B）
残留熱除去系
ポンプ（B）
＊5
RHR-R-4
RHR-R-3
残留熱除去系概略系統図（その４）



残留熱除去系概略系統図（その５）

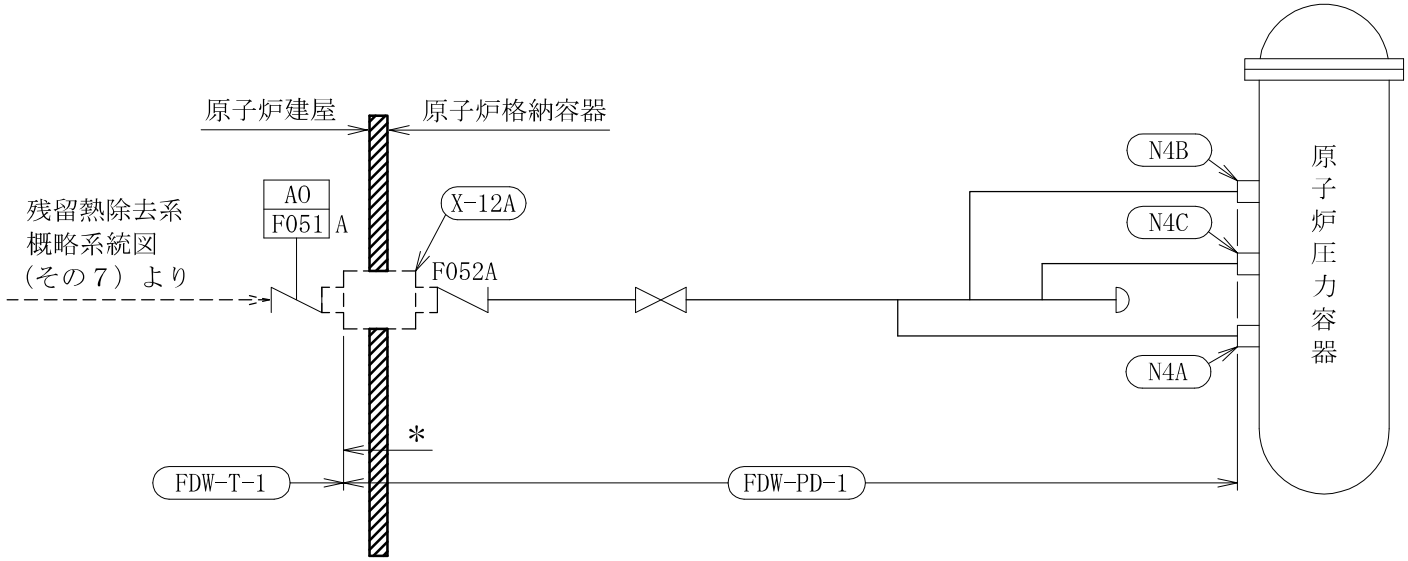


残留熱除去系概略系統図（その６）



注記＊：解析モデル上復水給水系に含める。

残留熱除去系概略系統図（その７）

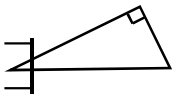
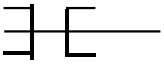
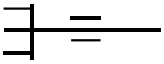
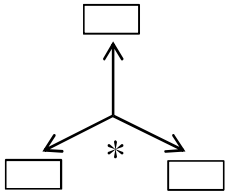


注記＊：解析モデル上復水給水系に含める。

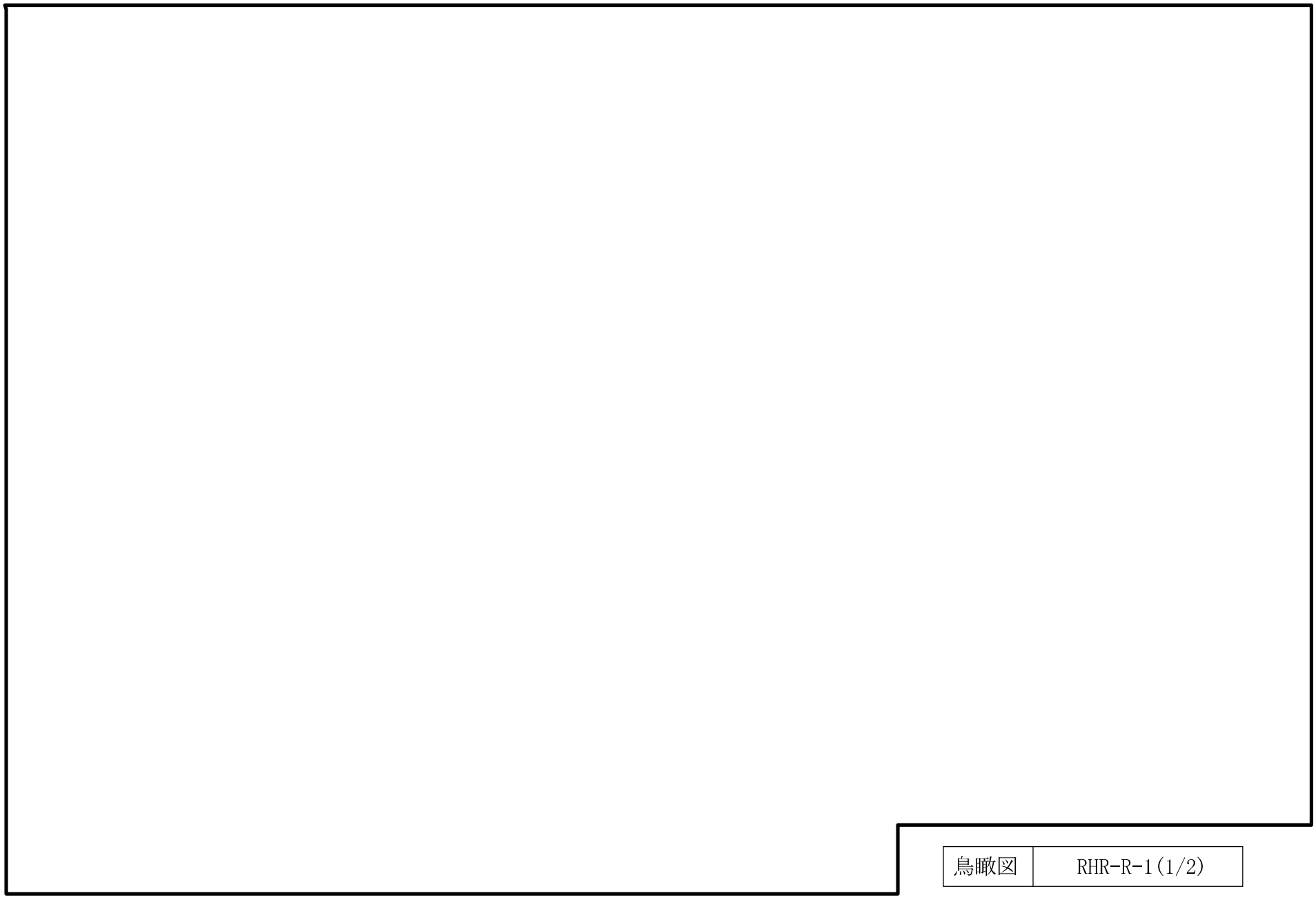
残留熱除去系概略系統図（その８）

2.2　鳥瞰図

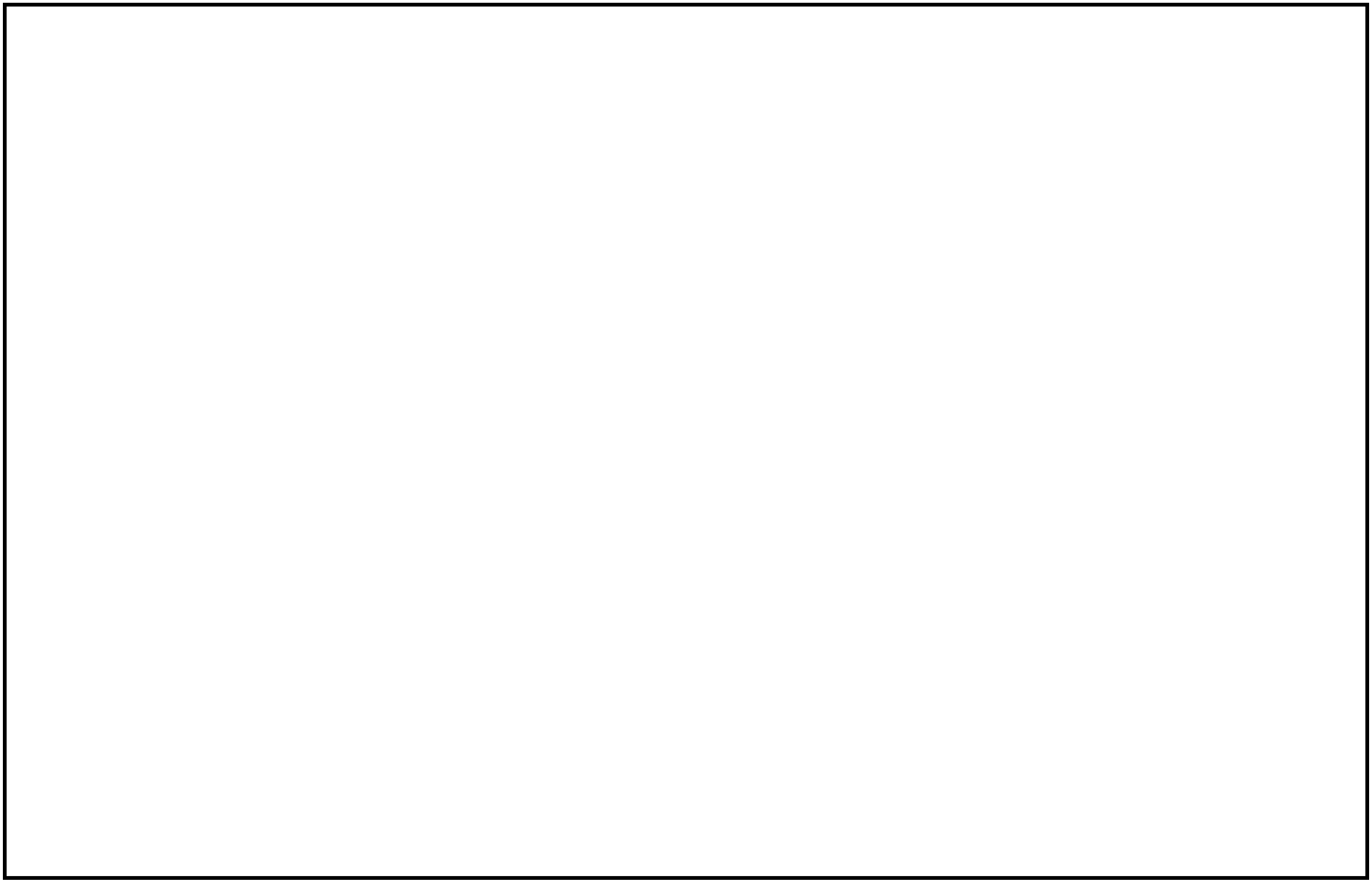
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管
（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，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
	質点
	アンカ
	レストレイント （本図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。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	ハンガ
	リジットハンガ
	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，□内に変位量を記載する。）
	注1：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

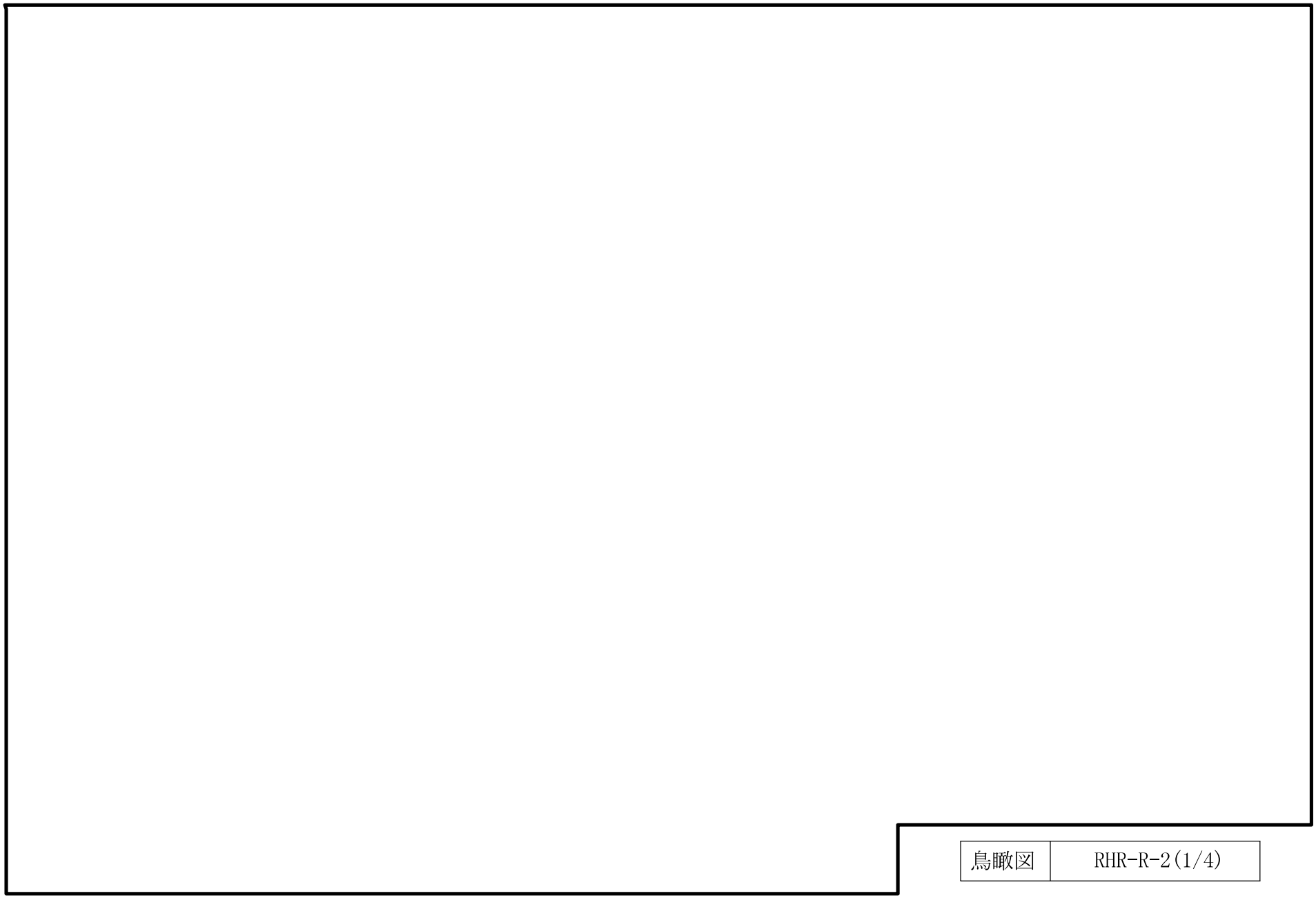
鳥瞰図	RHR-PD-5



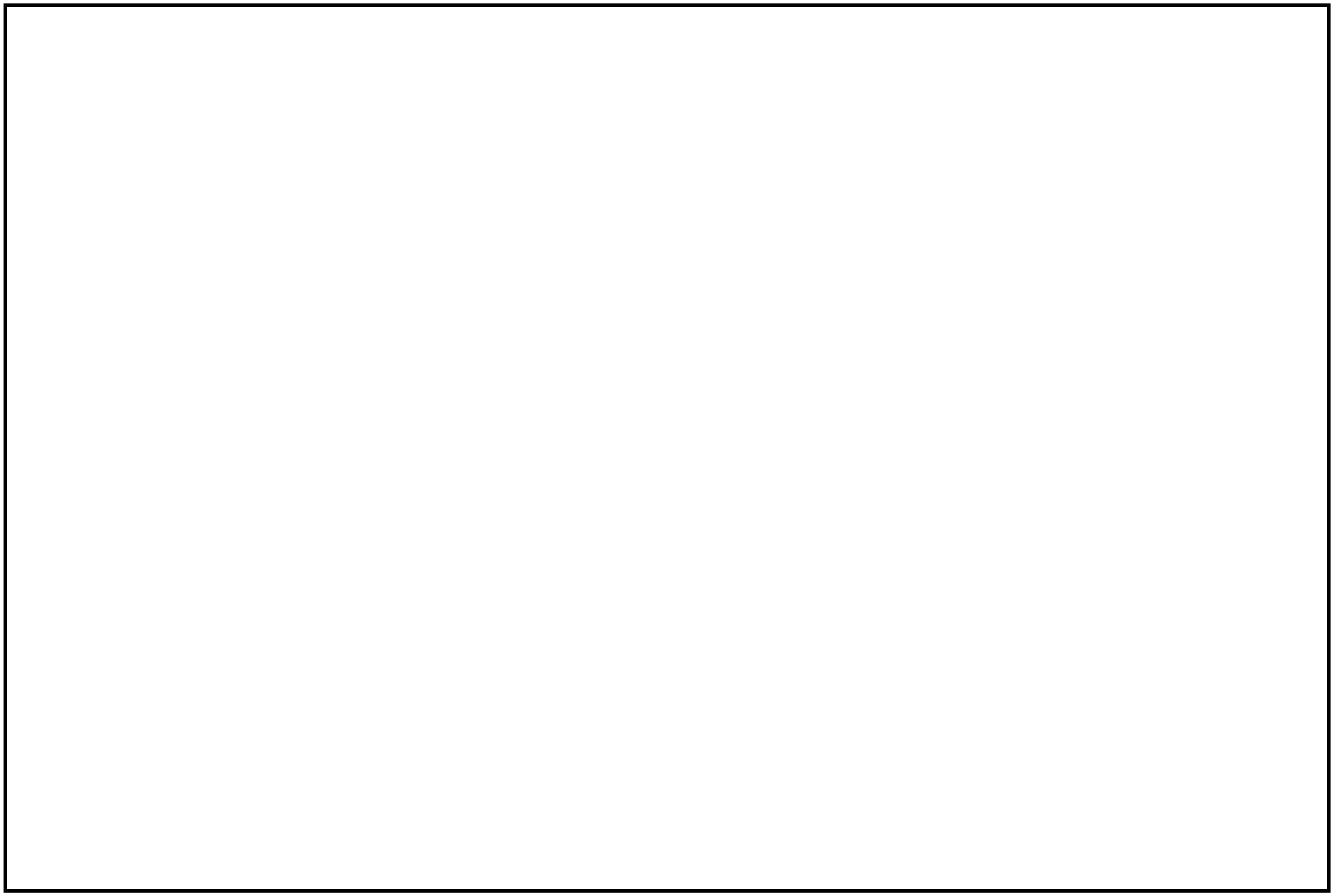
鳥瞰図	RHR-R-1(1/2)



鳥瞰図	RHR-R-1(2/2)

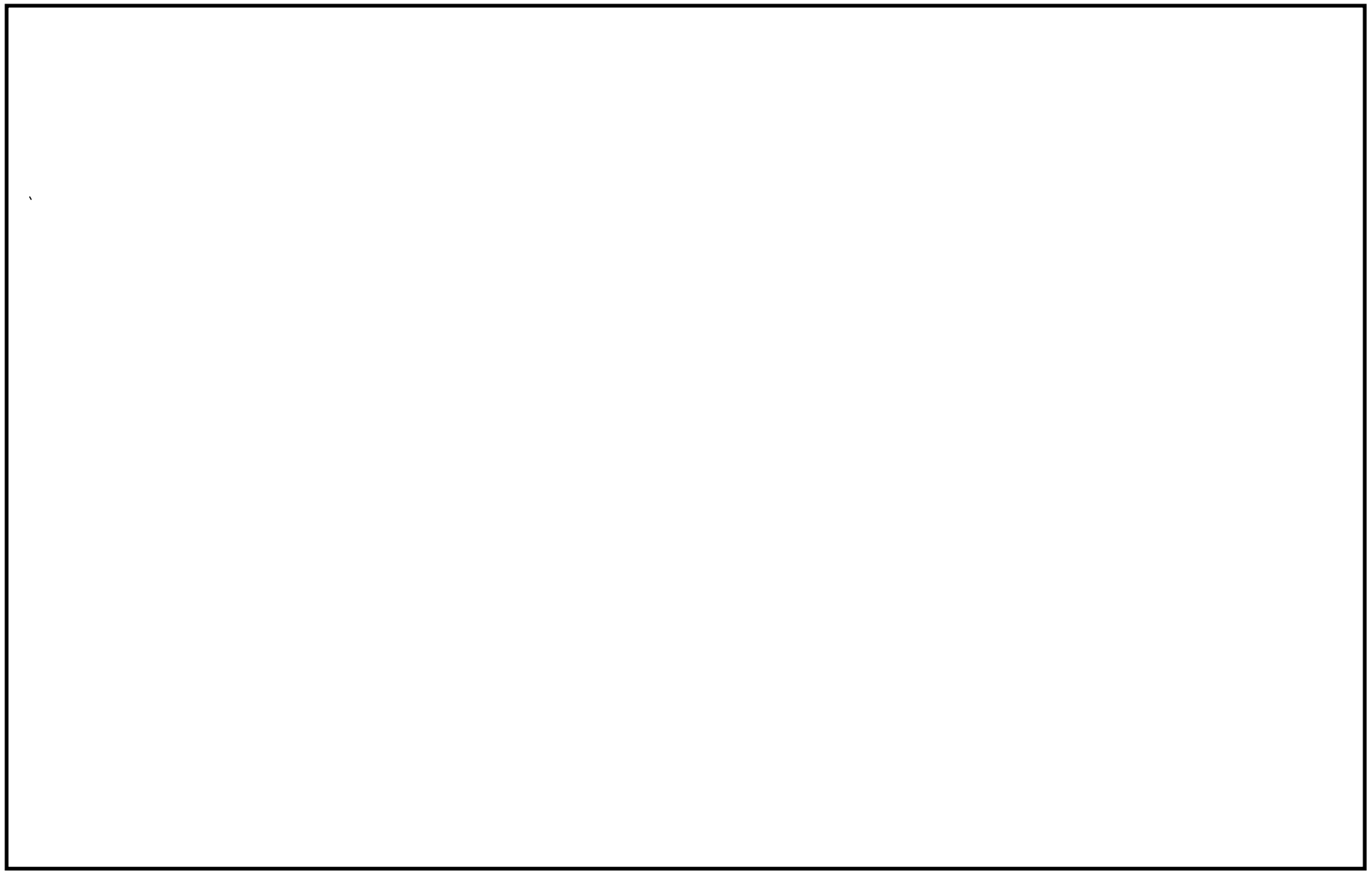


鳥瞰図	RHR-R-2(1/4)



鳥瞰図	RHR-R-2(2/4)

鳥瞰図	RHR-R-2(3/4)



鳥瞰図	RHR-R-2(4/4)

