

本資料のうち、枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	02-工-B-19-0325_改0
提出年月日	2021年8月3日

VI-2-5-6-1-3 管の耐震性についての計算書
(原子炉隔離時冷却系)

2021年8月

東北電力株式会社

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	5
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力評価条件	24
3.5 設計用地震力	25
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	46
4.2.1 管の応力評価結果	46
4.2.2 支持構造物評価結果	49
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	50
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	51

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉隔離時冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、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の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全5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。

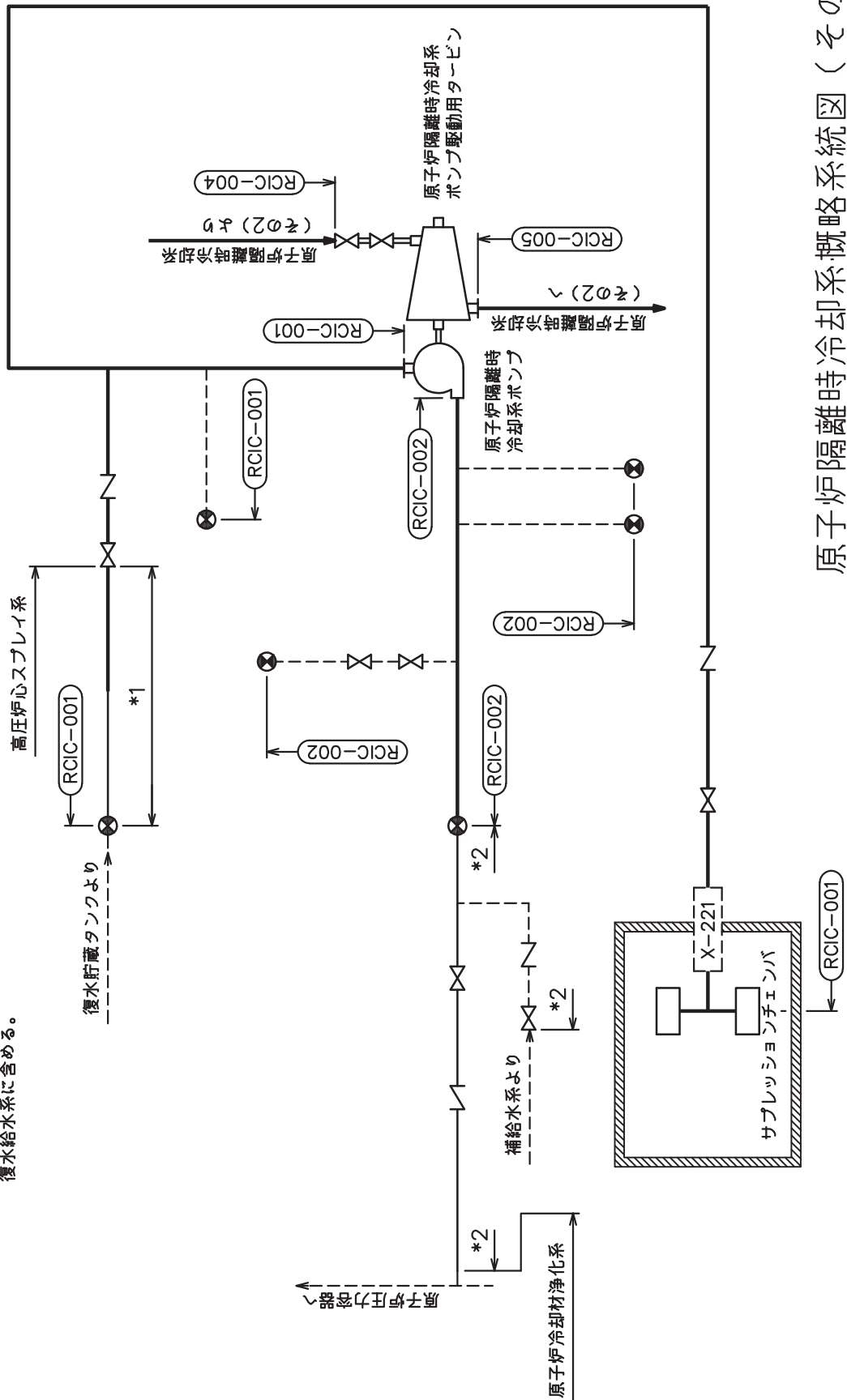
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

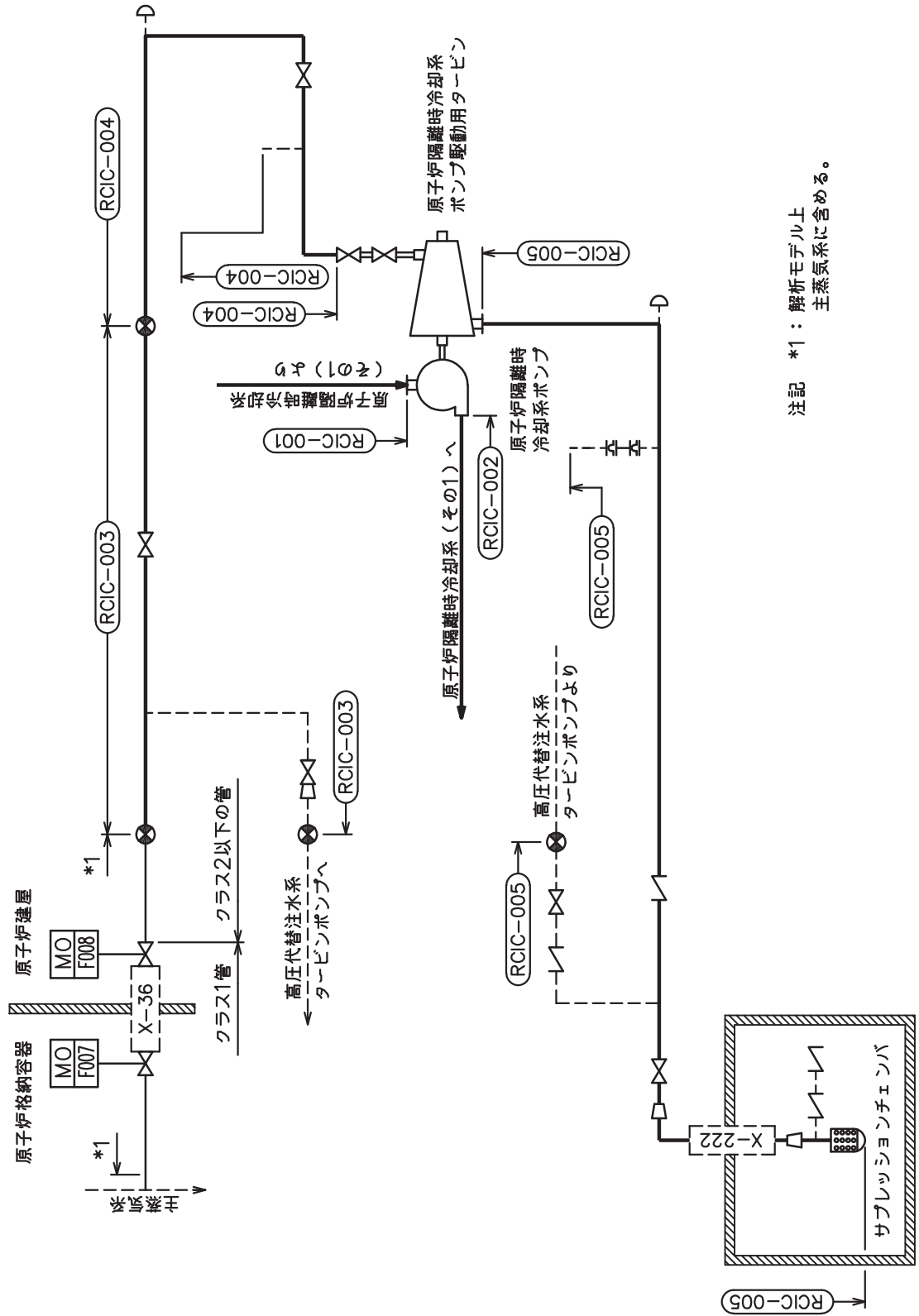
概略系統図記号凡例

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

注記 *1： 高圧炉心スプレイス
解析モデル上本系統に含める。
*2： 解析モデル上
復水給水系に含める。




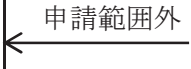




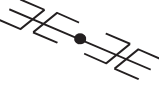

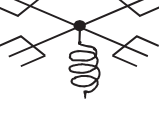
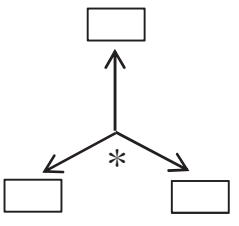
原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その1)

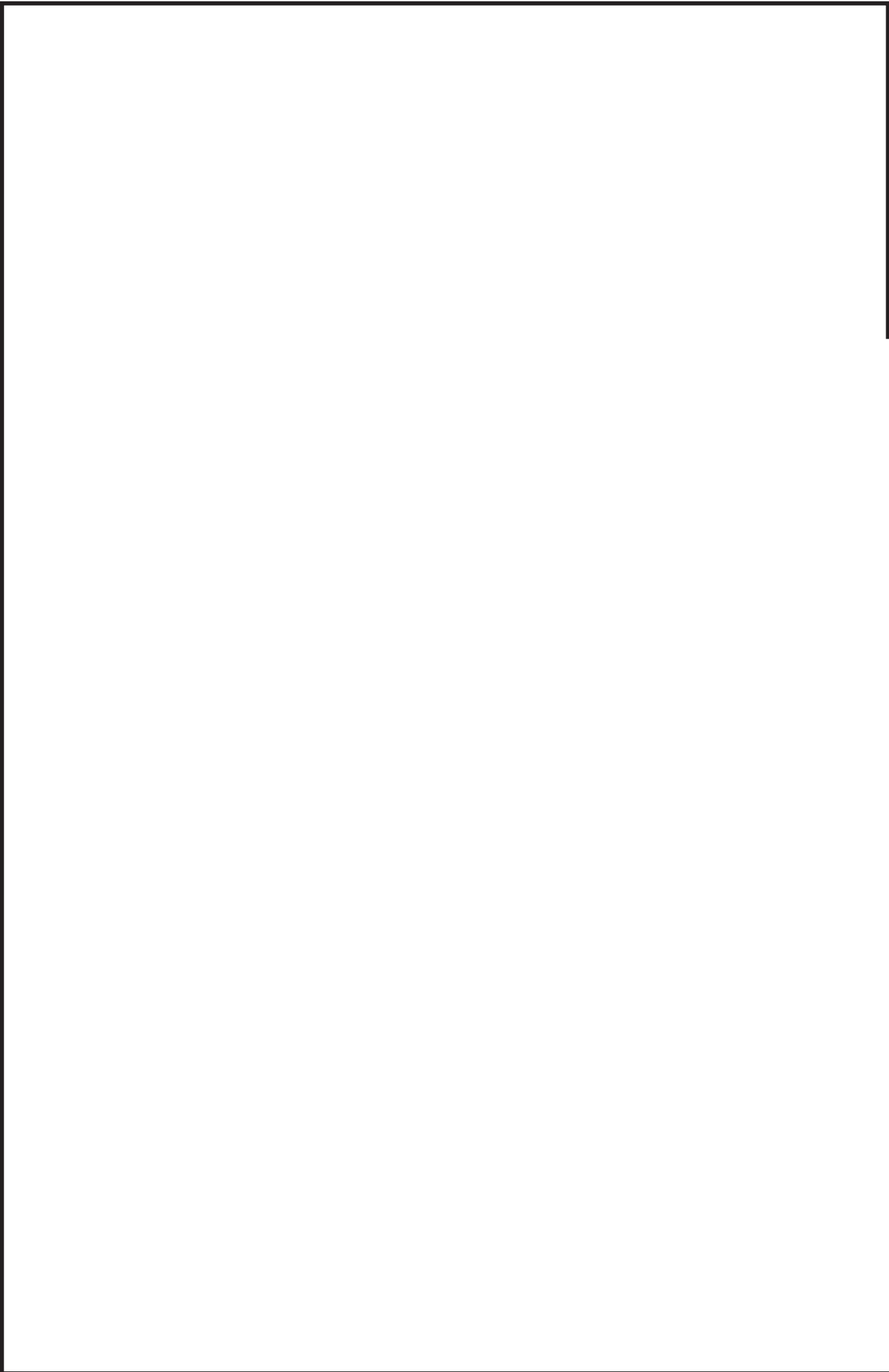


原子炉隔離時冷却系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

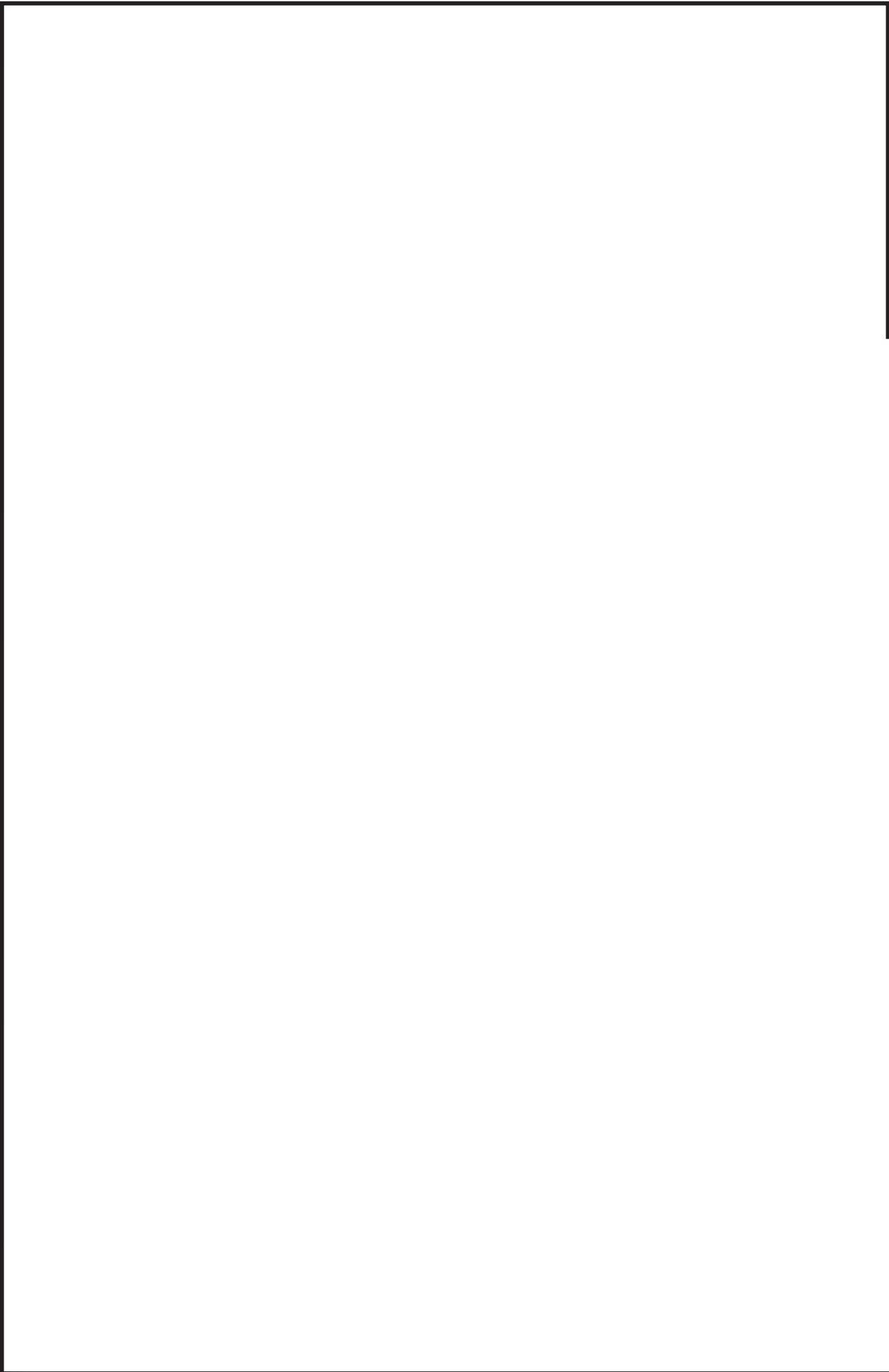
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管
	工事計画記載範囲外の管
	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として本系統に記載する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (矢印は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナップについても同様とする。)
	スナップ
	ハンガ
	ガイド
	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。)



