

本資料のうち、枠組みの内容は、
営業秘密または防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	工認-606 改1
提出年月日	平成30年8月6日

V-2-5-5-2-3 管の耐震性についての計算書

赤枠部は改訂箇所を示す。

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	4
3. 計算条件	17
3.1 荷重の組合せ及び許容応力	17
3.2 設計条件	19
3.3 材料及び許容応力	35
3.4 設計用地震力	36
4. 解析結果及び評価	37
4.1 固有周期及び設計震度	37
4.2 評価結果	55
4.2.1 管の応力評価結果	55
4.2.2 支持構造物評価結果	57
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	58
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	59

1. 概要

本計算書は、「V-2-1-9 機能維持の基本方針」，「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」及び「V-2-1-14-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」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又は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通りである。

(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3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（裕度）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。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，種類及び型式ごとの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。





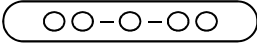
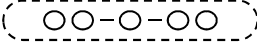

(3) 弁

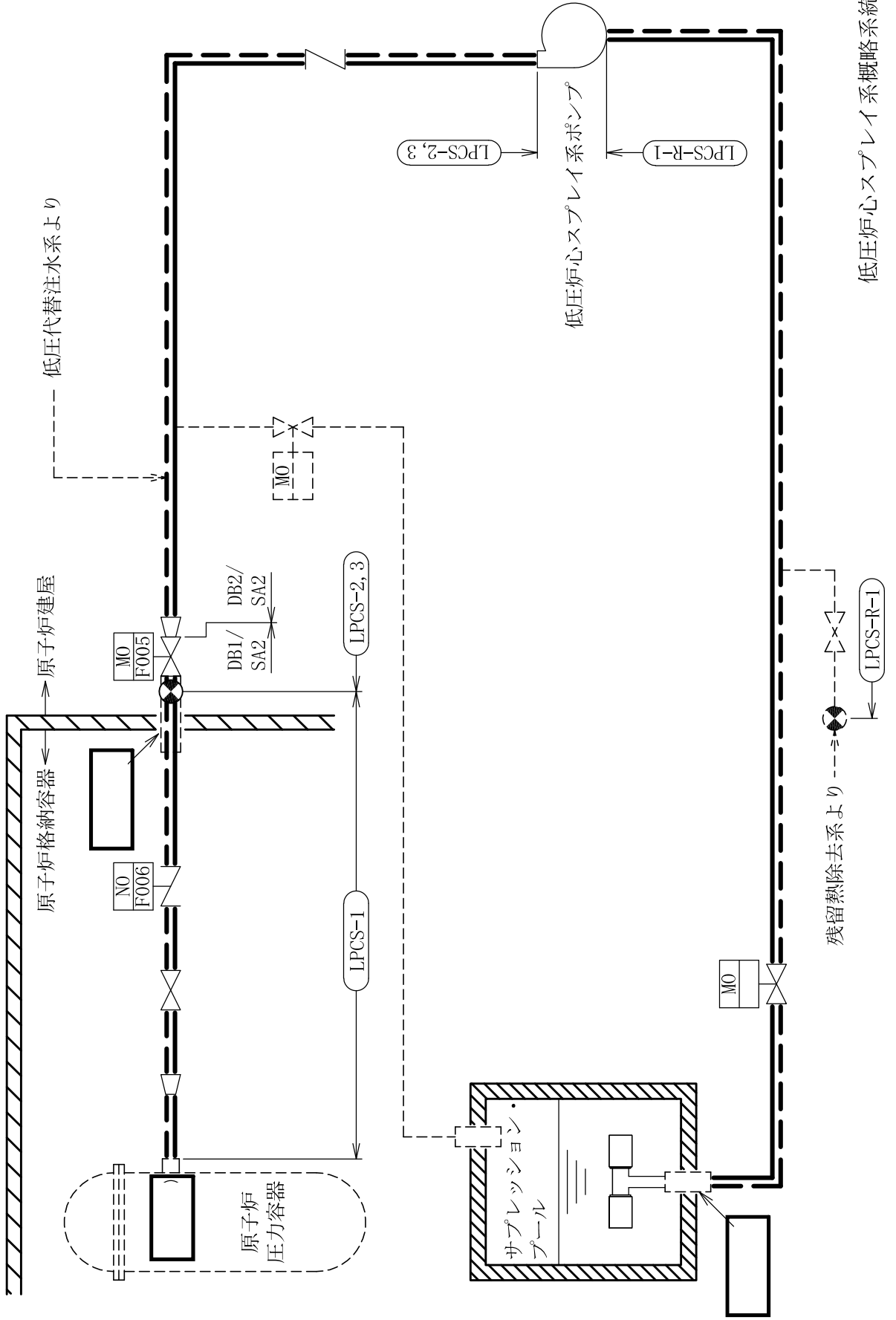
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図






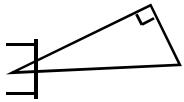
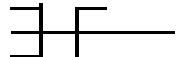

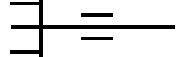
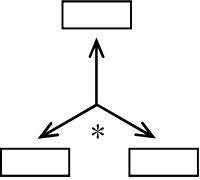
概略系統図記号凡例

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 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (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 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	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

