

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 3-015-11改01
提出年月日	2023年2月7日

VI-3-別添 3-2-8 隔離弁，機器・配管の強度計算書

S2 補 VI-3-別添 3-2-8 R0

2023年2月

中国電力株式会社

本資料のうち，枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

1. 概要	1
2. タービン補機海水ポンプ	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 配置概要	2
2.2.2 構造計画	3
2.2.3 評価方針	5
2.2.4 適用規格・基準等	6
2.2.5 記号の説明	7
2.2.6 計算精度と数値の丸め方	9
2.3 評価部位	10
2.4 固有周期	10
2.4.1 固有値解析方法	10
2.4.2 解析モデル及び諸元	10
2.4.3 固有値解析結果	10
2.5 構造強度評価	12
2.5.1 構造強度評価方法	12
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	12
2.5.3 設計用地震力	16
2.5.4 計算方法	17
2.5.5 計算条件	20
2.5.6 応力の評価	20
2.6 評価結果	21
2.6.1 設計基準対象施設としての評価結果	21

3.	循環水ポンプ	34
3.1	概要	34
3.2	一般事項	34
3.2.1	配置概要	34
3.2.2	構造計画	35
3.2.3	評価方針	37
3.2.4	適用規格・基準等	38
3.2.5	記号の説明	39
3.2.6	計算精度と数値の丸め方	41
3.3	評価部位	42
3.4	固有周期	42
3.4.1	固有値解析方法	42
3.4.2	解析モデル及び諸元	42
3.4.3	固有値解析結果	42
3.5	構造強度評価	47
3.5.1	構造強度評価方法	47
3.5.2	荷重の組合せ及び許容応力	47
3.5.3	設計用地震力	51
3.5.4	計算方法	53
3.5.5	計算条件	56
3.5.6	応力の評価	56
3.6	評価結果	57
3.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	57
4.	配管及び隔離弁	84
4.1	概要	84
4.2	配置概要, 概略系統図及び鳥瞰図	85
4.2.1	配置概要	85
4.2.2	概略系統図	86
4.2.3	鳥瞰図	91
4.3	計算条件	93
4.3.1	計算方法	93
4.3.2	荷重の組合せ及び許容応力状態	94
4.3.3	設計条件	95
4.3.4	材料及び許容応力	101
4.3.5	設計用地震力	102
4.4	解析結果及び評価	103
4.4.1	固有周期及び設計震度	103
4.4.2	評価結果	109

1. 概要

本計算書は、VI-3-別添 3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に基づき、浸水防止設備のうち隔離弁，機器・配管が津波荷重及び余震を考慮した荷重に対し，十分な構造健全性を有していることを説明するものである。

隔離弁，機器・配管の構成を表 1-1 に示す。また，概要図を図 1-1 に示す。

表 1-1 隔離弁，機器・配管の構成

機器名称		据付場所
隔離弁	タービン補機海水ポンプ出口弁	取水槽
	タービン補機海水ポンプ第二出口弁	取水槽
	タービン補機海水系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
	液体廃棄物処理系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
機器	循環水ポンプ	取水槽
	タービン補機海水ポンプ	取水槽
配管	原子炉補機海水系配管	原子炉補機冷却系熱交換器～放水槽
	高圧炉心スプレー補機海水系配管	高圧炉心スプレー補機冷却系熱交換器～ 原子炉補機海水系配管合流部
	循環水系配管	循環水ポンプ～取水槽
	タービン補機海水系配管	タービン補機海水ポンプ～タービン補機 海水ポンプ第二出口弁 タービン補機海水系逆止弁～放水槽
	液体廃棄物処理系配管	液体廃棄物処理系逆止弁～放水槽

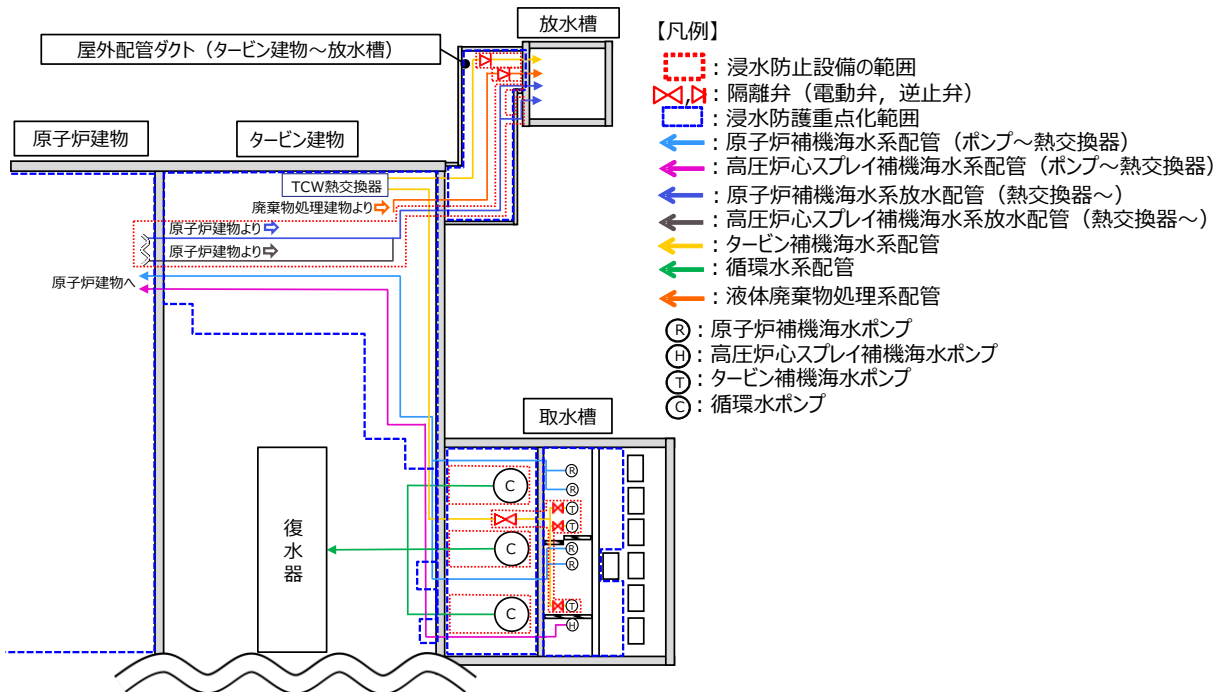


図 1-1 隔離弁，機器・配管の概要図

4. 配管及び隔離弁

4.1 概要

本計算書は、VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」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、浸水防護施設のうち配管及び隔離弁が津波によって生じる静水圧及び余震を考慮した荷重に対して十分な構造強度を有し、浸水防止機能を保持することを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