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，「ＨＩＳＡＰ」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[*3,4]	許容応力状態[*5]
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	ＳＡ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２管	—	V_L（Ｌ）＋Ｓｄ V_L（ＬＬ）＋Ｓｓ V_L＋Ｓｓ	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	代替循環冷却系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	V_L＋Ｓｓ	V_AS
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	V_L（Ｌ）＋Ｓｄ V_L（ＬＬ）＋Ｓｓ V_L＋Ｓｓ	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	低圧代替注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	V_L（Ｌ）＋Ｓｄ V_L（ＬＬ）＋Ｓｓ V_L＋Ｓｓ	V_AS
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧注水系	ＳＡ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２管	—	V_L（Ｌ）＋Ｓｄ V_L（ＬＬ）＋Ｓｓ V_L＋Ｓｓ	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	サプレッションチェンバプール水冷却系	ＳＡ	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_L＋Ｓｓ	V_AS

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[*3,4]	許容応力状態[*5]
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	格納容器 スプレイ冷却系	ＳＡ	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_L＋Ｓｓ	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	代替格納容器 スプレイ冷却系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス２管	―	V_L＋Ｓｓ	V_AS

注記＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。

＊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（ＤＢ拡張）」は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張），「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊3：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，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期間荷重が作用している状態を示す。

＊4：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。

＊5：許容応力状態V_ASは許容応力状態$Ⅳ_AS$の許容限界を使用し，許容応力状態$Ⅳ_AS$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番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥瞰図　RHR-PD-5

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	4～6,7～14	8.62	302	267.4	18.2	STS410	—	200400
2	15～21	8.62	302	216.3	15.1	STS410	—	200400
3	21～23N	8.62	302	216.3	15.1	STS410	—	186920

設計条件

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

鳥瞰図　RHR-R-1

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1～2	0.62	166	457.2	9.5	SM400C	—	200360
2	6～24N	1.37	182	457.2	9.5	SM400C	—	200360
3	9～25	1.37	182	355.6	11.1	SM400C	—	200360
4	25～26,30～421S	1.37	182	355.6	11.1	STPT410	—	200360
5	421S～78	1.37	182	355.6	11.1	STPT410	—	201667

設計条件

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

鳥瞰図　RHR-R-2

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～20,22～33S 265～269,270～277 278～281,265～339N	3.43	182	318.5	14.3	STPT410	—	200360
2	33S～57,57～336A	3.43	182	318.5	14.3	STPT410	—	201667
3	164～168,164～183	3.43	166	267.4	9.3	STPT410	—	201667
4	172～36	3.43	182	267.4	12.7	STPT410	—	201667
5	183～196	0.62	166	267.4	9.3	STPT410	—	201667

配管の付加質量

鳥瞰図　RHR-PD-5

質量	対応する評価点
[redacted]	4～6,7～8,1301～14
[redacted]	8～1301
[redacted]	15～151,221～23N
[redacted]	151～1711
[redacted]	1711～19,2001～221
[redacted]	19～2001

配管の付加質量

鳥瞰図　RHR-R-1

質量	対応する評価点
[redacted]	1～2, 6～1101, 1301～2001, 2002～24N
	1101～1301, 2001～2002
	9～2501, 2502～26, 30～31, 3501～3601, 39～3901 4201～43, 44～4501, 4502～461, 4801～4802, 5201～5301 5501～5502, 5901～5902, 64～65, 6901～6902, 7001～78
	2501～2502, 31～3501, 3601～39, 3901～4201, 43～44 4501～4502, 461～4801, 4802～5201, 5301～5501, 5502～5901 5902～64, 65～6901, 6902～7001

配管の付加質量

鳥瞰図　RHR-R-2

質量	対応する評価点
[redacted]	3～600, 1001～11, 1401～1801, 1802～20, 22～2201 2202～29, 3001～3101, 4401～4501, 4801～4802, 5102～52 55～57, 57～3231, 3261～3271, 3291～3292, 3331～3332
[redacted]	600～1001, 11～1401, 1801～1802, 2201～2202, 29～3001 3101～33S, 43S～4401, 4501～4801, 4802～5102, 52～55 3231～3261, 3271～3291, 3292～3331, 3332～335S
[redacted]	33S～43S
[redacted]	265～269, 270～277, 278～281, 265～339N
[redacted]	164～168, 172～36, 164～196
[redacted]	335S～336A

フランジ部の質量

鳥瞰図　RHR-R-1

質量	対応する評価点
[redacted]	20
[redacted]	24N

フランジ部の質量

鳥瞰図　RHR-R-2

質量	対応する評価点
[redacted]	1N,282N
[redacted]	501,327,2781
[redacted]	34
[redacted]	182,183
[redacted]	339N

弁部の寸法

鳥瞰図　RHR-PD-5

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
3～4	[redacted]	[redacted]	[redacted]	6～7	[redacted]	[redacted]	[redacted]

弁部の寸法

鳥瞰図　RHR-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2～3				3～4			
4～5				3～6			
26～27				27～28			
28～29				27～30			
78～79				79～80			
80～81				79～82			

弁部の寸法

鳥瞰図　RHR-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
20～21				21～2101			
2101～2102				21～22			
168～169				169～170			
170～171				169～172			
269～270				277～278			

弁部の質量

鳥瞰図　RHR-PD-5

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	3～4	[redacted]	6～7

弁部の質量

鳥瞰図　RHR-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	4	[redacted]	5
[redacted]	28	[redacted]	29
[redacted]	80	[redacted]	81

弁部の質量

鳥瞰図　RHR-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	2101	[redacted]	2102
[redacted]	170	[redacted]	171
[redacted]	269～270	[redacted]	277～278

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-PD-5

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
5						
** 5 **						
13						
171						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-R-1

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
11						
24N						
33						
36						
430						
431						
45						
53						
6101						
69						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図　RHR-R-2

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
1N						
** 1N **						
** 1N **						
6						
18						
31						
3701						
45						
51						
5103						
5401						
** 5401 **						
1650						
181						
184						
276						
282N						
** 282N **						
** 282N **						
324						
** 324 **						
329						
336A						
339N						

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 (℃)	許容応力(MPa)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STS410	302	122	—	—	—
SM400C	166	—	202	373	—
SM400C	182	—	198	373	—
STPT410	182	—	209	404	—
STPT410	166	—	211	404	—

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Ⅴ-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Ⅴ-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	減衰定数(%)
RHR-PD-5	原子炉遮蔽壁		
RHR-R-1	原子炉建屋		
RHR-R-2	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RHR-PD-5

適用する地震動等		Ｓｓ		
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				
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：Ｓｄ又はＳｓ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　RHR-PD-5

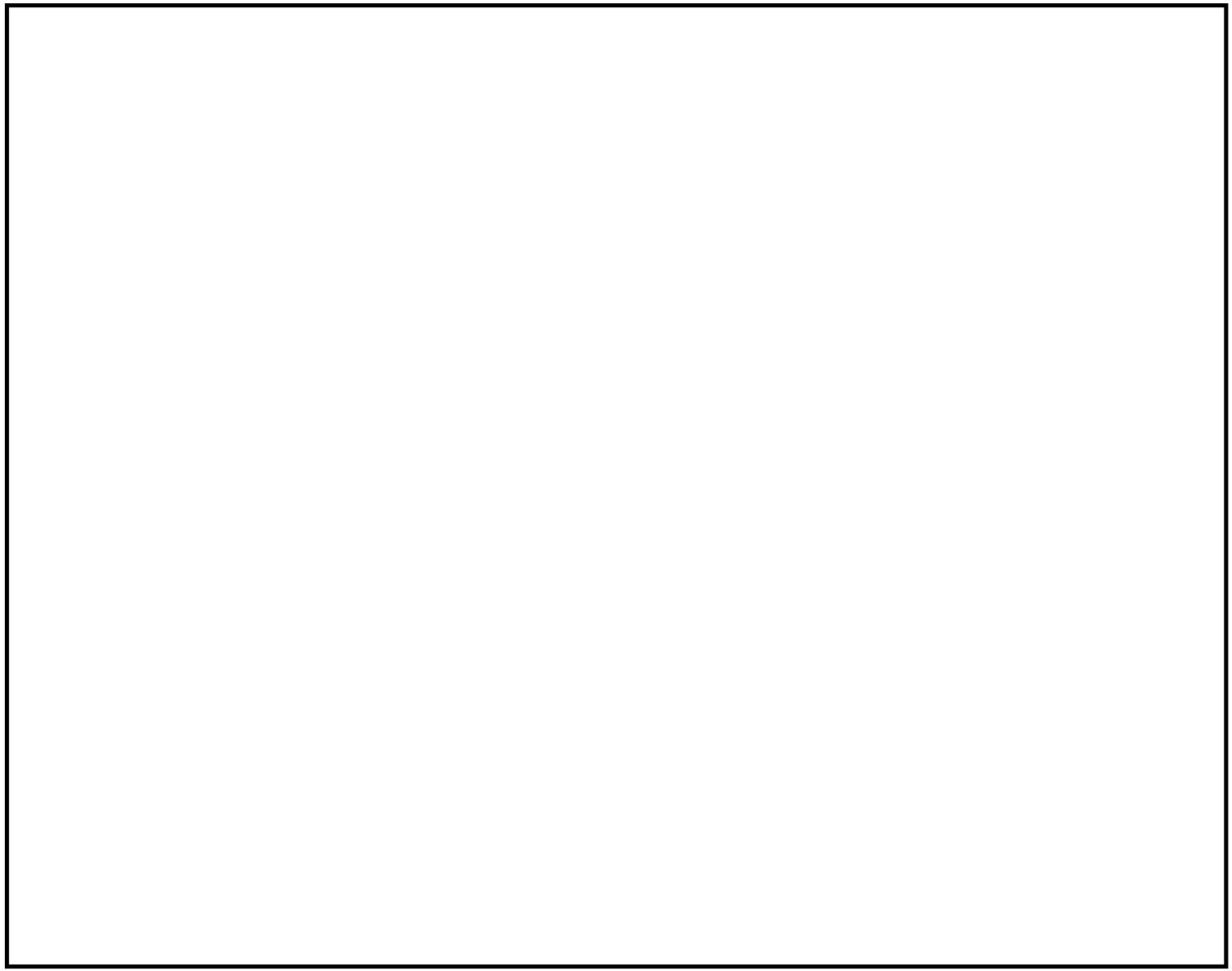
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				

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

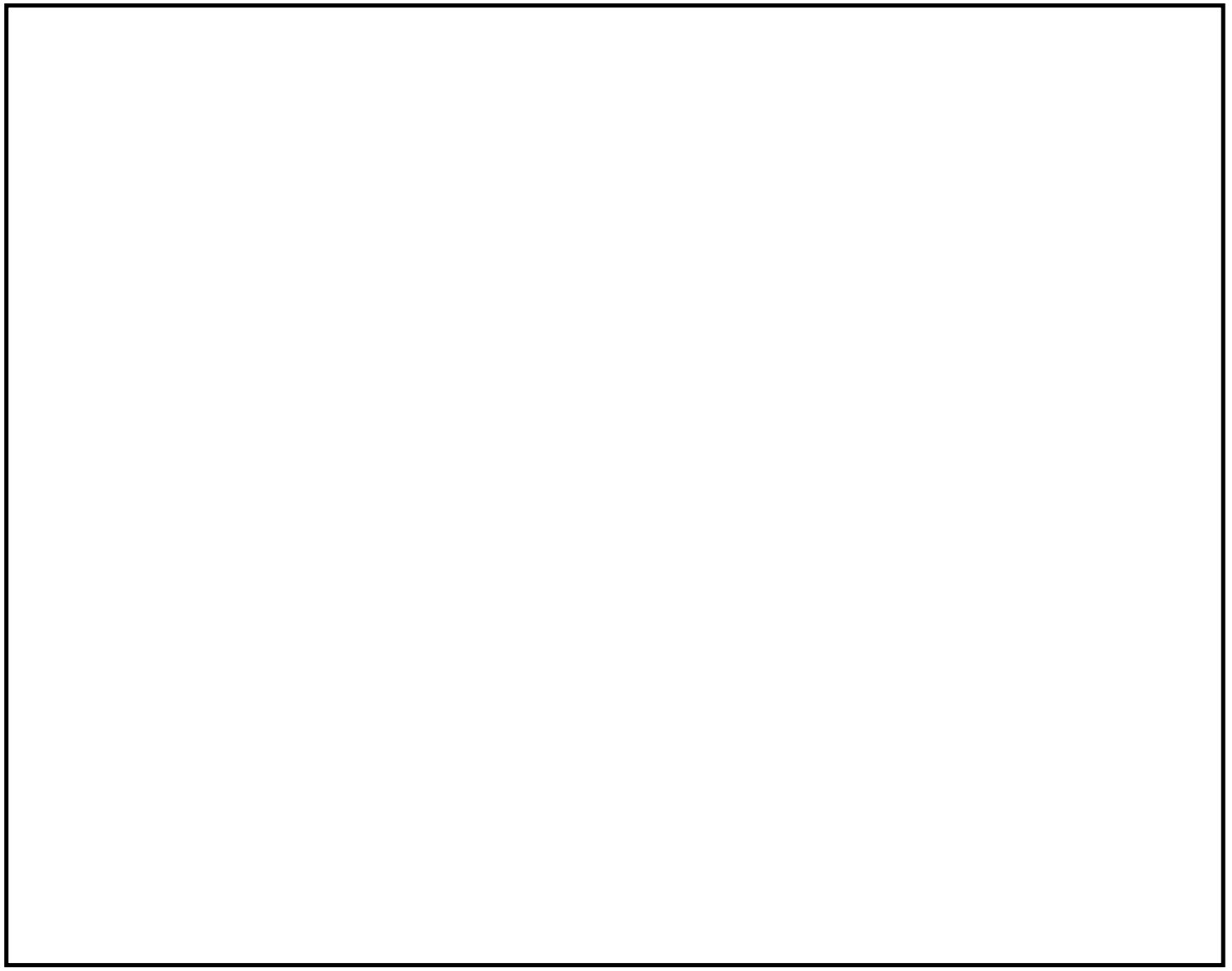
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）



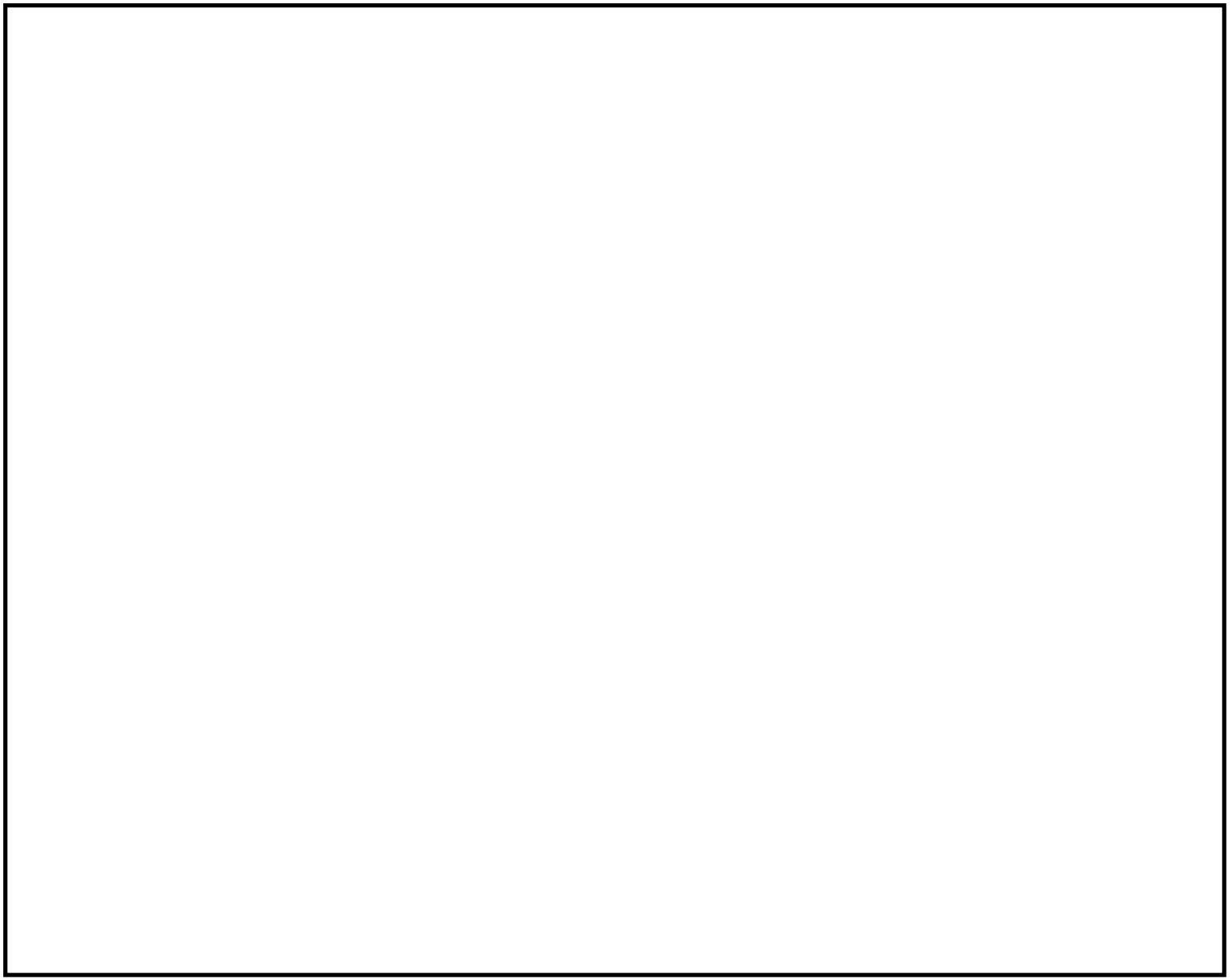
鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－５

代表的振動モード図（2次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－５

代表的振動モード図（3次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－ＰＤ－５

固有周期及び設計震度

鳥瞰図　RHR-R-1

適用する地震動等		Ｓｓ		
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				
9 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：Ｓｄ又はＳｓ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　RHR-R-1

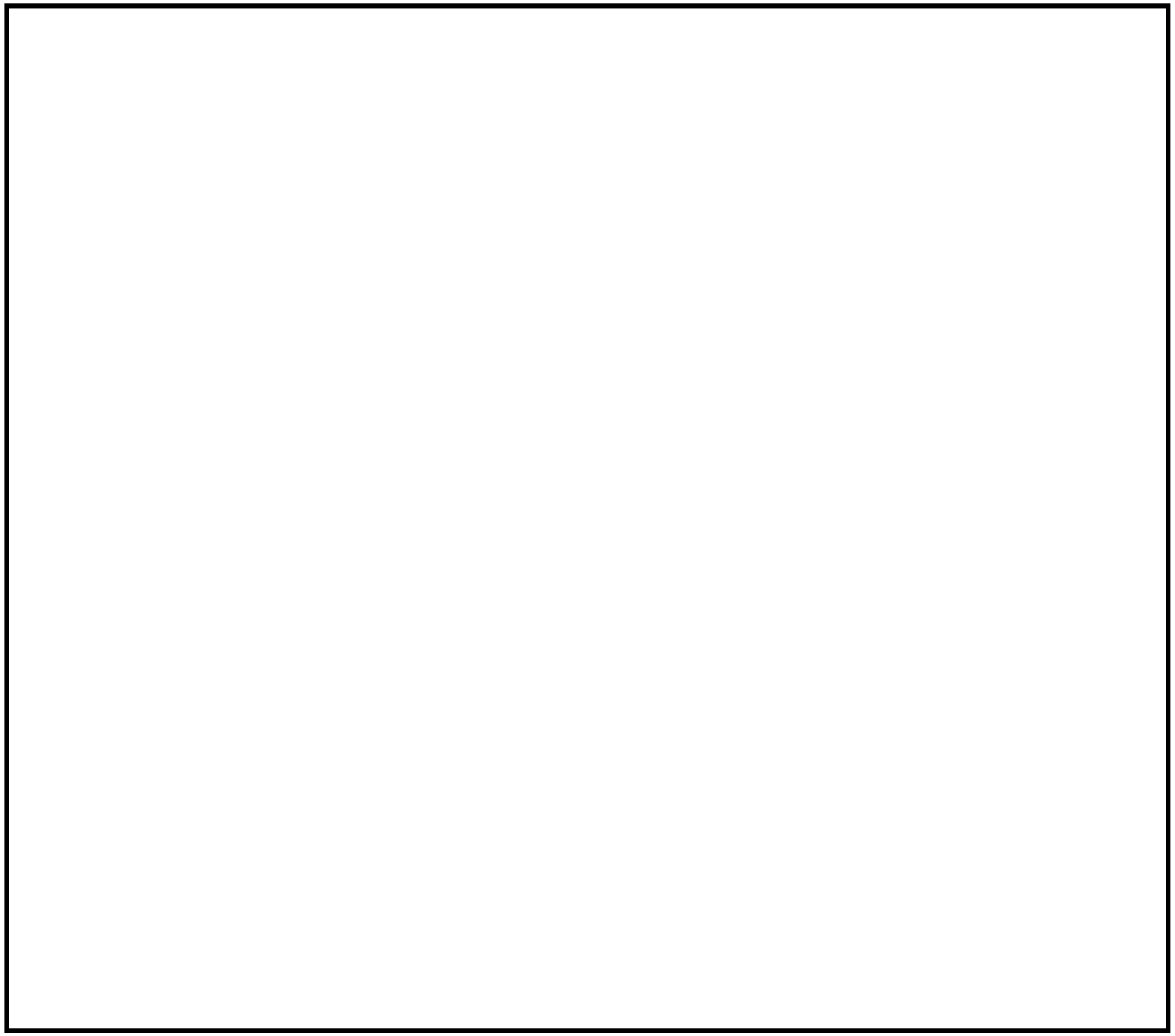
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				