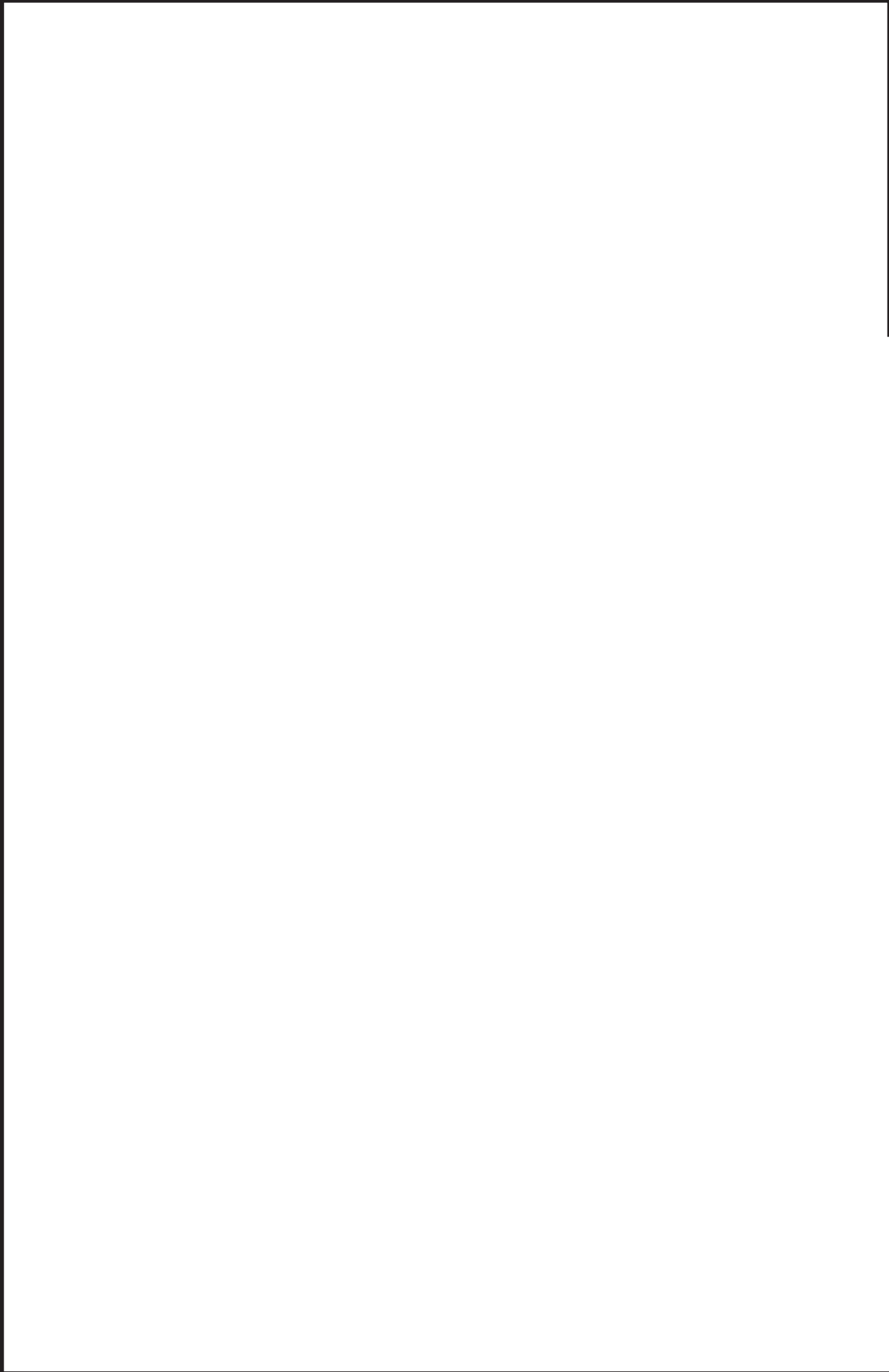
鳥瞰図 RCIC-002-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 | RCIC-002-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



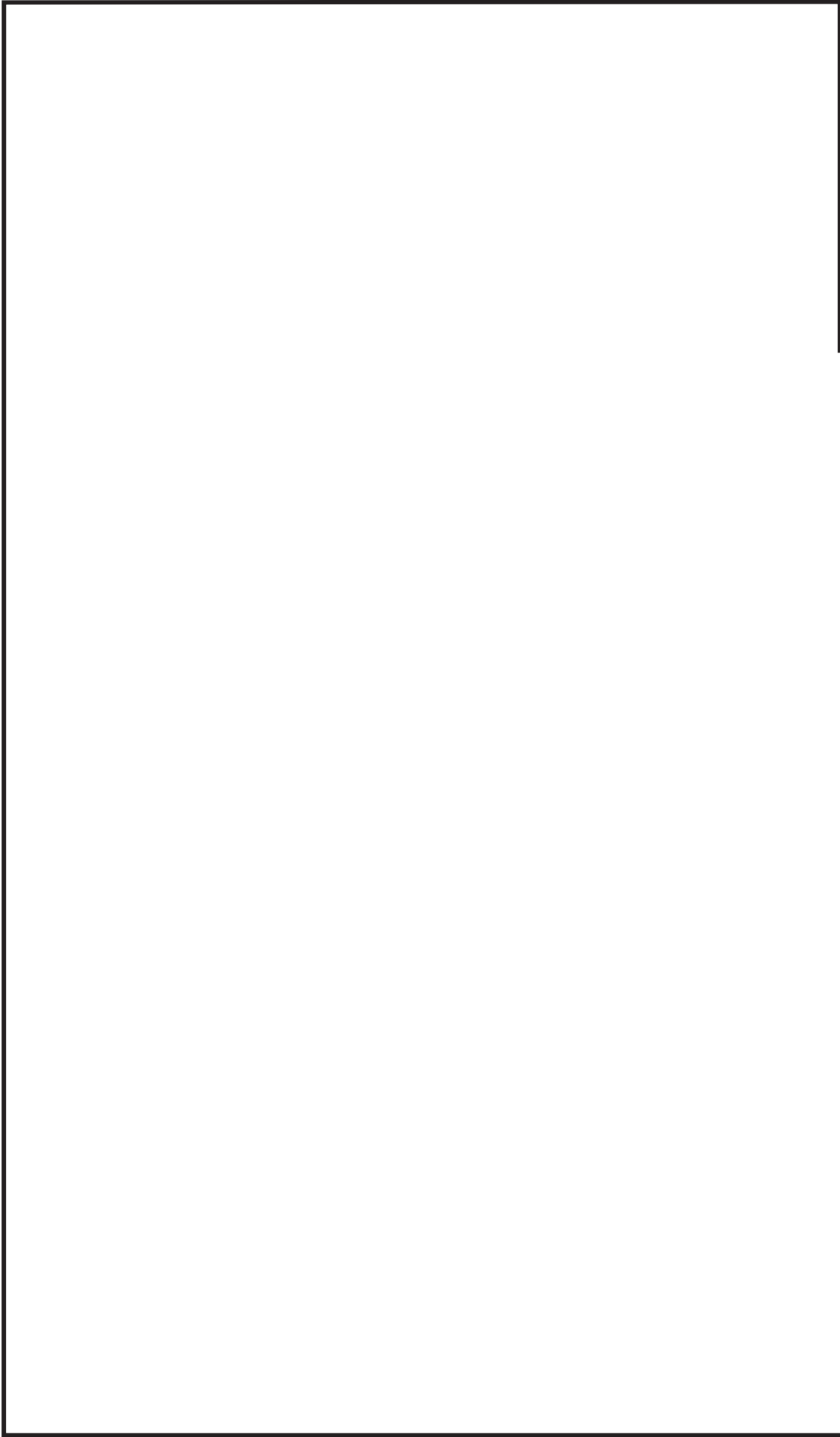
鳥瞰図 | RCIC-002-3/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-003-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

RCIC-003-2/2

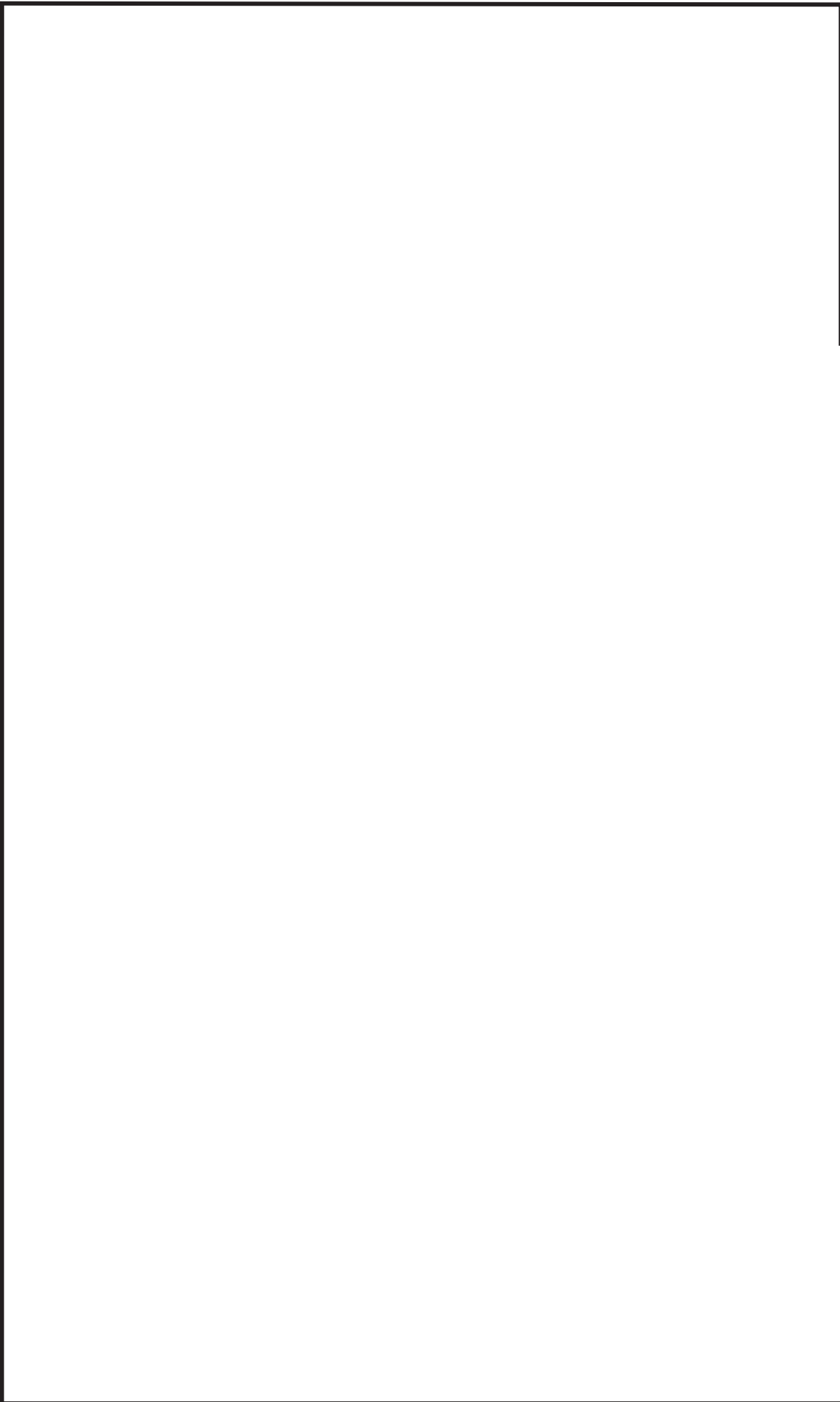
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

RCIC-004-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-004-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」及び「S A P-V」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、添付書類「VI-5 計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ*2, *3	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
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	高圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス2管	S	I _L +S d	III _A S
							II _L +S d	
							IV _L (L)+S d	IV _A S
							I _L +S s	
II _L +S s								

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名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11.77	66	114.3	13.5	STS410	S	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	66	68	69
	70	71	72	73	74	101	102	103	105	106	851	852	911		

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		10		19		66		102	
2		11		20		68		103	
3		12		21		69		105	
4		13		22		70		106	
5		14		23		71		851	
6		15		24		72		852	
7		16		25		73		911	
8		17		26		74			
9		18		27		101			

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
10						
18						
23						
27						
66						
70						
74						
911						

設計条件

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

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760
2	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	32	103	106	900	901										
2	101	106	107	108	903										

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		9		17		25		107	
2		10		18		26		108	
3		11		19		27		900	
4		12		20		28		901	
5		13		21		29		903	
6		14		22		30			
7		15		23		32			
8		16		24		106			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
101	
102	
103	
104	
105	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1		139.8	10.8	457

O 2 ⑤ VI-2-5-6-1-3(設) R 0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 3

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
** 8 **						
12						
** 12 **						
15						
20						
24						
27						
32						
105						
** 105 **						
900						
903						

--

O 2 ⑤ VI-2-5-6-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

設計条件

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

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	8.62	302	114.3	11.1	STS410	S	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	31
	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	46	50	801	803	804
	805	807	808	809	900	901	906	907	908						

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		12		23		37		807	
2		13		24		38		808	
3		14		25		39		809	
4		15		26		40		900	
5		16		27		41		901	
6		17		28		46		906	
7		18		32		50		907	
8		19		33		801		908	
9		20		34		803			
10		21		35		804			
11		22		36		805			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
29	
30	
31	
44	
45	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1				

O 2 ⑤ VI-2-5-6-1-3(設) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
13						
18						
22						
26						
28						
33						
41						
45						
** 45 **						
46						
** 50 **						
900						
** 901 **						
906						
** 907 **						
908						



O 2 ⑤ VI-2-5-6-1-3(設) R 0

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	302	—	182	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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 2	原子炉建屋		

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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき
 策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 3	原子炉建屋		

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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき
 策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 4	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 R C I C - 0 0 2

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

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：固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C₁及び1.2C_vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 R C I C - 0 0 2