浸水防護施設の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単元に記載する。また、全24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4.4.2(3)に記載する。

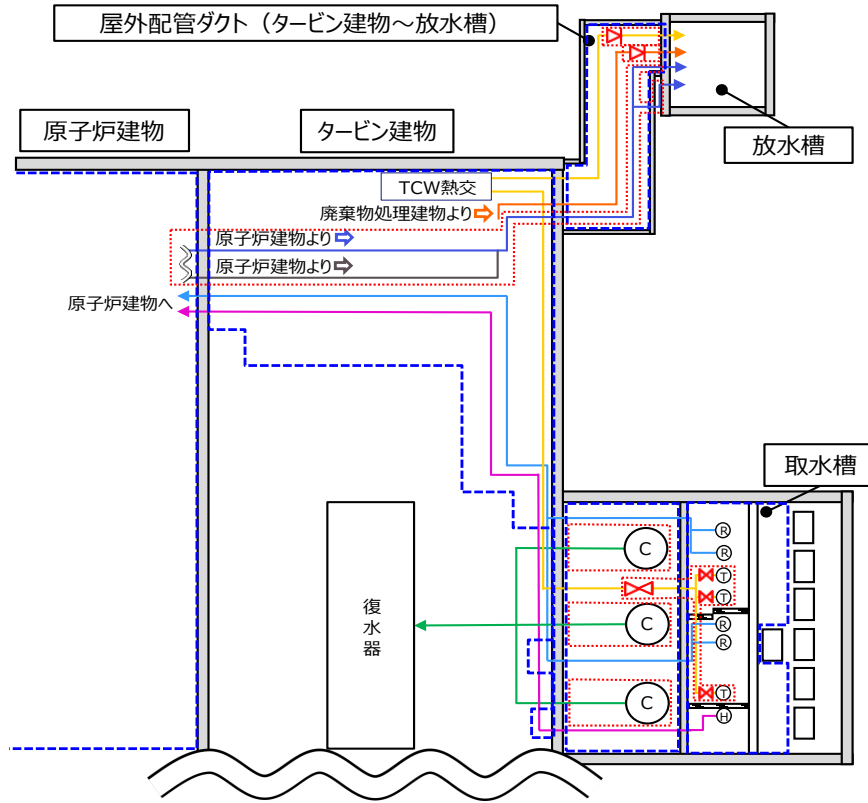
(2) 隔離弁

水圧試験により確認した圧力の弁本体に想定される算出圧力に対する裕度が最小となる弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

4.2 配置概要，概略系統図及び鳥瞰図

4.2.1 配置概要

図4.2-1に示すとおり，浸水防護重点化範囲への津波の流入を防止するため，隔離弁を設置するとともに，バウンダリ機能を保持する配管を設置する。



【凡例】

- : Sクラスとする範囲
- ⊗, ⊘ : 隔離弁（電動弁，逆止弁）
- : 浸水防護重点化範囲
- ← : 原子炉補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 原子炉補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : タービン補機海水系配管（Cクラス）
- ← : 循環水系配管（Cクラス）（点線部は埋設配管を示す）
- ← : 液体廃棄物処理系配管（Cクラス）


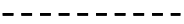
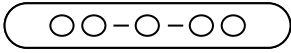


- R : 原子炉補機海水ポンプ（Sクラス）
- H : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（Sクラス）
- T : タービン補機海水ポンプ（Cクラス）
- C : 循環水ポンプ（Cクラス）