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

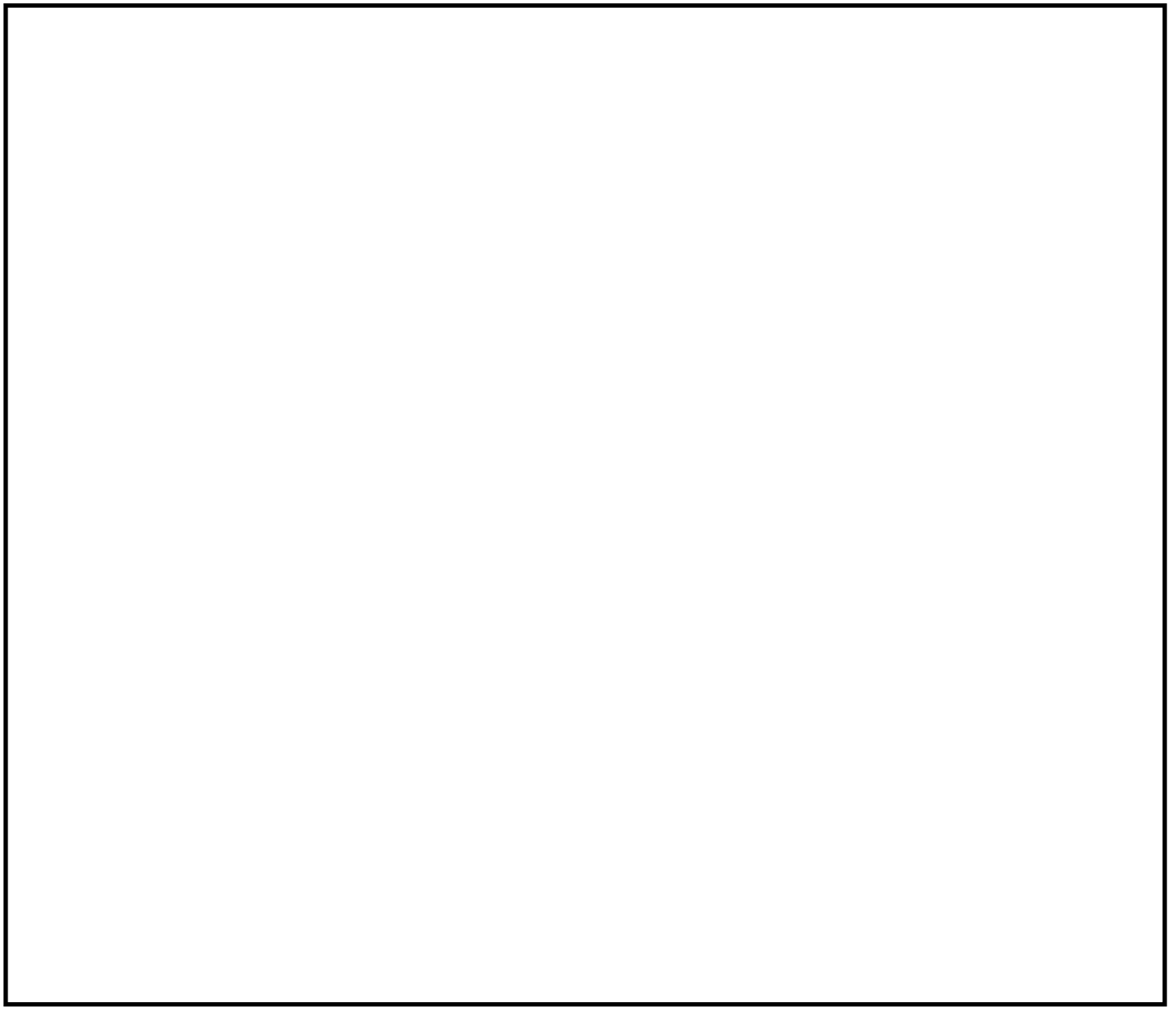
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）



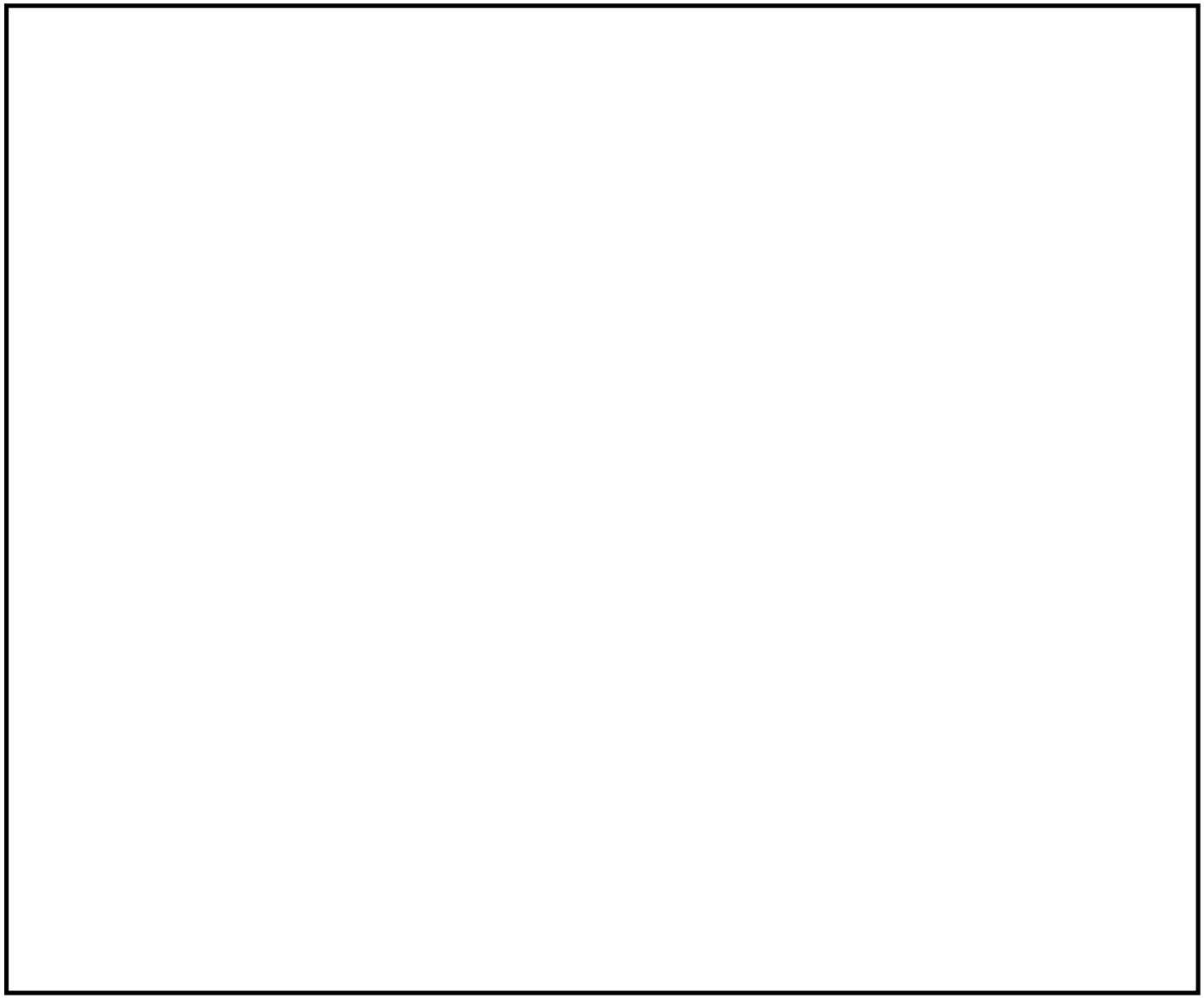
鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－１

代表的振動モード図（2次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－１

代表的振動モード図（3次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－１

固有周期及び設計震度

鳥瞰図　RHR-R-2

適用する地震動等		Ｓｓ		
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				
47 次				
48 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：Ｓｄ又はＳｓ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　RHR-R-2

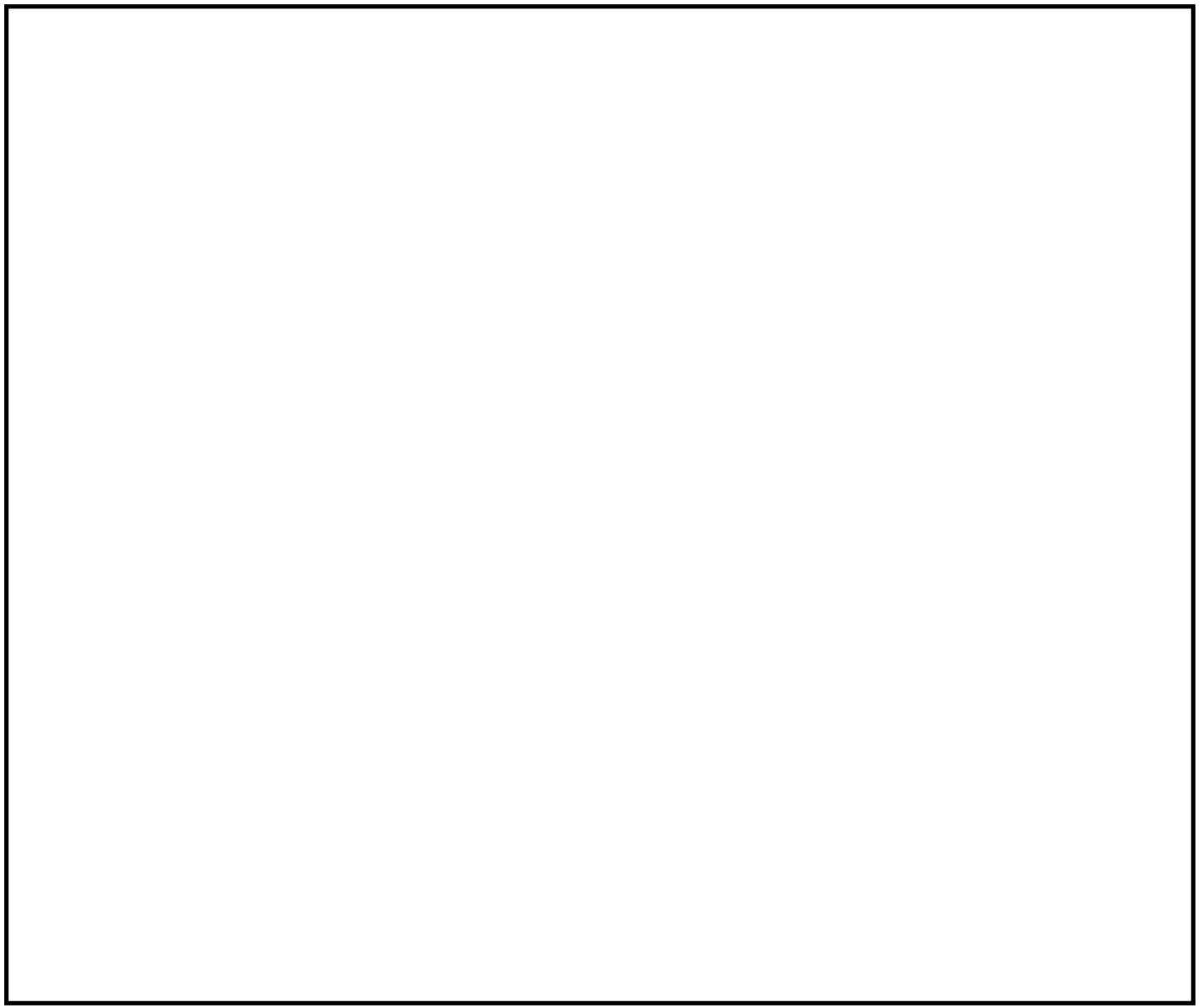
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
47 次				

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

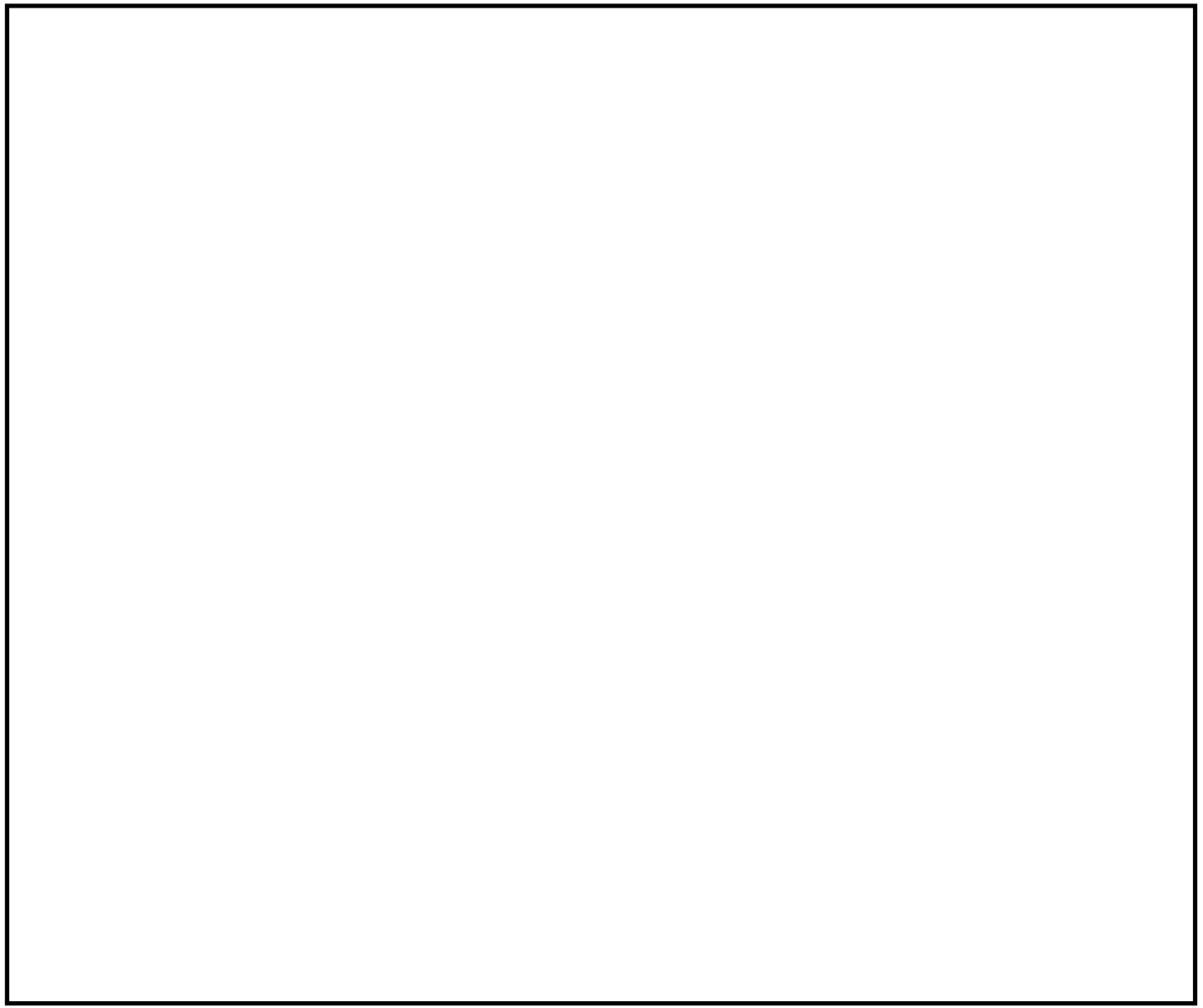
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。

代表的振動モード図（1次）



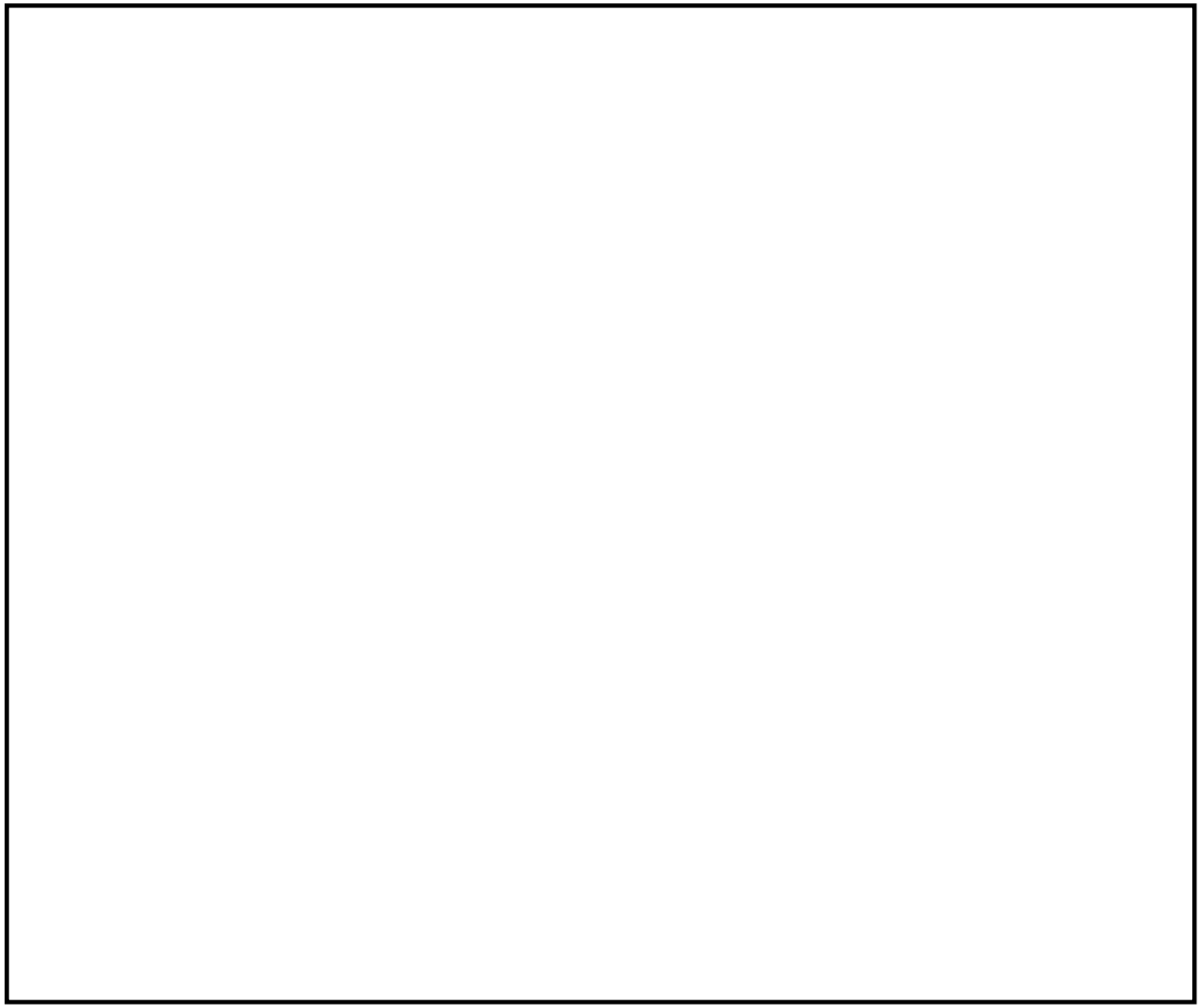
鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－２

代表的振動モード図（2次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－２

代表的振動モード図（3次）



鳥瞰図	ＲＨＲ－Ｒ－２

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１管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	配管要素名称	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
					一次応力 S_{prm}（Ｓｓ）	許容応力 $3S_m$	ねじり応力 S_t（Ｓｓ）	許容応力 $0.73S_m$	一次＋二次応力 S_n（Ｓｓ）	許容応力 $3S_m$	疲労累積係数 $U+US_s$
RHR-PD-5	ＶＡＳ	23N	NOZZLE	S_{prm}（Ｓｓ）	170	366	—	—	—	—	—
RHR-PD-5	ＶＡＳ	16	ELBOW	S_t（Ｓｓ）	—	—	56	89	—	—	—
RHR-PD-5	ＶＡＳ	23N	NOZZLE	S_n（Ｓｓ）	—	—	—	—	446	366	0.4731
RHR-PD-5	ＶＡＳ	23N	NOZZLE	$U+US_s$	—	—	—	—	—	—	0.4731

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_{prm}（Ｓｓ）	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 S_n（Ｓｓ）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
RHR-R-1	ＶＡＳ	9	S_{prm}（Ｓｓ）	171	335	—	—	—
RHR-R-2	ＶＡＳ	280	S_n（Ｓｓ）	—	—	298	418	—

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(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNM-RHR-P001T-1	メカニカルスナッバ	SMS-16A-160	Ⅴ-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		136	240
RO-RHR-R068T-1	ロッドレストレイント	RSA 6			24	105
SH-RHR-P005-2	スプリングハンガ	VS1G-16(A)(B)			49	2×30

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(℃)	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_X	F_Y	F_Z	M_X	M_Y	M_Z			
AN-RHR-R504	アンカ	ラグ	SGV410	182	41	54	103	71	29	88	曲げ	100	109
RE-RHR-P006	レストレイント	架構	SS400 STKR400	200	0	42	2	—	—	—	組合せ	46	65

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 ($\times 9.8 m/s^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8 m/s^2$)		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，設計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１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	RHR-PD-1	4	161	366	2.27	—	1N	306	366	1.19	—	1N	0.0366	—
2	RHR-PD-2	12	160	366	2.28	—	12	404	366	0.90	—	12	0.0886	—
3	RHR-PD-3	4	153	366	2.39	—	5	362	366	1.01	—	1N	0.0590	—
4	RHR-PD-4	23N	115	366	3.18	—	23N	240	366	1.52	—	23N	0.0803	—
5	RHR-PD-5	23N	170	366	2.15	○	23N	446	366	0.82	○	23N	0.4731	○

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	RHR-PW-6	7	15	373	24.86	—	7	19	302	15.89	—	—	—	—
2	RHR-PW-7	2	24	373	15.54	—	3	22	302	13.72	—	—	—	—
3	RHR-PW-8	6	15	373	24.86	—	6	19	302	15.89	—	—	—	—
4	RHR-R-1	9	171	335	1.95	○	9	260	396	1.52	—	—	—	—
5	RHR-R-2	280	176	363	2.06	—	280	298	418	1.40	○	—	—	—
6	RHR-R-3	11	131	335	2.55	—	79	189	418	2.21	—	—	—	—
7	RHR-R-4	12	149	363	2.43	—	12	250	418	1.67	—	—	—	—
8	RHR-R-5	780	105	363	3.45	—	780	132	414	3.13	—	—	—	—
9	RHR-R-6	12	146	335	2.29	—	12	199	396	1.98	—	—	—	—
10	RHR-R-7	42	95	363	3.82	—	42	146	418	2.86	—	—	—	—
11	RHR-R-8	76	130	363	2.79	—	76	213	414	1.94	—	—	—	—
12	RHR-R-029	211	74	363	4.90	—	8	163	364	2.23	—	—	—	—
13	RHR-R-032	28	35	363	10.37	—	42N	275	422	1.53	—	—	—	—
14	RHR-R-036	1N	37	363	9.81	—	39N	222	422	1.90	—	—	—	—
15	RHR-R-136	10	65	363	5.58	—	38N	163	418	2.56	—	—	—	—
16	RHR-R-139	19	36	363	10.08	—	6	218	418	1.91	—	—	—	—
17	RHR-R-144	20	47	363	7.72	—	1N	276	418	1.51	—	—	—	—
18	RHR-R-237	13	77	363	4.71	—	38N	234	418	1.78	—	—	—	—
19	RHR-R-240	18	35	363	10.37	—	7	178	418	2.34	—	—	—	—
20	RHR-R-245	22	41	363	8.85	—	1N	114	418	3.66	—	—	—	—

Ⅴ-2-5-4　非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-4-1　高圧炉心注水系の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-5-4-1-1　高圧炉心注水系ポンプの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　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 ····· 10
3.6　計算条件 ····· 10
4.　機能維持評価 ····· 11
4.1　動的機能維持評価方法 ····· 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，Ｖ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき，高圧炉心注水系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