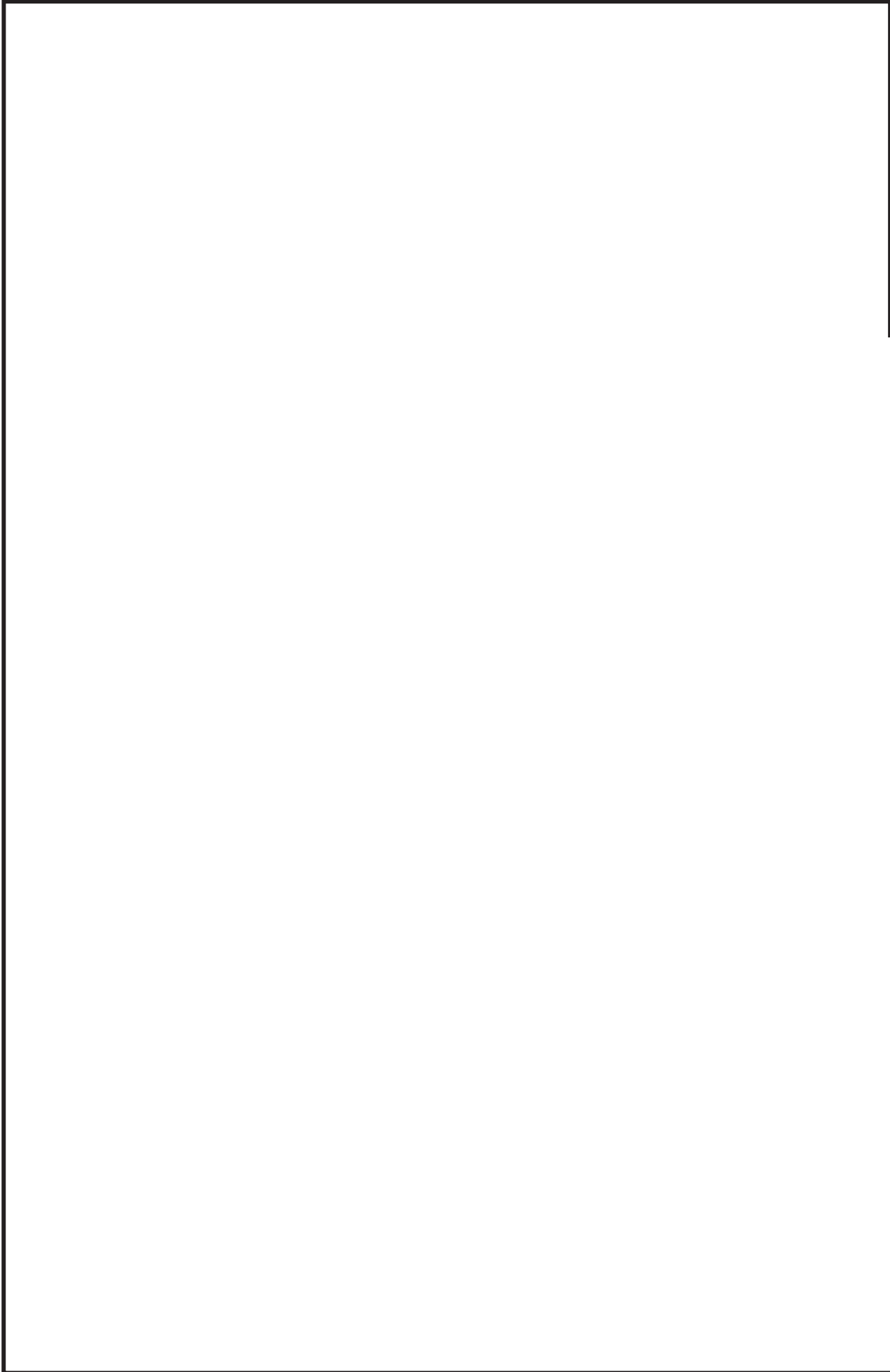
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
19 次				

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

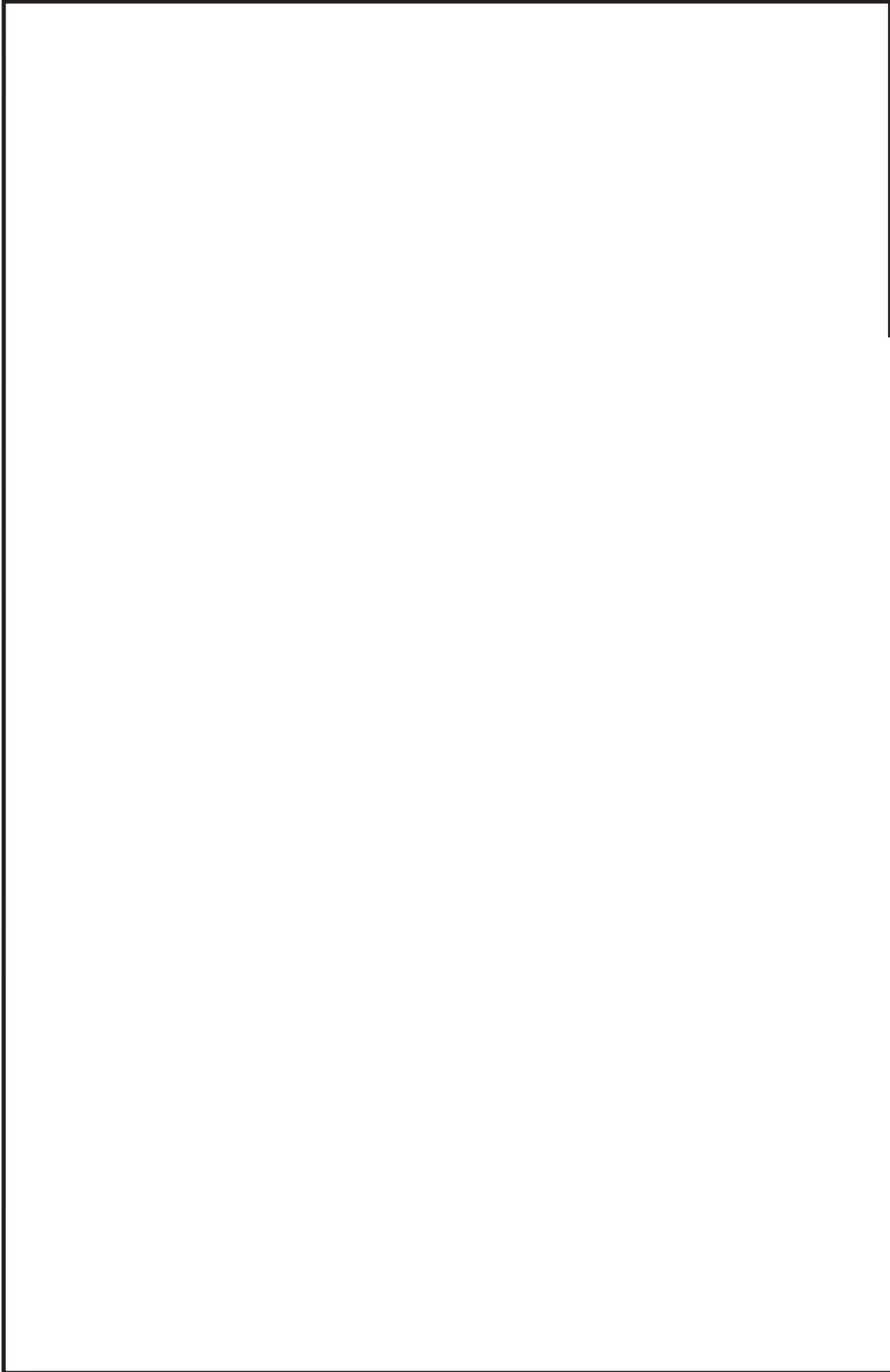
代表的振動モード図

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。



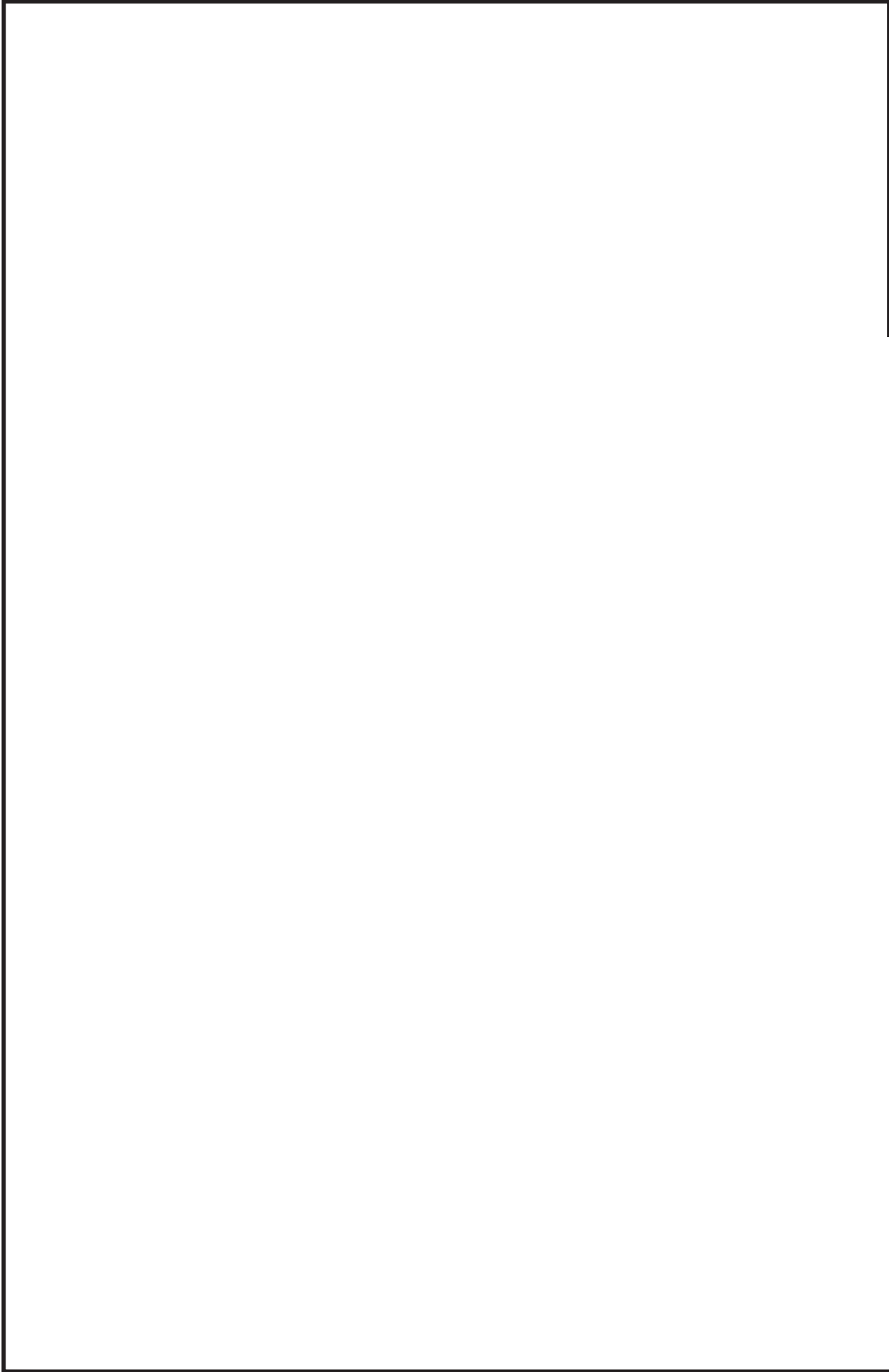
鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 RCIC-003

適用する地震動等		S d 及び静的震度			S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1	応答水平震度*1		応答鉛直震度*1
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
9次*2							
動的震度*3							
静的震度*4							

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：固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C₁及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 R C I C - 0 0 3

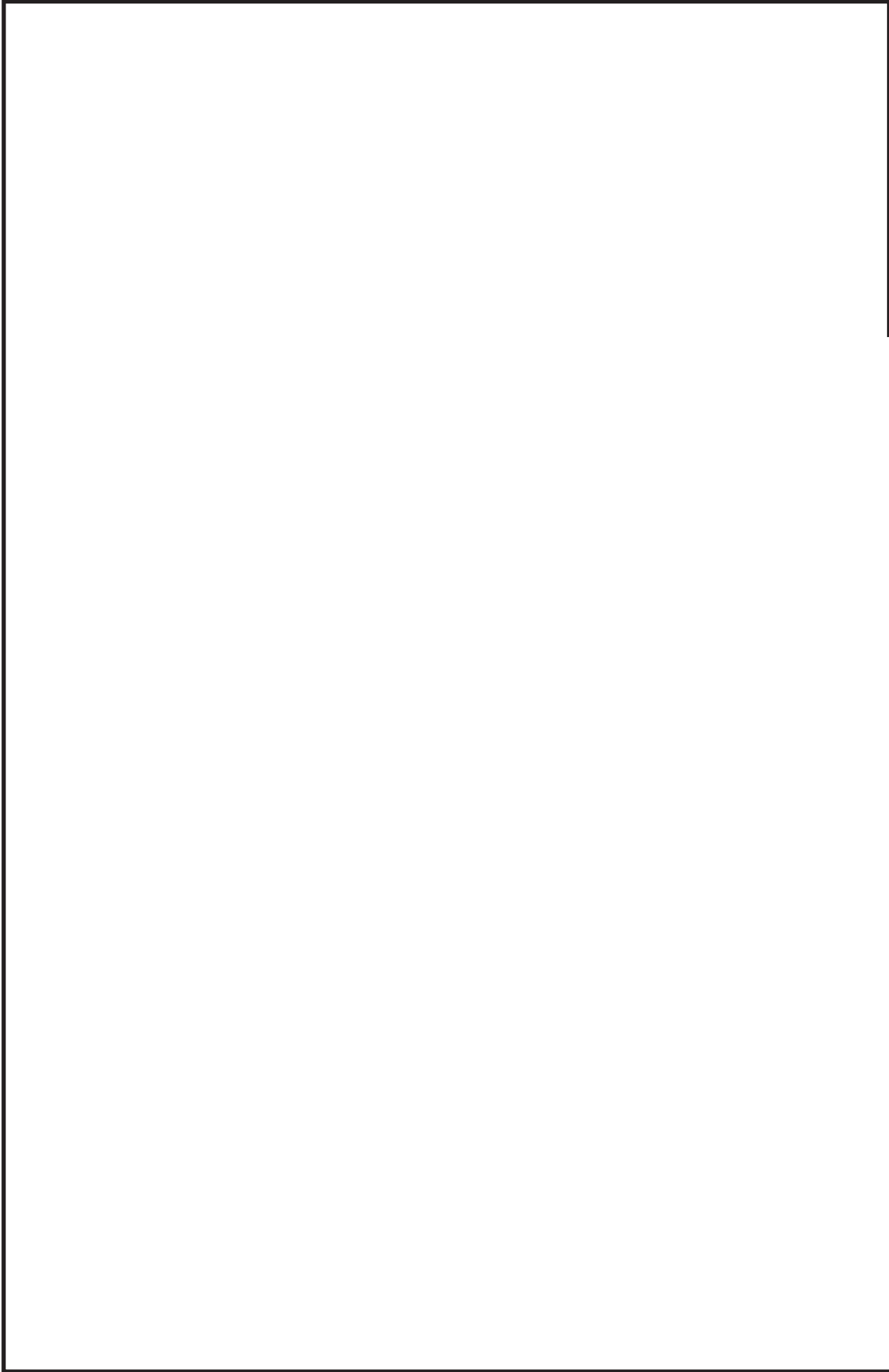
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