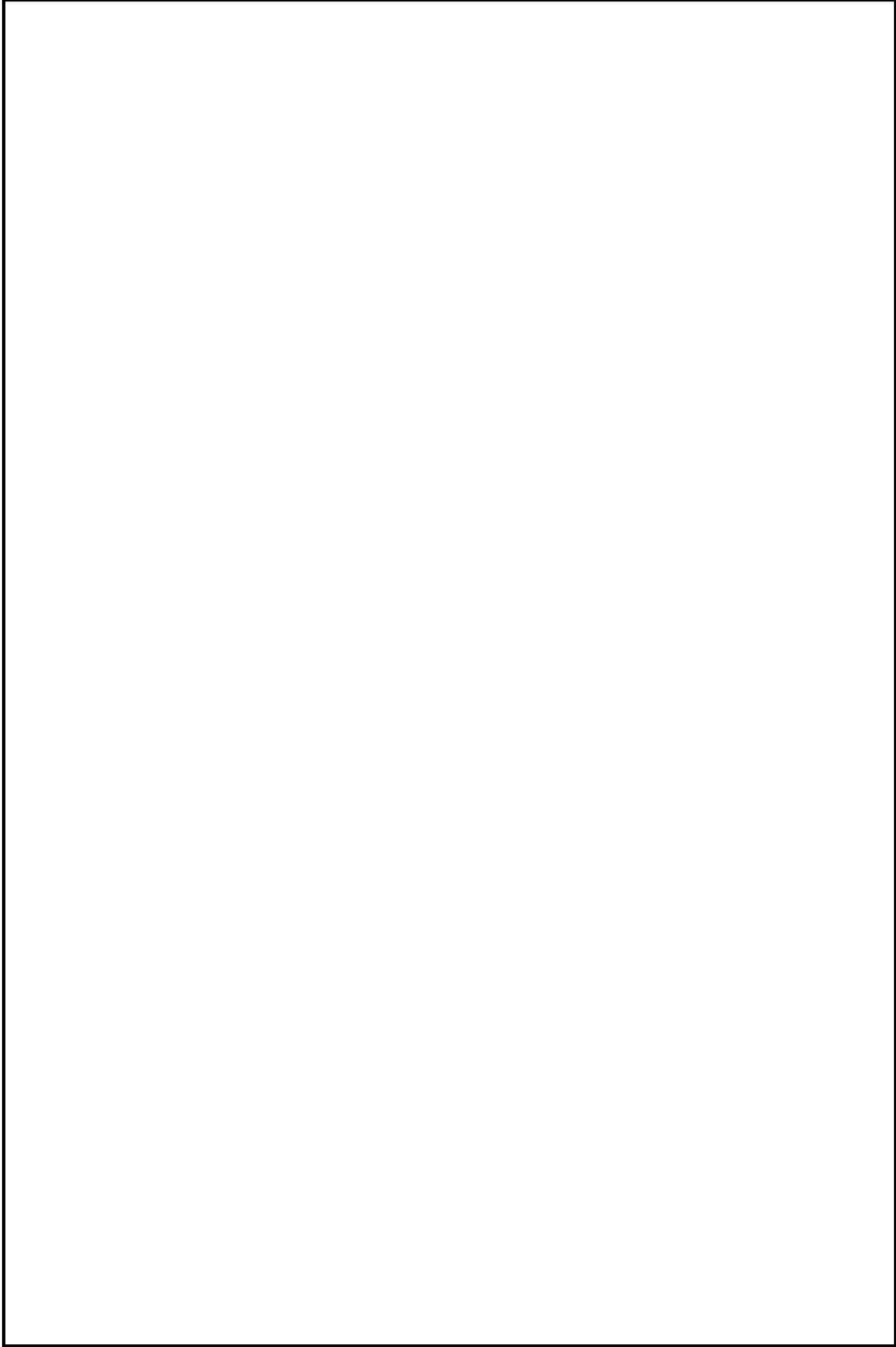


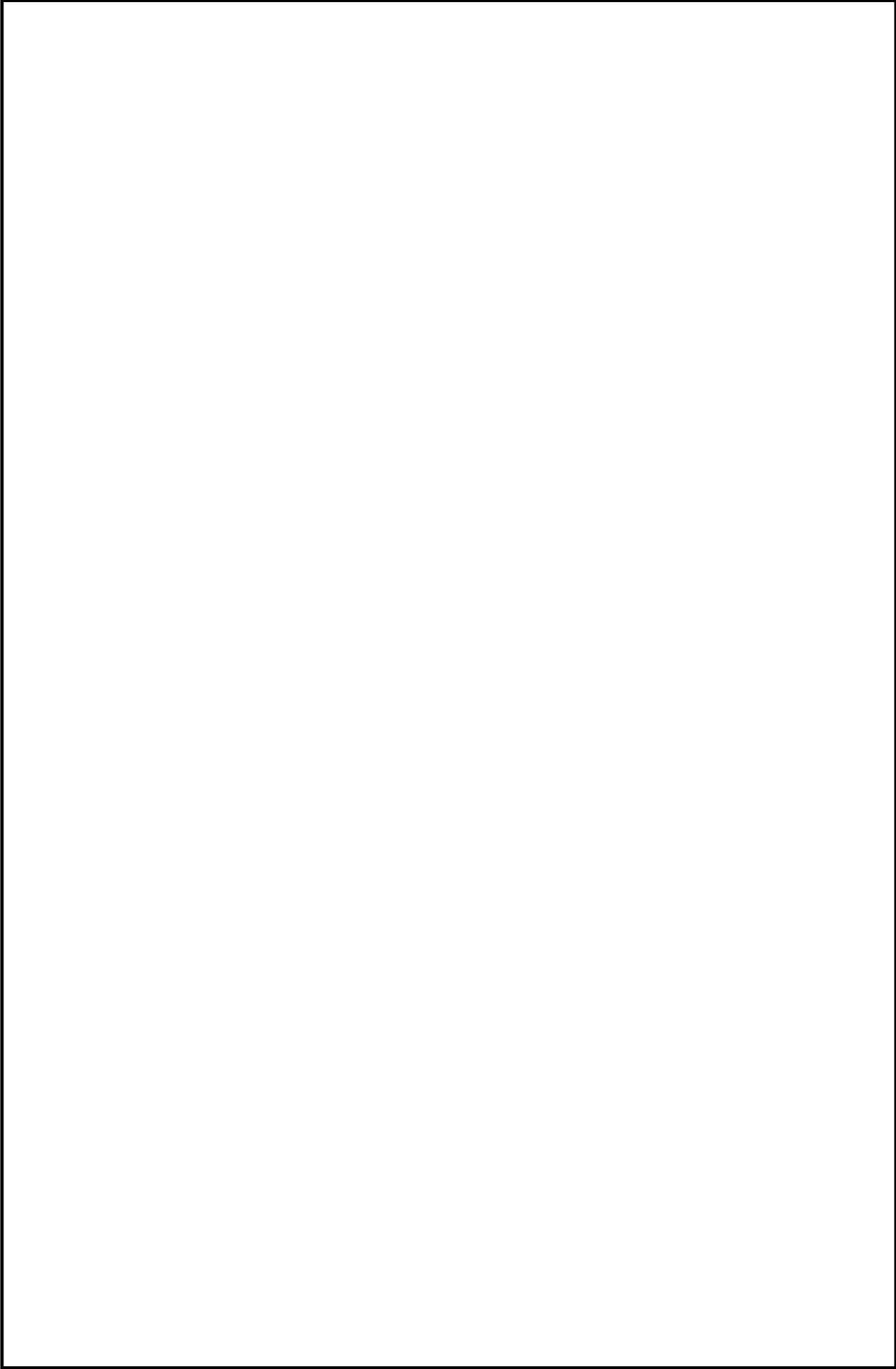
2.2 鳥瞰図

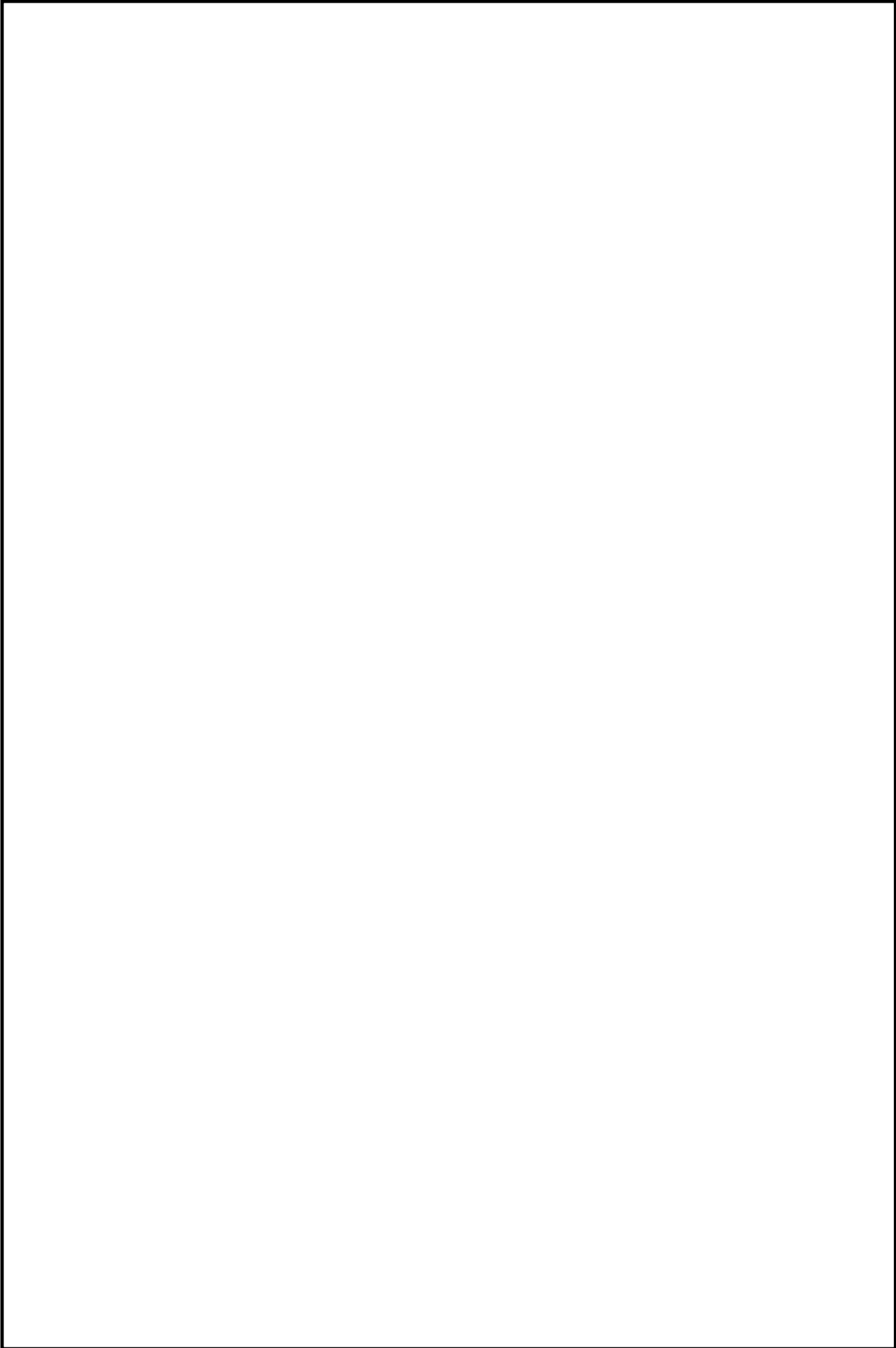
鳥瞰図記号凡例

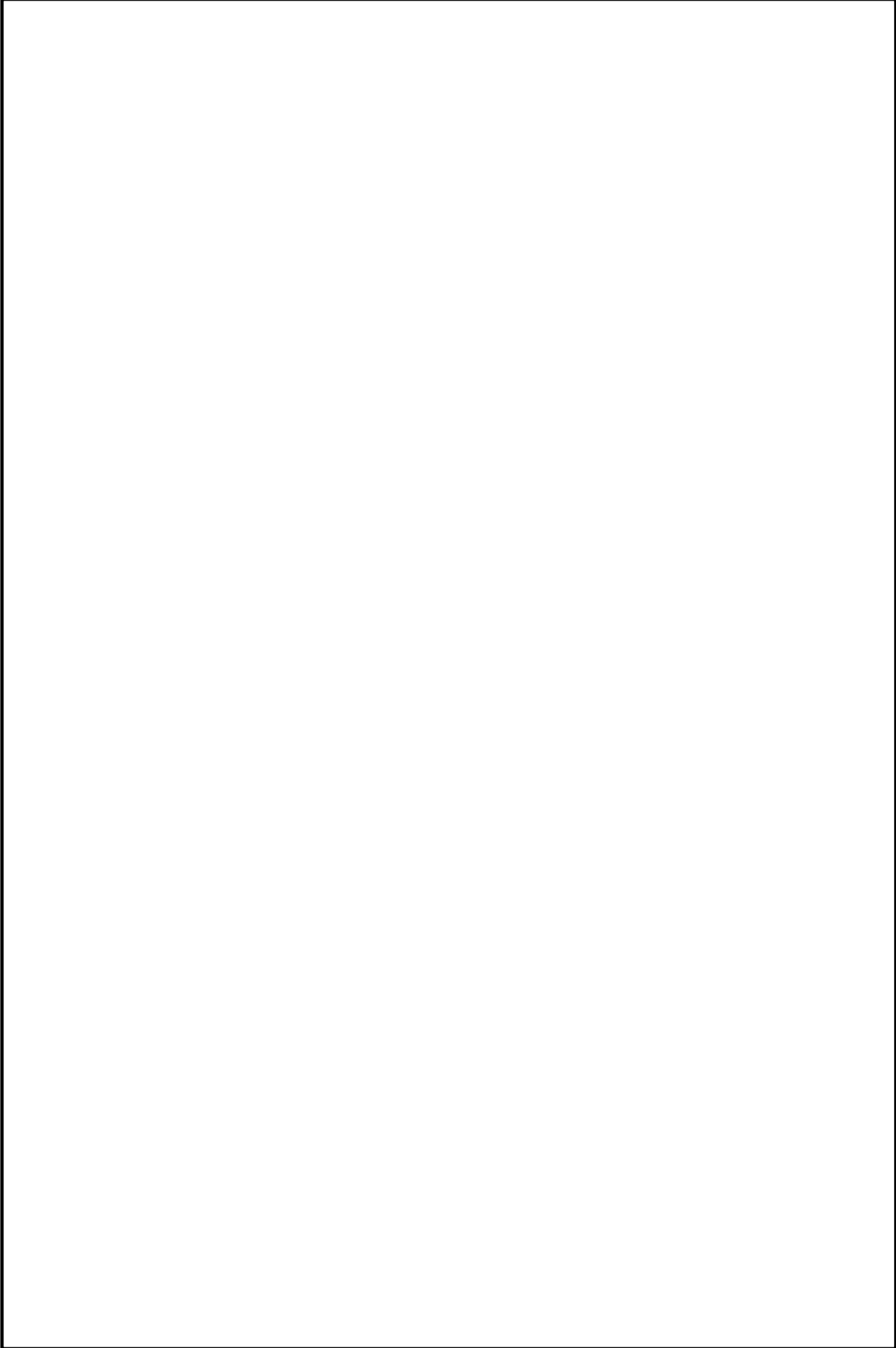
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち、他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント (本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッパについても同様とする。)
	スナッパ
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(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: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