高圧炉心注水系ポンプは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

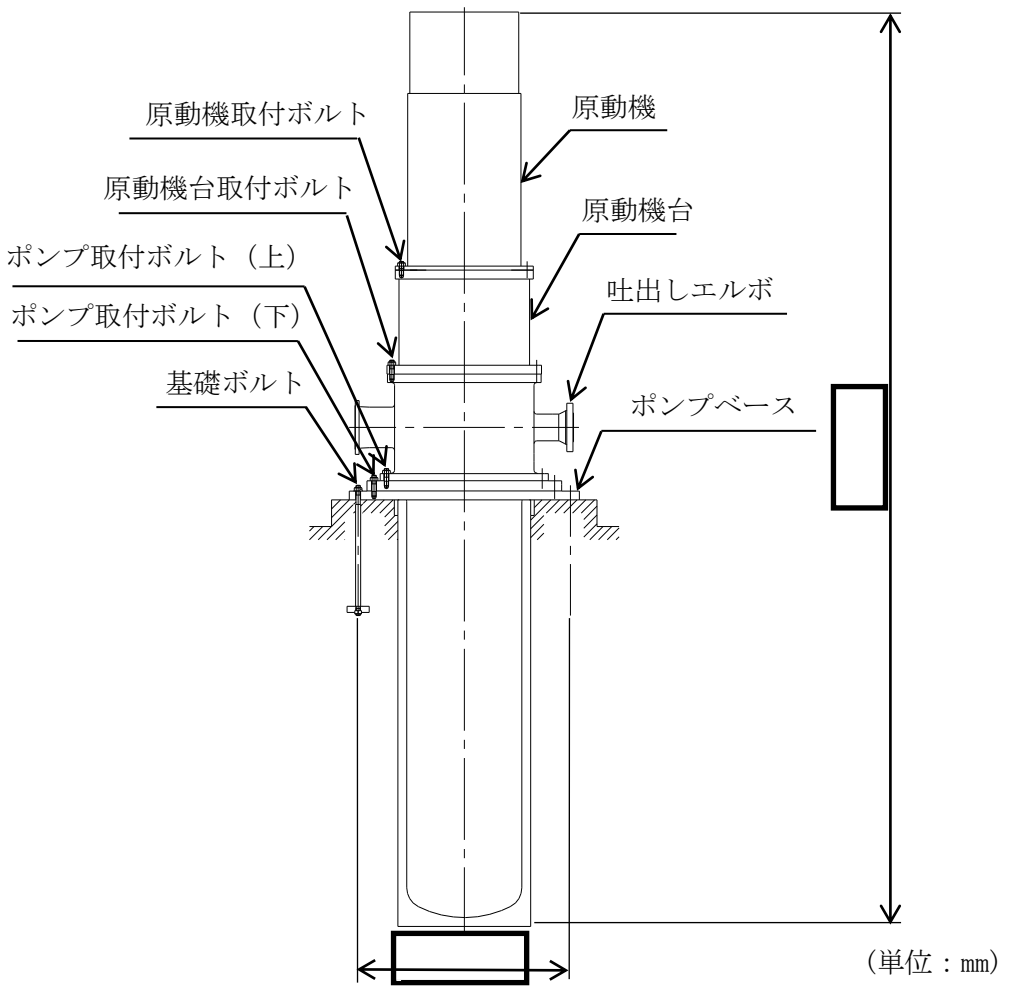
なお，高圧炉心注水系ポンプは，Ｖ-2-1-14「計算書作成の方法」に記載のたて軸ポンプであるため，Ｖ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-2　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心注水系ポンプの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
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。	ターボ形 （ターボ形たて軸ポンプ）	

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

高圧炉心注水系ポンプの構造強度評価は，V-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

高圧炉心注水系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3－1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3－2 に示す。

3.2.2　許容応力

高圧炉心注水系ポンプの許容応力は，V-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

高圧炉心注水系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	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ポンプ	S	クラス２ポンプ*	D＋P_D＋M_D＋S d*	ⅢAS
					D＋P_D＋M_D＋S s	ⅣAS

注記＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２ポンプ*2	D＋P_D＋M_D＋S s*3	ⅣAS
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋S s	VAS（VASとしてⅣASの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）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	Syと0.6・Su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Sd又は基準地震動Ss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・Sy以下であれば，疲労解析は不要。	
ⅣAS	0.6・Su	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Ss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・Sy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
ⅢAS	1.5・ｆｔ	1.5・ｆｓ
ⅣAS	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ⅤAS （ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。）		

注記＊1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

＊2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 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 (℃)		S (MPa)	Sy (MPa)	Su (MPa)	Sy（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	100	—			—
コラムパイプ		最高使用温度	100	—			—
基礎ボルト		周囲環境温度	66	—			—
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	100	—			—
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	100	—			—
原動機台取付ボルト		最高使用温度	100	—			—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	66	—			—

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 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	120	―			―
コラムパイプ		最高使用温度	120	―			―
基礎ボルト		周囲環境温度	100	―			―
ポンプ取付ボルト（下）		最高使用温度	120	―			―
ポンプ取付ボルト（上）		最高使用温度	120	―			―
原動機台取付ボルト		最高使用温度	120	―			―
原動機取付ボルト		周囲環境温度	100	―			―

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【高圧炉心注水系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に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。また，鉛直方向は4次モード以降で卓越し，固有周期は0.05秒以下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	0.043	―	―	―

3.5　設計用地震力

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Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-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Ⅴ-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)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
原子炉建屋 T.M.S.L.　-8.2*	0.043	0.05 以下	C_H＝0.58	C_V＝0.62	C_H＝1.19	C_V＝1.24	—	—

注記＊:基準床レベルを示す。

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)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
原子炉建屋 T.M.S.L.　-8.2*	0.043	0.05 以下	—	—	C_H＝1.19	C_V＝1.24	—	—

注記＊:基準床レベルを示す。

3.6　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【高圧炉心注水系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

高圧炉心注水系ポンプの地震後の動的機能維持評価は，V-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。

高圧炉心注水系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4－1 に示す。

表 4－1　機能確認済加速度　　(×9.8m/s^2)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形すべり軸受電動機	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

高圧炉心注水系ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は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

高圧炉心注水系ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【高圧炉心注水系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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
高圧炉心注水系ポンプ	S	原子炉建屋 T.M.S.L.-8.2*	0.043	0.05以下	C_H=0.58	C_V=0.62	C_H=1.19	C_V=1.24		100	66	1.37	11.77

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N・mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	—				
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)					40	40	9.549×10^6				
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)					40	40	9.549×10^6				
原動機台取付ボルト (i=4)					16	16	9.549×10^6				
原動機取付ボルト (i=5)					16	16	9.549×10^6				

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—			1262	19.0
コラムパイプ	—				

注記＊：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
基礎ボルト（ｉ＝1）						
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）						
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）						
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）						
原動機取付ボルト（ｉ＝5）						

(2) バレルケーシング，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Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
バレルケーシング		
コラムパイプ		

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}＝0.043
鉛直　1次	T_{V1}＝0.05以下

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			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	σ_{b1}＝11	f_{ts1}＝455*	σ_{b1}＝50	f_{ts1}＝455*
		せん断	τ_{b1}＝13	f_{sb1}＝350	τ_{b1}＝24	f_{sb1}＝350
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）		引張り	σ_{b2}＝5	f_{ts2}＝444*	σ_{b2}＝17	f_{ts2}＝444*
		せん断	τ_{b2}＝4	f_{sb2}＝342	τ_{b2}＝8	f_{sb2}＝342
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）		引張り	σ_{b3}＝6	f_{ts3}＝444*	σ_{b3}＝18	f_{ts3}＝444*
		せん断	τ_{b3}＝4	f_{sb3}＝342	τ_{b3}＝6	f_{sb3}＝342
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）		引張り	σ_{b4}＝10	f_{ts4}＝444*	σ_{b4}＝25	f_{ts4}＝444*
		せん断	τ_{b4}＝7	f_{sb4}＝342	τ_{b4}＝12	f_{sb4}＝342
原動機取付ボルト（ｉ＝5）		引張り	σ_{b5}＝6	f_{ts5}＝455*	σ_{b5}＝15	f_{ts5}＝455*
		せん断	τ_{b5}＝4	f_{sb5}＝350	τ_{b5}＝7	f_{sb5}＝350

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}＝Min[1.4・f_{toi}－1.6・τ_{bi}，f_{toi}]

1.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力

(単位:MPa)

部材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	σ＝46	S_a＝201
		基準地震動Ｓｓ	σ＝46	S_a＝223
コラムパイプ		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	σ＝67	S_a＝226
		基準地震動Ｓｓ	σ＝67	S_a＝262

すべて許容応力以下である。

1.4.4　動的機能の評価結果　　（×9.8m/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	0.74	10.0
	鉛直方向	0.84	1.0
原動機	水平方向	0.74	2.5
	鉛直方向	0.84	1.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・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・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			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標(mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			

(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^2)	断面二次モーメント (mm^4)	断面二次極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		2.011×10^{6}	4.021×10^{6}
2	2-3	1		4.773×10^{6}	9.545×10^{6}
3	3-4	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
4	4-5	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
5	5-6	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
6	6-7	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
7	7-8	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
8	8-9	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
9	9-10	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
10	10-11	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
11	11-12	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
12	12-13	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
13	13-14	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
14	14-15	1		7.724×10^{6}	1.545×10^{7}
15	15-16	3		1.290×10^{8}	2.580×10^{8}
16	16-17	6		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
17	17-56	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
18	18-19	6		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
19	20-21	2		5.205×10^{8}	1.041×10^{9}
20	21-22	2		1.920×10^{9}	3.840×10^{9}
21	22-23	2		2.989×10^{9}	5.978×10^{9}
22	23-24	2		2.989×10^{9}	5.978×10^{9}
23	24-25	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
24	25-26	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
25	26-27	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
26	27-28	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
27	28-29	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
28	29-30	2		4.175×10^{10}	8.349×10^{10}
29	30-31	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
30	31-32	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
31	32-33	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
32	33-51	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
33	34-35	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
34	35-36	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
35	36-37	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
36	37-38	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
37	38-39	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
38	39-40	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
39	40-41	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
40	41-42	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}

(続き)

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^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
41	42-43	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
42	43-44	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
43	44-45	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
44	45-46	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
45	47-48	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
46	48-49	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
47	49-50	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
48	50-51	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
49	51-52	4		2.656×10^{10}	5.313×10^{10}
50	52-53	5		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
51	53-57	5		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
52	54-55	5		1.325×10^{10}	2.651×10^{10}
53	56-18	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
54	57-54	5		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	20	
3	22	
4	23	
5	24	
6	25	
7	26	
8	27	
9	28	
10	29	
14	33	
17	53	
18	54	
22	37	
18	54	
46	48	
46	48	

(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	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (—)	材質
1	100			0.3	
2	100			0.3	
3	66			0.3	
4	66			0.3	
5	90			0.3	
6	90			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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		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
高圧炉心注水系ポンプ	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L.-8.2*	0.043	0.05以下	—	—	C_H=1.19	C_V=1.24		120	100	1.37	11.77

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N･mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト（ｉ＝1）					12	12	—			—	
ポンプ取付ボルト(下)（ｉ＝2）					40	40	9.549×10^6			—	
ポンプ取付ボルト(上)（ｉ＝3）					40	40	9.549×10^6			—	
原動機台取付ボルト（ｉ＝4）					16	16	9.549×10^6			—	
原動機取付ボルト（ｉ＝5）					16	16	9.549×10^6			—	

注記＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

H_p (μm)	N (rpm)

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	—	—		1262	19.0
コラムパイプ	—	—			

注記＊：最高使用温度で算出

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	Mi (N・mm)		Fbi (N)		Qbi (N)	
	弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss	弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss	弾性設計用地震動Sd又は静的震度	基準地震動Ss
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=4)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=5)	—		—		—	

(2) バレルケーシング，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Sd又は静的震度	基準地震動Ss
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

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}=0.043
鉛直 1次	T_{V1}=0.05以下

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Sd又は静的震度		基準地震動Ss	
			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	—	—	σ_{b1}=50	f_{ts1}=444*
		せん断	—	—	τ_{b1}=24	f_{sb1}=342
ポンプ取付ボルト(下) (i=2)		引張り	—	—	σ_{b2}=17	f_{ts2}=444*
		せん断	—	—	τ_{b2}=8	f_{sb2}=342
ポンプ取付ボルト(上) (i=3)		引張り	—	—	σ_{b3}=18	f_{ts3}=444*
		せん断	—	—	τ_{b3}=6	f_{sb3}=342
原動機台取付ボルト (i=4)		引張り	—	—	σ_{b4}=25	f_{ts4}=444*
		せん断	—	—	τ_{b4}=12	f_{sb4}=342
原動機取付ボルト (i=5)		引張り	—	—	σ_{b5}=15	f_{ts5}=444*
		せん断	—	—	τ_{b5}=7	f_{sb5}=342

すべて許容応力以下である。

注記＊：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}−1.6・τ_{bi}, f_{toi}]

2.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力

(単位:MPa)

部材	材料	一次一般膜応力		
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動Sd又は静的震度	—	—
		基準地震動Ss	σ=46	S_a=222
コラムパイプ		弾性設計用地震動Sd又は静的震度	—	—
		基準地震動Ss	σ=67	S_a=262

すべて許容応力以下である。

2.4.4　動的機能の評価結果　　(×9.8m/s²)

		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	0.74	10.0
	鉛直方向	0.84	1.0
原動機	水平方向	0.74	2.5
	鉛直方向	0.84	1.0

注記＊：基準地震動Ｓｓ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（原動機にあっては軸受部）の応答加速度又は設計用最大応答加速度（1.0・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・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			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標(mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			

(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^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		2.011×10^{6}	4.021×10^{6}
2	2-3	1		4.773×10^{6}	9.545×10^{6}
3	3-4	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
4	4-5	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
5	5-6	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
6	6-7	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
7	7-8	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
8	8-9	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
9	9-10	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
10	10-11	1		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
11	11-12	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
12	12-13	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
13	13-14	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
14	14-15	1		7.724×10^{6}	1.545×10^{7}
15	15-16	3		1.290×10^{8}	2.580×10^{8}
16	16-17	6		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
17	17-56	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
18	18-19	6		1.402×10^{7}	2.804×10^{7}
19	20-21	2		5.205×10^{8}	1.041×10^{9}
20	21-22	2		1.920×10^{9}	3.840×10^{9}
21	22-23	2		2.989×10^{9}	5.978×10^{9}
22	23-24	2		2.989×10^{9}	5.978×10^{9}
23	24-25	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
24	25-26	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
25	26-27	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
26	27-28	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
27	28-29	2		4.181×10^{9}	8.362×10^{9}
28	29-30	2		4.175×10^{10}	8.349×10^{10}
29	30-31	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
30	31-32	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
31	32-33	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
32	33-51	2		1.559×10^{9}	3.119×10^{9}
33	34-35	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
34	35-36	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
35	36-37	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
36	37-38	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
37	38-39	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
38	39-40	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
39	40-41	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
40	41-42	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}

(続き)

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^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
41	42-43	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
42	43-44	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
43	44-45	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
44	45-46	2		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
45	47-48	4		2.014×10^{12}	4.028×10^{12}
46	48-49	2		1.025×10^{12}	2.051×10^{12}
47	49-50	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
48	50-51	2		5.432×10^{10}	1.086×10^{11}
49	51-52	4		2.656×10^{10}	5.313×10^{10}
50	52-53	5		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
51	53-57	5		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}
52	54-55	5		1.325×10^{10}	2.651×10^{10}
53	56-18	6		5.153×10^{7}	1.031×10^{8}
54	57-54	5		1.569×10^{10}	3.138×10^{10}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
1	20	
3	22	
4	23	
5	24	
6	25	
7	26	
8	27	
9	28	
10	29	
14	33	
17	53	
18	54	
22	37	
18	54	
46	48	
46	48	

(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	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

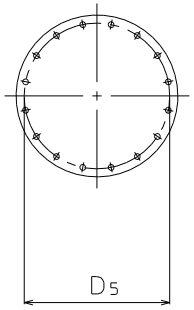
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	

(5) 材料物性値

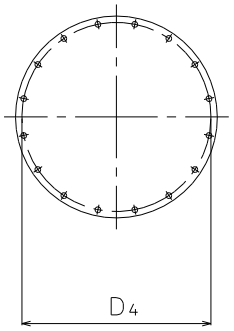
材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (—)	材質
1	120			0.3	
2	120			0.3	
3	100			0.3	
4	100			0.3	
5	100			0.3	
6	100			0.3	

原動機取付ボルト



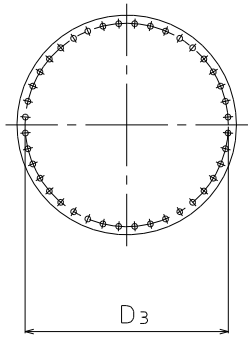
A～A矢視図

原動機台取付ボルト



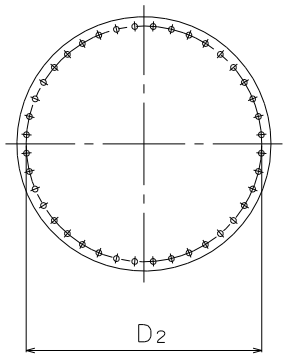
B～B矢視図

ポンプ取付ボルト（上）



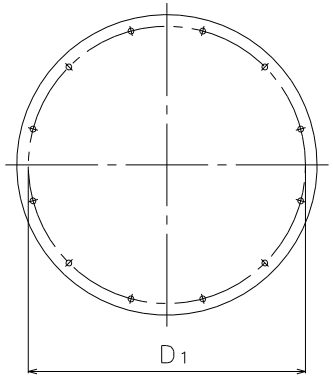
C～C矢視図

ポンプ取付ボルト（下）

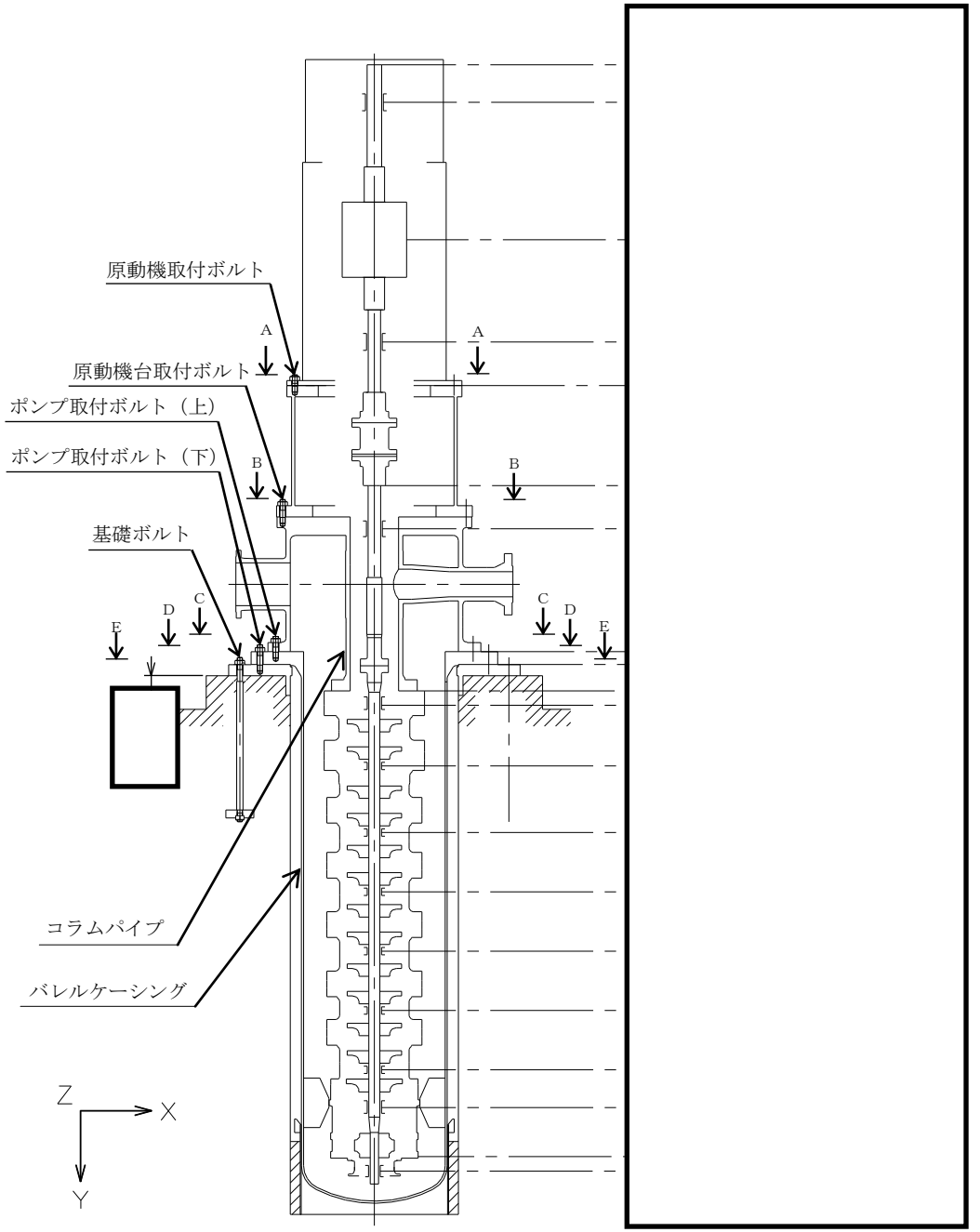


D～D矢視図

基礎ボルト



E～E矢視図



Ⅴ-2-5-4-1-2　高圧炉心注水系ストレー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.　地震応答解析及び構造強度評価 …… 10
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 …… 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 …… 10
4.2.2　許容応力 …… 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 …… 10
4.2.4　設計荷重 …… 16
4.3　解析モデル及び諸元 …… 20
4.4　固有周期 …… 21
4.5　設計用地震力 …… 22
4.6　計算方法 …… 23
4.6.1　応力評価点 …… 23
4.6.2　応力計算方法 …… 25
4.7　計算条件 …… 30
4.8　応力の評価 …… 30
5.　評価結果 …… 30
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 30
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 31
6.　引用文献 …… 31

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，高圧炉心注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。その耐震評価は高圧炉心注水系ストレーナの応力評価により行う。

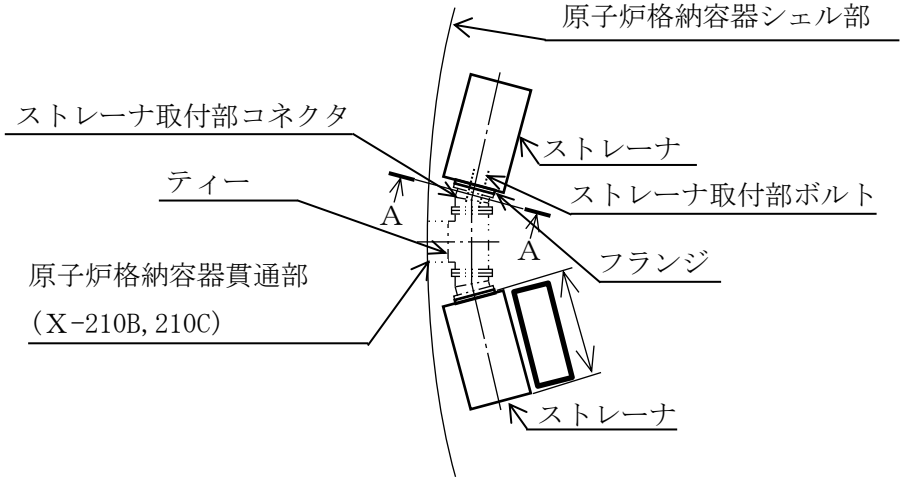
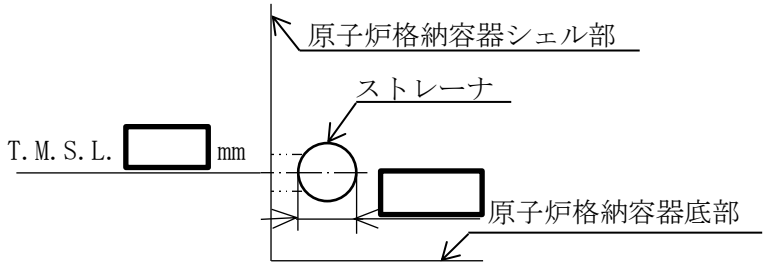
高圧炉心注水系ストレーナは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心注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	
ストレーナはサプレッションプール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーに，コネクタを介して，フランジ及び取付ボルトにより据え付けられる。	外径 [redacted] mm，長さ [redacted] mm の円錐支持ディスクで構成される鋼製構造物である。	  A～A断面図 （単位：mm）