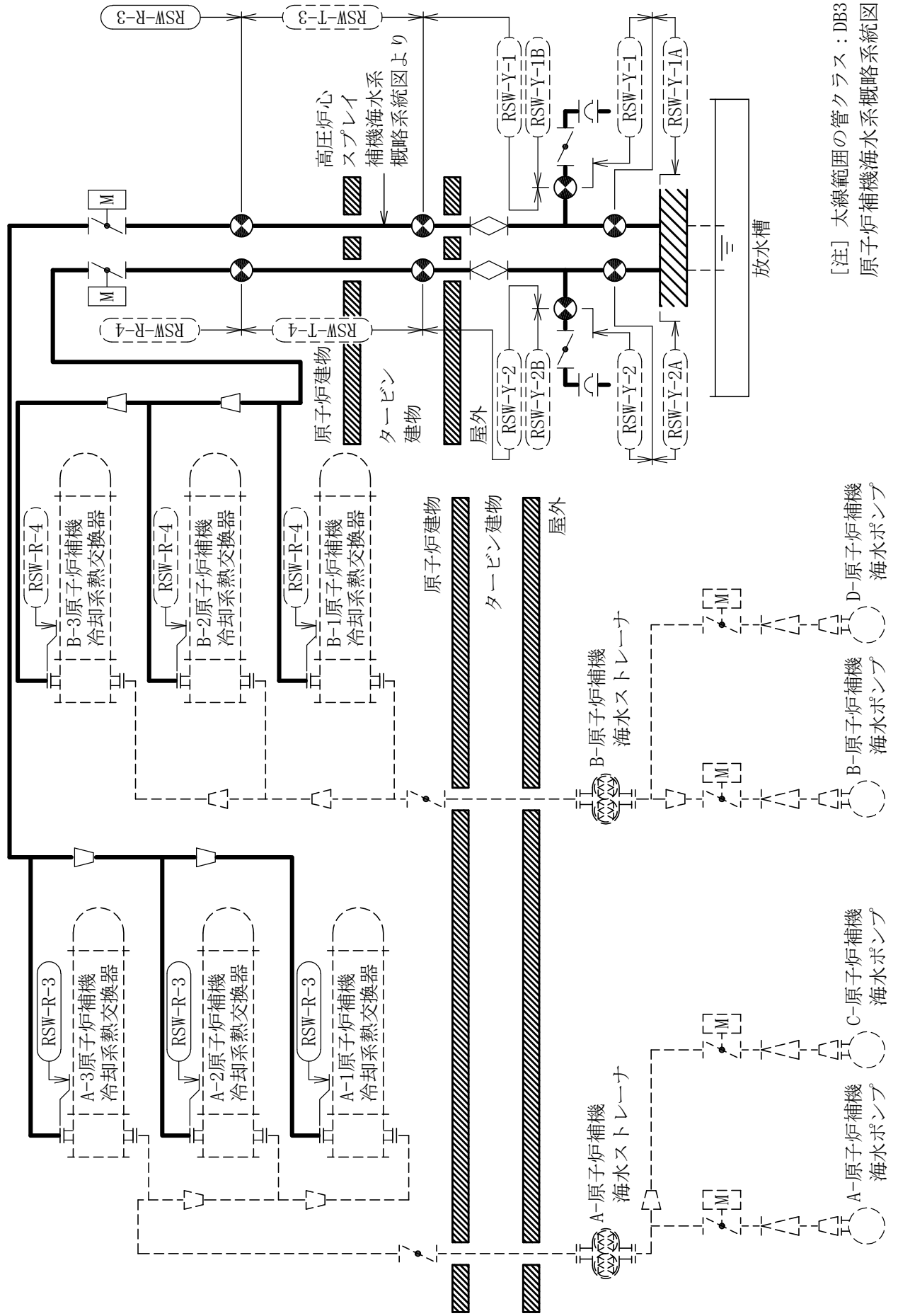
注) 浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図4.2-1 配置概要

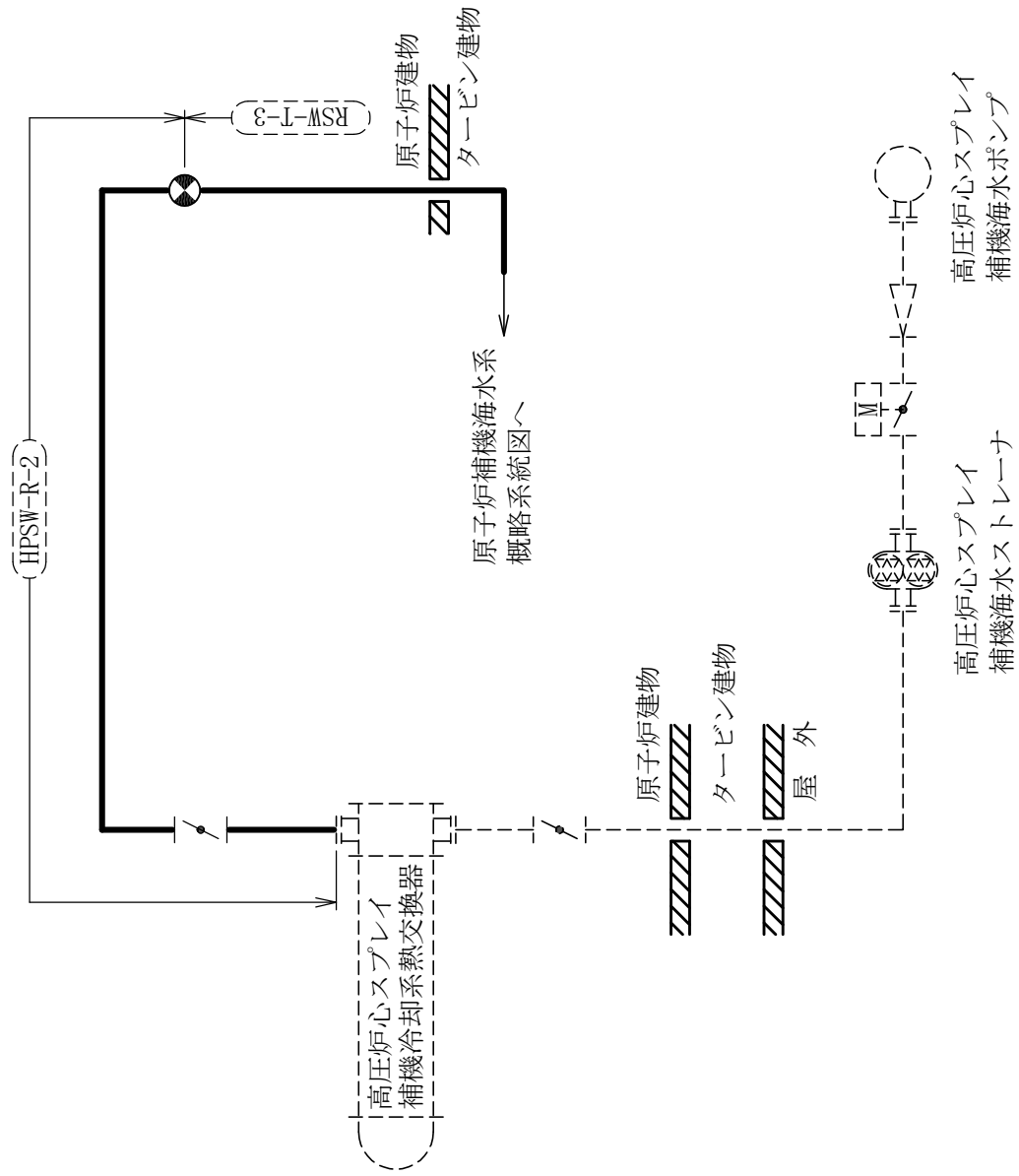
4.2.2 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外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 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