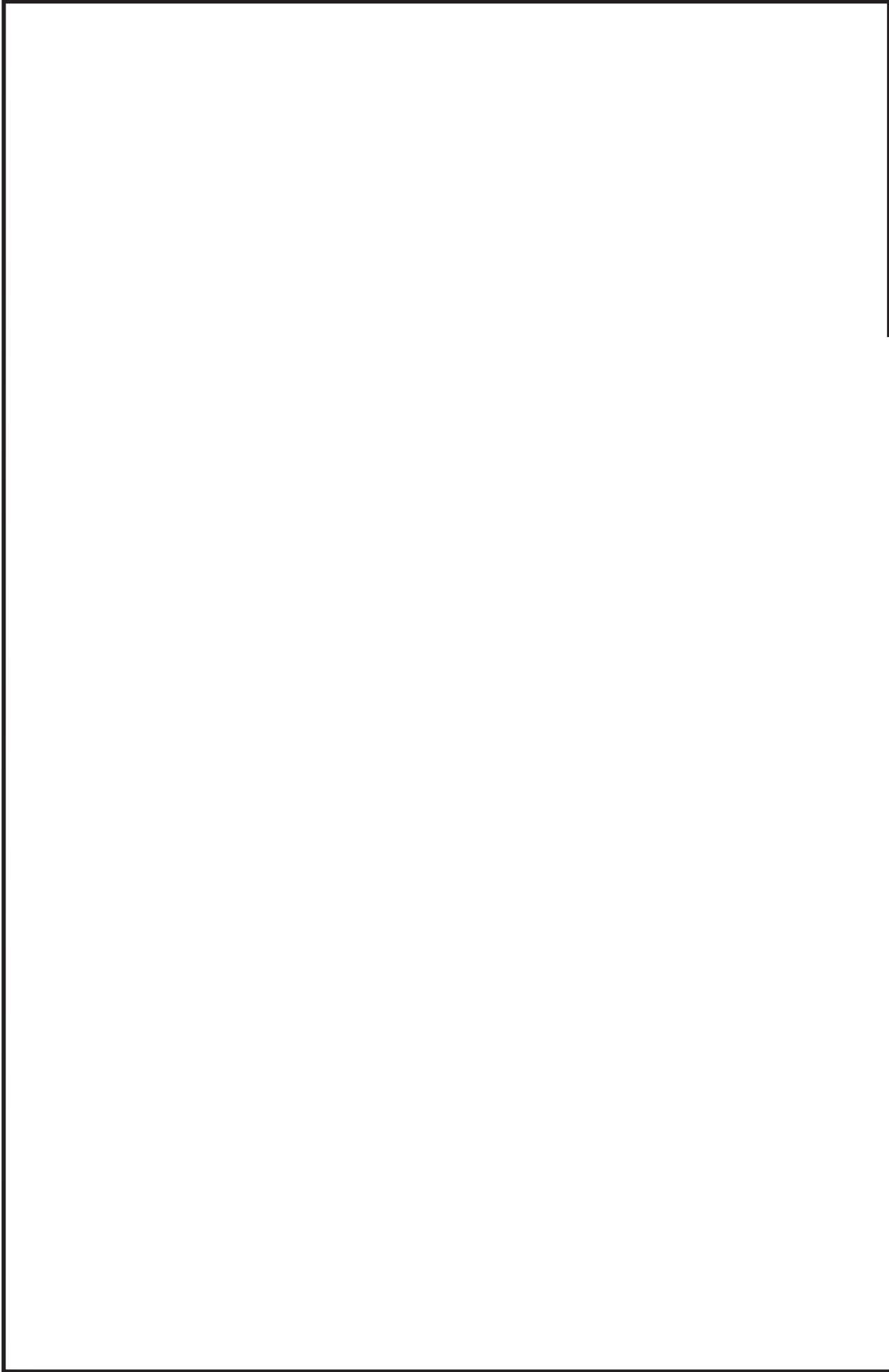
代表的振動モード図

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。



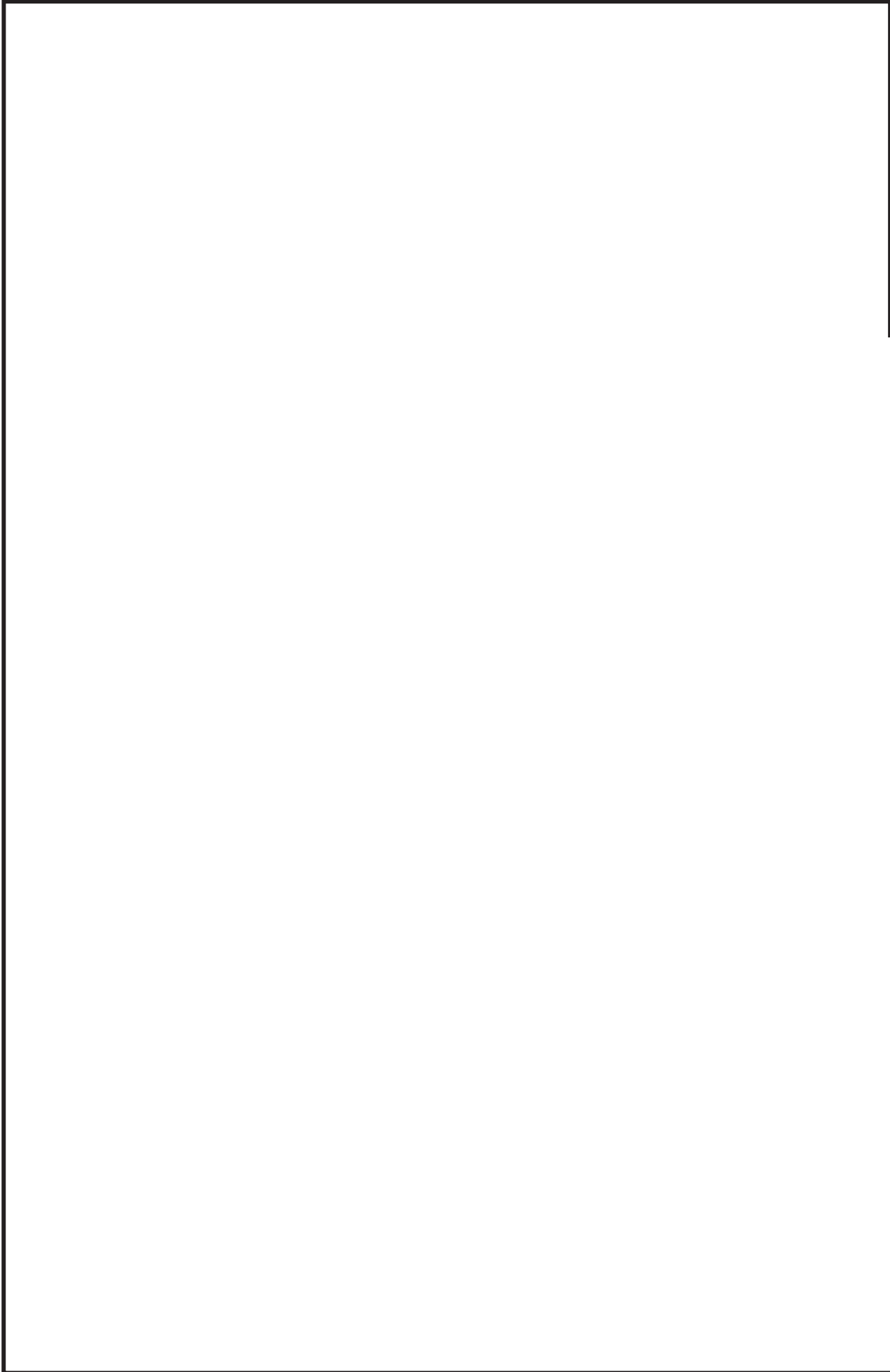
鳥瞰図 RCIC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-003

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 R C I C - 0 0 4

モード	適用する地震動等		S d 及び静的震度				S s		
	固有周期 (s)	応答水 平震度*1	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		X 方 向	Z 方 向		
1 次									
2 次									
3 次									
4 次									
5 次									
6 次									
7 次									
8 次									
9 次									
10 次*2									
動的震度*3									
静的震度*4									

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：固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C₁及び1.2C_vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

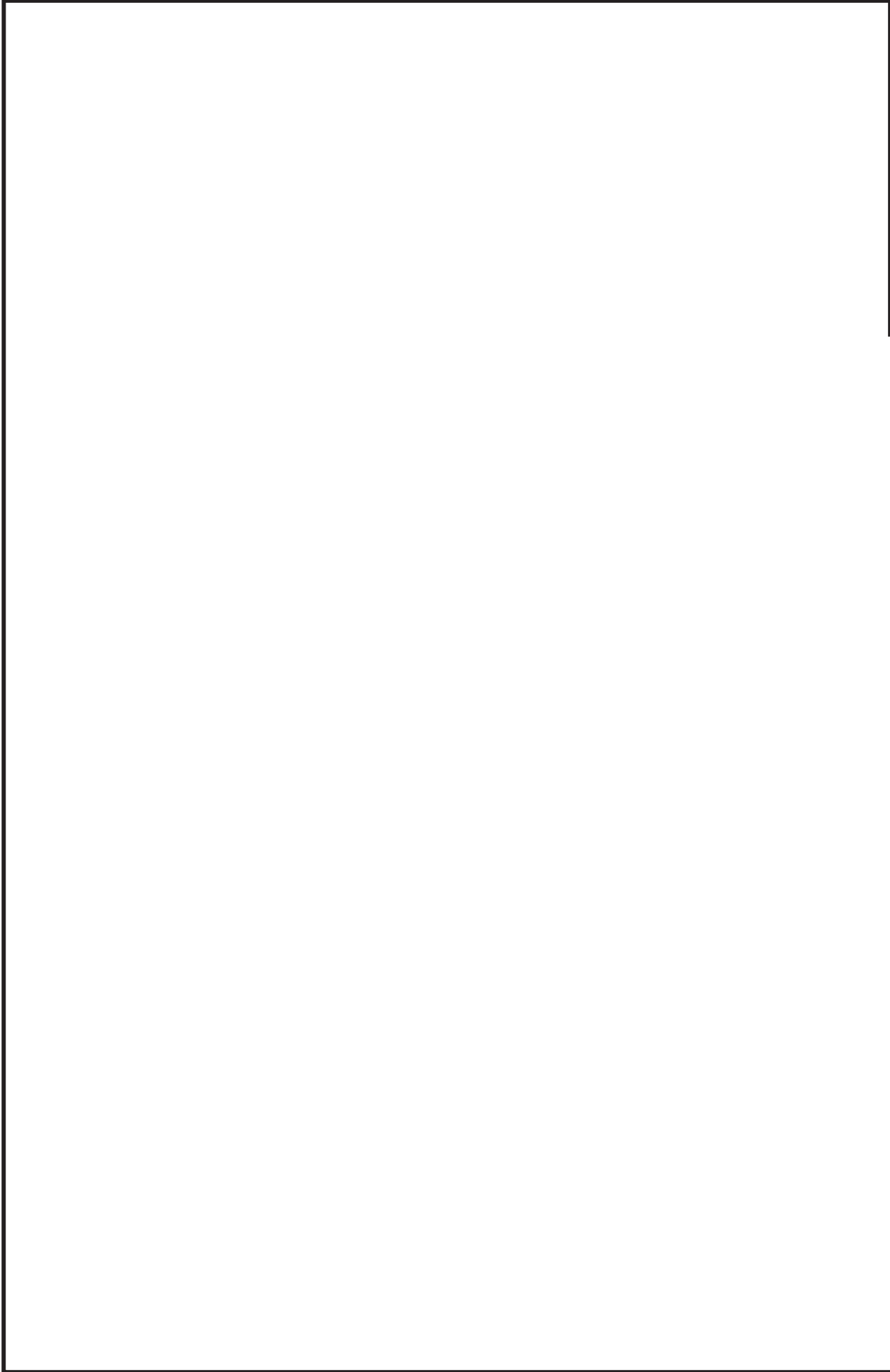
鳥瞰図 R C I C - 0 0 4

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				
9 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。