2.2　評価方針

高圧炉心注水系ストレーナの応力評価は，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき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」にて示す高圧炉心注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，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で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，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

高圧炉心注水系ストレーナの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

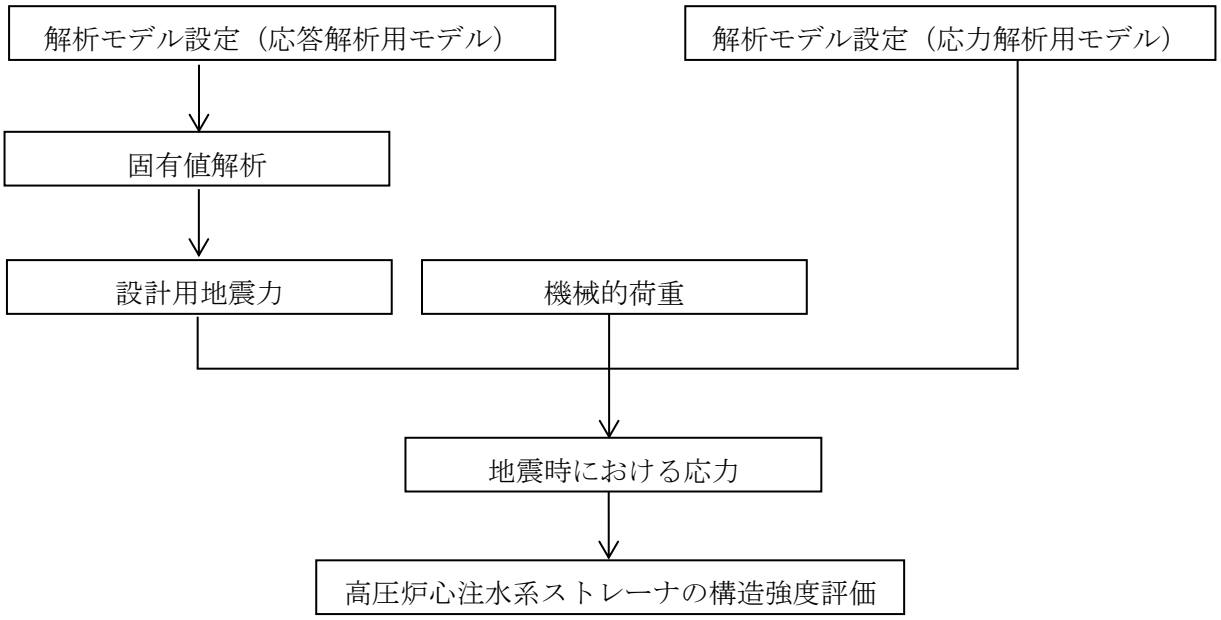


図 2－1　高圧炉心注水系ストレーナの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm^2
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D_i	各部位の直径（ｉ＝1，2，3…）	mm
d	孔径，ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f_t	ボルトの発生応力	MPa
L_i	各部位の長さ（ｉ＝1，2，3…）	mm
ℓ	ディスク間ギャップ，ボルトのＺ軸からの距離	mm
M	モーメント	N･mm
n	ボルトの本数	—
P	孔の間隔（中心間）	mm
Ｓｄ*	弾性設計用地震動Ｓｄにより定まる地震力又は静的地震力	—
Ｓｓ	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	—
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	—
X	軸直角方向（水平）	—
Y	軸方向	—
Z	軸直角方向（鉛直）	—
β	形状係数	—
σ_r	曲げ応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

＊2：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。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，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

高圧炉心注水系ストレーナの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，主要部品であるディスク，スペーサ，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトについて実施する。

高圧炉心注水系ストレーナの取付け状況，形状及び主要寸法を図 3－1，図 3－2 に示し，ディスクセット幅及びスペーサ内径を表 3－1 に示す。

なお、高圧炉心注水系ストレーナは，高圧炉心注水系ストレーナ部ティーに据付部材を介してストレーナ取付部ボルトにて接続されるものとする。

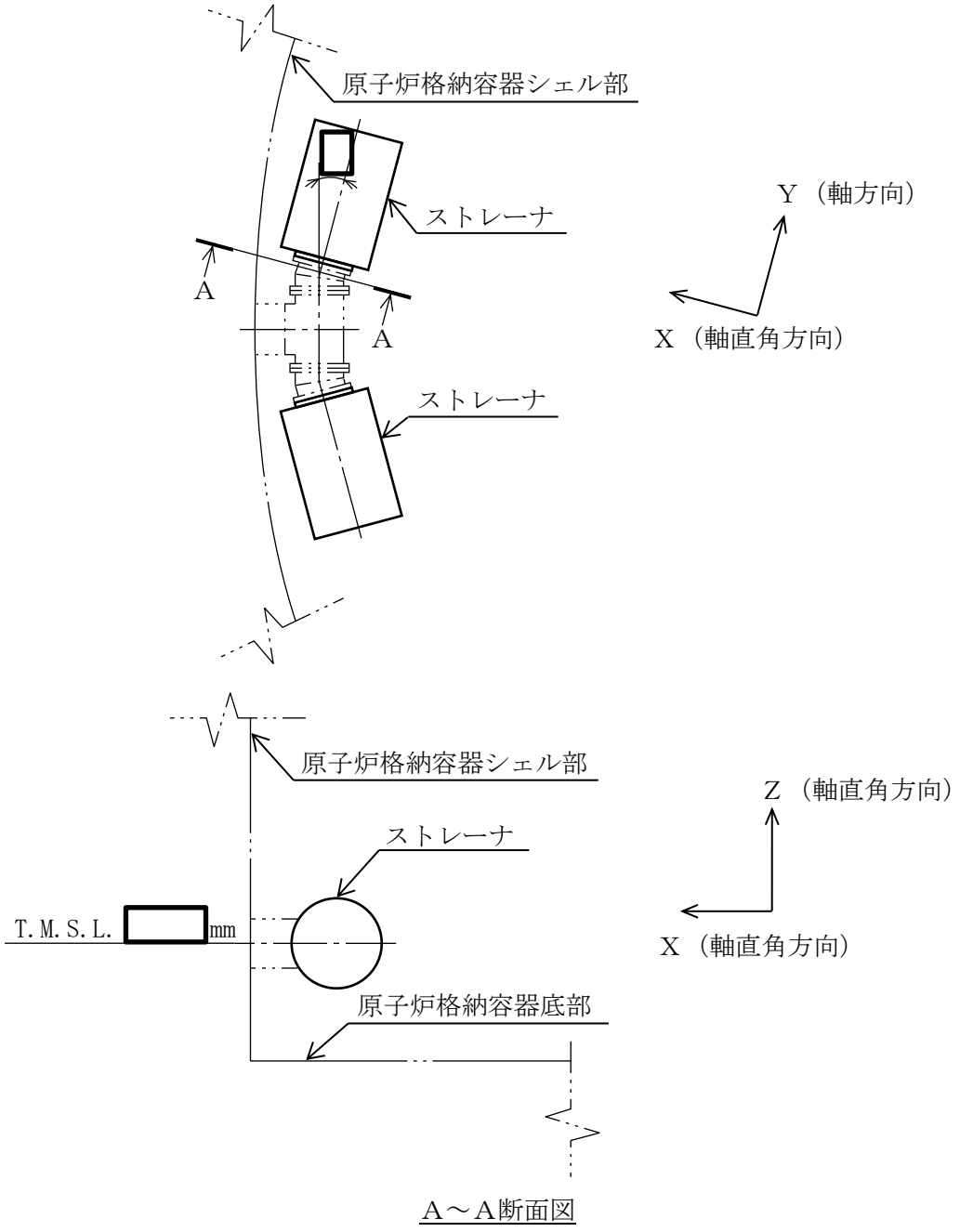
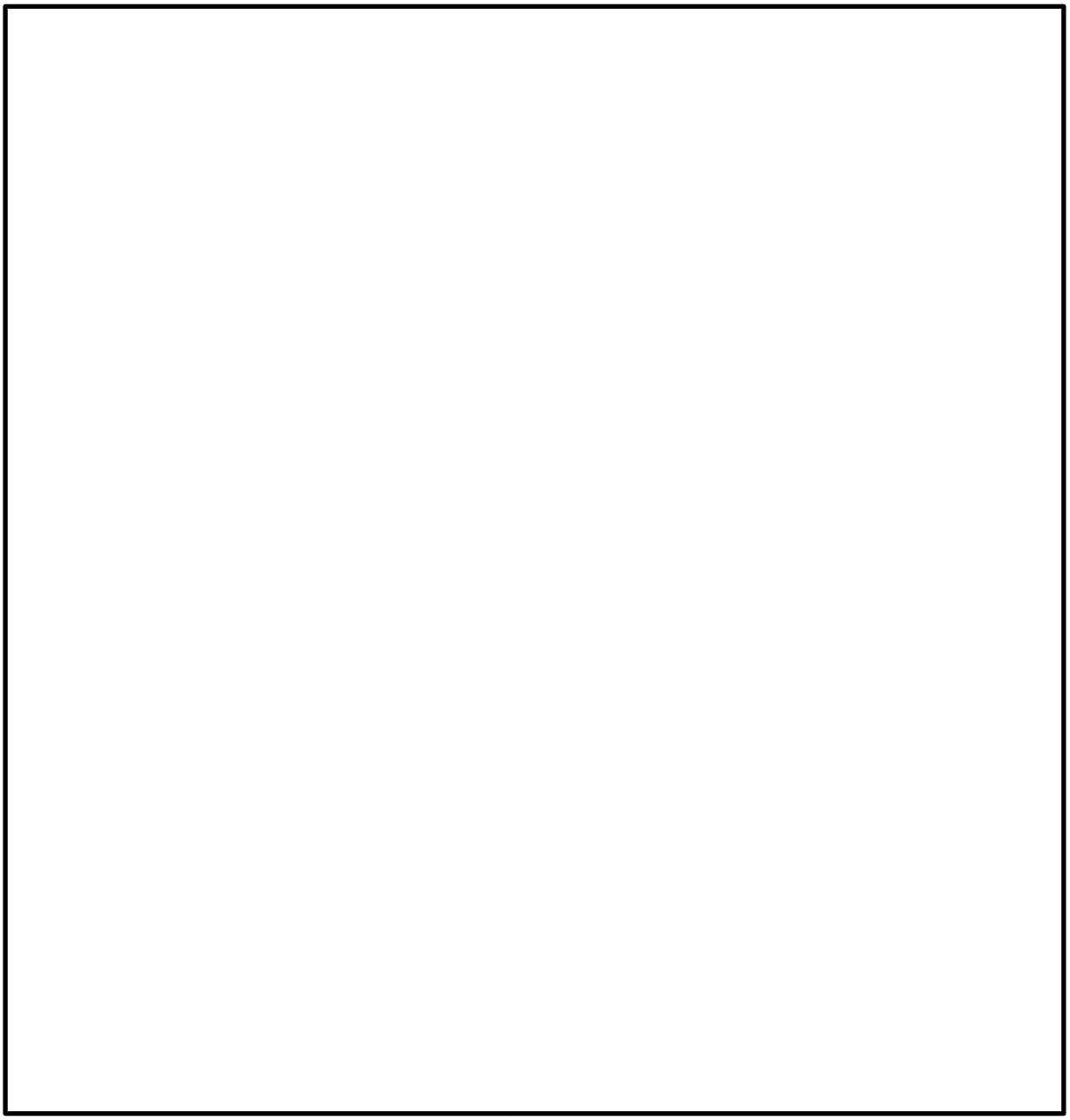


図 3－1　高圧炉心注水系ストレーナの取付け状況



A～A矢視図

D_1= D_2= D_3= D_4= L_1=

L_2= L_3= L_4= L_5= L_6=

ℓ= d = P =

①ディスクセット１　　②中間ディスクセット（２～１７）

③ディスクセット１８　　④スペーサ（１～１７）

⑤リブ　（厚さ mm）　⑥コンプレッションプレート　（厚さ mm）

⑦フィンガ　（厚さ mm）　⑧ディスクサポートリング　（厚さ mm）

⑨ストラップ　（厚さ mm）　⑩ボトムスペーサ

⑪フランジ，ストレーナ取付部ボルト

（①～④及び⑩は多孔プレート形状であり，多孔プレートの厚さは mm である。）

図３－２　高圧炉心注水系ストレーナの形状及び主要寸法（単位：mm）

表 3－1　ディスクセット幅及びスペーサ内径

（単位：mm）

ディスクセット番号	ディスクセット幅	スペーサ内径

注：各部品寸法はインチから換算した値であるため，桁処理の影響で合計値が公称値と一致しない場合がある。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　高圧炉心注水系ストレーナの質量には，ストレーナに付着する異物量を考慮し，荷重の算出において組み合わせるものとする。

(2)　地震力は，高圧炉心注水系ストレーナに対して軸方向及び軸直角方向（水平，鉛直）に作用するものとし，軸直角方向に作用する荷重については水平方向と鉛直方向地震力の二乗和平方根により算出する。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

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

高圧炉心注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 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。また，荷重の組合せ整理表を表 4－3 に示す。

4.2.2　許容応力

高圧炉心注水系ストレーナの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 及び表 4－5 に示す。なお，評価対象は，構造又は形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分小さいため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心注水系ストレーナ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 4－6 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－7 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

多孔プレート
リブ
コンプレッションプレート
フィンガ
ストラップ
フランジ
ストレーナ取付部ボルト

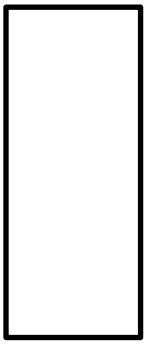


表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

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	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ストレーナ	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣＡＳ

表4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ストレーナ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」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　荷重の組合せ整理表

組合せNo.		運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	Ｓｄ*荷重	Ｓｓ荷重	
ＤＢＡ*1	DBA-1	運転状態Ⅰ	○								○		ⅢＡＳ
	DBA-2	運転状態Ⅰ	○									○	ⅣＡＳ
	DBA-3	運転状態Ⅱ	○			○					○		ⅢＡＳ
	DBA-4	運転状態Ⅱ	○			○						○	ⅣＡＳ
	DBA-5	運転状態Ⅳ（Ｌ）	○	○	○						○		ⅢＡＳ
ＳＡ*2	SA-1	運転状態Ⅴ（Ｌ）*3	○	○	○						○		ⅤＡＳ*4
	SA-2	運転状態Ⅴ（ＬＬ）	○	○	○							○	ⅤＡＳ*4

注記＊1：設計基準対象施設

＊2：重大事故等対処設備

＊3：運転状態Ⅴ（Ｌ）は，温度条件を重大事故等時における最高使用温度120℃とした運転状態Ⅴ（ＬＬ）の評価で代表される。

＊4：許容応力状態ⅤＡＳとしてⅣＡＳの許容応力を用いる。

表4－4　許容応力（クラス２管及び重大事故等クラス２管）

許容応力状態	許容限界*1		
	一次一般膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）	一次＋二次応力*2
ⅢAS	Ｓｙと0.6・Ｓｕ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	Ｓｙ 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	弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。
ⅣAS	0.6・Ｓｕ	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Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。

注記＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

表 4－5　許容応力（クラス２耐圧部テンションボルト及び重大事故等クラス２耐圧部テンションボルト）

許容応力状態	許容限界
ⅢＡＳ	1.5・Ｓ
ⅣＡＳ	2・Ｓ
ＶＡＳ （ＶＡＳとして，$Ⅳ_A$Ｓの許容限界を用いる。）	

表 4－6　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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
多孔プレート		最高使用温度	104				—
リブ，フランジ等		最高使用温度	104				—
ストレーナ取付ボルト		最高使用温度	104				—

表4－7　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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
多孔プレート		最高使用温度	120				—
リブ，フランジ等		最高使用温度	120				—
ストレーナ取付ボルト		最高使用温度	120				—

4.2.4　設計荷重

(1)　死荷重

高圧炉心注水系ストレーナの自重による荷重及び高圧炉心注水系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重*の2つの死荷重を考慮する。

高圧炉心注水系ストレーナの自重＝[redacted]N

異物荷重＝[redacted]N

注記＊：異物荷重は運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

(2)　差圧

差圧による荷重*は，異物付着時の高圧炉心注水系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し，以下のとおりとする。

また，差圧による荷重の作用方向を図4－1に示す。

差圧荷重＝[redacted]MPa

注記＊：差圧による荷重は運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

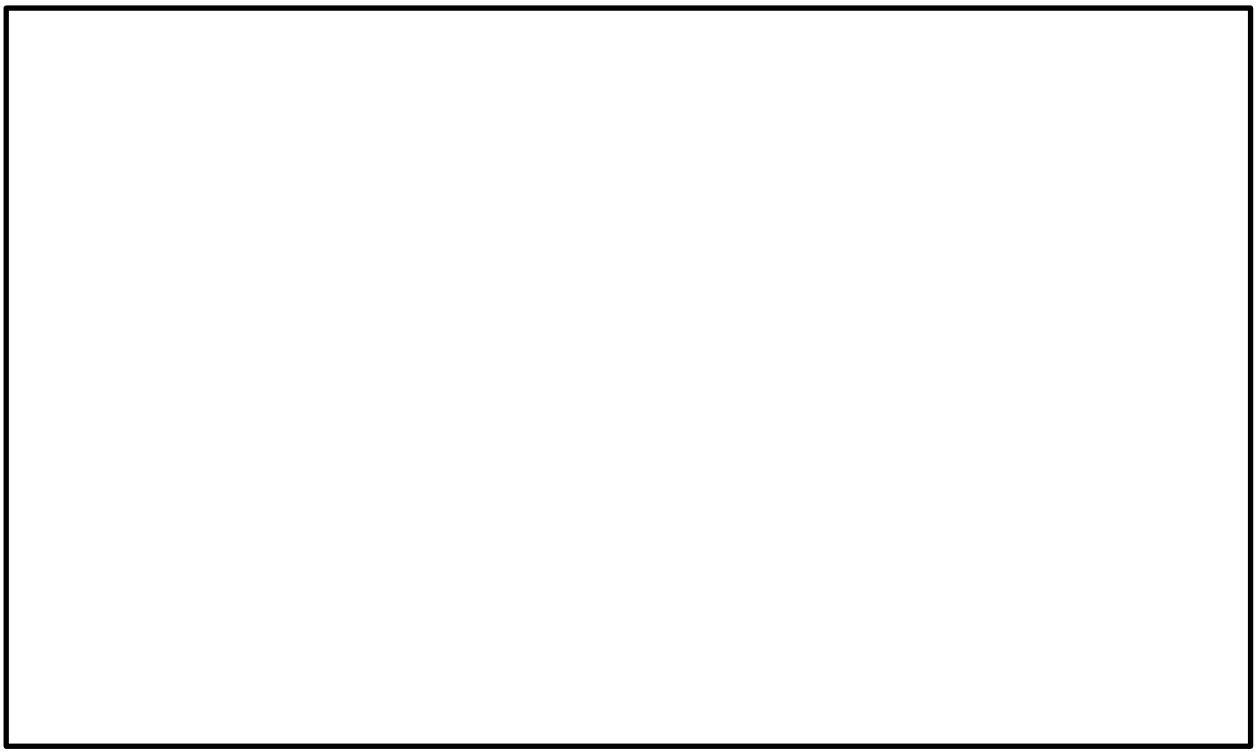


図 4－1　差圧荷重の作用方向

(3)　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

逃がし安全弁作動時には，サプレッションチェンバ内の水中構造物に水力学的動荷重が作用する。この荷重については，原子力安全委員会が策定した評価指針「ＢＷＲ，ＭＡＲＫ-Ⅱ型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」（以下「ＭＡＲＫ-Ⅱ動荷重指針」という。）に準じて荷重の評価を実施する。

ＭＡＲＫ-Ⅱ動荷重指針に基づき，高圧炉心注水系ストレーナに加わる水力学的動荷重を算出した結果を表 4－8 に示す。表 4－8 に示した荷重は，考慮すべき水力学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値であり，地震荷重と組み合わせる逃がし安全弁作動時荷重のみ記載する。

また，高圧炉心注水系ストレーナは，逃がし安全弁作動時荷重のうち，水ジェット及び蒸気凝縮過程による荷重については十分小さいため評価対象としない。

水力学的動荷重の作用方向を図 4－2 に示す。

軸方向の荷重は，引用文献(1)の考え方に基づき，最前列のディスクと最後列のディスクで軸方向荷重の 1/2 ずつを受け持つとし，この荷重を最前列と最後列のディスクの投影面積で除算し，軸方向の圧力荷重として作用させる。

軸直角方向の荷重は，ストレーナの片面のみで荷重を受け持つとし，ストレーナの片面の投影面積で軸直角方向荷重を除算し，軸直角方向の圧力荷重として作用させる。

表4－8　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

（単位：N）

荷重名称	軸方向荷重	軸直角方向荷重
ＳＲＶ荷重（運転時）＊	[redacted]	[redacted]