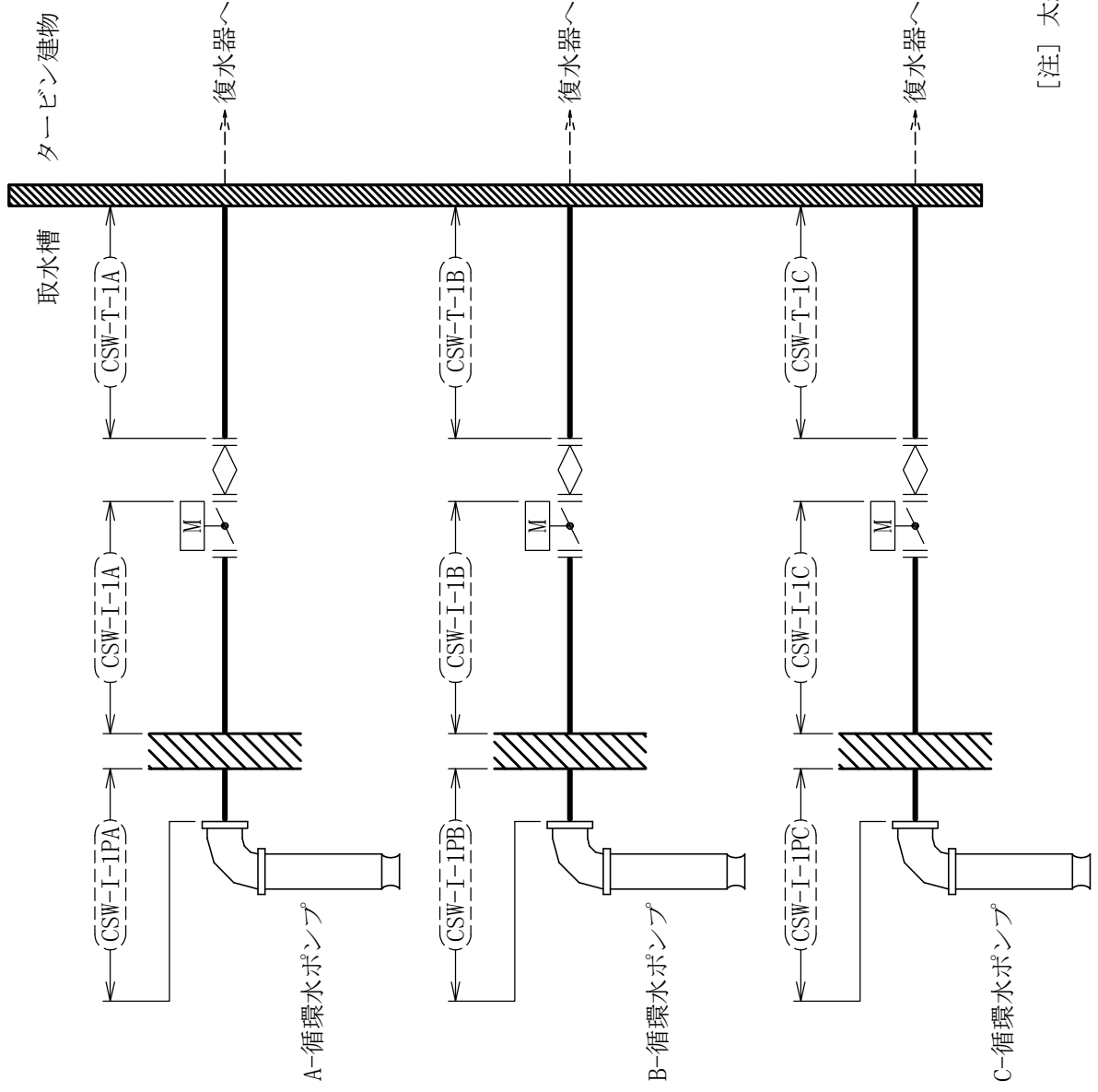


[注] 太線範囲の管クラス：DB3
原子炉補機海水系概略系統図

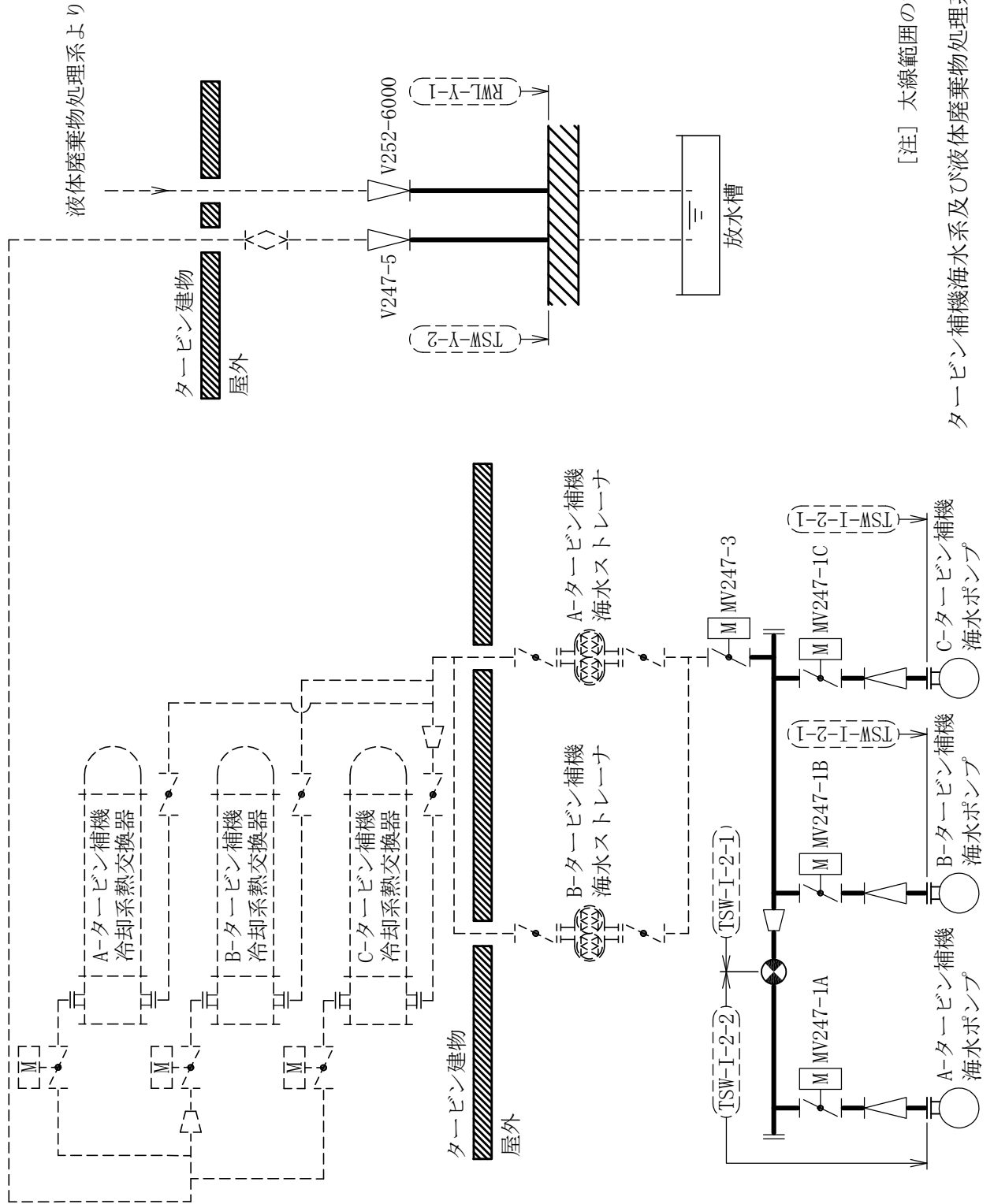


[注] 太線範囲の管クラス：DB3

高圧炉心スプレー補機海水系概略系統図



[注] 太線範囲の管クラス：DB3
 循環水系概略系統図
 (取水槽廻り)


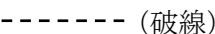


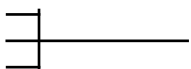
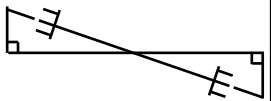
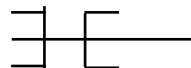
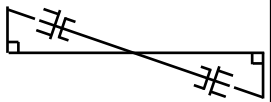