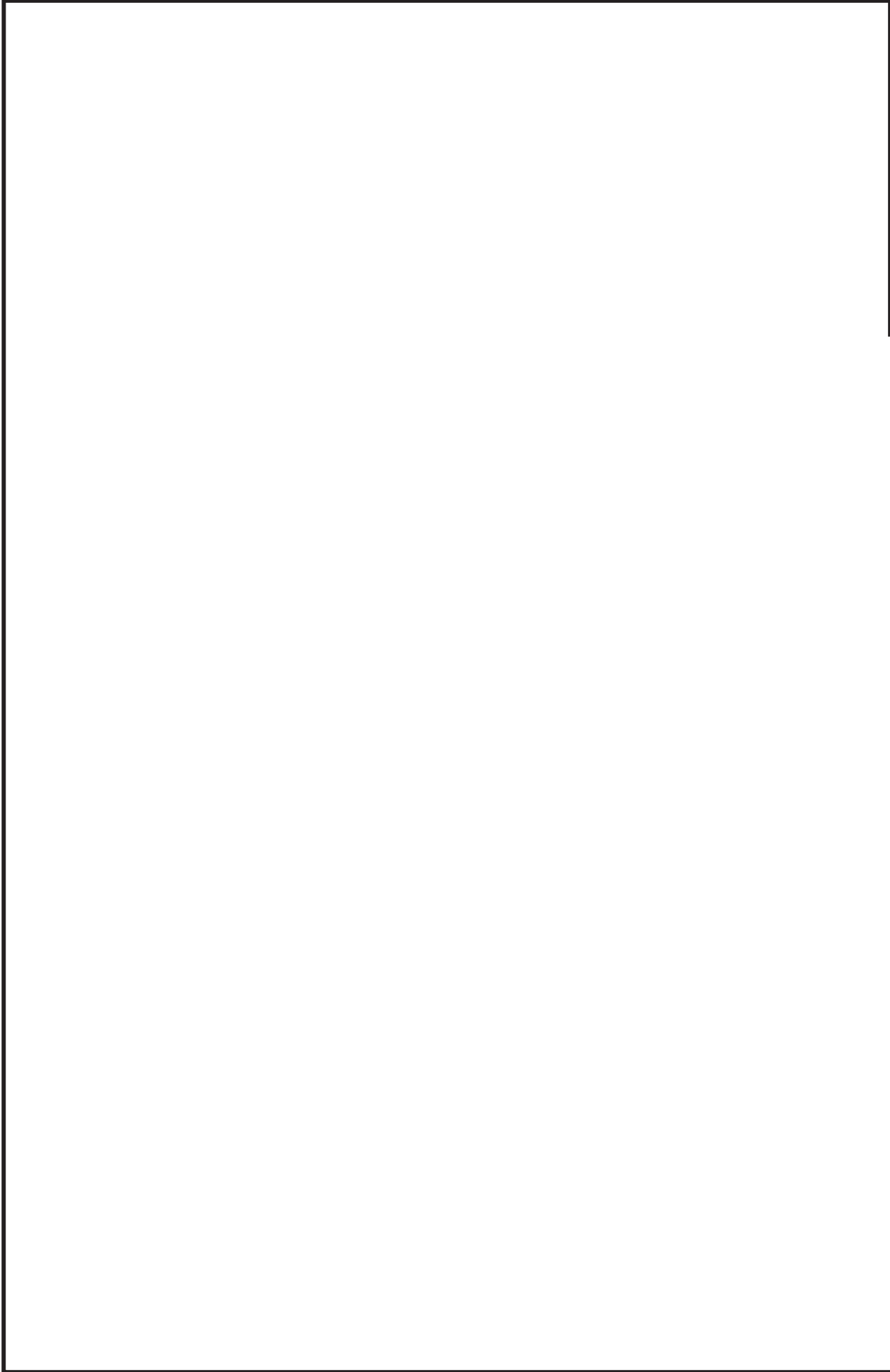
代表的振動モード図

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。



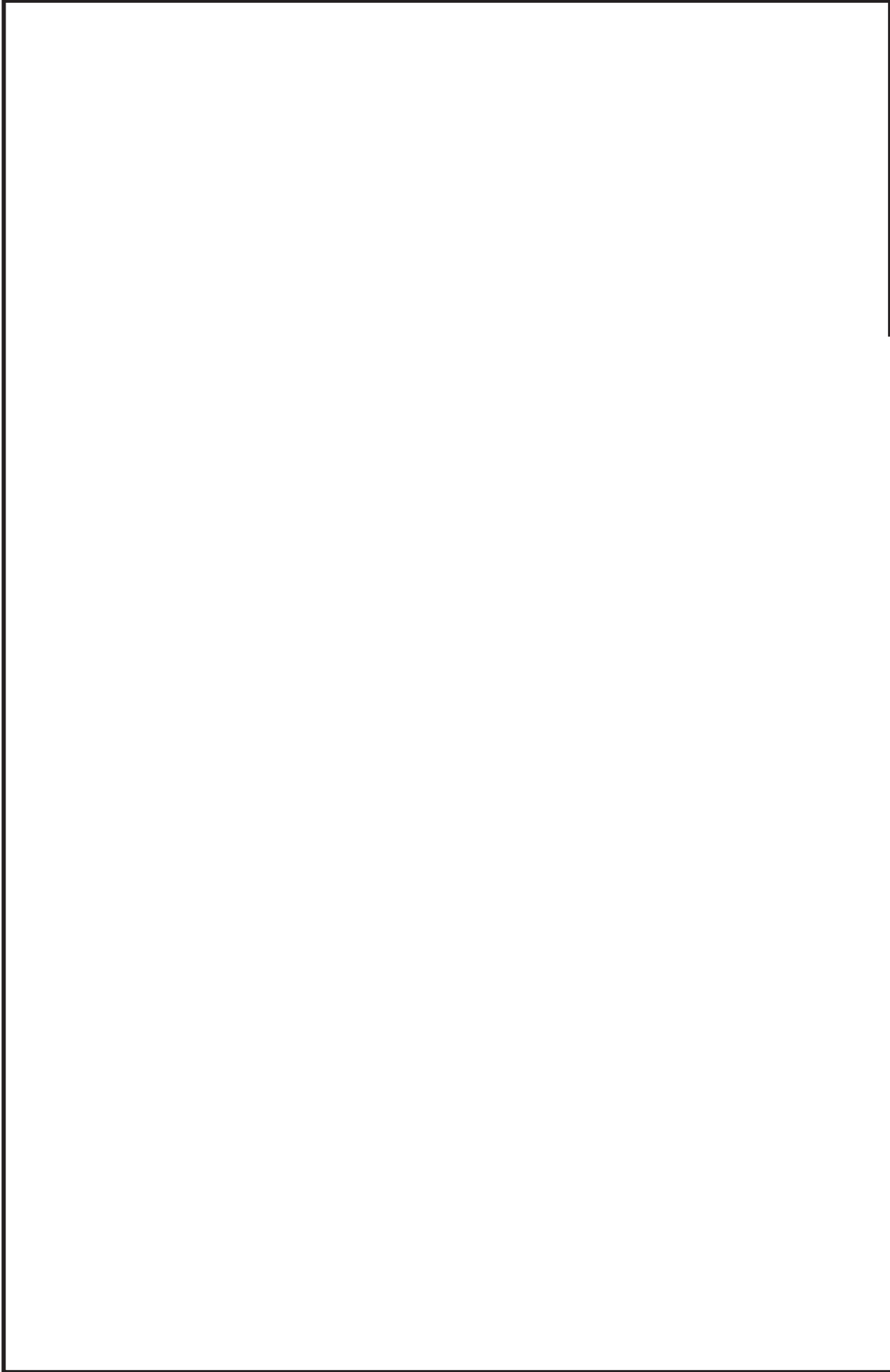
鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9・Su	計算応力	許容応力	
RCIC-002	III _A S	12	Spr m(Sd)	89	231	—	—	—
	IV _A S	12	Spr m(Ss)	164	366	—	—	—
	IV _A S	12	Sn(Ss)	—	—	279	462	USs

注記 *1: 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、Syと1.2・Shのうち大きい方とする。

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 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9・Su	計算応力	許容応力	
R C I C - 0 0 3	III _A S	24	Spr m(S d)	105	182	—	—	—
	IV _A S	24	Spr m(S s)	150	363	—	—	—
	IV _A S	24	S n(S s)	—	—	218	364	U S s

注記 *1: 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, Syと1.2・Shのうち大きい方とする。

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 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 Sy*1 0.9・Su	計算応力	許容応力	
R C I C - 0 0 4	III _A S	1	Spr m(S d)	85	182	—	—	—
	IV _A S	1	Spr m(S s)	127	363	—	—	—
	IV _A S	1	Sn(S s)	—	—	270	364	U S s

注記 *1: 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, Syと1.2・Shのうち大きい方とする。

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 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCIC-005-916S	メカニカルスナッパ	SMS-3-100	添付書類「VI-2-1-12-1	配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照	13	75
RCIC-004-045B	ロッドレストレイメント	RST-1			18	24
RCIC-005-070H	スプリングハンガ	VS30T-12			7	8

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力(kN)			モーメント (kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z				
RCIC-003-001A	アンカ	ラグ	SGV410	302	75	44	49	11	3	13	せん断	51	96	
RCIC-002-911R	レストレイメント	Uプレート	SS400	40	0	5	65	—	—	—	せん断	114	141	

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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

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

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と余裕を算出し、応力分類ごとに余裕が最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2管)

No.	配管モデル	許容応力状態 III _A S										許容応力状態 IV _A S										
		一次応力					一次応力					一次+二次応力*					一次+二次応力*					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	余裕	代表	疲労評価係数
1	RCIC-001	57	56	231	4.12	—	57	89	366	4.11	—	65	152	462	3.03	—	—	—	—	—	—	—
2	RCIC-002	12	89	231	2.59	—	12	164	366	2.23	○	12	279	462	1.65	—	—	—	—	—	—	—
3	RCIC-003	24	105	182	1.73	○	24	150	363	2.42	—	24	218	364	1.66	—	—	—	—	—	—	—
4	RCIC-004	1	85	182	2.14	—	1	127	363	2.85	—	1	270	364	1.34	○	—	—	—	—	—	—
5	RCIC-005	29	44	209	4.75	—	29	65	363	5.58	—	103	157	418	2.66	—	—	—	—	—	—	—

注記*：III_ASの一次+二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから、地震荷重が大きいIV_ASの一次+二次応力余裕最小を代表とする。

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	5
3. 計算条件	11
3.1 計算方法	11
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	12
3.3 設計条件	13
3.4 材料及び許容応力評価条件	19
3.5 設計用地震力	20
4. 解析結果及び評価	22
4.1 固有周期及び設計震度	22
4.2 評価結果	34
4.2.1 管の応力評価結果	34
4.2.2 支持構造物評価結果	36
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	37
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	38

1. 概要

本計算書は、添付書類「VI-2-1-13-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、原子炉隔離時冷却系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果の記載方法は、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の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全5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。

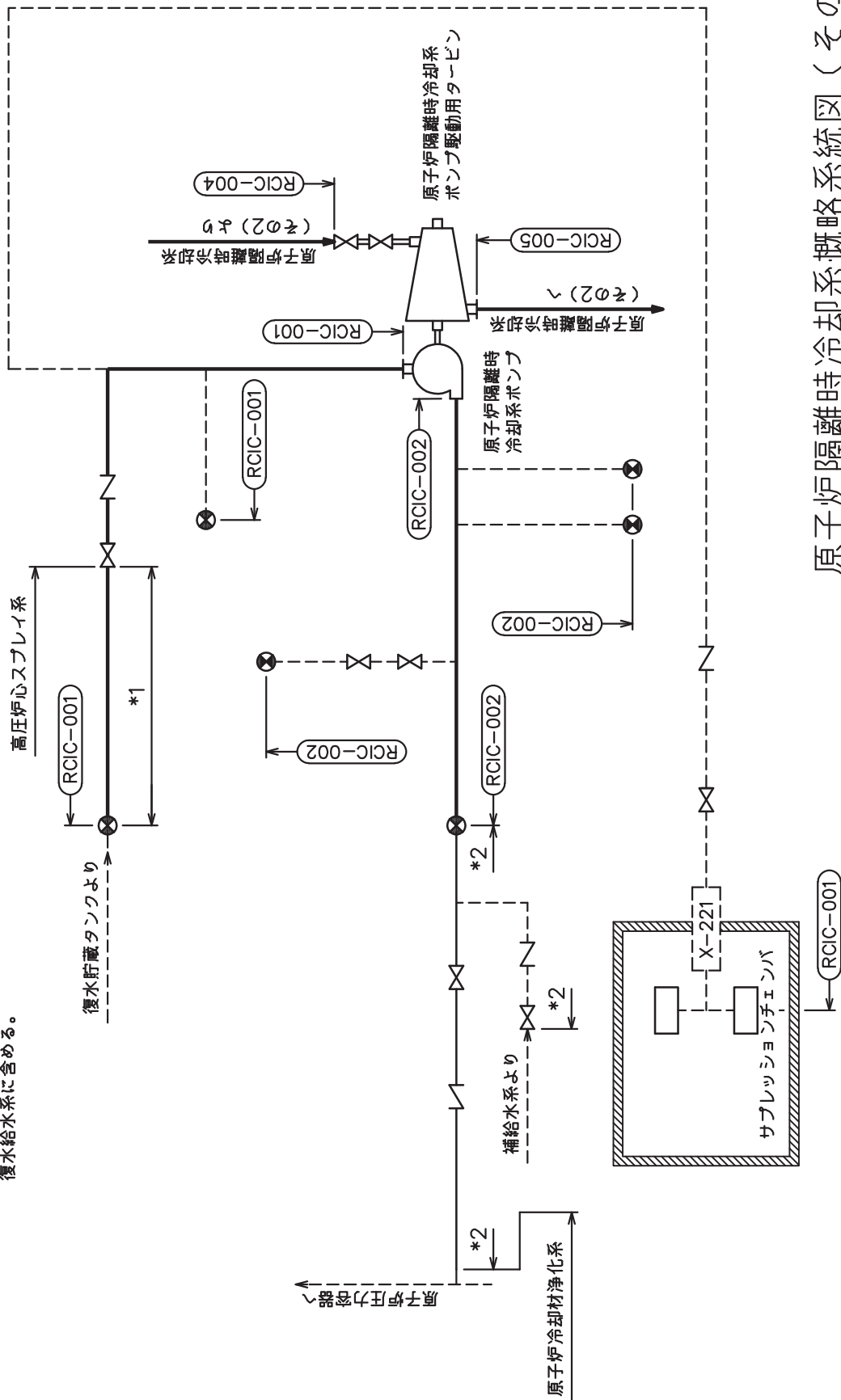
2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

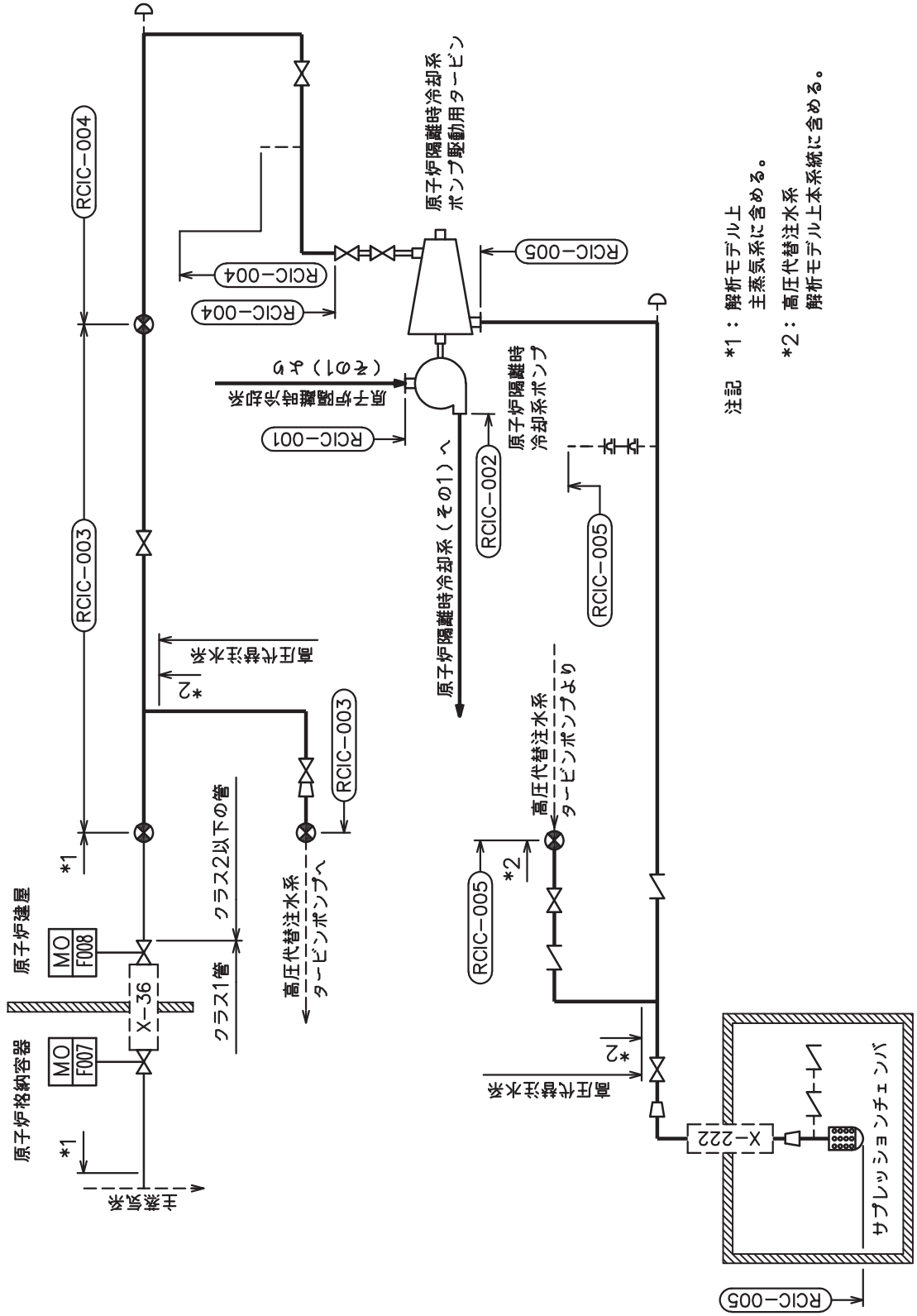
概略系統図記号凡例

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

注記 *1： 高圧炉心スプレイス
解析モデル上本系統に含める。
*2： 解析モデル上
復水給水系に含める。



原子炉隔離時冷却系概略系統図（その1）


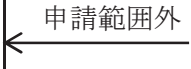




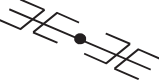

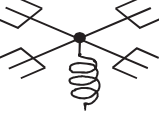
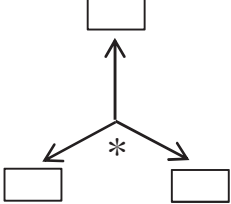