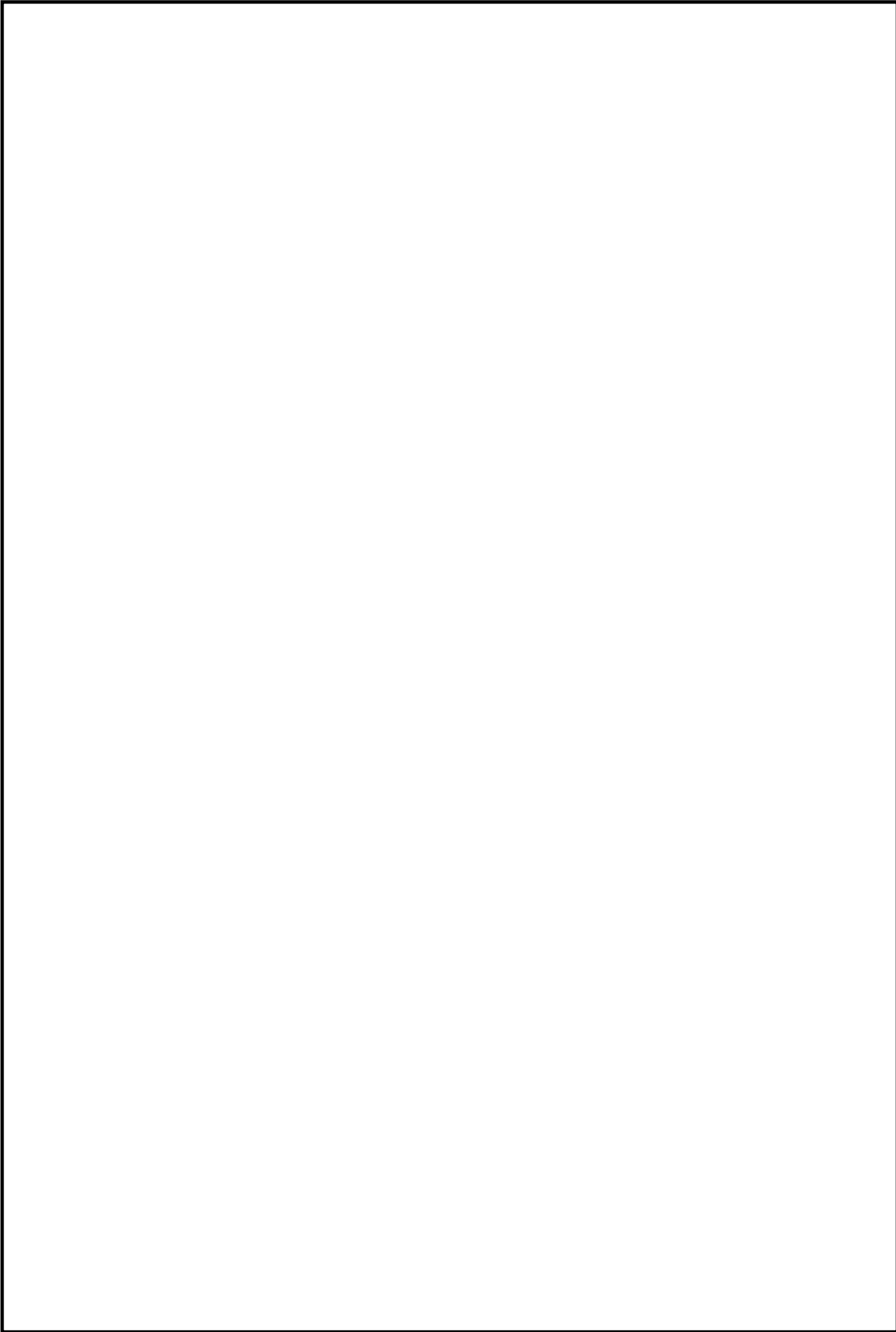
NT2 補③ V-2-5-5-2-3 R0

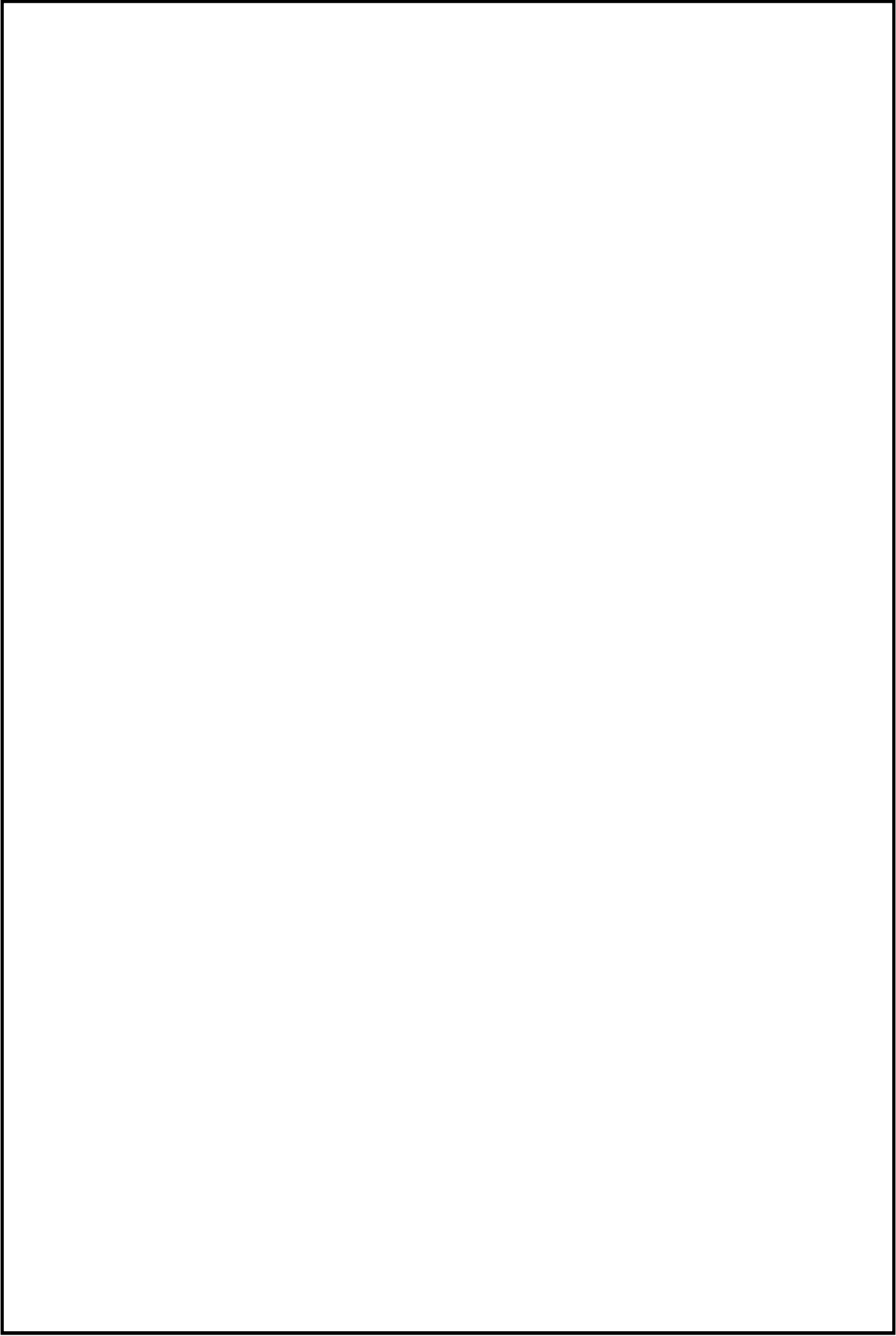


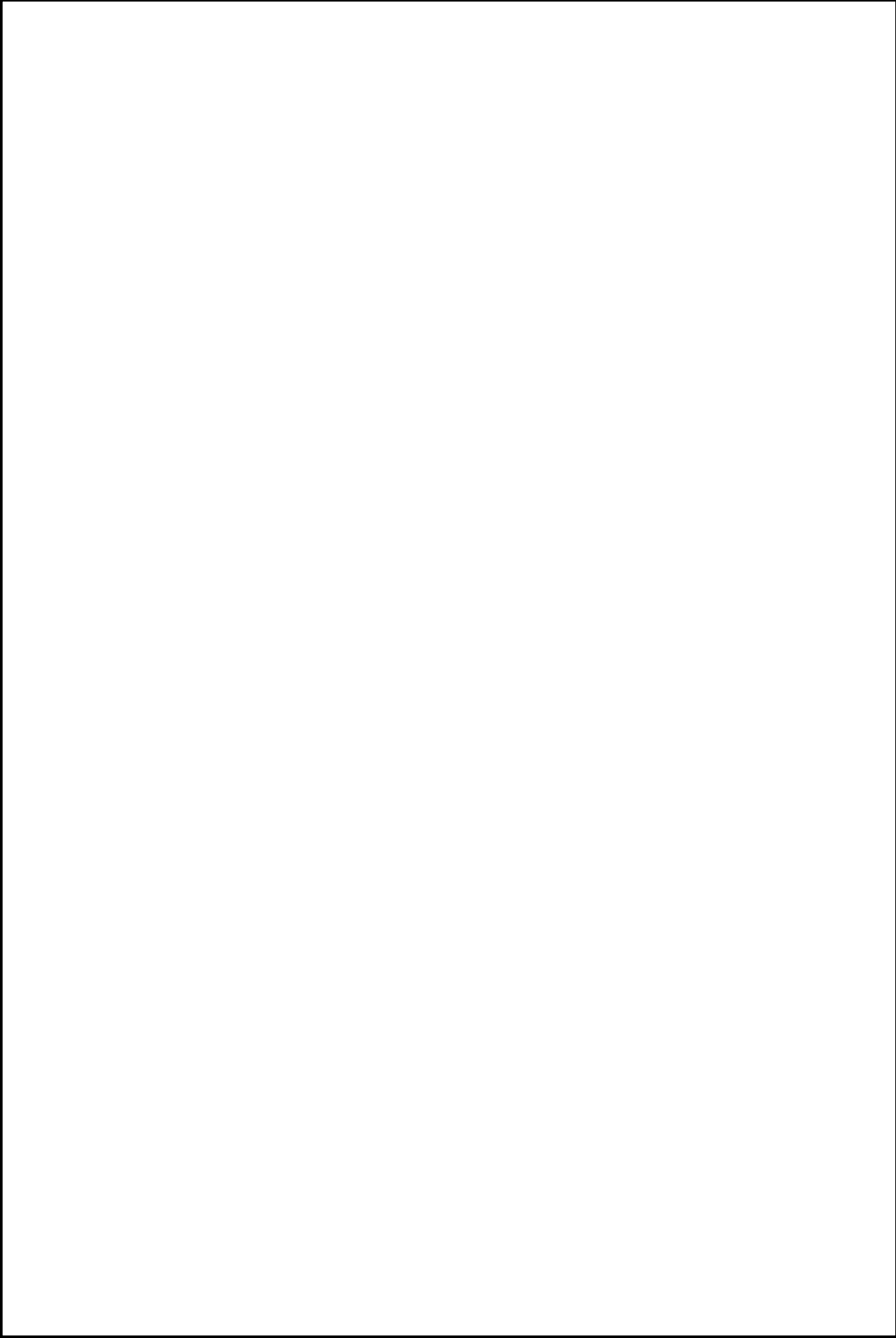


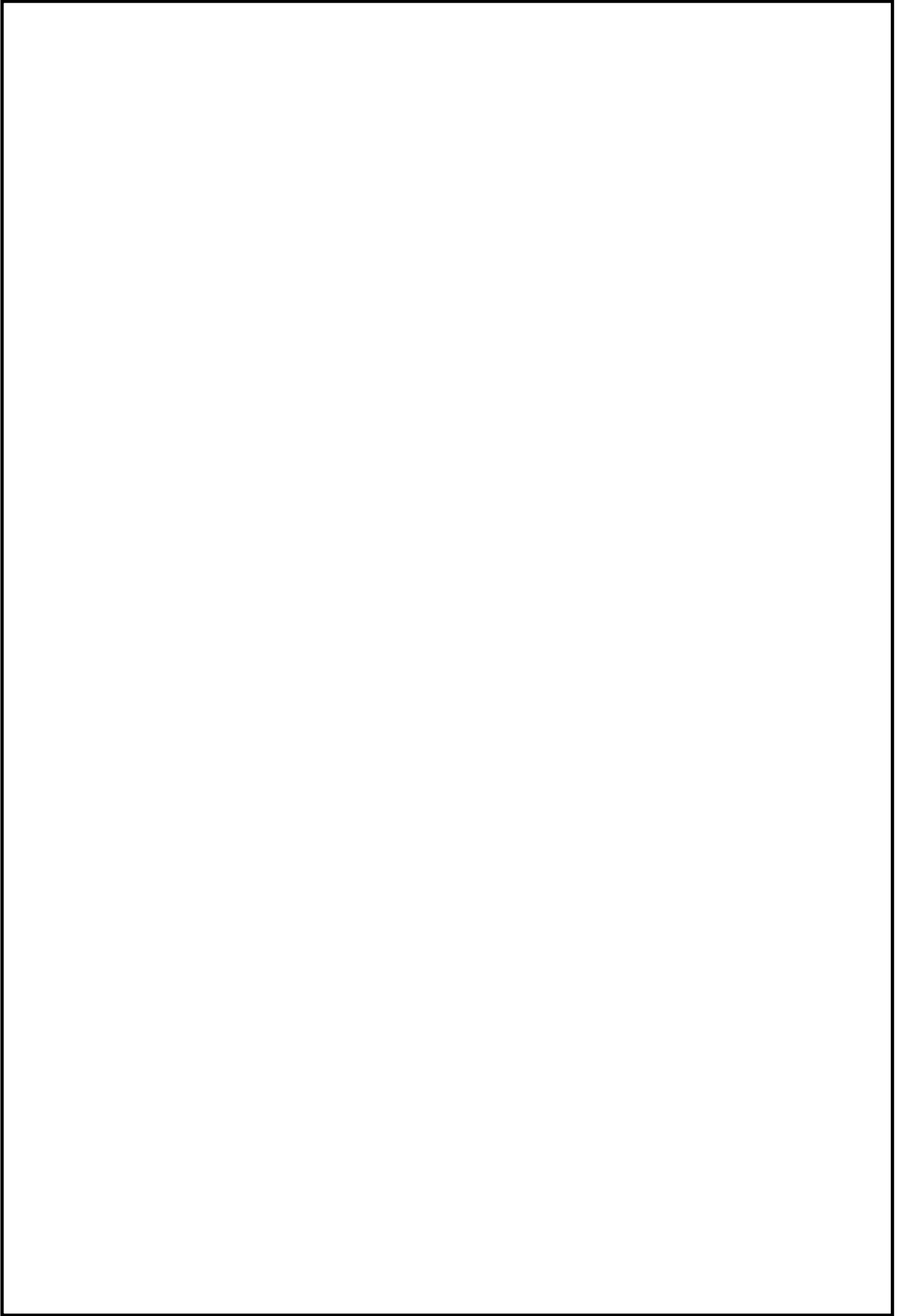


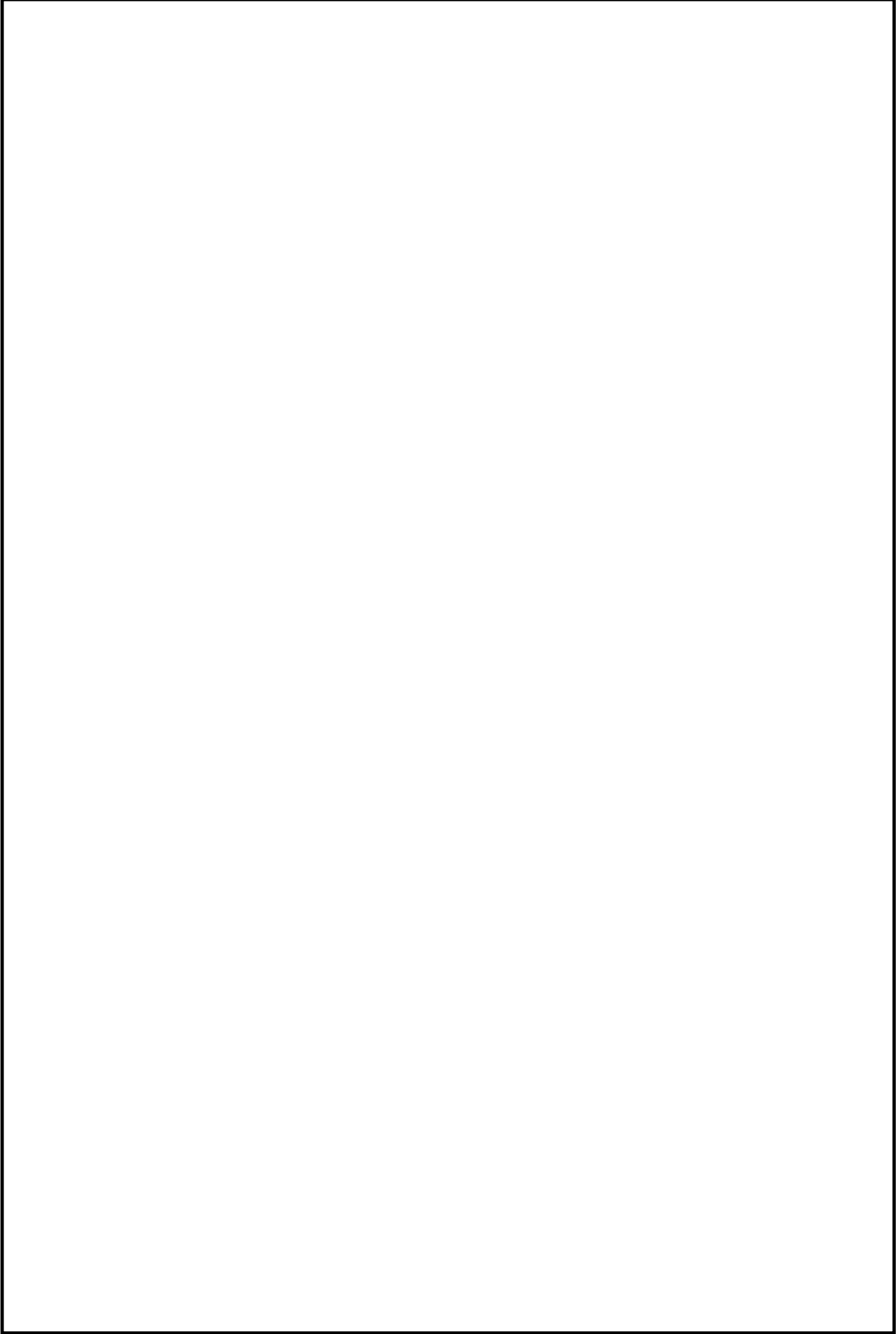


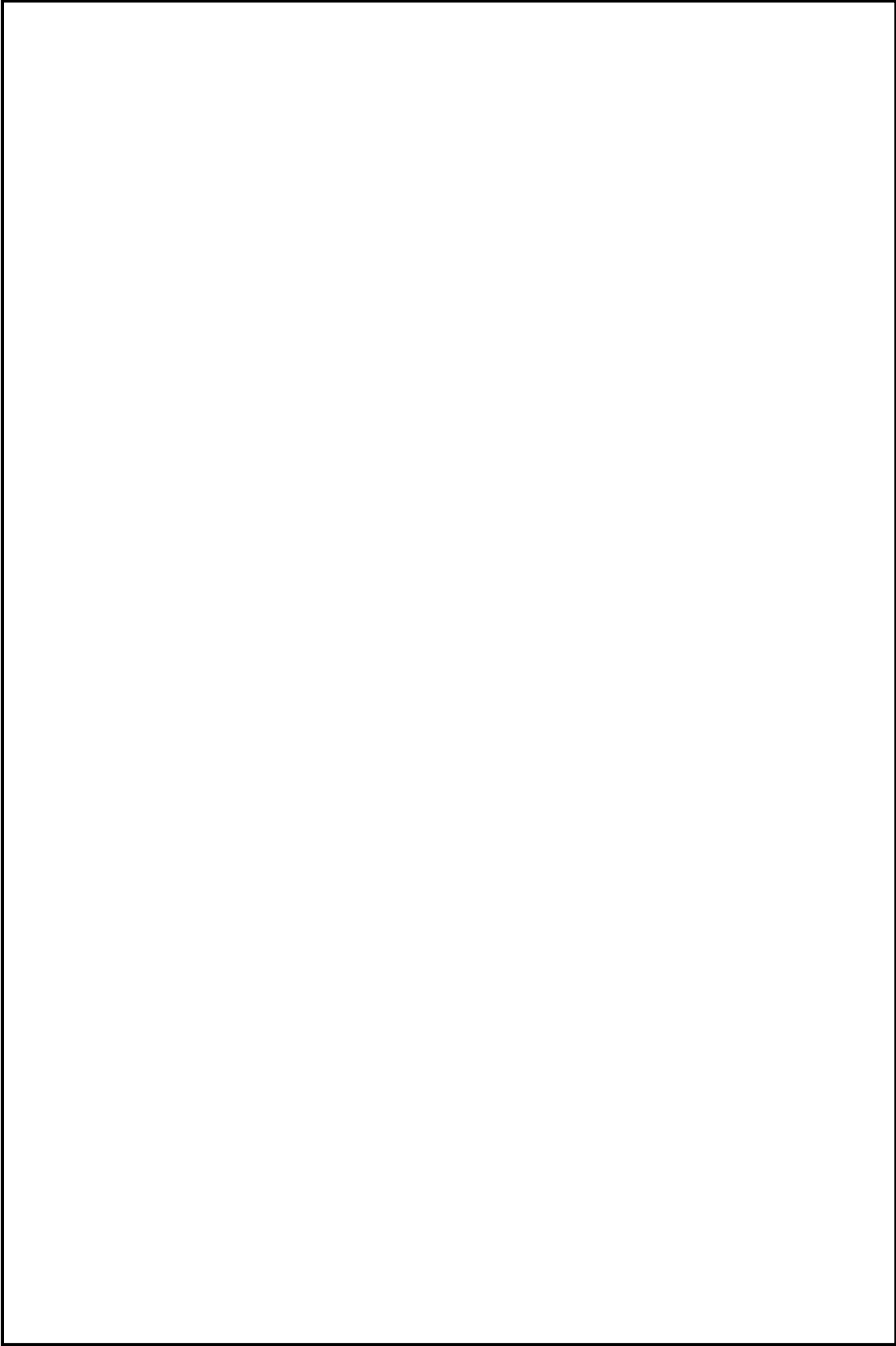


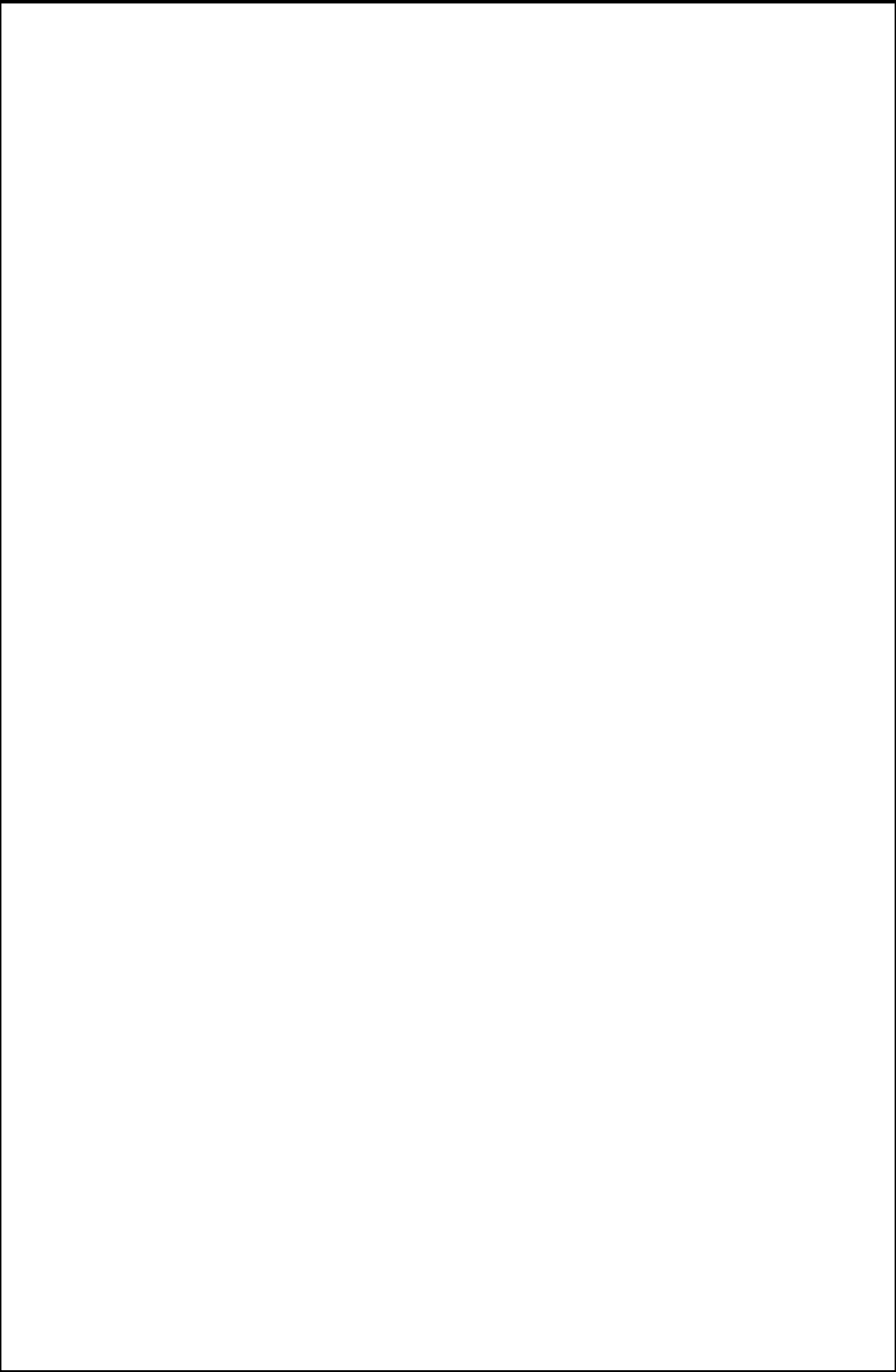


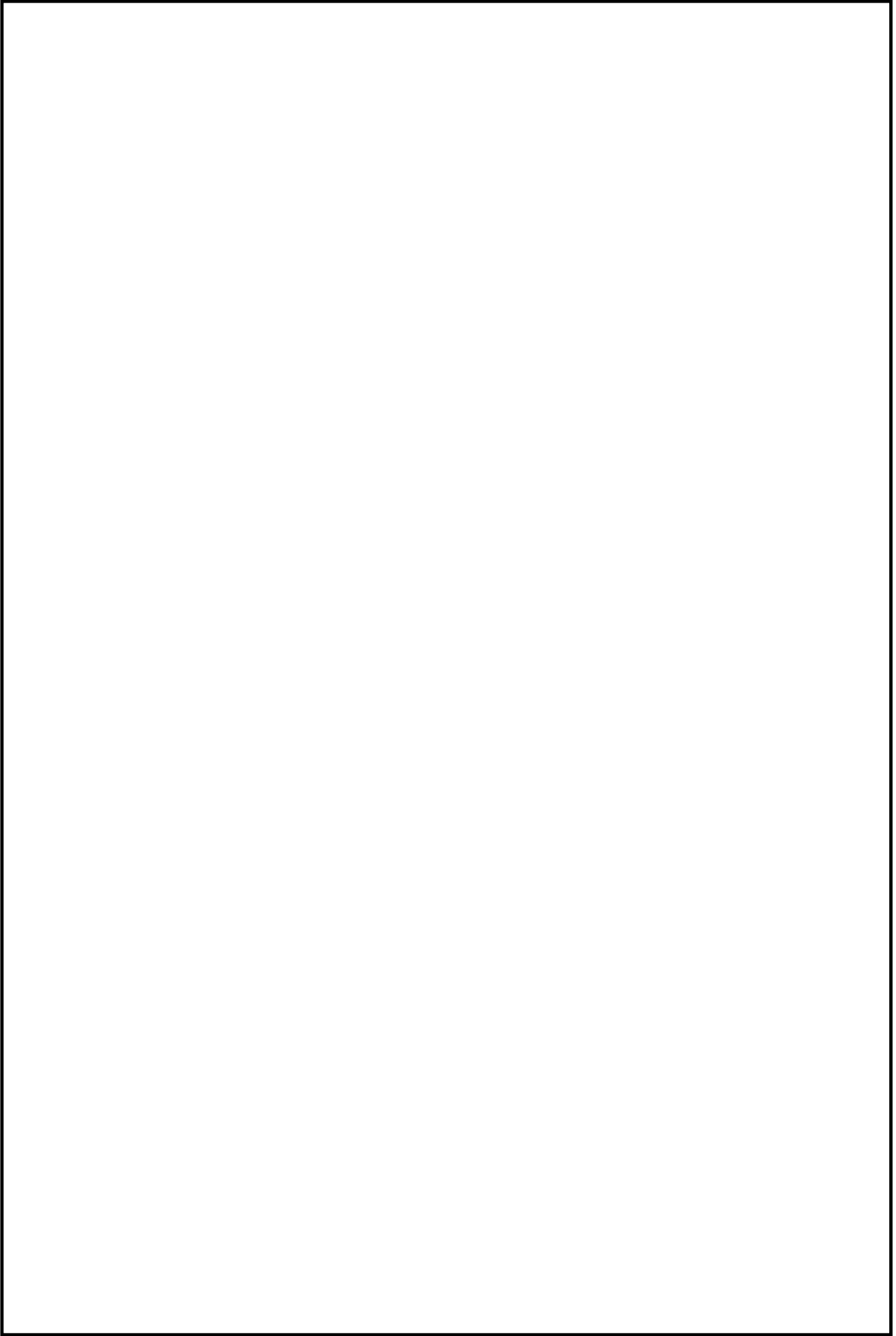












3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

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	耐震設計上の重要度分類	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	低圧炉心スプレイ系	DB	—	クラス1管 クラス2管	S	I _L + S _d	Ⅲ _A S
							Ⅱ _L + S _d	
							Ⅳ _L (L) + S _d	
							I _L + S _s	
							Ⅱ _L + S _s	
							V _L (L) + S _d ^{*6,7}	
		V _L (L) + S _s ^{*6}	V _A S					
		V _L (L) + S _d ^{*6,7}						
		V _L (L) + S _s ^{*6}						
		V _L + S _s						
		V _L (L) + S _d ^{*6,7}						
		V _L (L) + S _s ^{*6}						
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) + S _d ^{*6,7}	V _A S
							V _L (L) + S _s ^{*6}	
							V _L + S _s	V _A S

荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

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	耐震設計上の重要度分類	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	低圧代替 注水系	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d$ ^{*6,7} $V_L(L L) + S_s$ ^{*6} $V_L + S_s$	$V_A S$