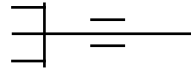
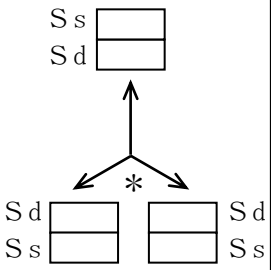


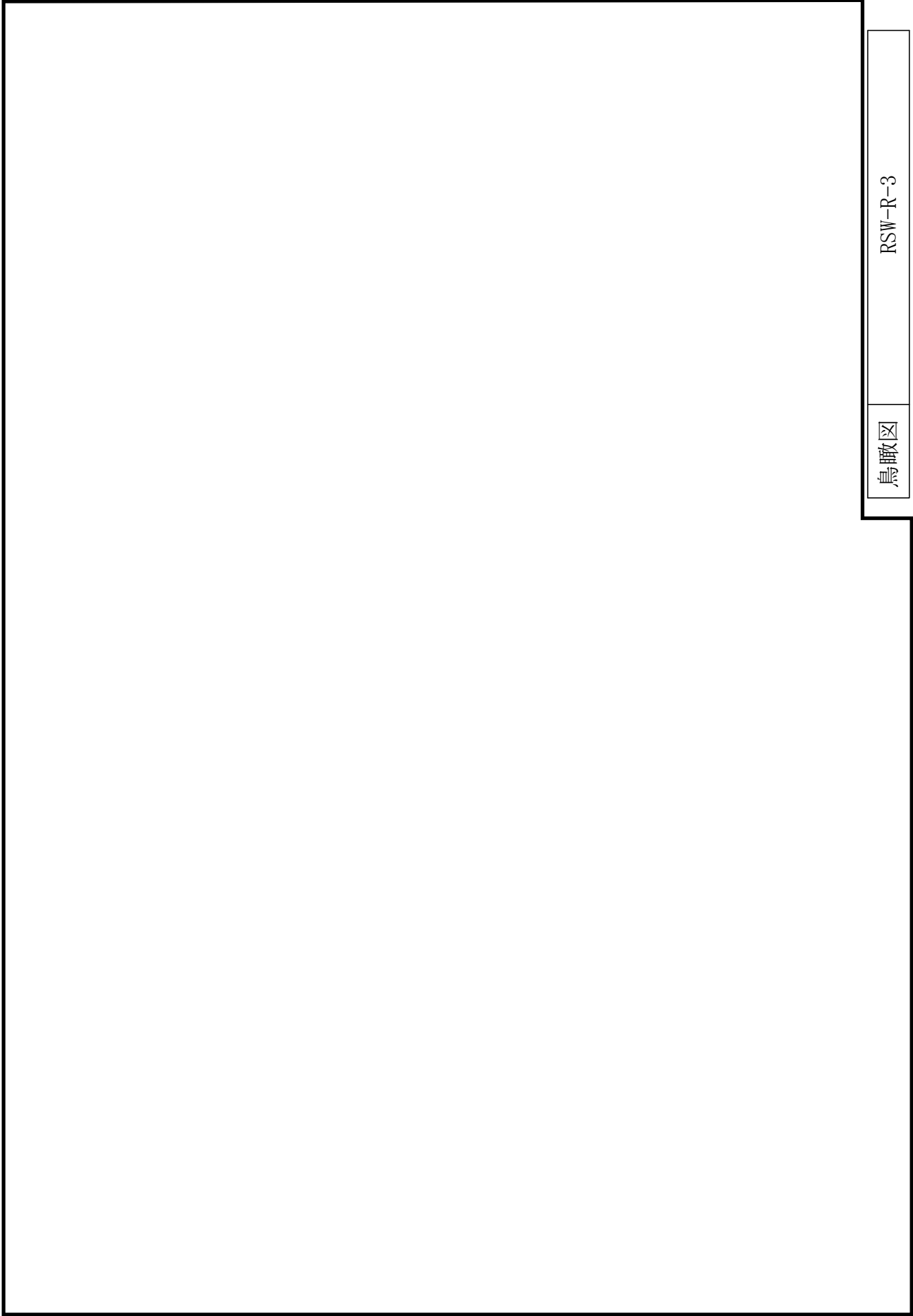
[注] 太線範囲の管クラス：DB3

タービン補機海水系及び液体廃棄物処理系概略系統図

4.2.3 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外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
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	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。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図