注記＊：方向は図 3－1 参照。ただし，軸直角方向の荷重については，二乗和平方根としている。定常ドラッグ荷重と圧力荷重との二乗和平方根とする。

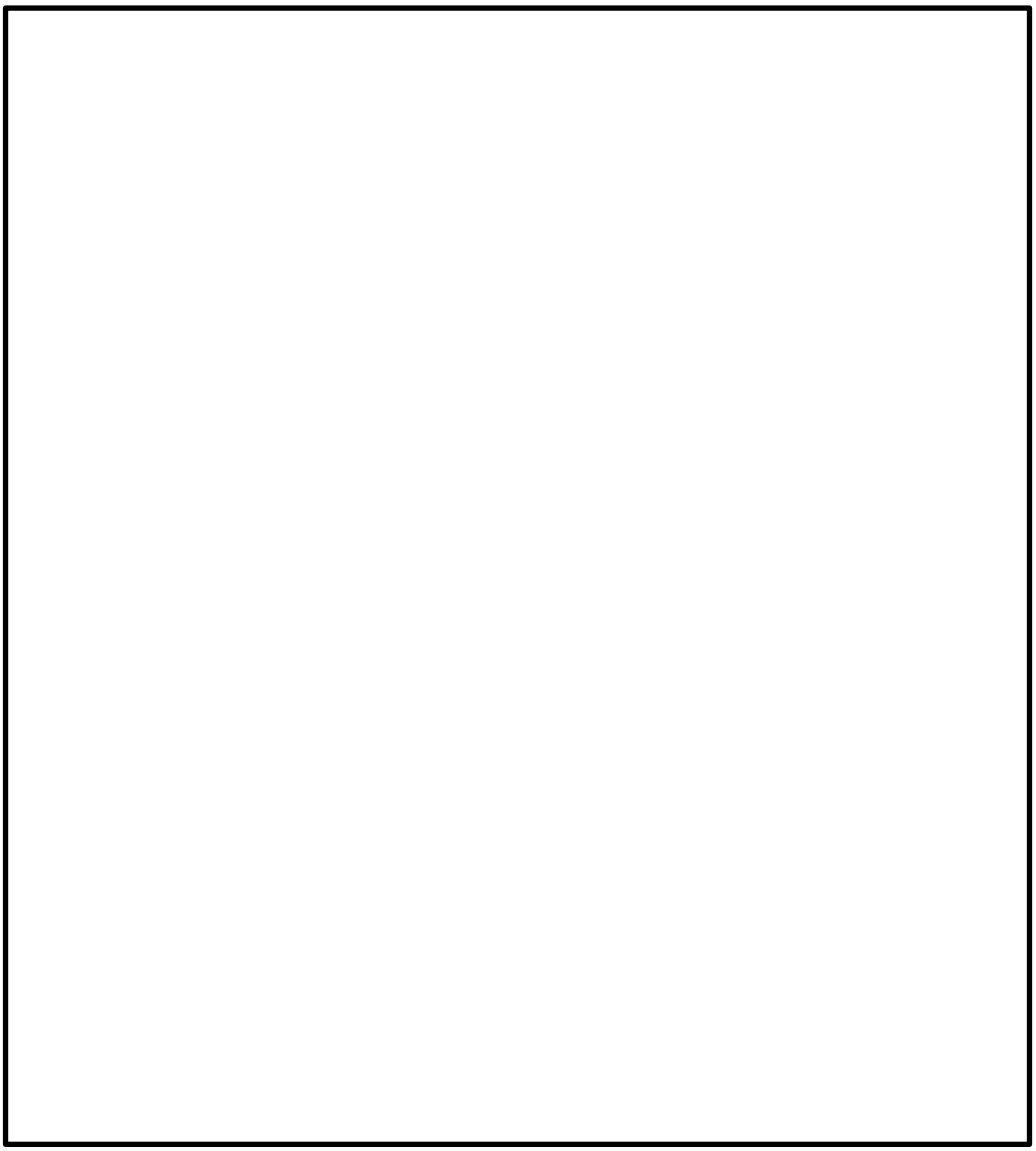


図 4－2　水力学的動荷重の作用方向

4.3　解析モデル及び諸元

高圧炉心注水系ストレーナの応答解析及び応力評価は，はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。なお，ストレーナ本体の応力計算に用いた三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）については，「4.6.2　応力計算方法」で説明する。本項においては、ストレーナから原子炉格納容器貫通部までをモデル化したはりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）について説明する。

高圧炉心注水系ストレーナの応答解析用モデルを図 4－3 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【高圧炉心注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。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，固有値及び荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化する。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は完全拘束とする。

(3)　各部の質量は，各部の重心位置（図 4－3 の△の節点）に集中質量を与える。

(4)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(5)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる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。

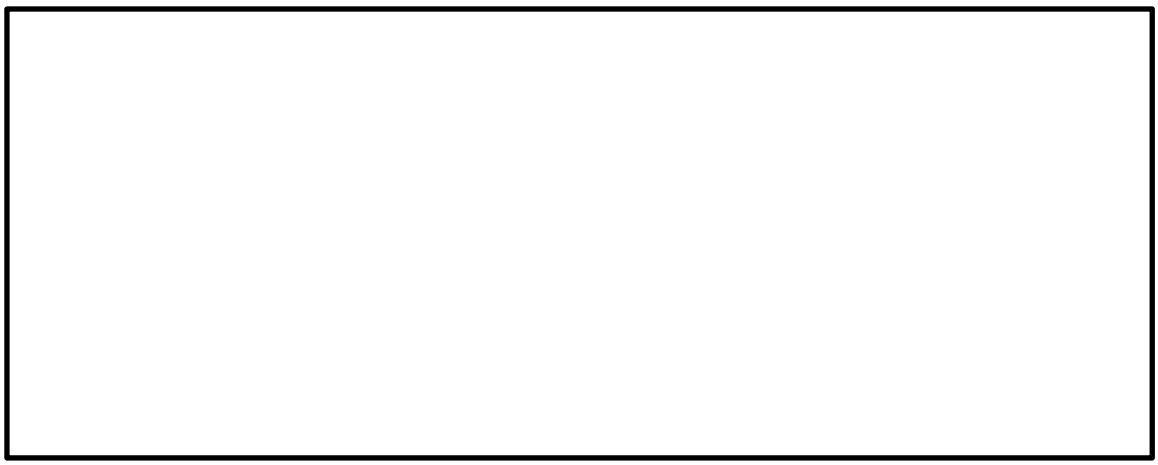


図 4－3　応答解析用モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－9 に示す。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 4－9　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
			X方向	Y方向	
1 次	ねじり*	0.029	―	―	―

注記＊：図 4－3 の貫通部スリーブ（X 軸）を中心としたねじり

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－10 及び表 4－11 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。なお，図 3－1 に示すように，ストレーナの軸方向には水平方向の震度，軸直角方向には水平方向及び鉛直方向の震度が作用するため，軸方向及び軸直角方向に作用する地震力を表 4－12 に示す。

表 4－10　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－11　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	―	―	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－12　ストレーナに作用する地震力

取付け位置　T.M.S.L. [redacted] m		
地震荷重	軸方向震度	軸直角方向震度
Ｓｄ*	0.59	0.87
Ｓｓ	1.30	1.82

注：方向は図 3－1 参照。
ただし，軸直角方向震度については，水平方向と鉛直方向の設計震度の二乗和平方根としている。

4.6　計算方法

4.6.1　応力評価点

高圧炉心注水系ストレーナは，図 3－2 に示すとおり，リブ及びフィンガが主強度部材となり各ディスクを支える構造になっている。各ディスクの表面は多孔プレートとなっており，ろ過装置としての機能を果たしている。作用する荷重の大部分は，フィンガにより支えられた各ディスクの多孔プレート表面に加わり，負荷された荷重は最終的にはリブに伝達される。したがって，ここではストレーナの主要構成部材である多孔プレート，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトの構造，形状を考慮した応力評価点を選定し，評価を実施する。

応力評価点を表 4－13 及び図 4－4 に示す。

表 4－13　応力評価点

名称		応力評価点番号	応力評価点
多孔プレート	ディスク	P1	全ディスクセットの多孔プレート
	スペーサ*	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート
リブ		P3	リブ
コンプレッションプレート		P4	コンプレッションプレート
フィンガ		P5	フィンガ
ストラップ		P6	ストラップ
フランジ		P7	フランジ
ストレーナ取付部ボルト		P8	ボルト

注記＊：ボトムスペーサを含む。

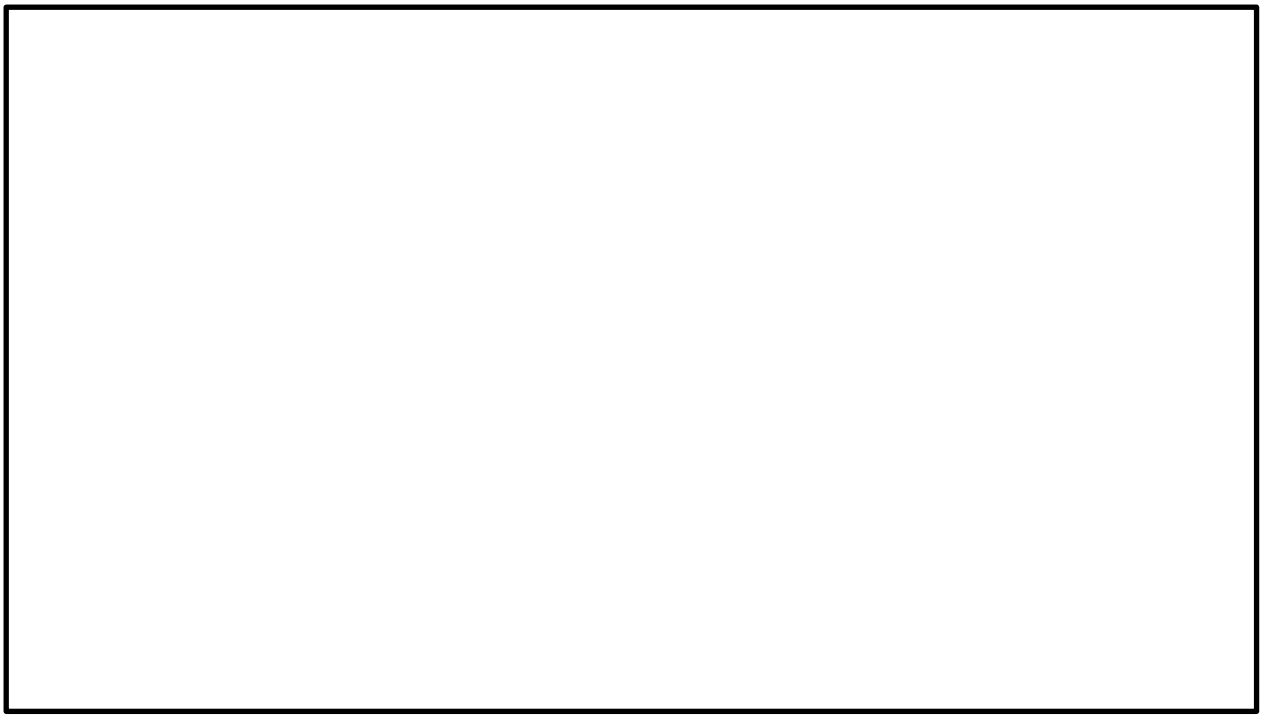


図 4－4　応力評価点

4.6.2　応力計算方法

応力計算方法について，以下に示す。なお，フランジ及びボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1)　ストレーナ（応力評価点 P1～P6）

ストレーナの応力計算は応力解析用モデルにより行う。ストレーナの応力解析用モデルを図 4－5 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【高圧炉心注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。

a.　応力解析用モデルではストレーナをシェル要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行う。

b.　計算モデルの各部材は溶接により接合されており，溶接部は健全性が確保されるよう設計する。

c.　多孔プレートの等価縦弾性係数，等価ポアソン比及び応力増倍率は，引用文献(2)の考え方に基づき設定する。

d.　各部の質量は，各シェル要素に密度を与える。

e.　4.2.4 で設定した設計荷重及び設計用地震力により高圧炉心注水系ストレーナに生じる応力は，解析コード「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用して計算する。

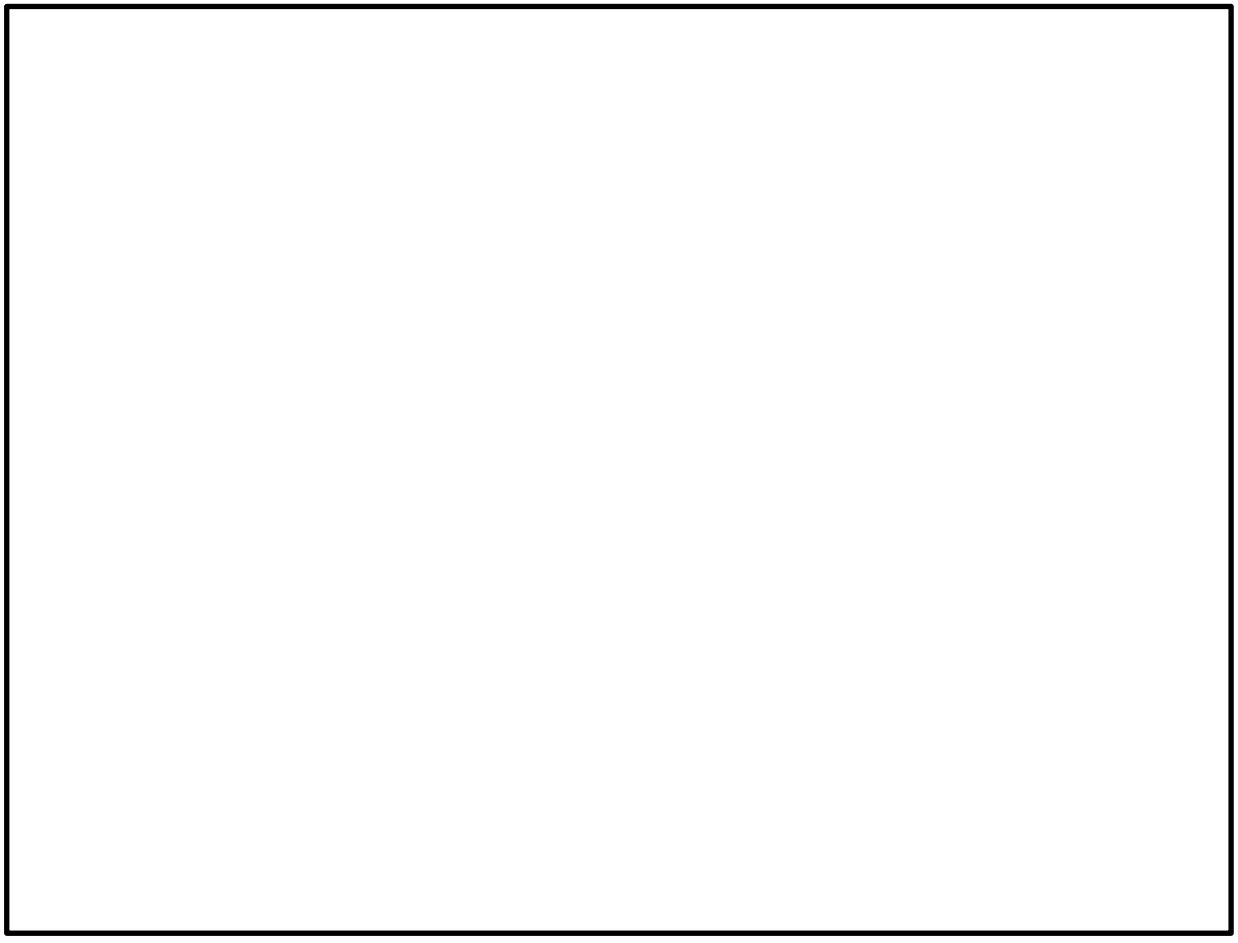


図 4－5　高圧炉心注水系ストレーナの計算モデル

(2)　フランジ（応力評価点 P7）

以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部フランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで，フランジを以下のようにモデル化し，応力評価を行う。

フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4－14 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(3)より，図 4－6 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに，

σ_r　　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4－14 に示すモーメント(N･mm)

a　　：ボルト穴中心円半径＝[　　](mm)

b　　：フランジ内半径＝[　　](mm)

t　　：フランジ板厚＝[　　](mm)

β　　：b／a （＝[　　]）から決まる計算上の係数＝[　　]

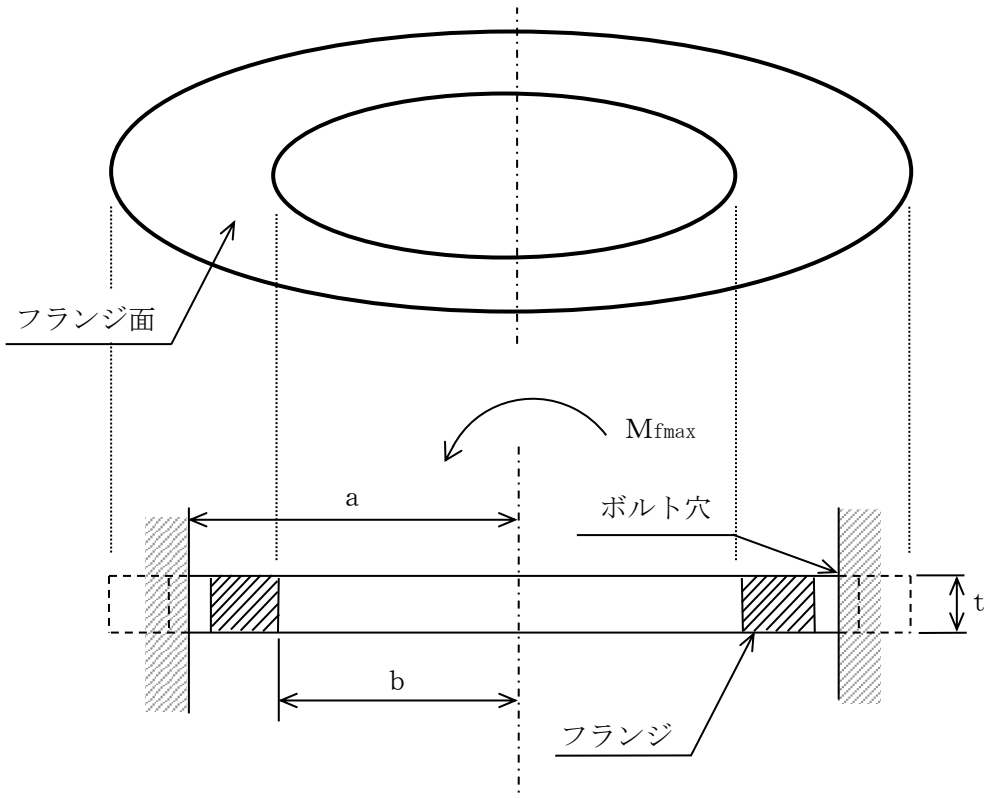


図 4－6　フランジ断面の計算モデル

ストレーナ取付部フランジの設計荷重は，ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは，図 4－7 に示すように，ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり，フランジに対して面外方向の曲げモーメント（2 方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。

ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表 4－14 に示す。

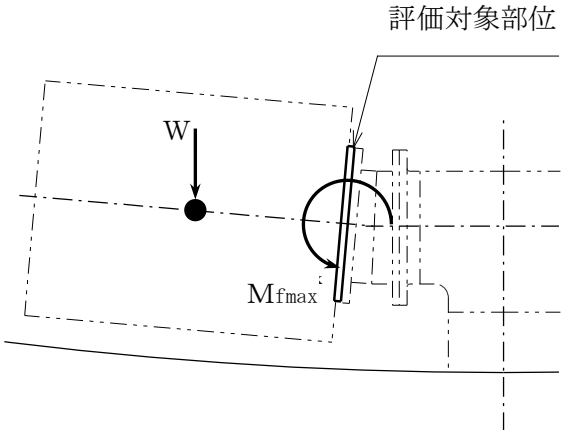


図 4－7　フランジに作用するモーメント

表 4－14　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

(3)　ストレーナ取付部ボルト（応力評価点 P8）

ボルトには，表 4－14 に示すモーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する荷重によりボルトの軸方向荷重が発生する。

フランジに作用するモーメントにより，ボルトに生じる軸力は，以下のように算出する。

図 4－8 に示すフランジの中心を通る中立軸（Ｚ軸）まわりのモーメントを考える。このとき，Ｚ軸まわりのモーメントは，各ボルトに発生する軸力とボルトのＺ軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで，軸方向荷重によって中立軸が移動するが，軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため，軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって，Ｚ軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_Z = \sum_{k=1}^{n} F_{tk} \cdot \ell_k$$

ここに，M_Z　　：Ｚ軸まわりのモーメント（N･mm）

F_{tk}　　：各ボルトに発生する軸力（N）

ℓ_k　　：任意のボルトｋにおけるＺ軸からの距離（mm）

ｎ　　：ボルトの本数＝□

なお，ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

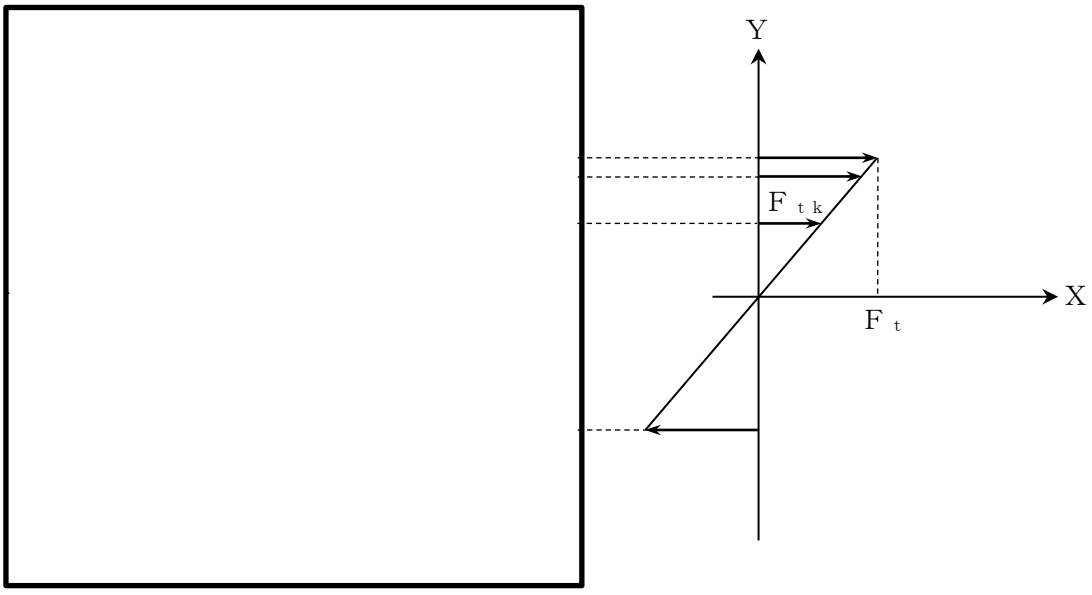


図 4－8　各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また，ボルト軸力のＺ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり，図 4－8 に示すように，曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合，ボルトに発生する最大の軸力をF_tとすると，各ボルトに発生する軸力F_{tk}は下記となる。

$$F_{tk}=F_t\cdot\frac{\ell_k}{D_5/2}$$

ここに，F_t　　：最大の軸力が発生するボルトの軸力（N）

F_{tk}　　：各ボルトに発生する軸力（N）

D_5　　：ボルト孔中心円直径＝[　　]（mm）

以上より，ｎが偶数の場合，Ｚ軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_Z=\frac{2\cdot F_t}{D_5}\cdot\sum_{k=1}^{n}\ell_k^2=\frac{F_t\cdot D_5\cdot n}{4}$$

ただし，$\ell_k=\frac{D_5}{2}\cdot\sin\{\frac{2\cdot\pi}{n}\cdot(k-1)\}$

よって，表 4－14 に示すモーメントから，ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t=\frac{4\cdot M_{fmax}}{D_5\cdot n}$$

したがって，ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t=\frac{F_t}{A_S}+\frac{F_{axl}}{A_S\cdot n}$$

ここに，f_t　　：ボルトの発生応力（MPa）

A_S　　：ボルトの有効断面積＝$\frac{\pi\cdot d_b^2}{4}$（mm^2）

d_b　　：ボルトのねじ部谷径＝[　　]（mm）

F_{axl}　　：表 4－15 に示す軸方向荷重（N）

ストレーナ取付部ボルトの設計荷重は，4.6.2(2)に示すフランジに作用する最大モーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため，ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。

ボルトの設計荷重を表 4－15 に示す。

表 4－15　ボルトの設計荷重

（単位：N）

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

4.7　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8　応力の評価

「4.6　計算方法」で求めた応力が表 4－4，表 4－5，表 4－6 及び表 4－7 を用いて算出した許容応力以下であること。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心注水系ストレー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態ⅢＡＳ及びⅣＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心注水系ストレー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態ＶＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

6.　引用文献

(1)　NEDO-32721, “Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer” Licensing Topical Report, General Electric, March 2003.