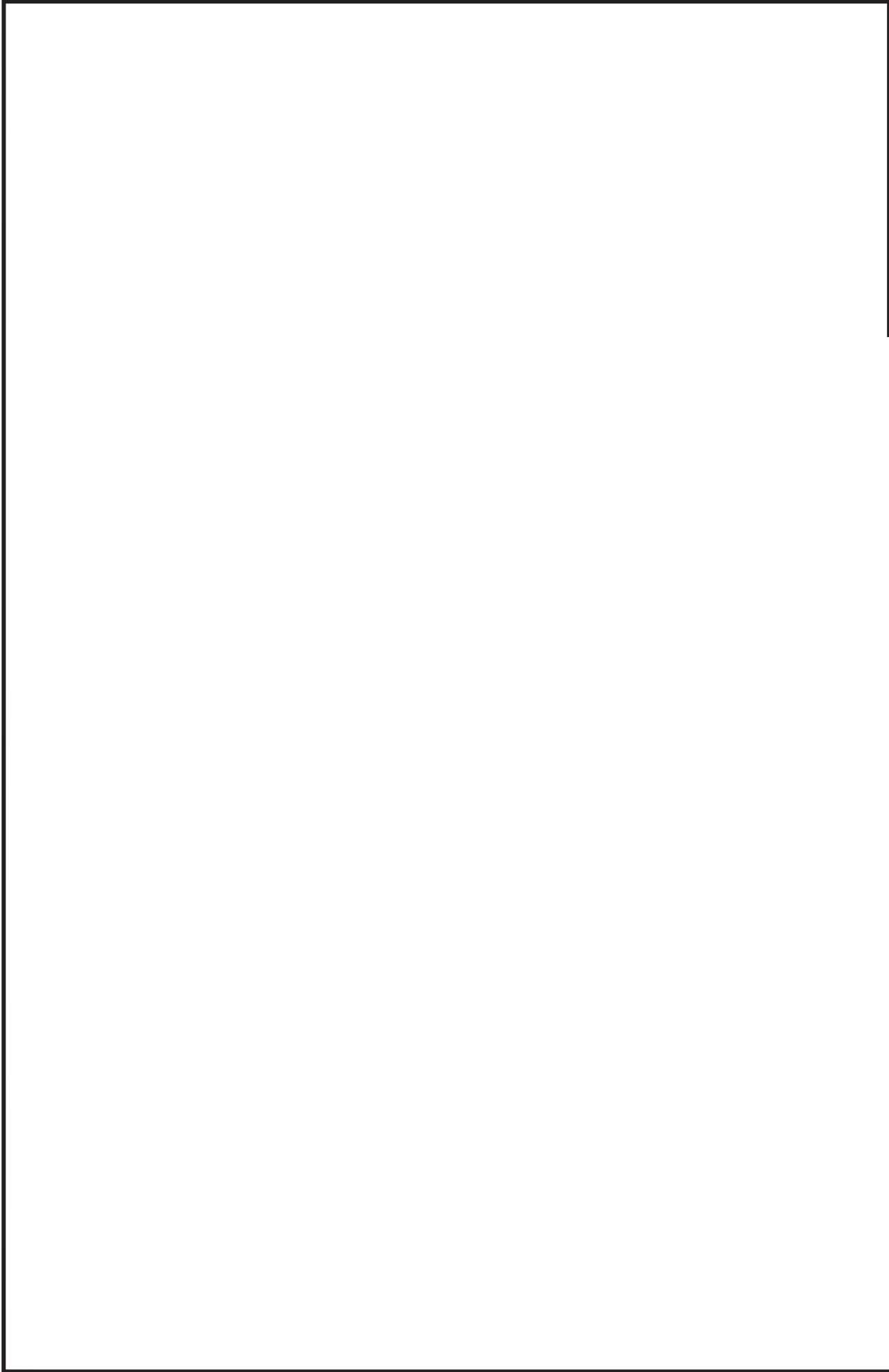
注記 *1: 解析モデル上
主蒸気系に含める。
*2: 高圧代替注水系
解析モデル上本系統に含める。

原子炉隔離時冷却系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

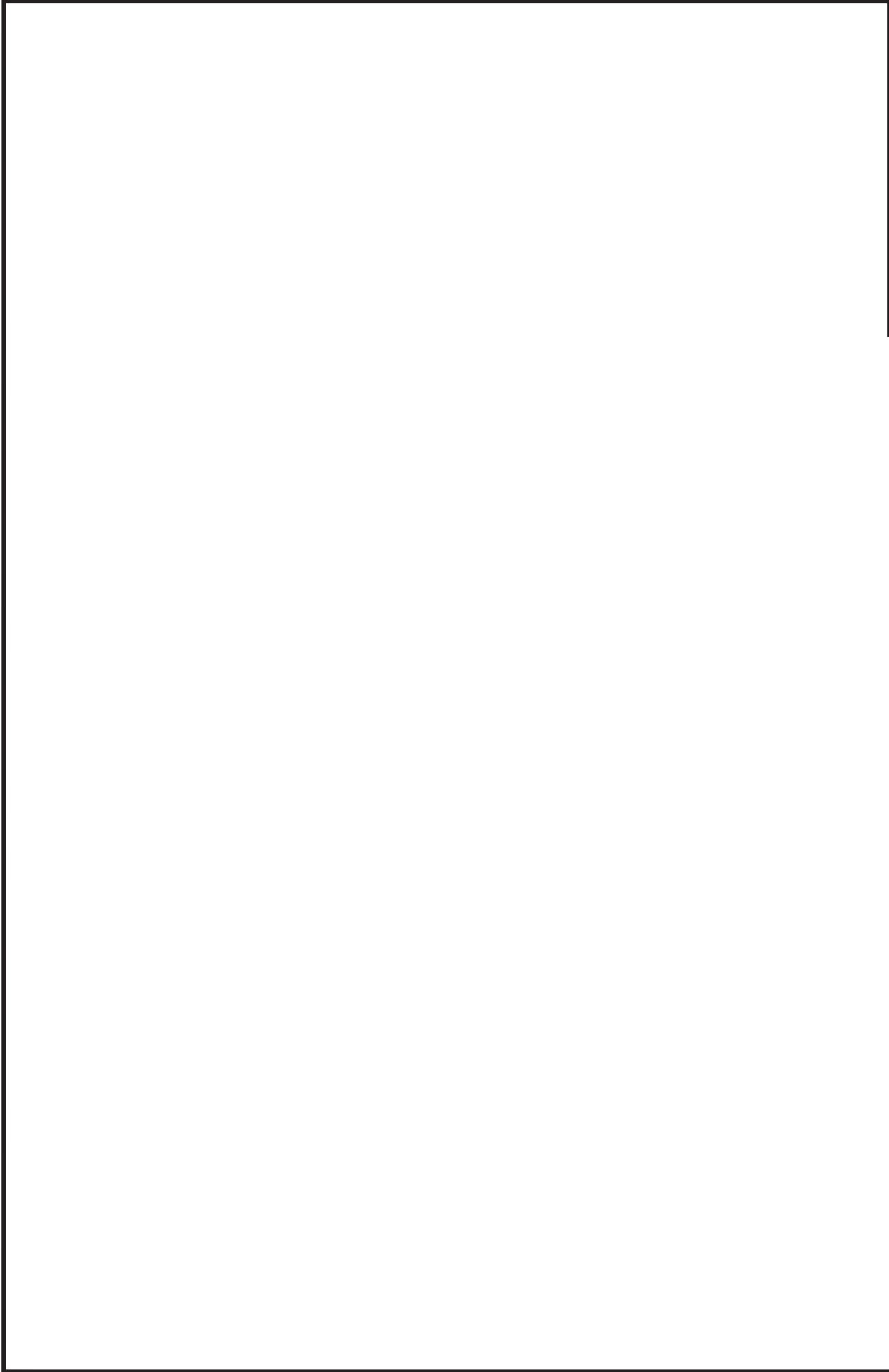
鳥瞰図記号凡例

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



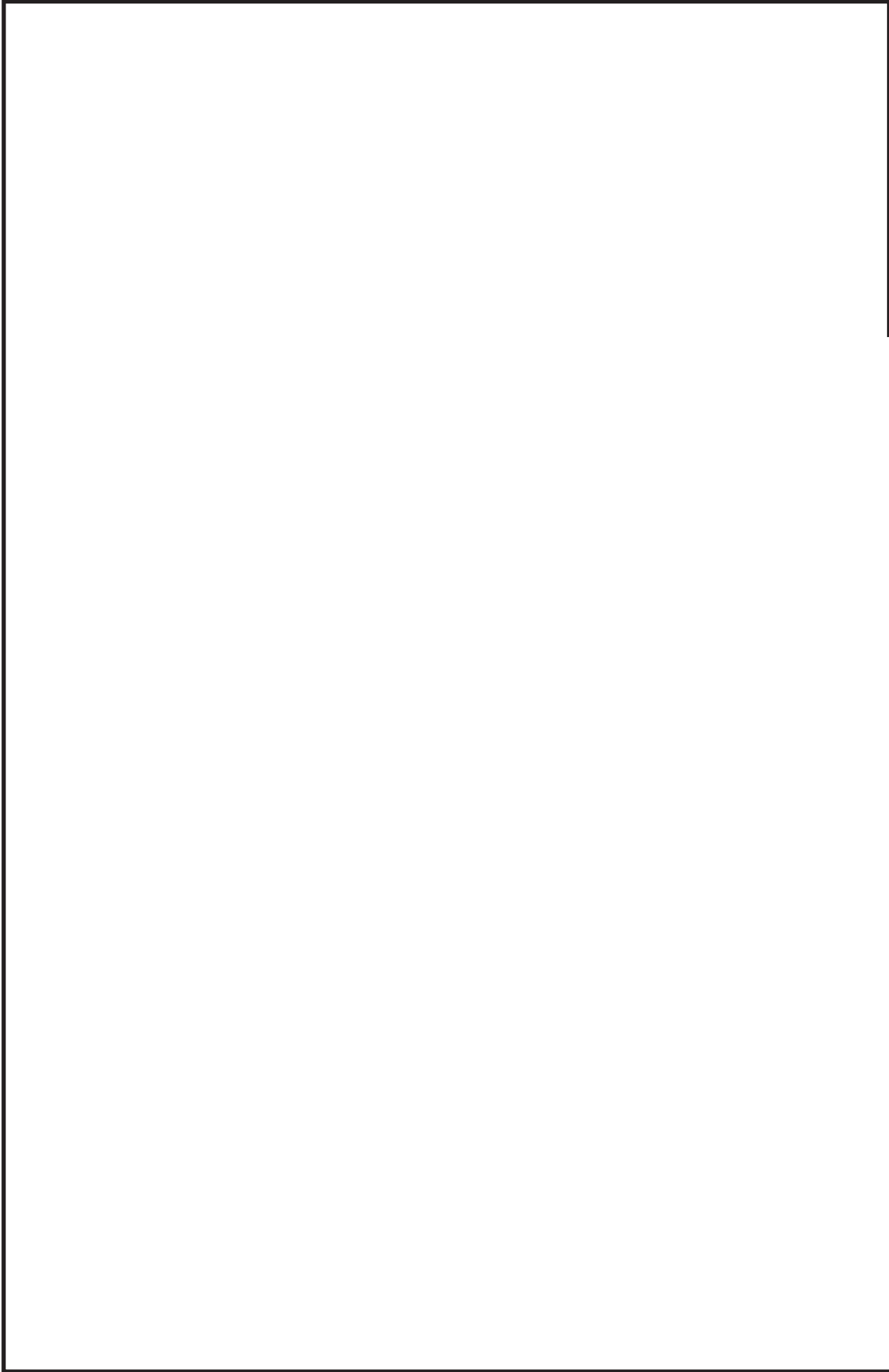
鳥瞰図 RCIC-002-1/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