RSW-R-3

4.3 計算条件

4.3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管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。解析コードは「H I S A P」又は「M S A P」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

また、隔離弁は、弁体に想定される算出圧力が、水圧試験で確認された水圧以下であることを確認する。

なお、津波によって生じる静水圧 P_h は、基準津波による水位を考慮する。津波によって生じる静水圧 P_h は以下の式により算出する。ここで、 ρ は海水密度、 g は重力加速度、 h は津波評価高さを示す。

$$P_h = \rho \cdot g \cdot h$$

4.3.2 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	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*1	許容応力状態*2
浸水防護施設 (浸水防止設備)	—	原子炉補機海水系	クラス3管	S	D+Ph+Sd	ⅢAS
		高压炉心スプレイ補機海水系				
		循環水系				
		タービン補機海水系				
		液体廃棄物処理系				

注記*1：Dは自重荷重，Phは津波による静水圧荷重，Sdは余震荷重（動水圧含まない。）を示す。自重荷重（D）及び余震荷重（Sd）の組合せが，静水圧による荷重を緩和する方向に作用する場合は，保守的にこれらを組合せない評価を実施する。

*2：管の許容限界は，VI-3-別添3-1「津波への配慮が必要な施設の強度計算の基本方針」に基づき，許容応力状態ⅢASを用いる。なお，隔離弁の許容限界は，水圧試験により確認した圧力とする。水圧試験では，隔離弁の閉状態に対して，静水圧を負荷し，有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した。

4.3.3 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 RSW-R-3

管 番 号	対応する評価点	最高 使用 圧力* (MPa)	最高 使用 温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料
1	1N~12, 15~73N 22~79N	0.98	40	457.2	9.5	SM41A
2	13~19	0.98	40	558.8	9.5	SM41A
3	20~52F, 60F~67A	0.98	40	711.2	9.5	SM41A
4	55F~60F	0.98	40	711.2	9.5	SM400A

注記*：最高使用圧力が運転圧力と津波による静水圧が同時に作用する場合の圧力を包絡しているため，最高使用圧力を適用する。

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
□	1N～12, 15～73N, 22～79N
□	13～19
□	20～52F, 55F～67A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
	1N, 73N, 79N
	5F, 8F, 10F, 69F, 75F
	14F, 17F
	21F, 24F, 27F, 30F, 34F, 37F, 40F, 43F, 46F, 49F, 63F, 66F
	52F
	55F
	60F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	53		540
	5401		54

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
52F~53				53~540			
540~5401				5401~54			
53~55F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

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						
401						
** 6001 **						
11						
18						
2201						
29						
33						
42						
50						
58						
64						
67A						
73N						
79N						

S2 補 VI-3-別添3-2-8 R0

4.3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41A	40	—	245	—	—
SM400A	40	—	245	—	—

隔離弁の許容限界を下表に示す。

弁番号	型式	評価部位	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.81
MV247-3	電動弁	弁本体	2.10
V247-5	逆止弁	弁本体	0.81
V252-6000	逆止弁	弁本体	1.47

4.3.5 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スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RSW-R-3	原子炉建物				

4.4 解析結果及び評価

4.4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d ^{*2}			基準地震動 S s		
モード ^{*1}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*3}		応答鉛直震度 ^{*3}	応答水平震度		応答鉛直震度
		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							
動的震度 ^{*4, *5}							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：余震条件として弾性設計用地震動 S d を考慮する。

*3：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

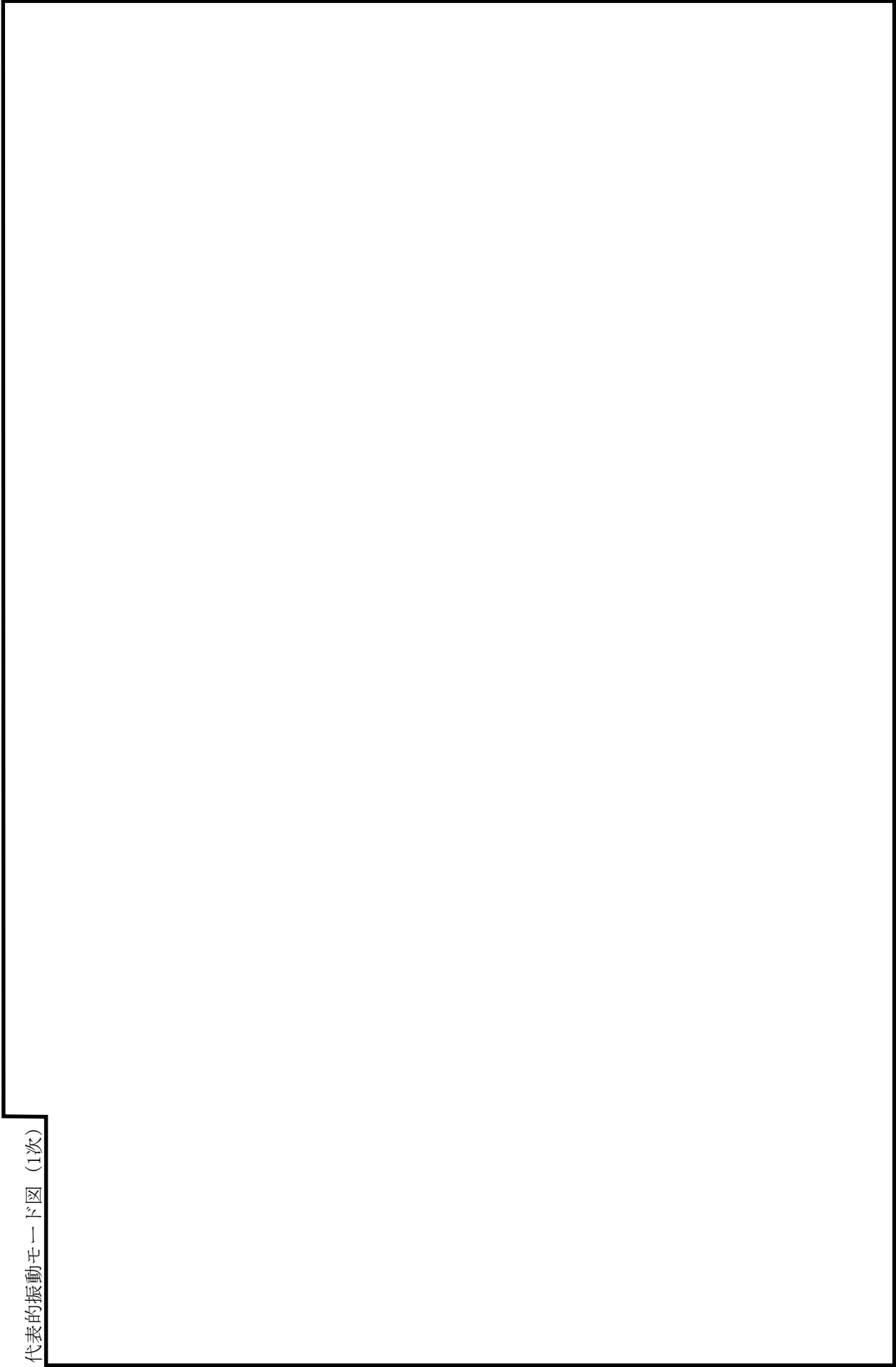
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