注記*1: D Bは設計基準対象施設, S A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」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備, 「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, (L L)は(L)より更に長期的に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 $V_A S$ は許容応力状態 $IV_A S$ の許容限界を使用し, 許容応力状態 $IV_A S$ として評価を実施する。

*6: プロセス条件に加え, 重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として, 重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。

*7: 荷重の組合せ $V_L(L) + S_d$ は $V_L(L L) + S_s$ に包絡されるため, 評価を省略する。

3.2 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 LPCS-1

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	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~7	8.62	302	318.5	17.4		S	
2	7~15, 15~21 21~27, 27~31 32~36, 38~39	8.62	302	318.5	17.4	STS49	S	
3	40~42N	8.62	302	267.4	15.1	STS49	S	

配管の付加質量

鳥 瞰 図 LPCS-1

質量	対応する評価点
□	1A~7
□	7~27
□	27~31, 32~36
□	38~39
□	40~42N

弁部の寸法

鳥 瞰 図 LPCS-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)
31~32				36~38			

弁部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	31~32	<input type="text"/>	36~38

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 LPCS-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
1A						
9						
** 17 **						
18						
** 18 **						
19						
26						
** 26 **						
33						
34						
** 35 **						
N9						

NT2 補③ V-2-5-5-2-3 R0

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 LPCS-2, 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	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~6, 7~71	4.14	148	406.4	12.7	SM50B	S	
2	74~75A	8.62	302	318.5	17.4		S	

配管の付加質量

鳥 瞰 図 LPCS-2, 3

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	74~75A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-2, 3

質量	対応する評価点
	1N
	24F, 65F

弁部の寸法

鳥 瞰 図 LPCS-2, 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)
6~7				72~73			
73~7301				7301~7302			
73~74							

弁部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-2, 3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	6~7		72, 74
	73		7301
	7302		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 LPCS-2, 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						
5						
9						
19						
28						
36						
40						
44						
48						
** 53 **						
54						
62						
75A						

NT2 補③ V-2-5-5-2-3 R1

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 LPCS-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 (°C)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震設計上の 重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3~4, 8~24N	0.70	148	609.6	9.5	SM41B	S	<input type="text"/>