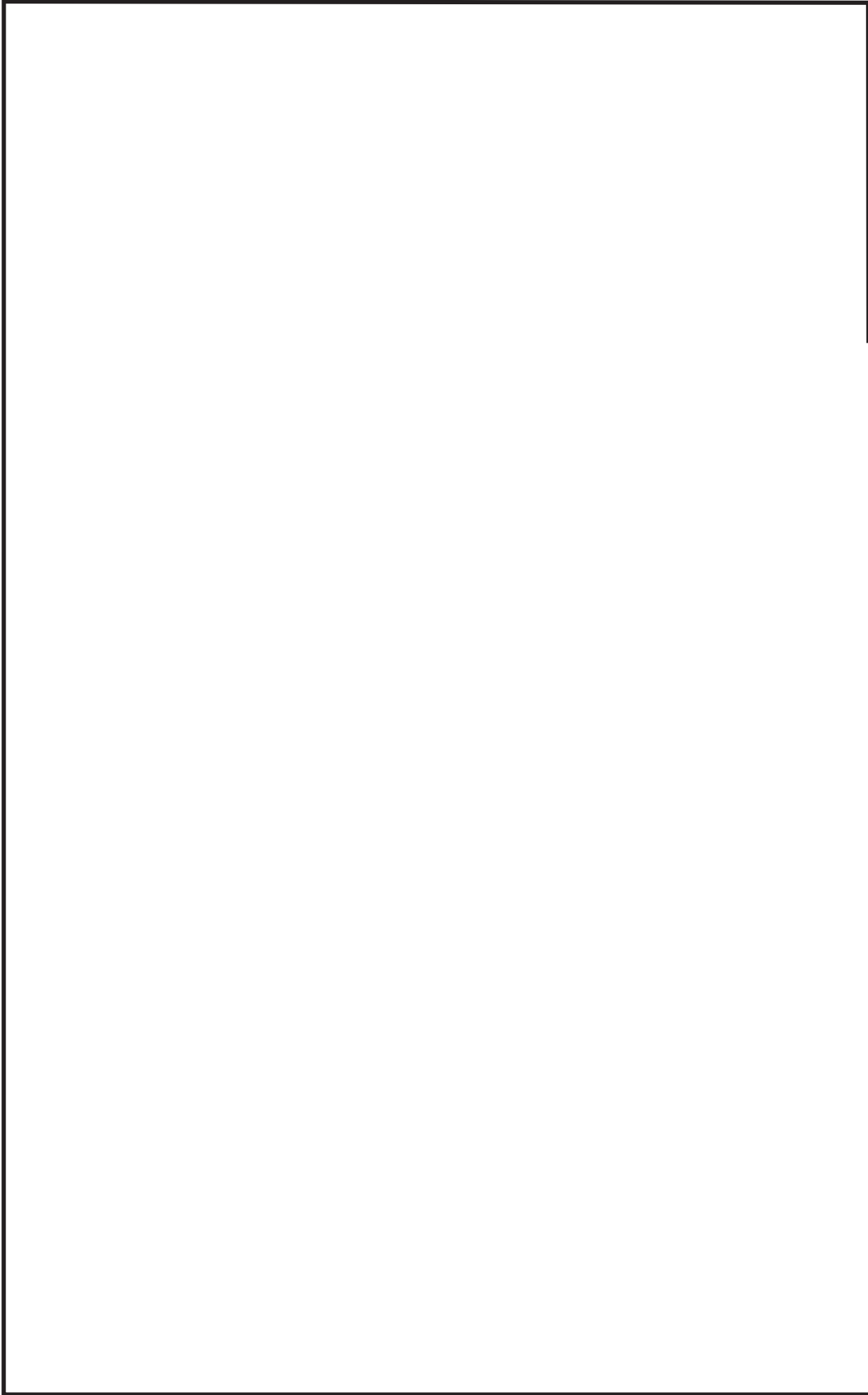
鳥瞰図 RCIC-002-2/3

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 | RCIC-002-3/3

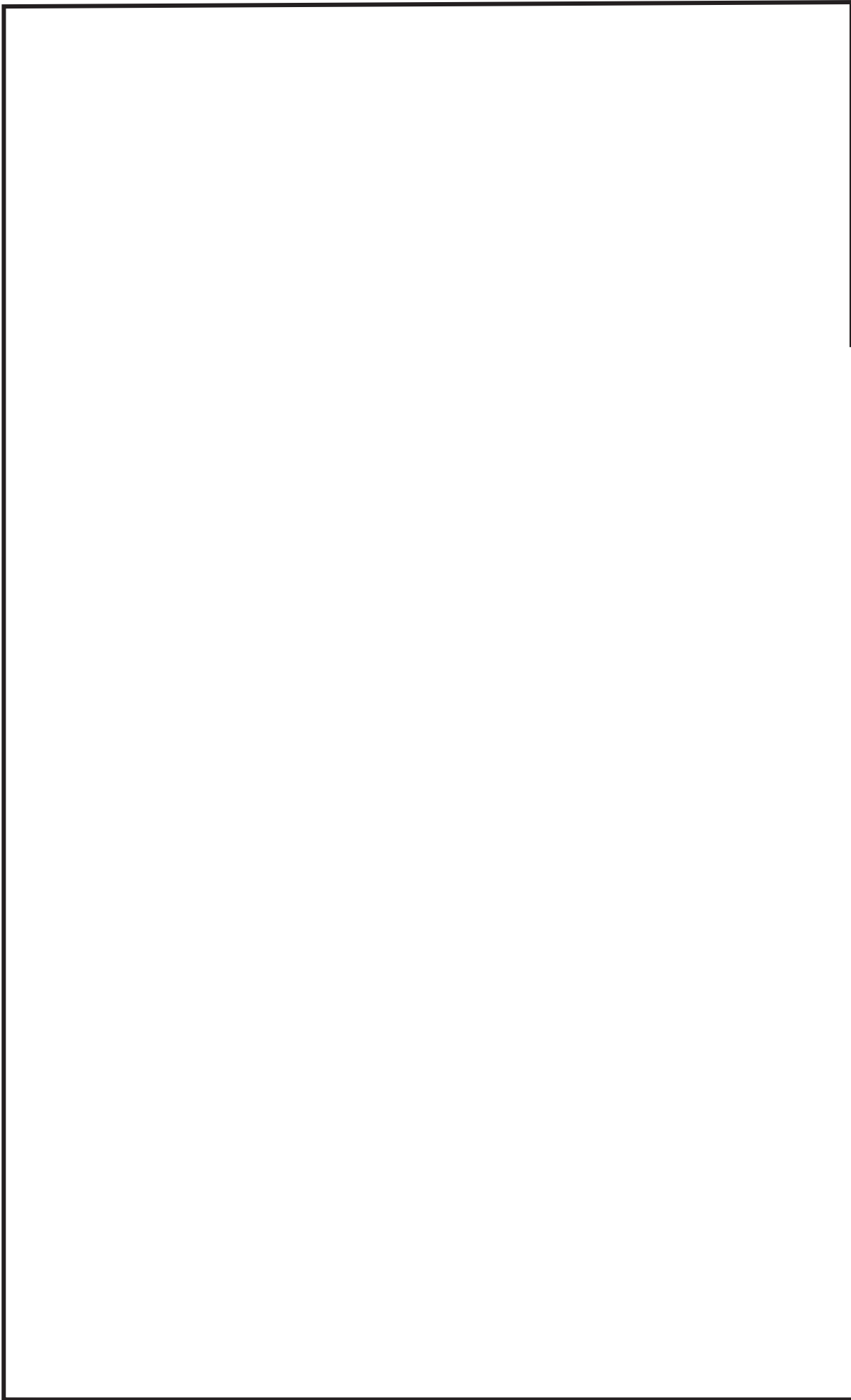
枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図

RCJC-004-1/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-004-2/2

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、「基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは、「I S A P」及び「S A P-V」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、添付書類「VI-5 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	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	SA	常設/防止 (DB 拡張)	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	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	高压代替注水系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	V_{AS}
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の 安全設備	高压代替注水系	SA	常設/緩和	重大事故等 クラス 2 管	—	$V_L + S_s$	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」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名称で区分し，管名称と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	11.77	66	114.3	13.5	STS410	—	200360

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	66	68	69
	70	71	72	73	74	101	102	103	105	106	851	852	911		

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		10		19		66		102	
2		11		20		68		103	
3		12		21		69		105	
4		13		22		70		106	
5		14		23		71		851	
6		15		24		72		852	
7		16		25		73		911	
8		17		26		74			
9		18		27		101			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 2

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
5						
10						
18						
23						
27						
66						
70						
74						
911						

設計条件

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

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	10.34	315	114.3	11.1	STS410	—	183200
2	8.62	302	114.3	11.1	STS410	—	184760

設計条件

管名称と対応する評価点
 評価点の位置は鳥瞰図に示す。

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

管名称	対 応 す る 評 価 点														
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	801
	803	807	808	809	900	901	906								
2	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	46	50	804	805
	907	908													

配管の質量（付加質量含む）

評価点の質量を下表に示す。

評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)	評価点	質量(kg)
1		12		23		37		807	
2		13		24		38		808	
3		14		25		39		809	
4		15		26		40		900	
5		16		27		41		901	
6		17		28		46		906	
7		18		32		50		907	
8		19		33		801		908	
9		20		34		803			
10		21		35		804			
11		22		36		805			

弁部の質量を下表に示す。

弁 1

評価点	質量(kg)
29	
30	
31	
44	
45	

弁部の寸法を下表に示す。

弁NO.	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
弁1				

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 R C I C - 0 0 4

支持点部のばね定数を下表に示す。

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1						
8						
13						
18						
22						
26						
28						
33						
41						
45						
** 45 **						
46						
** 50 **						
900						
** 901 **						
906						
** 907 **						
908						

--

O 2 ⑤ VI-2-5-6-1-3(重) R 0

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

3.4 材料及び許容応力評価条件

使用する材料の最高使用温度での許容応力評価条件を下表に示す。

材料	最高使用温度 (°C)	S m (MPa)	S y (MPa)	S u (MPa)	S h (MPa)
STS410	66	—	231	407	—
	302	—	182	404	—
	315	—	180	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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 2	原子炉建屋		

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、添付書類「VI-2-1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づき
 策定したものをを用いる。また、減衰定数は、添付書類「VI-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
 に記載の減衰定数を用いる。

鳥 瞰 図	建物・構築物	標高(O.P. (m))	減衰定数(%)
R C I C - 0 0 4	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 R C I C - 0 0 2

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

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：固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C₁及び1.2C_vより定めた震度を示す。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

各モードに対応する刺激係数

鳥瞰図 R C I C - 0 0 2

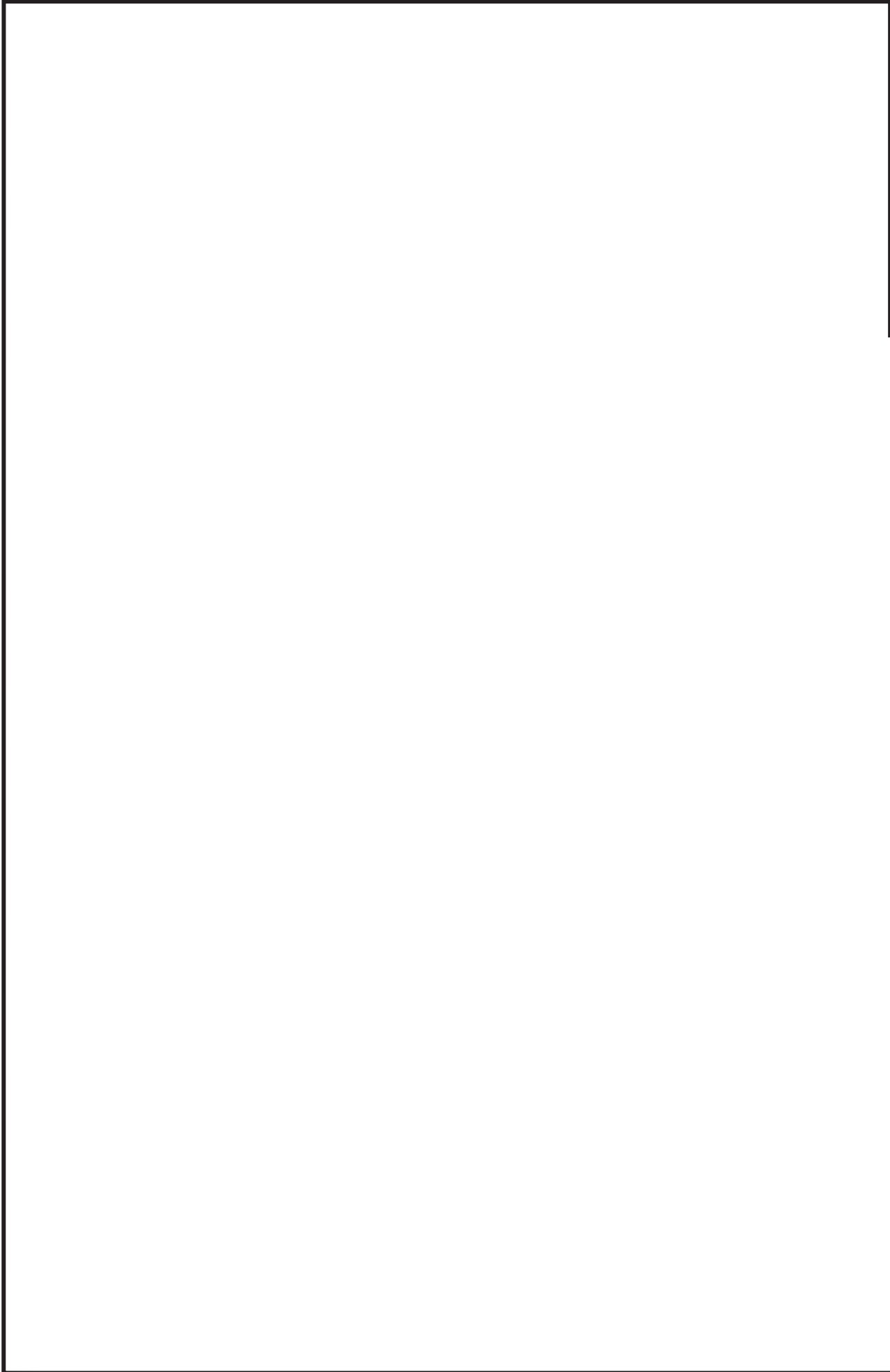
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X 方向	Y 方向	Z 方向
1 次	0.113	0.008	0.001	0.356
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
19 次				

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。

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

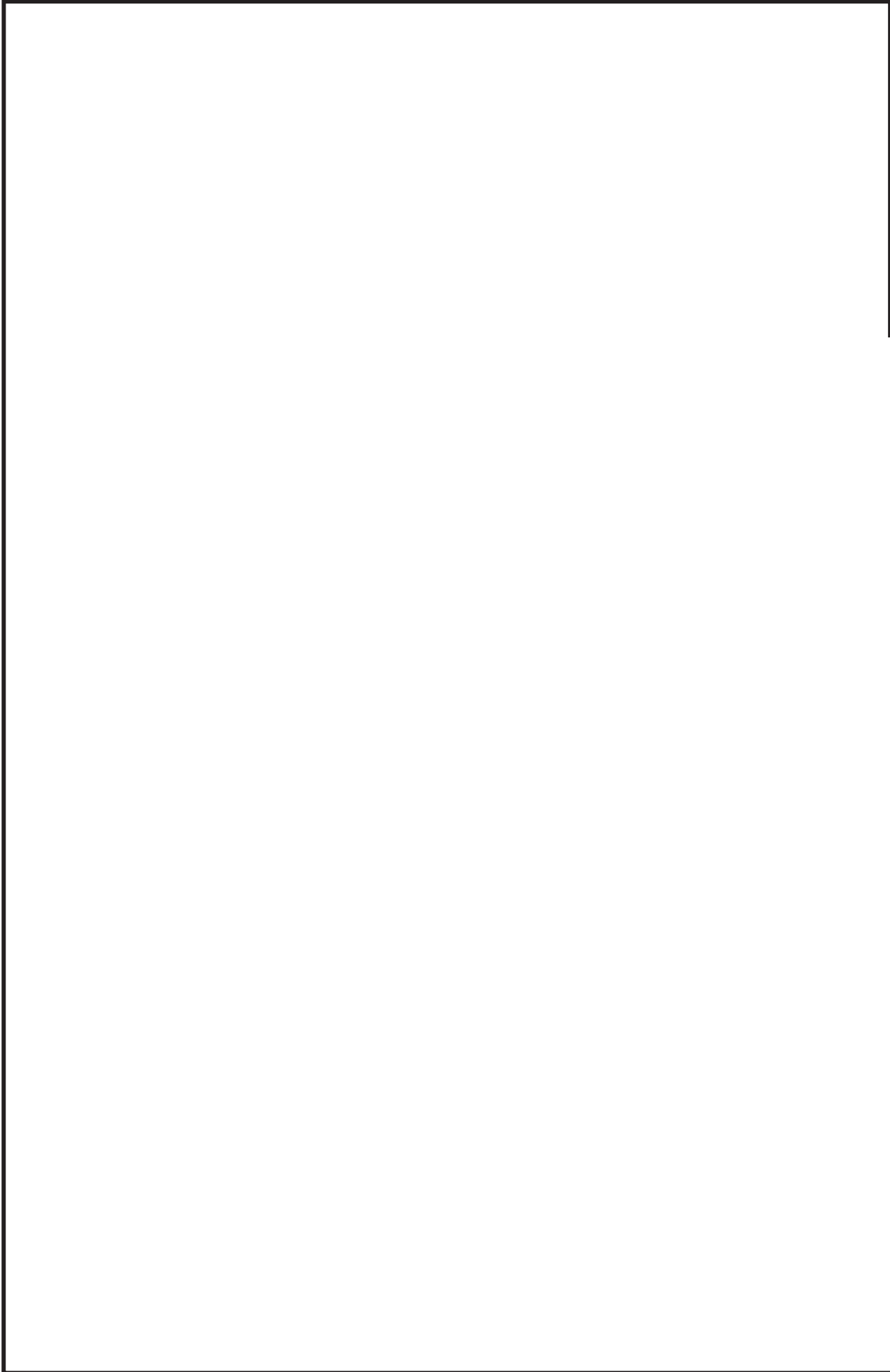
代表的振動モード図

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。



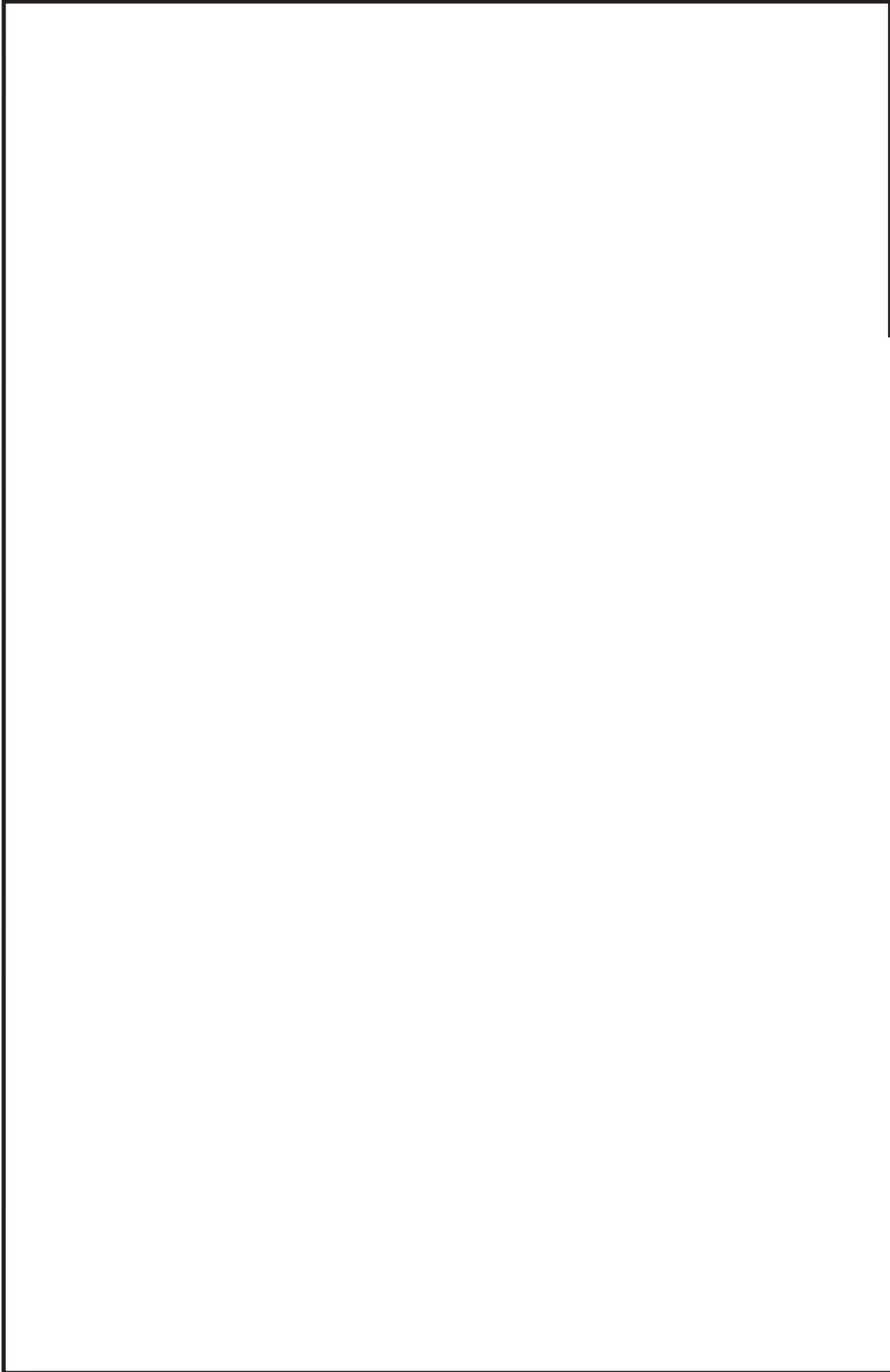
鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-002