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、次頁以降に示す。

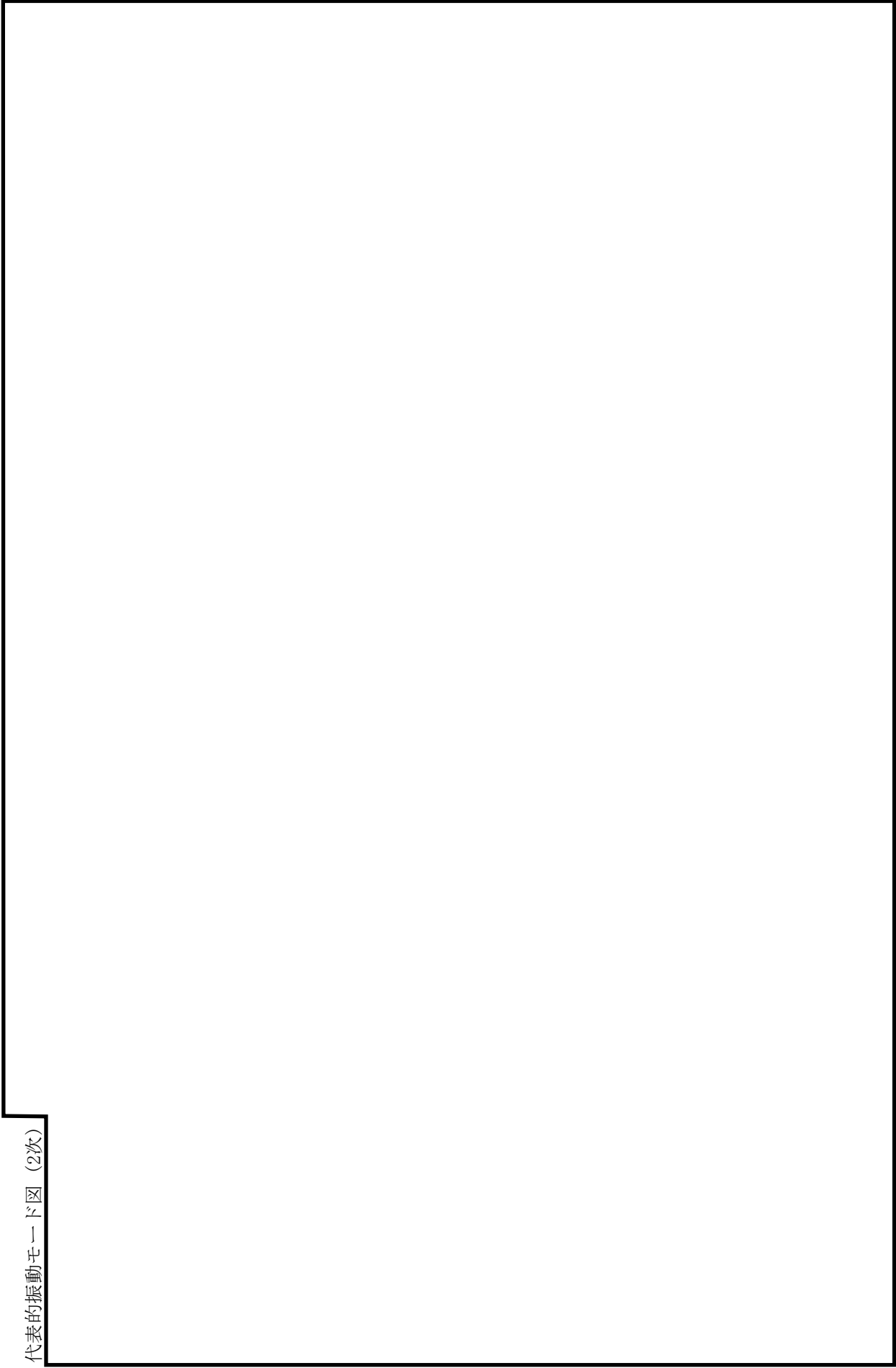
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