(2)　ASME B&PV CODE, Section Ⅲ, Division 1, Appendices, Article A-8000, “Stresses in Perforated Flat Plates,” 1989 Edition, No Addenda.

(3)　WARREN C. YOUNG
“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain”7th Edition

【高圧炉心注水系ストレーナ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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
高圧炉心注水系ストレーナ	S	原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27	104	—

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	D_2	D_3	D_4

（単位：mm）

L_1	L_2	L_3	L_4

（単位：mm）

L_5	L_6	ℓ	d

P (mm)

（解析モデルの諸元（応答解析用））

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナの質量	kg/個	
高圧炉心注水系ストレーナの内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

（解析モデルの諸元（応力解析用））

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	
多孔プレートの応力増倍率	—	
要素数	個	
節点数	個	

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
多孔プレート					—
リブ，フランジ等					—
取付ボルト					—

1.3 計算数値

1.3.1 水力学的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

(単位：N)

荷重名称	軸方向荷重	軸直角方向荷重
ＳＲＶ荷重		

1.3.2 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	異物荷重 (N)	差圧 (MPa)

1.3.3 フランジの設計荷重

(単位：N･mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.3.4　ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナＳｄ*地震荷重	
6	ストレーナＳｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.029

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	ⅢAS			ⅣAS		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
高圧炉心注水系ストレーナ	P1	全ディスクセットの多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	25	143	DBA-3	32	365	DBA-4
	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	44	143	DBA-3	58	365	DBA-4
	P3	リブ		一次膜応力＋一次曲げ応力	41	169	DBA-3	53	395	DBA-4
	P4	コンプレッションプレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	15	169	DBA-3	21	395	DBA-4
	P5	フィンガ		一次膜応力＋一次曲げ応力	47	169	DBA-3	61	395	DBA-4
	P6	ストラップ		一次膜応力＋一次曲げ応力	13	169	DBA-3	16	395	DBA-4
	P7	フランジ		曲げ応力	65	169	DBA-3	86	395	DBA-4
	P8	ボルト		引張応力	19	157	DBA-3	26	210	DBA-4

すべて許容応力以下である。

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
高圧炉心注水系ストレーナ	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C_H=1.30	C_V=1.27	120	—

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	D_2	D_3	D_4

（単位：mm）

L_1	L_2	L_3	L_4

（単位：mm）

L_5	L_6	ℓ	d

P (mm)

（解析モデルの諸元（応答解析用））

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナの質量	kg/個	
高圧炉心注水系ストレーナの 内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

（解析モデルの諸元（応力解析用））

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナの質量	kg/個	
多孔プレートの等価縦弾性係数	MPa	
多孔プレートの等価ポアソン比	—	
多孔プレートの応力増倍率	—	
要素数	個	
節点数	個	

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
多孔プレート					—
リブ，フランジ等					—
取付ボルト					—

2.3 計算数値

2.3.1 ストレーナの設計荷重

自重 (N)	異物荷重 (N)	差圧 (MPa)

2.3.2 フランジの設計荷重

(単位：N･mm)

荷重		モーメント
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ストレーナＳｄ*地震荷重	
5	ストレーナＳｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.3.3 ボルトの設計荷重

(単位：N)

荷重		軸方向荷重
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ストレーナＳｄ*地震荷重	
5	ストレーナＳｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.4　結論

2.4.1　固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.029

2.4.2　応力

（単位：MPa）

評価対象設備	評価部位		材料	応力分類	VAS		
					算出応力	許容応力	荷重組合せ
高圧炉心注水系ストレーナ	P1	全ディスクセットの多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	30	360	SA-2
	P2	ディスクセット間の円筒形多孔プレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	46	360	SA-2
	P3	リブ		一次膜応力＋一次曲げ応力	40	390	SA-2
	P4	コンプレッションプレート		一次膜応力＋一次曲げ応力	19	390	SA-2
	P5	フィンガ		一次膜応力＋一次曲げ応力	44	390	SA-2
	P6	ストラップ		一次膜応力＋一次曲げ応力	12	390	SA-2
	P7	フランジ		曲げ応力	67	390	SA-2
	P8	ボルト		引張応力	21	204	SA-2

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-5-4-1-3　高圧炉心注水系ストレーナ部ティー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.　地震応答解析及び構造強度評価 …… 8
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 …… 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 …… 8
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 …… 8
4.2.2　許容応力 …… 8
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 …… 8
4.2.4　設計荷重 …… 13
4.3　解析モデル及び諸元 …… 14
4.4　固有周期 …… 15
4.5　設計用地震力 …… 16
4.6　計算方法 …… 17
4.6.1　応力の計算方法 …… 17
4.6.2　応力解析に用いるモーメント …… 17
4.7　計算条件 …… 18
4.8　応力の評価 …… 18
5.　評価結果 …… 19
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 …… 19
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 …… 19

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，高圧炉心注水系ストレーナ部ティー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。その耐震評価は高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの応力評価により行う。

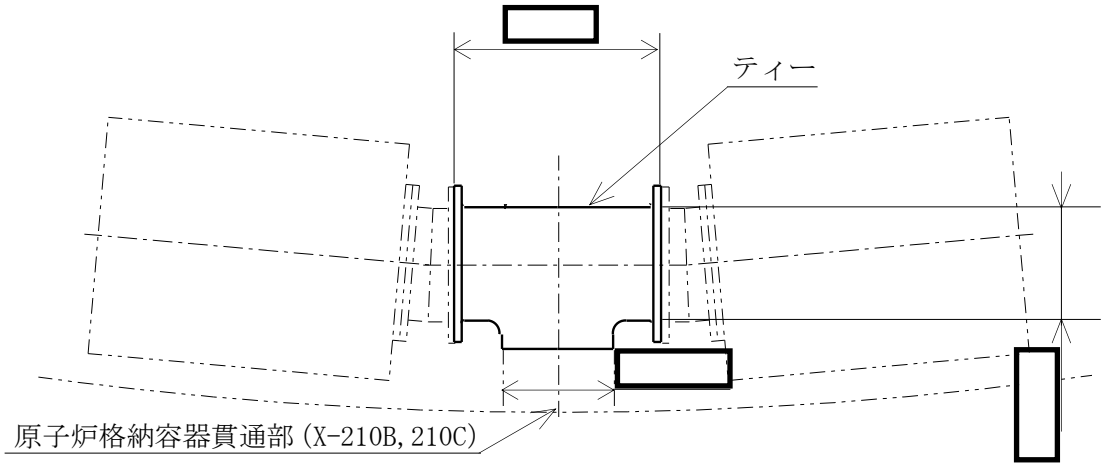
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの構造計画を表 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	
ストレーナ部ティーは，サプレッションプール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。	ティー形の管継手	 （単位：mm）

2.2　評価方針

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの応力評価は，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき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」にて示す高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で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，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

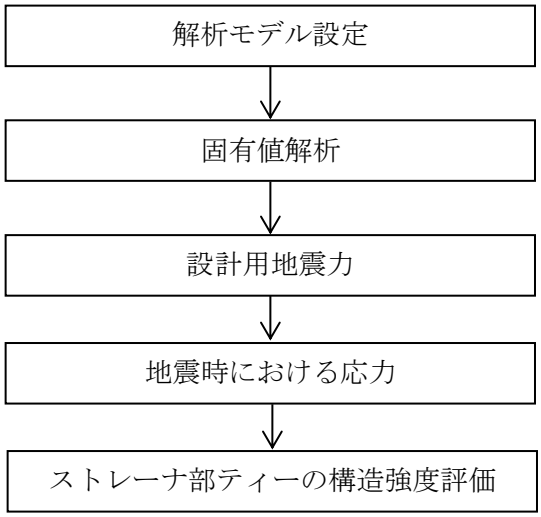


図 2－1　高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
S_{prm}	発生応力	MPa
P	最高使用圧力（設計圧力）	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1	設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数（＝ ）	—
B_{2b}	設計・建設規格　式 PPB-4.29 により計算した分岐管の応力係数 $=0.4\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$（＝ ）	—
R_m	主管の平均半径	mm
T_r	主管の厚さ	mm
B_{2r}	設計・建設規格　式 PPB-4.30 により計算した主管の応力係数 $=0.5\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$（＝ ）	—
M_b	表 4－11 に示す分岐管に作用する最大モーメント	N・mm
M_r	表 4－11 に示す主管に作用する最大モーメント	N・mm
Z_b	分岐管の断面係数	mm^3
Z_r	主管の断面係数	mm^3
Ｓｄ*	弾性設計用地震動Ｓｄにより定まる地震力又は静的地震力	—
Ｓｓ	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	—

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

＊2：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。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，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

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの耐震評価は,「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ティーについて実施する。なお，高圧炉心注水系ストレーナ部ティーのフランジの評価は，コネクタ側フランジより板厚を大きく設計しており（ティー側フランジ厚さ□mm，コネクタ側フランジ厚さ□mm），ティー側フランジにかかる荷重はコネクタ側フランジと同じであるため，V-2-5-4-1-4「高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算書」に示すコネクタ側フランジの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの形状及び主要寸法を図3－1及び表3－1に示す。

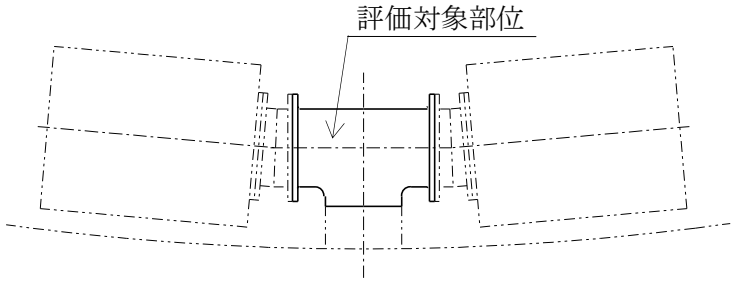


図3－1 高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの形状（貫通部番号：X-210B，210C）

表3－1 高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの主要寸法

（単位：mm）

貫通部番号	外径	板厚	フランジ間距離
X-210B，210C	□	□	□

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　ストレーナ部ティーは，ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナ部から作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

(2)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

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

高圧炉心注水系ストレーナ部ティー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。また，荷重の組合せの整理表を表 4－3 に示す。

4.2.2　許容応力

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 に示す。なお，評価対象は，基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心注水系ストレーナ部ティー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。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

ティー　[redacted]

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	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ストレーナ部ティー	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣＡＳ

表4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ストレーナ部ティー	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」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　荷重の組合せ整理表

組合せ No.		運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	Ｓｄ＊荷重	Ｓｓ荷重	
ＤＢＡ[*1]	DBA-1	運転状態Ⅰ	○								○		ⅢＡＳ
	DBA-2	運転状態Ⅰ	○									○	ⅣＡＳ
	DBA-3	運転状態Ⅱ	○			○					○		ⅢＡＳ
	DBA-4	運転状態Ⅱ	○			○						○	ⅣＡＳ
	DBA-5	運転状態Ⅳ（Ｌ）	○	○	○						○		ⅢＡＳ
ＳＡ[*2]	SA-1	運転状態Ⅴ（Ｌ）[*3]	○	○	○						○		ⅤＡＳ[*4]
	SA-2	運転状態Ⅴ（ＬＬ）	○	○	○							○	ⅤＡＳ[*4]

注記＊1：設計基準対象施設

＊2：重大事故等対処設備

＊3：運転状態Ⅴ（Ｌ）の評価は，温度条件を重大事故等時における最高使用温度 120℃とした運転状態Ⅴ（ＬＬ）の評価で代表される。

＊4：許容応力状態ⅤＡＳとしてⅣＡＳの許容応力を用いる。

表4－4　許容応力（クラス２，３管及び重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次応力（曲げ応力を含む）	一次＋二次応力*2	一次＋二次応力＋ピーク応力*2
ⅢAS	S_yと0.6・S_uの小さい方 ただし，オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と1.2・Sとの大きい方	S_y 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	弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S_y以下であれば，疲労解析は不要。	
ⅣAS	0.6・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Ｓｓのみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S_y以下であれば，疲労解析は不要。	

注記＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

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（℃）		S（MPa）	S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
ティー	[redacted]	最高使用温度	104	[redacted]			—

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（℃）		S（MPa）	S_y（MPa）	S_u（MPa）	S_y（RT）（MPa）
ティー	[redacted]	最高使用温度	120	[redacted]			—

4.2.4　設計荷重

ストレーナ部に作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重，地震荷重等）はフランジを介してティーに伝達され，最終的に貫通部に伝達される。このため，ティーの設計荷重としては，ティー自身に作用する荷重に加え，先の伝達荷重を考慮する。

(1)　死荷重

ティーの死荷重を表 4－7 に示す。

表 4－7　死荷重

(単位：N)

部位	高圧炉心注水系
ティー	[redacted]

(2)　差圧

ティーの設計圧力は [redacted] MPa を考慮する。

4.3　解析モデル及び諸元

高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの応答解析用モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはⅤ-2-5-4-1-2「高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また，機器の諸元を本計算書の【高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，固有値及び荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化する。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は完全拘束とする。

(3)　各部の質量は，各部の重心位置（図 4－1 の△の節点）に集中質量を与える。

(4)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(5)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる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。

図 4－1　応答解析用モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－8 に示す。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 4－8　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
			X方向	Y方向	
1 次	ねじり*	0.029	―	―	―

注記＊：図 4－1 の貫通部スリーブ（X 軸）を中心としたねじり

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－9 及び表 4－10 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-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 4－9　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－10　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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

ティーに発生する応力は，設計・建設規格　PPC-3520 に従い算出する。なお，ティーの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計しているため，ここでは管についての評価を行う。

$$S_{prm} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_{2b} \cdot M_b}{Z_b} + \frac{B_{2r} \cdot M_r}{Z_r}$$

4.6.2　応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは，図 4－2 に示す主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管のモーメントは 4.2.4 項に示したようにストレーナ部からの伝達荷重を考慮し，分岐管のモーメントは先の伝達荷重に加え，ティー自身に作用する荷重から算出したモーメントを考慮する。

算出したモーメントを表 4－11 に示す。ここでのモーメントとは，設計・建設規格　解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

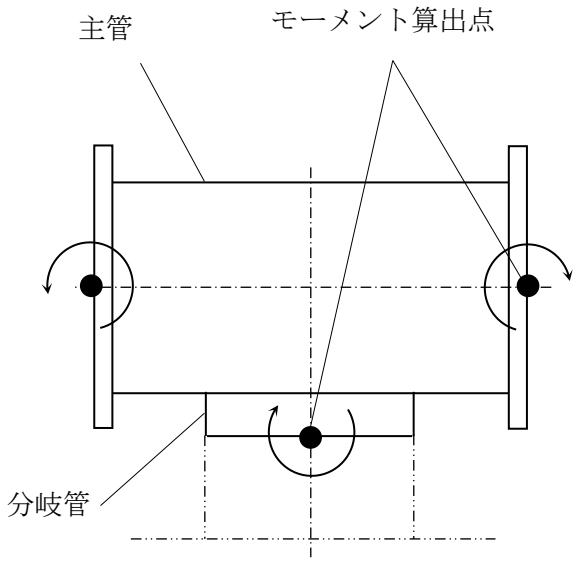


図 4－2　ティーのモーメント算出点

表 4－11　ティーの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	ＳＲＶ荷重		
5	Ｓｄ*地震荷重		
6	Ｓｓ地震荷重		
7	異物Ｓｄ*地震荷重		
8	異物Ｓｓ地震荷重		

4.7　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8　応力の評価

「4.6　計算方法」で求めた応力が表 4－4，表 4－5 及び表 4－6 を用いて算出した許容応力以下であること。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心注水系ストレーナ部ティー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態ⅢＡＳ及びⅣＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心注水系ストレーナ部ティー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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態ＶＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

【高圧炉心注水系ストレーナ部ティー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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
高圧炉心注水系ストレーナ部ティー	S	原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27	104	—

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

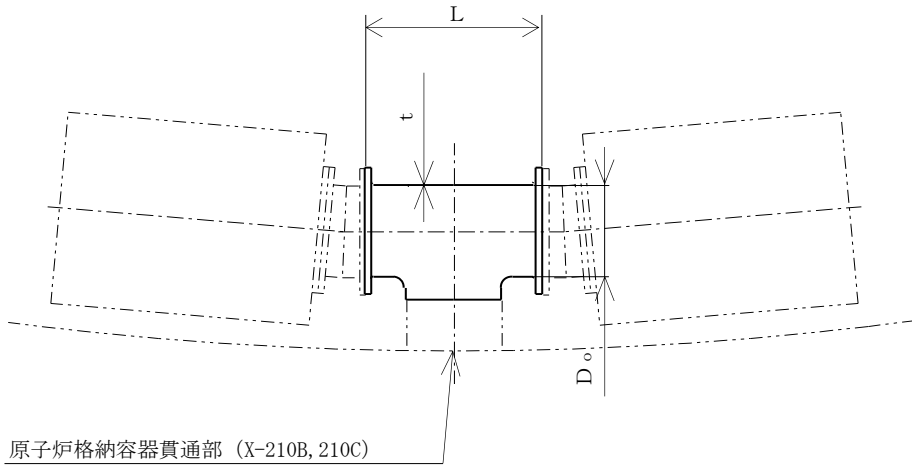
（単位：mm）

貫通部番号	外径D_o	板厚 t	フランジ間距離L
X-210B,210C			

B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
ティー					—



（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの質量	kg	
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ１個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

1.3 計算数値

1.3.1 水力学的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

（単位：N）

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	ＳＲＶ荷重			

1.3.2 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力Ｐ (MPa)

（単位：N･mm）

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	ＳＲＶ荷重		
5	Ｓｄ*地震荷重		
6	Ｓｓ地震荷重		
7	異物Ｓｄ*地震荷重		
8	異物Ｓｓ地震荷重		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.029

1.4.2 応力

(単位：MPa)

評価対象設備	材料	応力分類	ⅢAS			ⅣAS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
高圧炉心注水系ストレーナ部ティー	[redacted]	一次応力	53	169	DBA-3	74	395	DBA-4

すべて許容応力以下である。

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
高圧炉心注水系ストレーナ部ティー	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27	120	—

注記＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

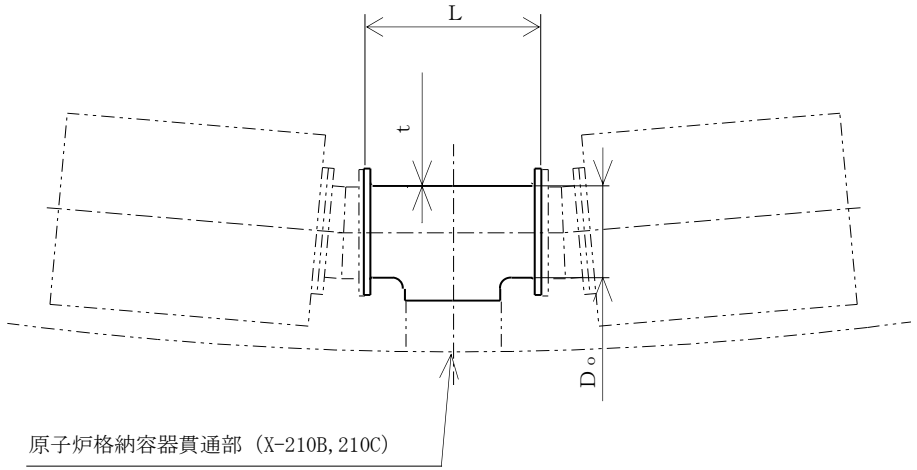
（単位：mm）

貫通部番号	外径D_o	板厚 t	フランジ間距離L
X-210B,210C			

B_1 (—)	B_{2b} (—)	B_{2r} (—)	Z_b (mm^3)	Z_r (mm^3)

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
ティー					—



（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの質量	kg	
高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの内包水及び排除水の質量	kg	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

2.3 計算数値

2.3.1 ティーの設計荷重

自重 (N)	設計圧力P (MPa)

(単位：N･mm)

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重		
3	差圧		
4	Ｓｄ*地震荷重		
5	Ｓｓ地震荷重		
6	異物Ｓｄ*地震荷重		
7	異物Ｓｓ地震荷重		

2.4 結論

2.4.1 固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.029

2.4.2 応力

（単位：MPa）

評価対象設備	材料	応力分類	V_AS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ
高圧炉心注水系 ストレーナ部ティー	[redacted]	一次応力	68	390	SA-2

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-5-4-1-4　高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ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.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 8
4.2.2　許容応力 ····· 8
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 8
4.2.4　設計荷重 ····· 13
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 14
4.4　固有周期 ····· 15
4.5　設計用地震力 ····· 16
4.6　計算方法 ····· 17
4.6.1　コネクタの計算方法 ····· 17
4.6.2　フランジの計算方法 ····· 19
4.7　計算条件 ····· 21
4.8　応力の評価 ····· 21
5.　評価結果 ····· 22
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 22
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 22
6.　引用文献 ····· 22

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき，高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ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。その耐震評価は高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの応力評価により行う。

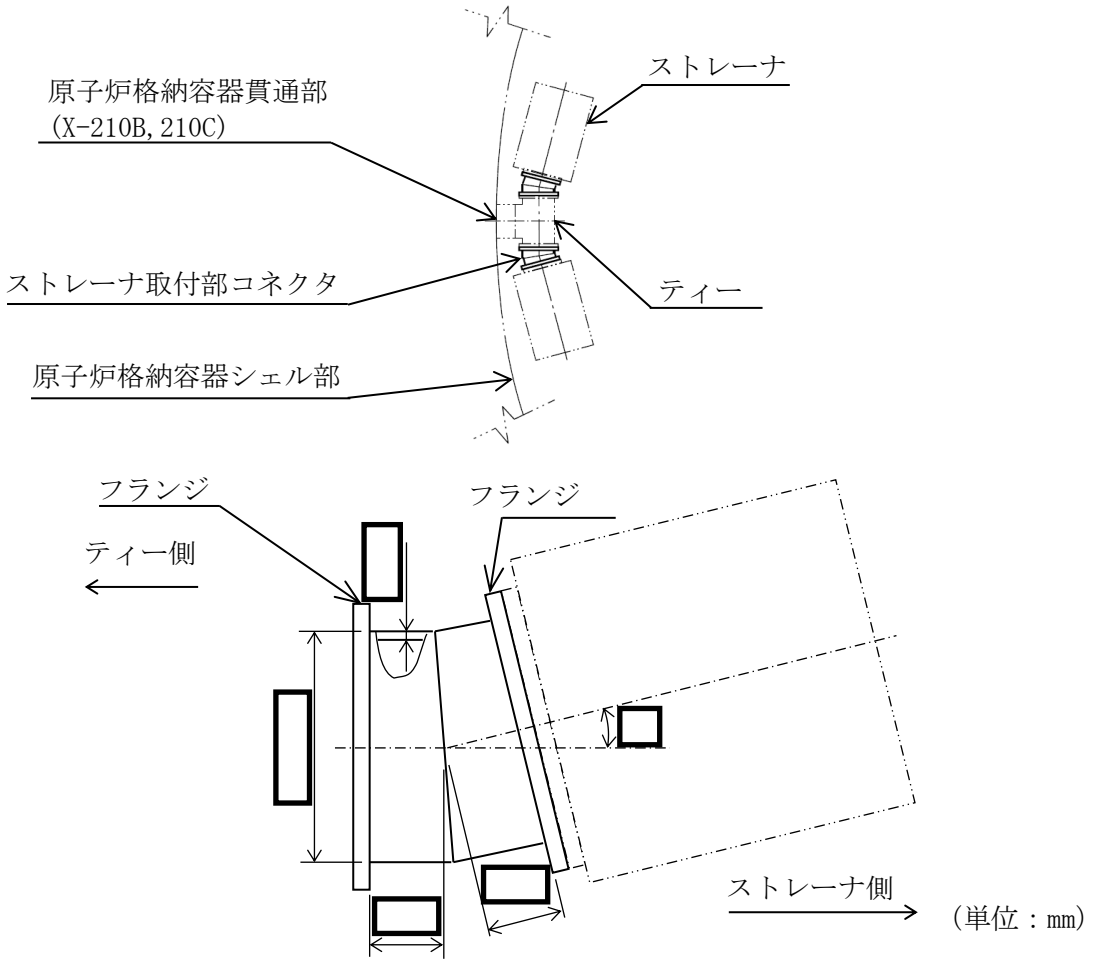
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの構造計画を表 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	
ストレーナ取付部コネクタは，サプレッションプール内に水没された状態で設置されており，ティー及びストレーナの間に取り付けられる。	コネクタ	