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	19F, 20F, 24N



弁部の寸法

鳥 瞰 図 LPCS-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)
4~5				5~6			
6~7				5~8			

弁部の質量

鳥 瞰 図 LPCS-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	4, 8		5
	6		7

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 LPCS-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
1N						
** 1N **						
** 1N **						
10						
15						
15						
1601						
22						
24N						

NT2 補③ V-2-5-5-2-3 R1

3.3 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S h
	302	122	182	—	—
STS49	302	138	209	—	—
SM50B	148	—	273	441	—
SM41B	148	—	207	373	—

3.4 設計用地震力

本設計書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお、設備評価用床応答曲線は「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	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)
LPCS-1	原子炉しゃへい壁		
LPCS-2, 3	原子炉建屋		
LPCS-R-1	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 LPCS-1

耐震設計上の重要度分類		S					
		S _d 及び静的震度			S _s		
適用する地震動等		応答水平震度		応答鉛直震度		応答鉛直震度	
モード	固有周期 (s)	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							
動的震度							
静的震度							

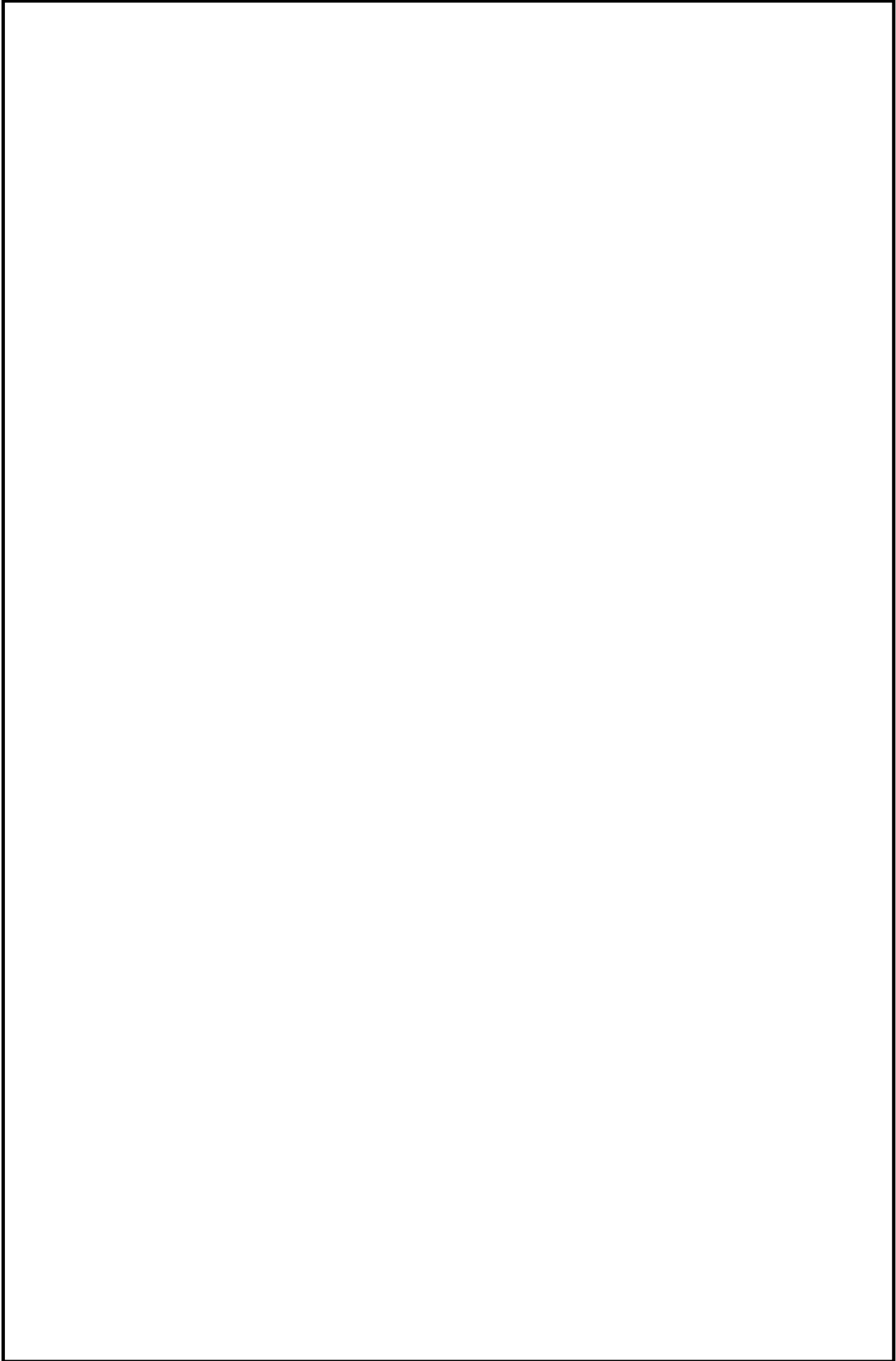
各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 LPCS-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				

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。





解析結果及び評価
固有周期及び設計震度

鳥瞰図 LPCS-2,3

耐震設計上の重要度分類		S						
		S _d 及び静的震度			S _s			
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度		応答鉛直震度		
		X方向	Z方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	
1次	[Redacted]							
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
11次								
12次								
動的震度								
静的震度								

各モードに対応する刺激係数

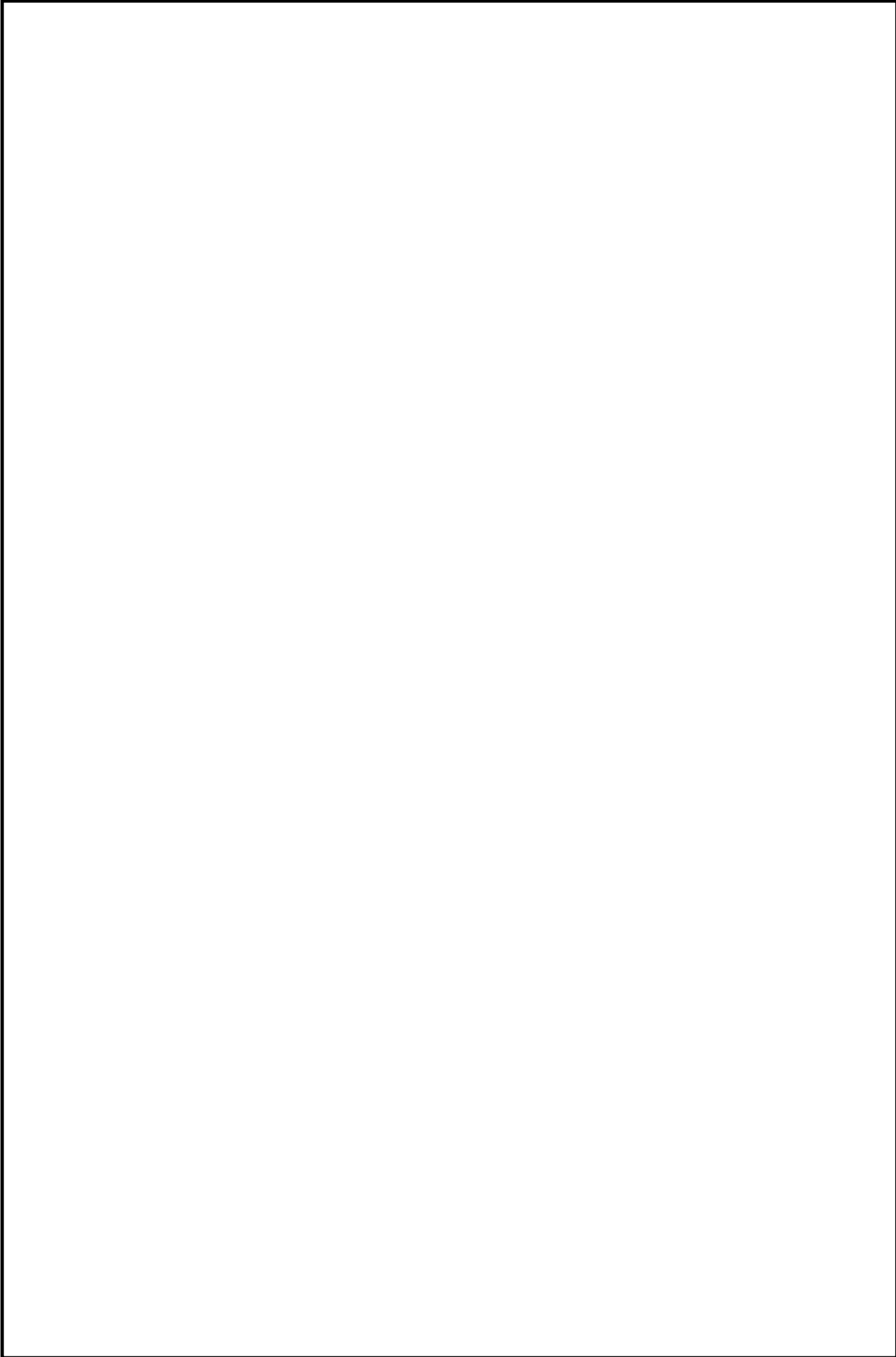
鳥 瞰 図 LPCS-2, 3

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>	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>	<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				
11次				