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 R C I C - 0 0 4

モード	適用する地震動等		S d 及び静的震度				S s	
	固有周期 (s)	応答水 平震度*1	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		X 方 向	Z 方 向	
1 次								
2 次								
3 次								
4 次								
5 次								
6 次								
7 次								
8 次								
9 次								
10 次*2								
動的震度*3								
静的震度*4								

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：固有周期が0.050s以下であることを示す。
 *3：S d又はS s地震動に基づく設計用最大床応答加速度より定めた震度を示す。
 *4：3.6C_I及び1.2C_Vより定めた震度を示す。

各モードに対応する刺激係数

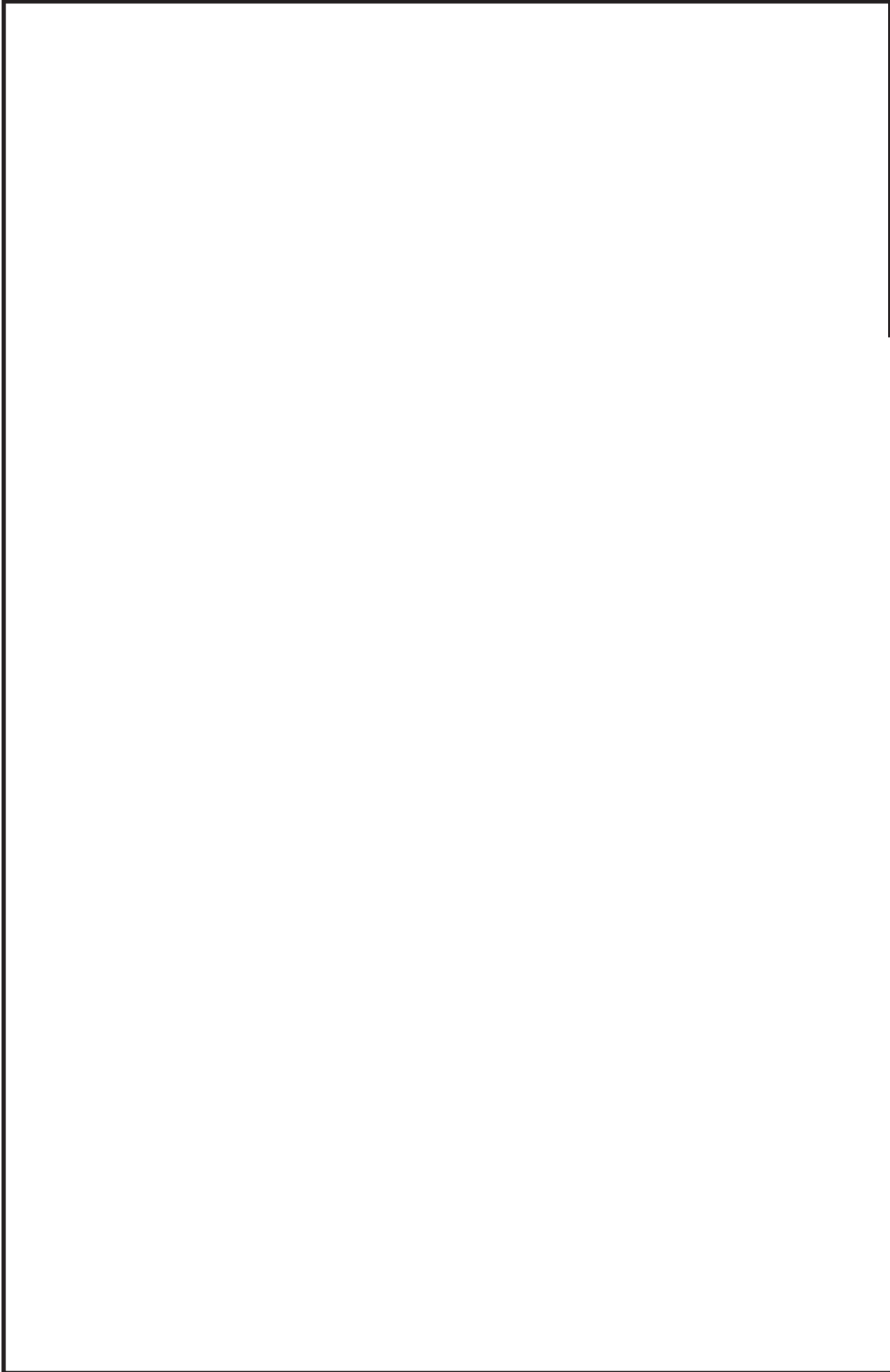
鳥瞰図 R C I C - 0 0 4

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				
9 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。

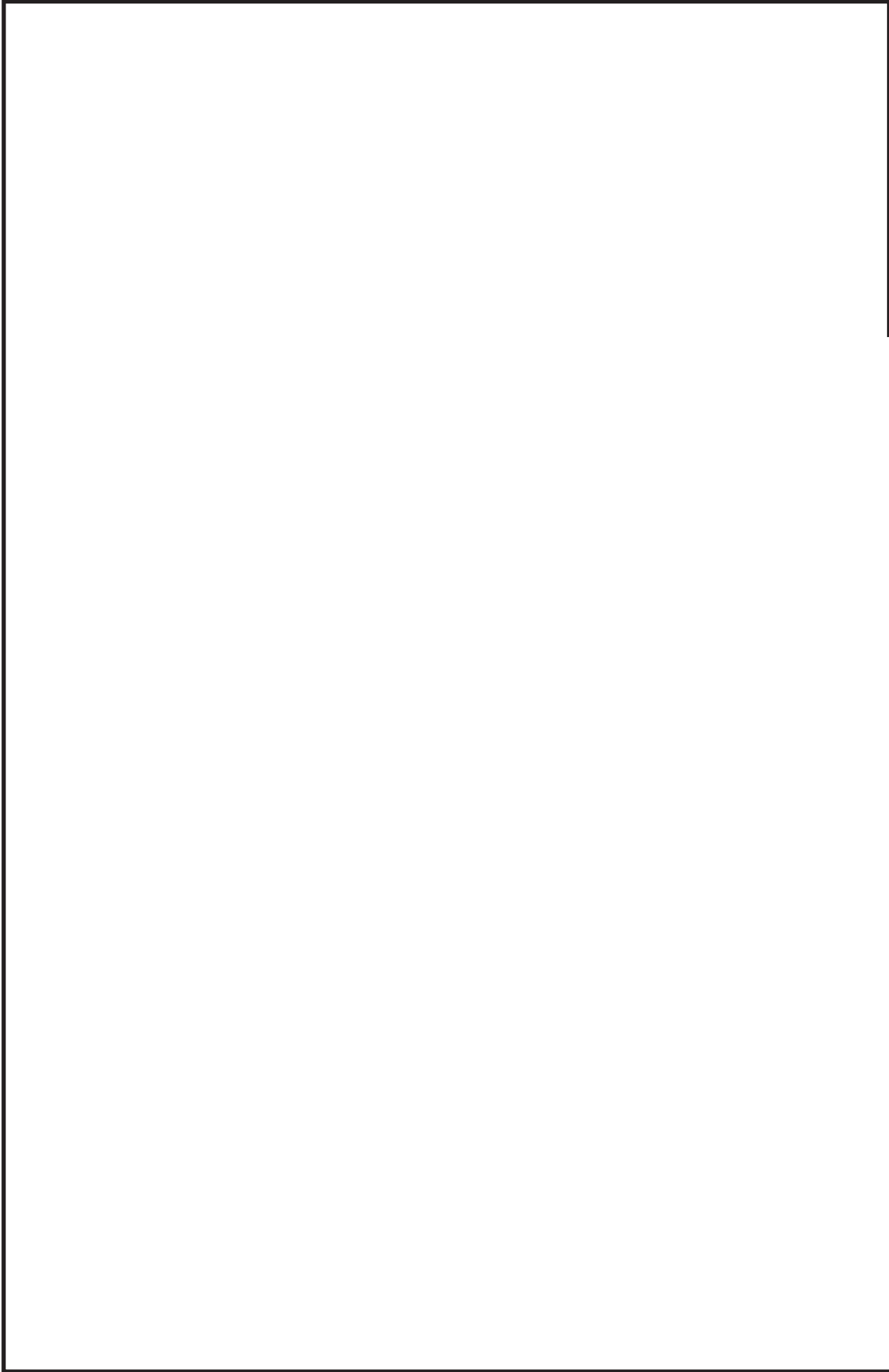
代表的振動モード図

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。



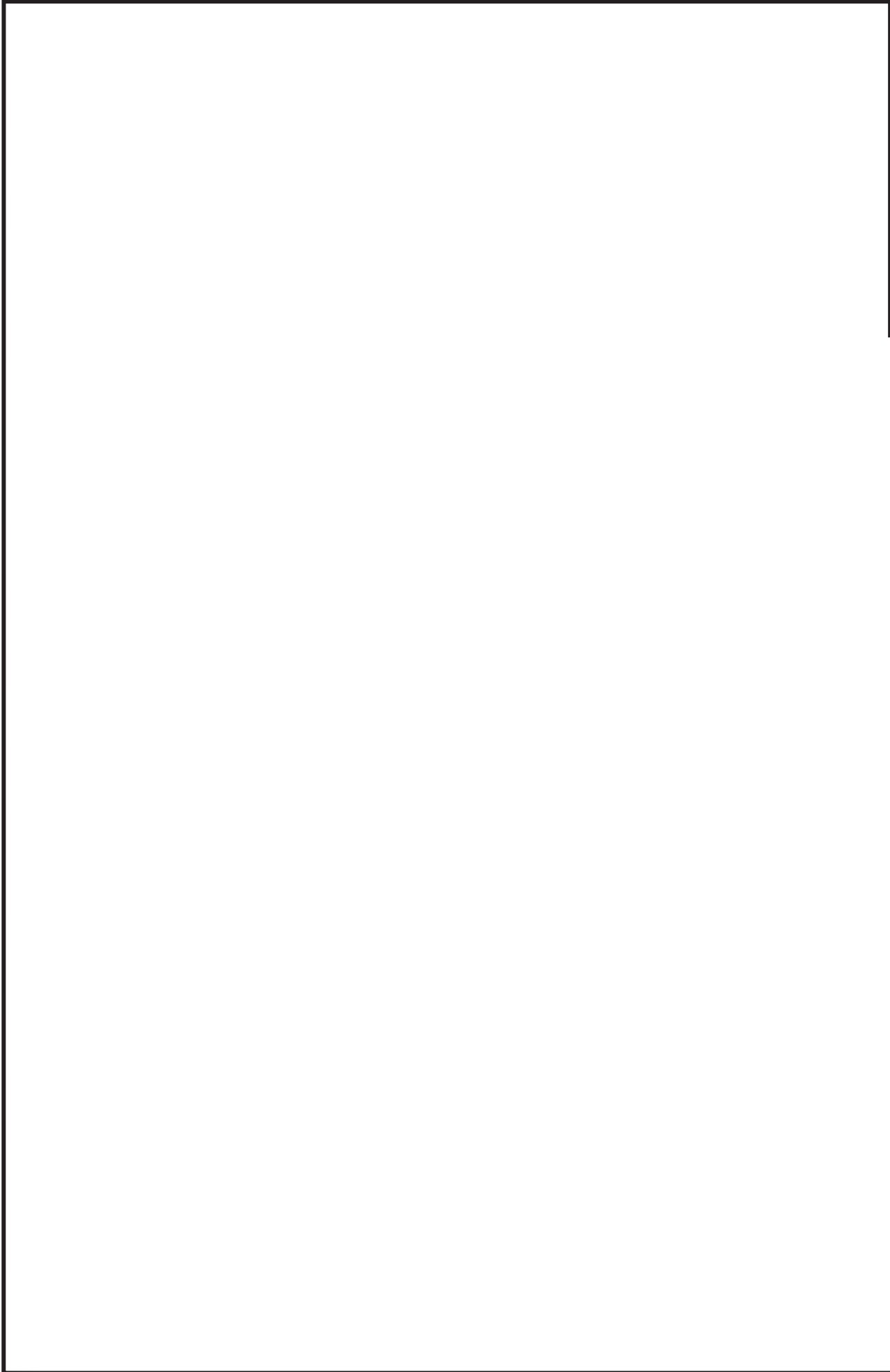
鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。



鳥瞰図 RCIC-004

枠囲みの内容は商業機密の観点から公開できません。

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管であってクラス2以下の管

鳥瞰図	許容応力 状態	最大応力 評価点	最大応力 区分	一次応力評価 (MPa)		一次+二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 Sprm(Ss)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn(Ss)	許容応力 2・Sy	
R C I C - 0 0 2	V _A S	12	Spr m(S s)	161	366	—	—	—
	V _A S	12	Sn(S s)	—	—	279	462	—

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 Sprm(Ss)	許容応力 0.9・Su	計算応力 Sn(Ss)	許容応力 2・Sy	
R C I C - 0 0 4	V _A S V _A S	1 1	Spr m(S s) S n(S s)	129 —	363 —	— 270	— 360	— U S s

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果	
					計算 荷重 (kN)	許容 荷重 (kN)
RCIC-005-107S	メカニカルスナッパ	SMS-3-100	添付書類「VI-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐 震計算について」参照		20	75
RCIC-005-916S	メカニカルスナッパ	SMS-3-100			17	75
RCIC-005-033B	ロッドレストレイント	RTS-6			21	90
RCIC-005-070H	スプリングハンガ	VS30T-12			7	8

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z				
RCIC-003-001A	アンカ	ラダ	SGV410	315	75	44	49	11	3	13	せん断	51	94	
RCIC-002-911R	レストレイント	Uプレート	SS400	66	0	5	65	—	—	—	せん断	114	135	

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

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

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

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

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

No.	配管モデル	許容応力状態 VAS														
		一次応力						一次+二次応力						疲労評価		
		評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	疲労 累積 係数	代表		
1	RCIC-001	1	139	431	3.10	—	1	238	376	1.57	—	—	—	—		
2	RCIC-002	12	161	366	2.27	○	12	279	462	1.65	—	—	—	—		
3	RCIC-003	24	152	363	2.38	—	24	218	360	1.65	—	—	—	—		
4	RCIC-004	1	129	363	2.81	—	1	270	360	1.33	○	—	—	—		
5	RCIC-005	29	64	363	5.67	—	35	227	414	1.82	—	—	—	—		