RSW-R-3

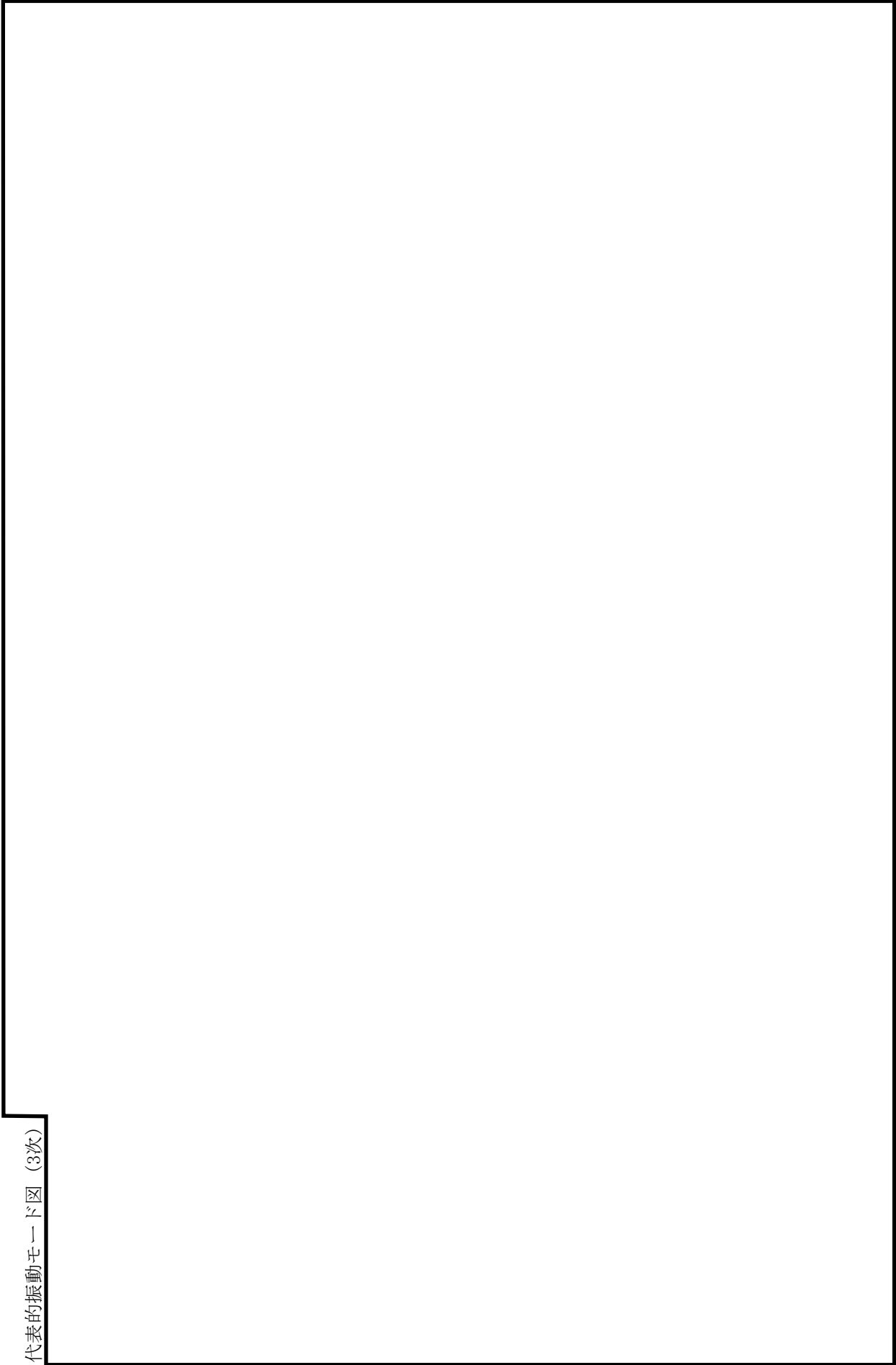
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

RSW-R-3

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

R S W - R - 3

4.4.2 評価結果

(1) 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力は許容値以下である。

クラス3管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価	
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)
III _A S	一次応力 $S_{p r m}(S y^*)$	RSW-R-3	22	148	245

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1.2・ S のうち大きい方とする。

(2) 弁の健全性評価結果

下表に示すとおり発生圧力が、有意な変形及び著しい漏えいがないことを確認した水圧試験圧力以下であることを確認した。

弁番号	型式	評価部位	発生圧力 (MPa)	水圧試験圧力 (MPa)
MV247-1A	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1B	電動弁	弁本体	0.17	0.81
MV247-1C	電動弁	弁本体	0.17	0.81
V247-5	逆止弁	弁本体	0.31	0.81

(3) 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、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態Ⅲ _A S				
		一次応力評価				
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表
1	RSW-R-3	22	148	245	1.65	○
2	RSW-R-4	16	113	245	2.16	—
3	RSW-T-3	66	92	215	2.33	—
4	RSW-T-4	10	56	245	4.37	—
5	RSW-Y-1	411	50	245	4.90	—
6	RSW-Y-1A	813	35	245	7.00	—
7	RSW-Y-1B	816	47	245	5.21	—
8	RSW-Y-2	511	48	245	5.10	—
9	RSW-Y-2A	814	34	245	7.20	—
10	RSW-Y-2B	2	35	245	7.00	—
11	HPSW-R-2	36	71	215	3.02	—
12	CSW-T-1A	8A	32	235	7.34	—
13	CSW-T-1B	8A	32	235	7.34	—
14	CSW-T-1C	8A	32	235	7.34	—
15	CSW-I-1A	1A	16	235	14.68	—
16	CSW-I-1B	1A	16	235	14.68	—
17	CSW-I-1C	1A	16	235	14.68	—
18	CSW-I-1PA	4A	33	235	7.12	—
19	CSW-I-1PB	4A	33	235	7.12	—
20	CSW-I-1PC	4A	33	235	7.12	—
21	TSW-I-2-1	441	62	245	3.95	—
22	TSW-I-2-2	401	57	245	4.29	—
23	TSW-Y-2	7	63	245	3.88	—
24	RWL-Y-1	852	44	231	5.25	—