代表的振動モード図

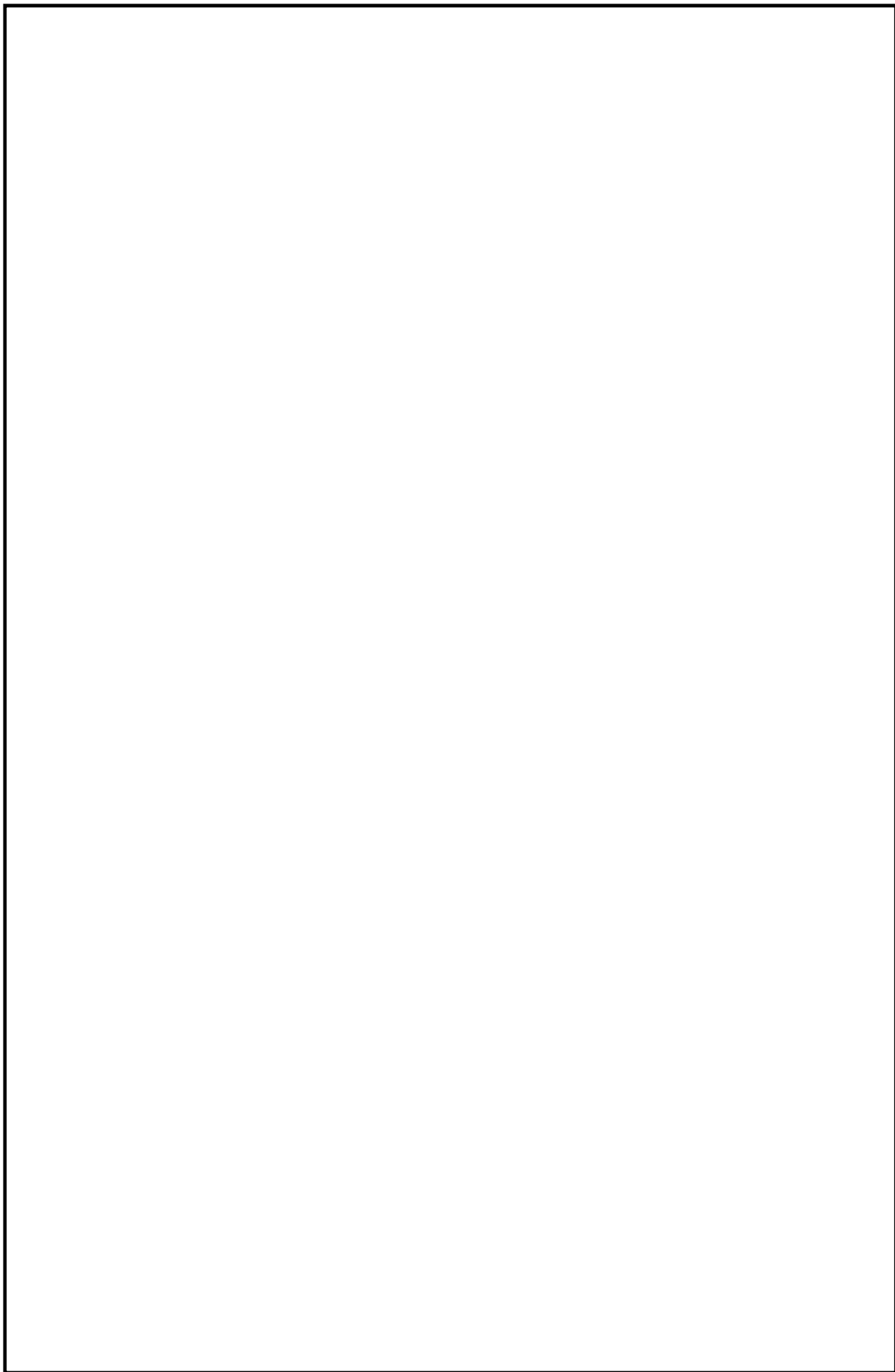
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次ページ以降に示す。

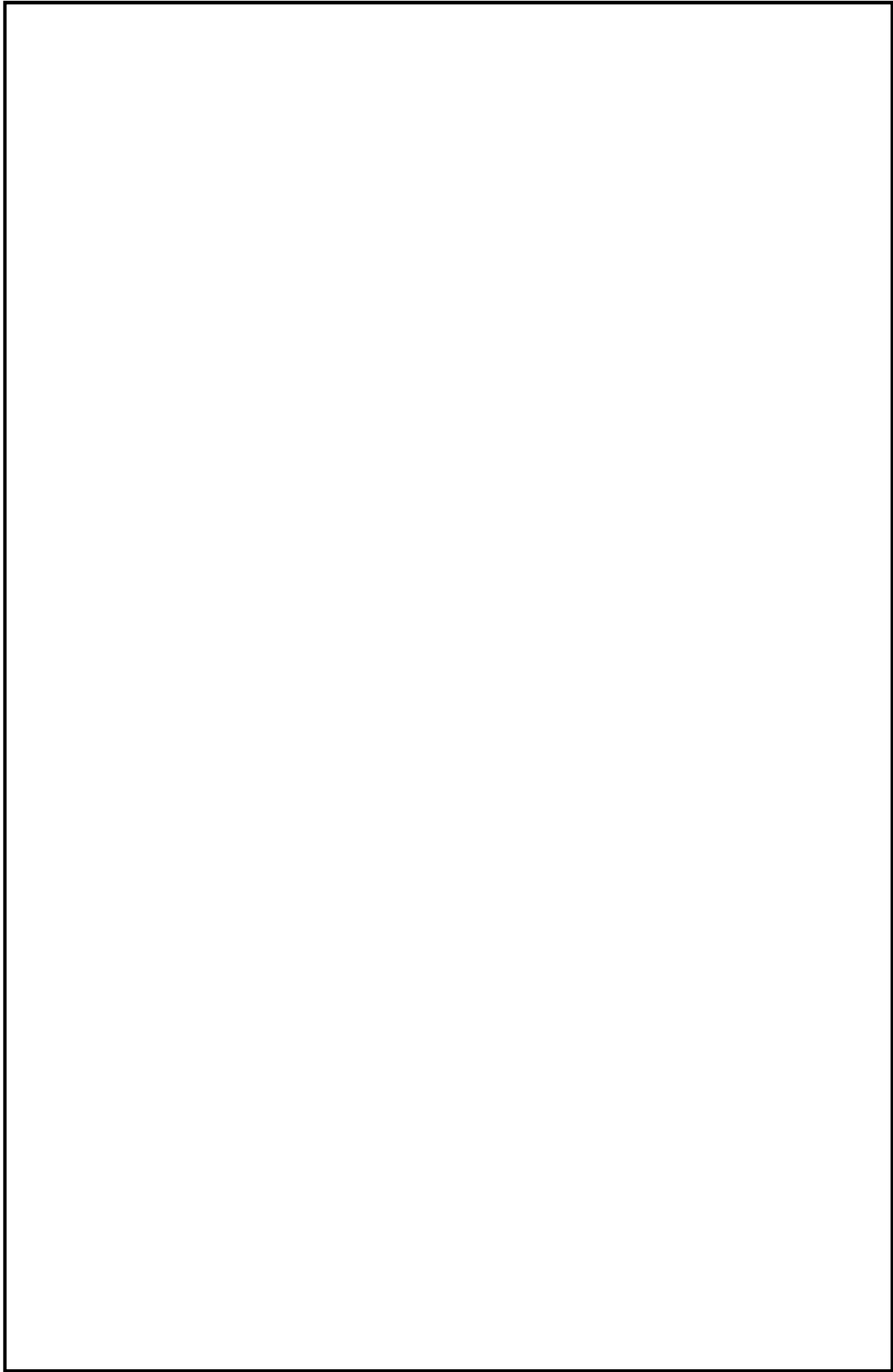
NT2 補③ V-2-5-5-2-3 R1



鳥瞰図

LPCS-2, 3





解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥瞰図 LPCS-R-1

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S _a 及び静的震度			S _s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度		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							
5次							
6次							
動的震度							
静的震度							