2.2　評価方針

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの応力評価は，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき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」にて示す高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で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，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

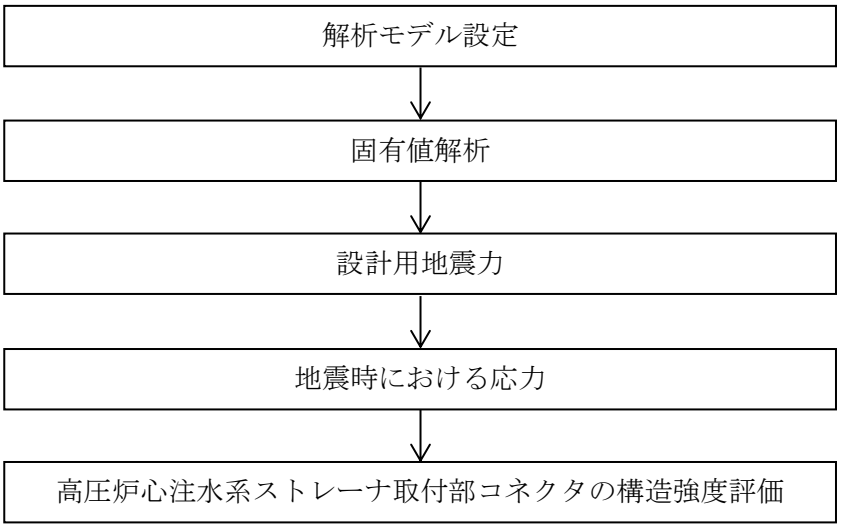


図 2－1　高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１・補-1984（(社)日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（（社）日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　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。）

・非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規)（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））

2.4　記号の説明

記号	記号の説明	単位
B	応力係数	―
D	外径	mm
L	長さ	mm
M	モーメント	N･mm
P	圧力	MPa
Ｓｄ*	弾性設計用地震動Ｓｄにより定まる地震力又は静的地震力	―
Ｓｓ	基準地震動Ｓｓにより定まる地震力	―
t	厚さ	mm
Z	断面係数	mm^3
σ	応力	MPa

注：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

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
圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位*1
温度	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ	mm	―	―	整数位*2
面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント	N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*4	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記＊1：必要に応じて小数点以下第3位とする。

＊2：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。

＊3：絶対値が1000以上のときは，べき数表示とする。

＊4：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許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，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。

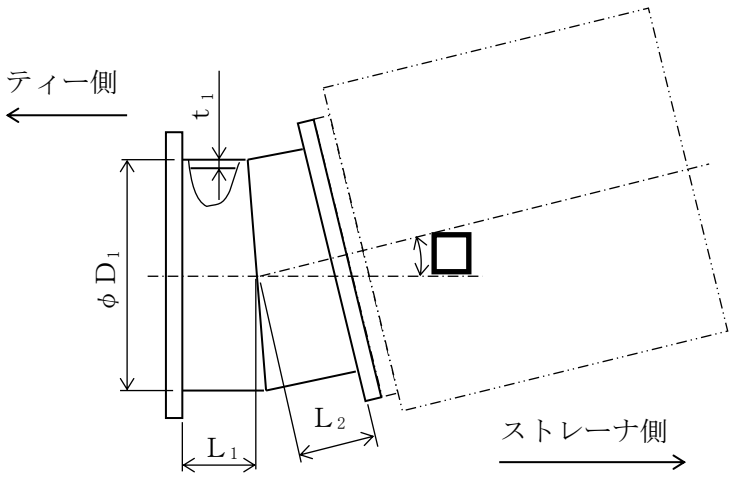
3. 評価部位

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，ストレーナ取付部コネクタ及びフランジについて実施する。

なお，V-2-5-4-1-2「高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ取付部ボルトの評価は，ストレーナ取付部で発生する荷重及びモーメントよりティーとコネクタ間で発生する荷重及びモーメントの方が大きいため，ティーとコネクタ間で発生する荷重及びモーメントを用いており，高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタをストレーナ部ティーに取り付けるためのボルトの評価は，V-2-5-4-1-2「高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ取付部ボルトの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

また，高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタのフランジのうちストレーナと取り付けるフランジは，ストレーナ側フランジより板厚を大きく設計しており（コネクタ側フランジ厚さ [redacted] mm，ストレーナ側 [redacted] mm），V-2-5-4-1-2「高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての計算書」に示すストレーナ側フランジの評価に包含されるため，ここでは記載を省略する。

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの形状及び主要寸法を図3－1に示す。



高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ（貫通部番号：X-210B，210C）

D_1＝[redacted]　L_1＝[redacted]　L_2＝[redacted]　t_1＝[redacted]

図3－1　高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの形状及び主要寸法（単位：mm）

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　ストレーナ取付部コネクタは，ストレーナ部を含む一体モデルでの応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

(2)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

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

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ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。また，荷重の組合せの整理表を表 4－3 に示す。

4.2.2　許容応力

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの許容応力は「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及びⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－4 に示す。なお，評価対象は，構造又は形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分小さいため，一次一般膜応力の評価結果の記載については省略する。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ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。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

コネクタ

フランジ

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	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	ⅢＡＳ
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣＡＳ

表4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ	常設／防止（ＤＢ拡張）	重大事故等クラス２	$D+P_D+M_D+S_s$ *2	ⅣＡＳ
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	ＶＡＳ（ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設／防止（ＤＢ拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

＊2：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」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　荷重の組合せ整理表

組合せ No.		運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
						運転時	中小破断時	プールスウェル	蒸気凝縮（ＣＯ）	チャギング（ＣＨ）	Ｓｄ* 荷重	Ｓｓ荷重	
ＤＢＡ*1	DBA-1	運転状態Ⅰ	○								○		ⅢＡＳ
	DBA-2	運転状態Ⅰ	○									○	ⅣＡＳ
	DBA-3	運転状態Ⅱ	○			○					○		ⅢＡＳ
	DBA-4	運転状態Ⅱ	○			○						○	ⅣＡＳ
	DBA-5	運転状態Ⅳ（Ｌ）	○	○	○						○		ⅢＡＳ
ＳＡ*2	SA-1	運転状態Ⅴ（Ｌ）*3	○	○	○						○		ⅤＡＳ*4
	SA-2	運転状態Ⅴ（ＬＬ）	○	○	○							○	ⅤＡＳ*4

注記＊1：設計基準対象施設

＊2：重大事故等対処設備

＊3：運転状態Ⅴ（Ｌ）の評価は，温度条件を重大事故等時における最高使用温度 120℃とした運転状態Ⅴ（ＬＬ）の評価で代表される。

＊4：許容応力状態ⅤＡＳとしてⅣＡＳの許容応力を用いる。

表4－4　許容応力（クラス２，３管及び重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

<table>
<tr><td rowspan="2">許容応力
状態</td><td colspan="4">許容限界*1</td></tr>
<tr><td>一次一般膜応力</td><td>一次応力
（曲げ応力を含む）</td><td>一次＋二次応力*2</td><td>一次＋二次応力
＋ピーク応力*2</td></tr>
<tr><td>ⅢAS</td><td>Ｓｙと0.6・Ｓｕ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</td><td>Ｓｙ
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</td><td colspan="2" rowspan="2">弾性設計用地震動Ｓｄ又は基準地震動Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。</td></tr>
<tr><td>ⅣAS</td><td rowspan="2">0.6・Ｓｕ</td><td rowspan="2">左欄の1.5倍の値</td></tr>
<tr><td>ⅤAS
（ⅤASとしてⅣASの許容限界を用いる。）</td><td colspan="2">基準地震動Ｓｓ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・Ｓｙ以下であれば，疲労解析は不要。</td></tr>
</table>

注記＊1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

＊2：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
コネクタ	[redacted]	最高使用温度	104	[redacted]			—
フランジ		最高使用温度	104				—

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 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
コネクタ	[redacted]	最高使用温度	120	[redacted]			—
フランジ		最高使用温度	120				—

4.2.4　設計荷重

(1)　死荷重

高圧炉心注水系ストレーナとコネクタの自重による荷重及び高圧炉心注水系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重*の2つの死荷重を考慮する。

ストレーナ　[redacted] N

コネクタ　[redacted] N

異物　[redacted] N

注記＊：異物荷重は運転状態Ⅳ及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

(2)　差圧

コネクタの設計圧力は[redacted] MPa を考慮する。

4.3　解析モデル及び諸元

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの応答解析用モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。解析モデルはＶ-2-5-4-1-2「高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す応答解析用モデルと同じモデルである。また，機器の諸元を本計算書の【高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器貫通部までをはり要素を用いた有限要素モデルとしてモデル化して解析を行い，固有値及び荷重を算出する。なお，ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化する。

(2)　ストレーナ部ティーと原子炉格納容器貫通部は溶接構造で取り付けられており，付根部は完全拘束とする。

(3)　各部の質量は，各部の重心位置（図 4－1 の△の節点）に集中質量を与える。

(4)　本設備はサプレッションプールに水没している機器であるため，応答解析では内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含める。また，異物の質量も応答解析において考慮する。

(5)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる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。

図 4－1　応答解析用モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－7 に示す。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 4－7　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
			X方向	Y方向	
1 次	ねじり*	0.029	―	―	―

注記＊：図 4－1 の貫通部スリーブ（X 軸）を中心としたねじり

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－8 及び表 4－9 に示す。

「弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度」及び「基準地震動Ｓｓ」による地震力は，Ⅴ-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 4－8　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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－9　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)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
	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
原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05 以下	0.05 以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27

注記＊：基準床レベルを示す。

4.6　計算方法

4.6.1　コネクタの計算方法

(1)　応力の計算方法

コネクタに発生する応力は，設計・建設規格　PPC-3520 に従い算出する。なお，コネクタの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計するため，ここでは管について評価を行う。

応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prm} = \frac{B_1 \cdot P \cdot D_o}{2 \cdot t} + \frac{B_2 \cdot M_{max}}{Z}$$

ここに，

S_{prm}　：発生応力(MPa)

P　：最高使用圧力（設計圧力）(MPa)

D_o　：管の外径(mm)

t　：管の厚さ(mm)

B_1　：設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数（＝　　）

B_2　：設計・建設規格　式 PPB-4.20 により算出した応力係数（＝　　）

$$= \frac{1.30}{h^{\frac{2}{3}}}$$

h　：設計・建設規格　式 PPB-4.21 により計算した値

$$= \frac{t \cdot R}{r^2}$$

R　：コネクタ中心線の曲率半径＝　　(mm)

r　：設計・建設規格　式 PPB-4.19 により計算した値(mm)

$$= \frac{D_o - t}{2}$$

M_{max}　：表 4－10 に示す最大モーメント(N･mm)

Z　：管の断面係数(mm^3)

(2)　応力解析に用いるモーメント

コネクタの設計荷重は，ストレーナからの伝達荷重とコネクタ自身に作用する荷重から算出した，図 4－2 に示すコネクタのストレーナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。なお，ここでの最大モーメントとは，コネクタのティーとの取合い部における 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

算出した最大モーメントを表 4－10 に示す。

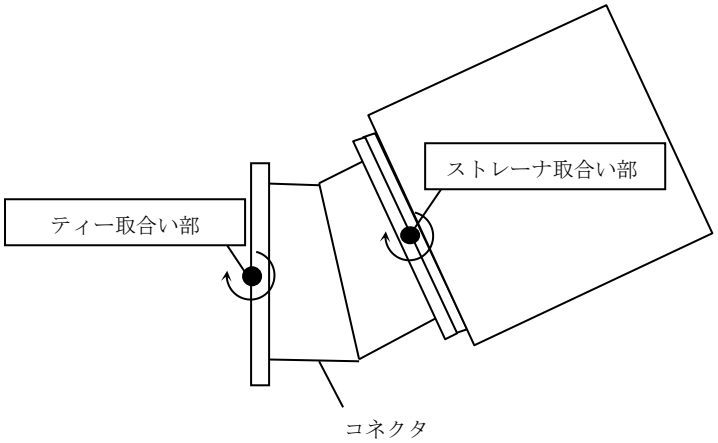


図 4－2　コネクタのモーメント算出点

表 4－10　コネクタの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

4.6.2　フランジの計算方法

(1)　応力の計算方法

ストレーナ取付部コネクタのストレーナ部ティーと取り付けるフランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで取付フランジを以下のようにモデル化し，応力評価を行う。

取付フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4－11 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(1)より，図 4－3 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに，

σ_r　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4－11 に示す最大モーメント(N･mm)

a　：ボルト穴中心円半径＝[　　](mm)

b　：フランジ内半径＝[　　](mm)

t　：フランジ板厚＝[　　](mm)

β　：b／a （＝[　　]）から決まる計算上の係数＝[　　]

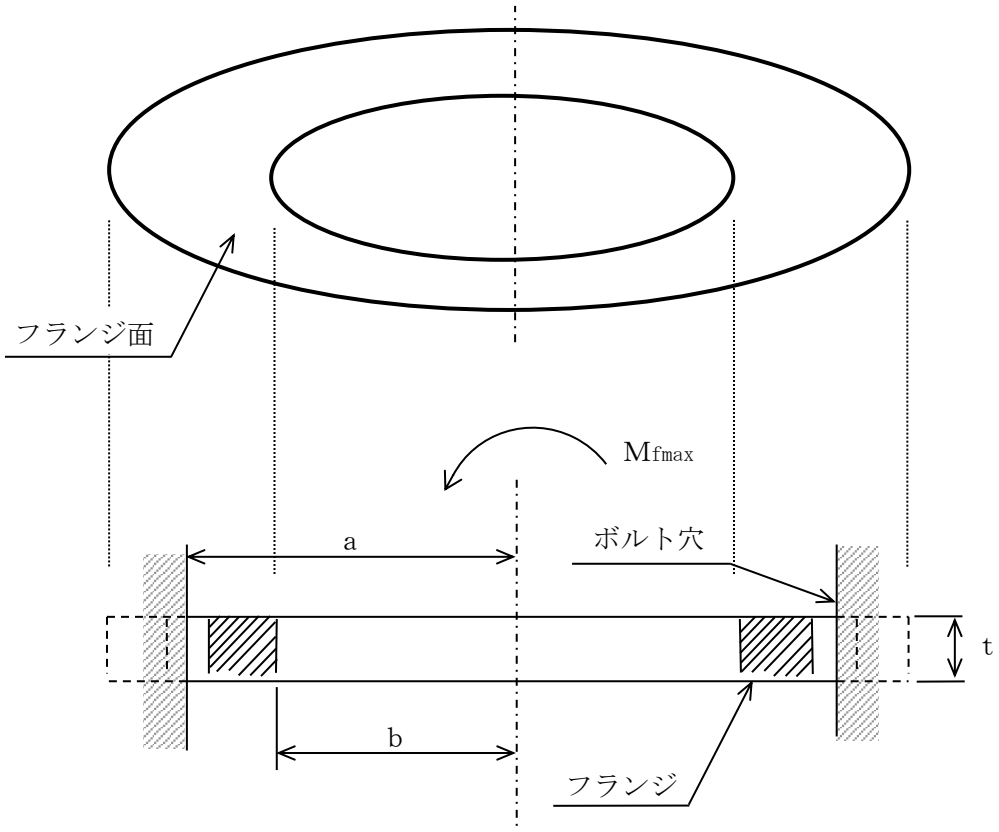


図 4－3　フランジ断面の計算モデル

(2)　応力解析に用いるモーメント

フランジの設計荷重は，図 4－2 に示すコネクタのストレーナ及びティーとの取合い部における最大モーメントを用いる。算出した最大モーメントを表 4－11 に示す。ここでの最大モーメントとは，コネクタのティーとの取合い部におけるフランジに対して面外方向の曲げモーメントとする。フランジの面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は，フランジの面内剛性が大きいため，ここでは評価対象としない。

表 4－11　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

4.7　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの耐震性についての計算結果】に示す。

4.8　応力の評価

「4.6　計算方法」で求めた高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの応力が表 4－4，表 4－5，及び表 4－6 を用いて算出した許容応力以下であること。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，各許容応力状態ⅢＡＳ及びⅣＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ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。

なお，各評価点における算出応力は表 4－3 に示す荷重の組合せのうち，許容応力状態ＶＡＳで，発生値が高い方の評価を記載している。

6.　引用文献

(1)　WARREN C. YOUNG

“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain” 7th Edition

【高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ	S	原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	C_H＝0.59	C_V＝0.63	C_H＝1.30	C_V＝1.27	104	—

注記＊：基準床レベルを示す。

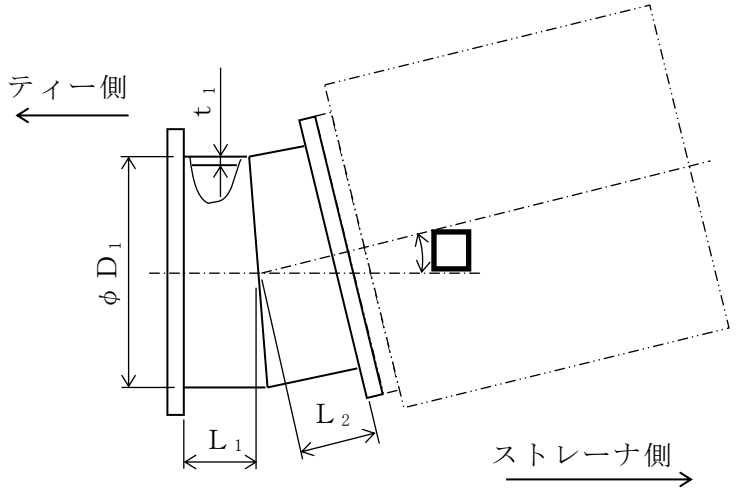
1.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	L_1	L_2	t_1

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
コネクタ					—
フランジ					—



（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの質量	kg/個	
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

1.3 計算数値

1.3.1 水力学的動荷重

逃がし安全弁作動時荷重

(単位：N)

荷重		X方向	Y方向	Z方向
1	ＳＲＶ荷重			

1.3.2 コネクタの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力P (MPa)

(単位：N･mm)

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.3.3　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	ＳＲＶ荷重	
5	Ｓｄ*地震荷重	
6	Ｓｓ地震荷重	
7	異物Ｓｄ*地震荷重	
8	異物Ｓｓ地震荷重	

1.4 結論

1.4.1 固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.029

1.4.2 応力

（単位：MPa）

評価対象設備	材料	応力分類	ⅢAS			ⅣAS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ	算出応力	許容応力	荷重組合せ
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ	[redacted]	一次応力	29	169	DBA-3	38	395	DBA-4
フランジ	[redacted]	一次応力	49	169	DBA-3	65	395	DBA-4

すべて許容応力以下である。

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Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	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		
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ	常設／防止（ＤＢ拡張）	原子炉建屋 T.M.S.L. [redacted] (T.M.S.L.-1.700*)	0.05以下	0.05以下	—	—	C_H＝1.30	C_V＝1.27	120	—

注記＊：基準床レベルを示す。

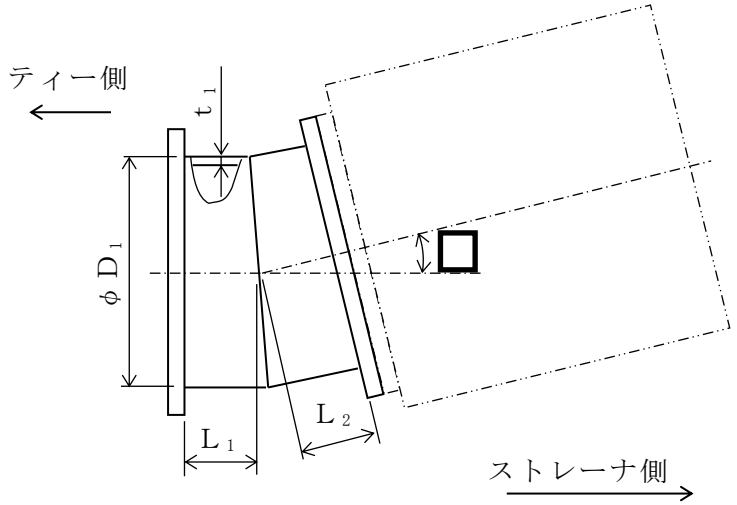
2.2 機器要目

（単位：mm）

D_1	L_1	L_2	t_1

（単位：MPa）

部材	材料	S	S_y	S_u	S_y（RT）
コネクタ					—
フランジ					—



（解析モデルの諸元）

項目	単位	入力値
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの材質	—	
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの質量	kg/個	
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの内包水及び排除水の質量	kg/個	
ストレーナ1個あたりの異物の質量	kg/個	
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	—	
要素数	個	
節点数	個	

2.3 計算数値

2.3.1 コネクタの自重及び設計荷重

自重 (N)	設計圧力P (MPa)

(単位：N・mm)

荷重		最大モーメント M_{max}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	Ｓｄ*地震荷重	
5	Ｓｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.3.2　フランジの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		最大モーメント M_{fmax}
1	死荷重	
2	異物荷重	
3	差圧	
4	Ｓｄ*地震荷重	
5	Ｓｓ地震荷重	
6	異物Ｓｄ*地震荷重	
7	異物Ｓｓ地震荷重	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

（単位：s）

モード	方向	固有周期
1次モード	ねじり	0.029

2.4.2 応力

（単位：MPa）

評価対象設備	材料	応力分類	VAS		
			算出応力	許容応力	荷重組合せ
高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタ	[redacted]	一次応力	33	390	SA-2
フランジ	[redacted]	一次応力	51	390	SA-2

すべて許容応力以下である。