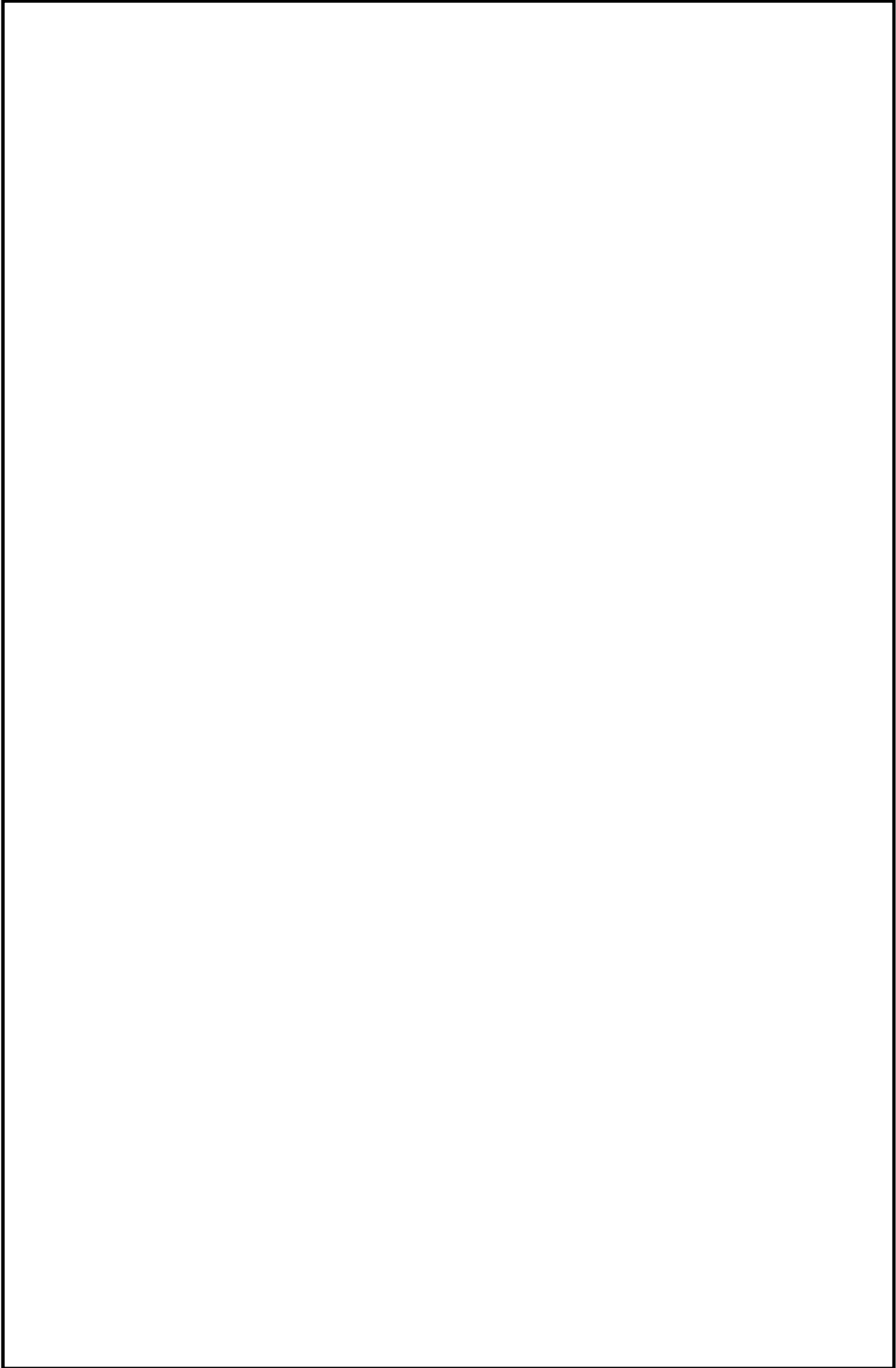
各モードに対応する刺激係数

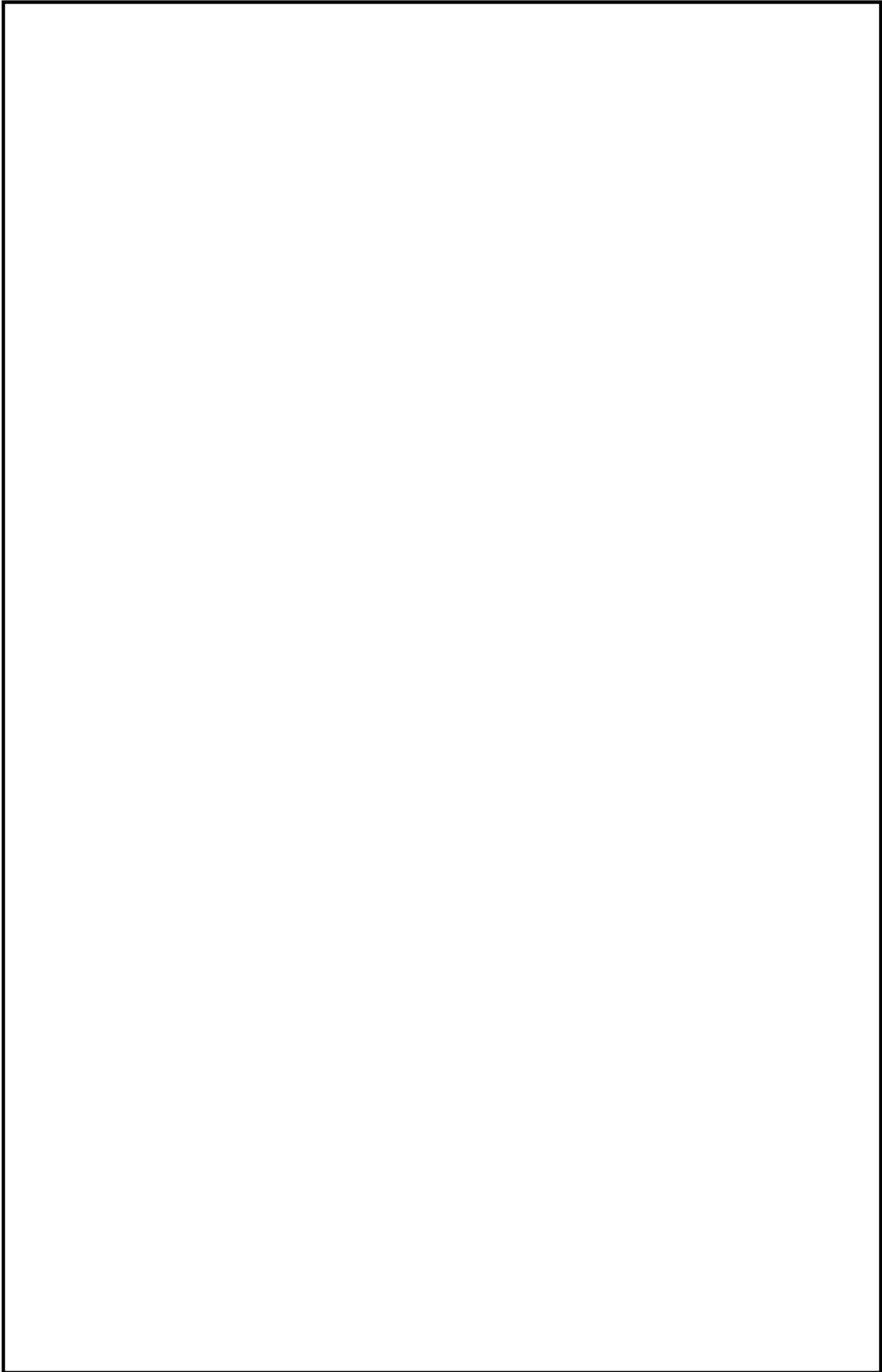
鳥 瞰 図 LPCS-R-1

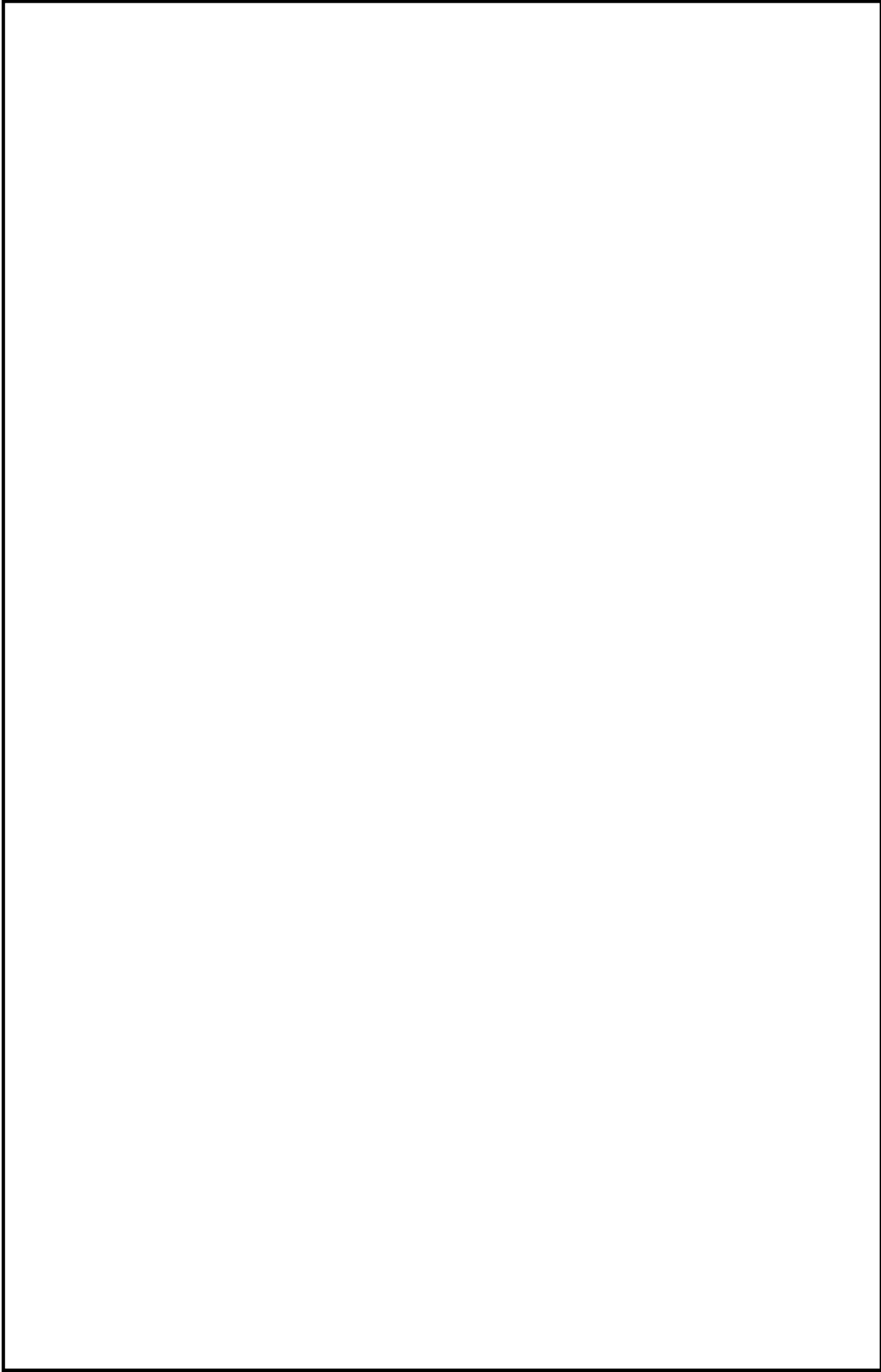
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				

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。







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 (供用状態)	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 疲労累積 係数
					一次応力 Sprm(Sd) Sprm(Ss)	許容応力 min(2.25Sm, 1.8Sy) min(3Sm, 2Sy)	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	
LPCS-1	III ^A S	28	BUTT WELD	Spr _m (S _d)	108	310	—	—	—	—	—
LPCS-1	III ^A S	8	ELBOW	St(S _d)	—	—	30	75	—	—	—
LPCS-1	IV ^A S	20	ELBOW	Spr _m (S _s)	112	414	—	—	—	—	—
LPCS-1	IV ^A S	8	ELBOW	St(S _s)	—	—	53	100	—	—	—
LPCS-1	IV ^A S	8	ELBOW	Sn(S _s)	—	—	—	—	373	414	—
LPCS-1	IV ^A S	8	ELBOW	U+U S _s	—	—	—	—	—	—	0.0078

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 (供用状態)	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* 0.9Su	計算応力	許容応力	
LPCS-2, 3	III△S	30	Sprm (Sd)	117	273	—	—	—
LPCS-2, 3	IV△S	30	Sprm (Ss)	150	396	—	—	—
LPCS-R-1	IV△S	13	Sn (Ss)	—	—	193	414	—

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、Syと1.2Sh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)
SN0-LPCS-48	オイルスナツバ	SN-10			60.6	150.0
R0-LPCS-48	ロッドレストレイント	RSA-6	「V-2-1-11機器・ 配管の耐震支持設 計方針」参照		91.5	108.0
SH-LPCS-50	スプリングハンガ	VS-1			13.1	17.6
CH-LPCS-7	コンスタントハンガ	CSH-33			19.0	19.7

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			
AN-LPCS-1	アンカ	ラグ	SA-516 Gr70 SS41	302	61.2	88.0	92.5	102.0	119.0	79.3	組合せ	93	136
RE-LPCS-15	レストレイント	ラグ	SM41A	148	32.4	146.0	17.7	—	—	—	組合せ	48	63

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり**心**力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	応答加速度* ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)		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
E21-F006	逆止め弁	β (Sd)	3.7	2.3	6.0	6.0	—	—
E21-F005	止め弁	β (Sd)	1.2	1.9	6.0	6.0	—	—

* 応答加速度は、打ち切り振動数を50Hzとして計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 (クラス1範囲)

No	配管モデル	供用状態C(Ⅲ _A S)												供用状態D(Ⅳ _A S)											
		一次応力(膜+曲げ)				一次応力(膜+曲げ)				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]	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	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	疲労累積係数	代表		
1	LPCS-1	28	108	310	2.87	○	20	112	414	3.69	○	8	373	414	1.10	○	8	366	414	5.46	—	74	0	0.0078	○
2	LPCS-2,3	75A	86	274	3.18	—	75A	97	364	3.75	—	75A	67	366	5.46	—	74	0	—	—	—	—	—	—	—

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+二次応力裕度最小を代表とする。Ⅳ_ASの計算応力は、Ⅴ_ASとⅣ_ASの大きい方を記載している。

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範囲)

No	配管モデル	供用状態C(Ⅲ _A S)												供用状態D(Ⅳ _A S)										
		一次応力				一次応力				一次+二次応力				一次+二次応力及び疲労評価										
		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	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	疲労累積係数	代表	
1	LPCS-2,3	30	117	273	2.33	○	30	150	396	2.64	○	30	153	546	3.56	—	30	153	546	3.56	—	—	—	—
2	LPCS-R-1	13	69	207	3.00	—	13	91	335	3.68	—	13	193	414	2.14	—	13	193	414	2.14	—	—	—	○