

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又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-619 改1
提出年月日	平成30年8月1日

V-2-9-6-1-1 管の耐震性についての計算書

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	29
3.4 設計用地震力	30
4. 解析結果及び評価	31
4.1 固有周期及び設計震度	31
4.2 評価結果	43
4.2.1 管の応力評価結果	43
4.2.2 支持構造物評価結果	44
4.2.3 弁の動的機能維持評価結果	45
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	46

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6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






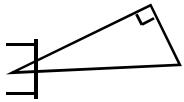
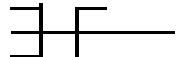

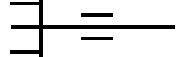
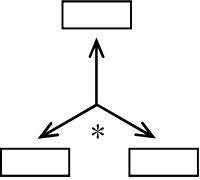
2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

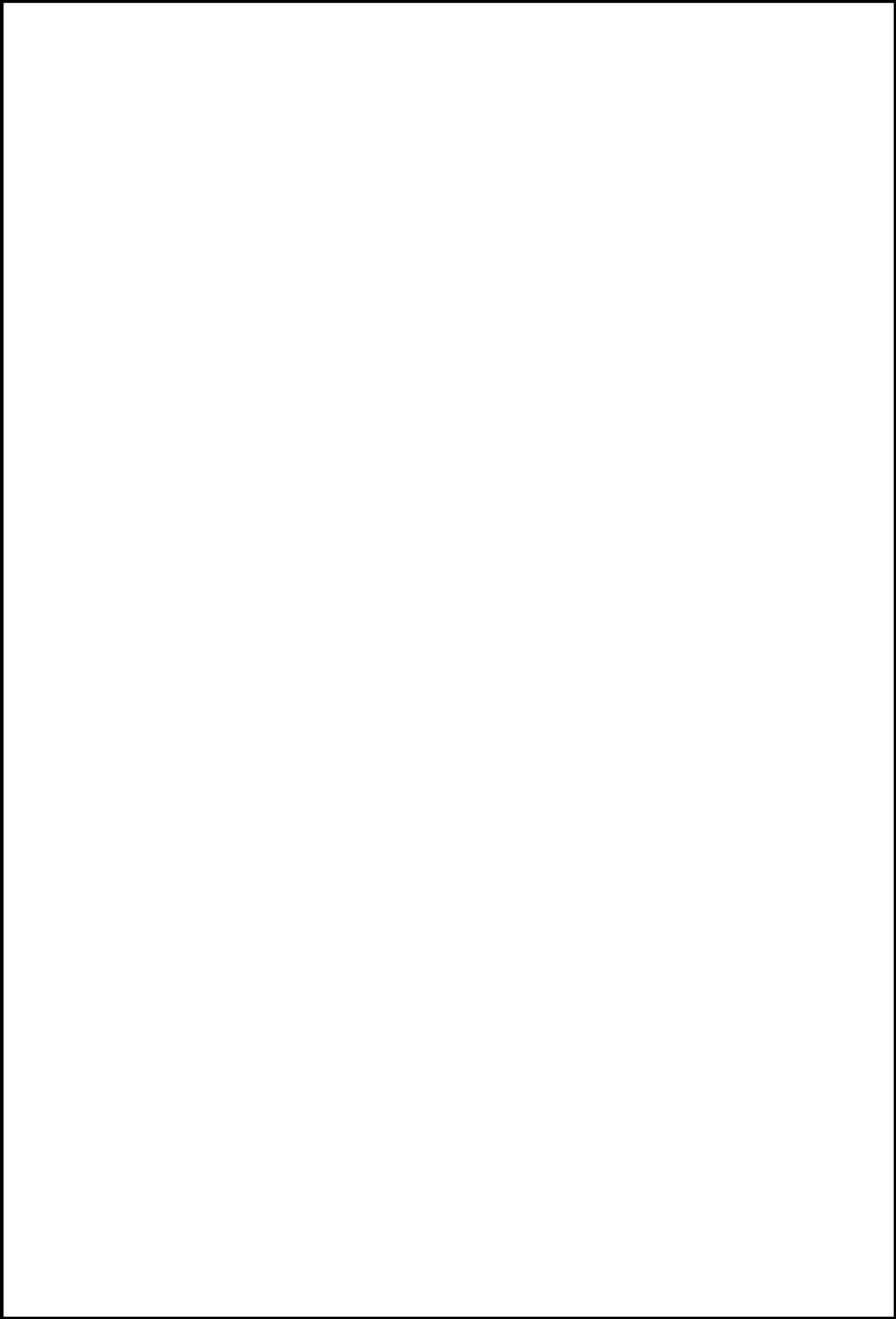
記 号	内 容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管の うち、他系統の管であって系統の概略を示すために表 記する管
	鳥瞰図番号 (鳥瞰図, 計算条件及び評価結果を記載す る範囲)
	鳥瞰図番号 (評価結果のみ記載する範囲)
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス1管
DB2	クラス2管
DB3	クラス3管
DB4	クラス4管
SA2	重大事故等クラス2管
SA3	重大事故等クラス3管
DB1/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス1管
DB2/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス2管
DB3/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス3管
DB4/SA2	重大事故等クラス2管であってクラス4管

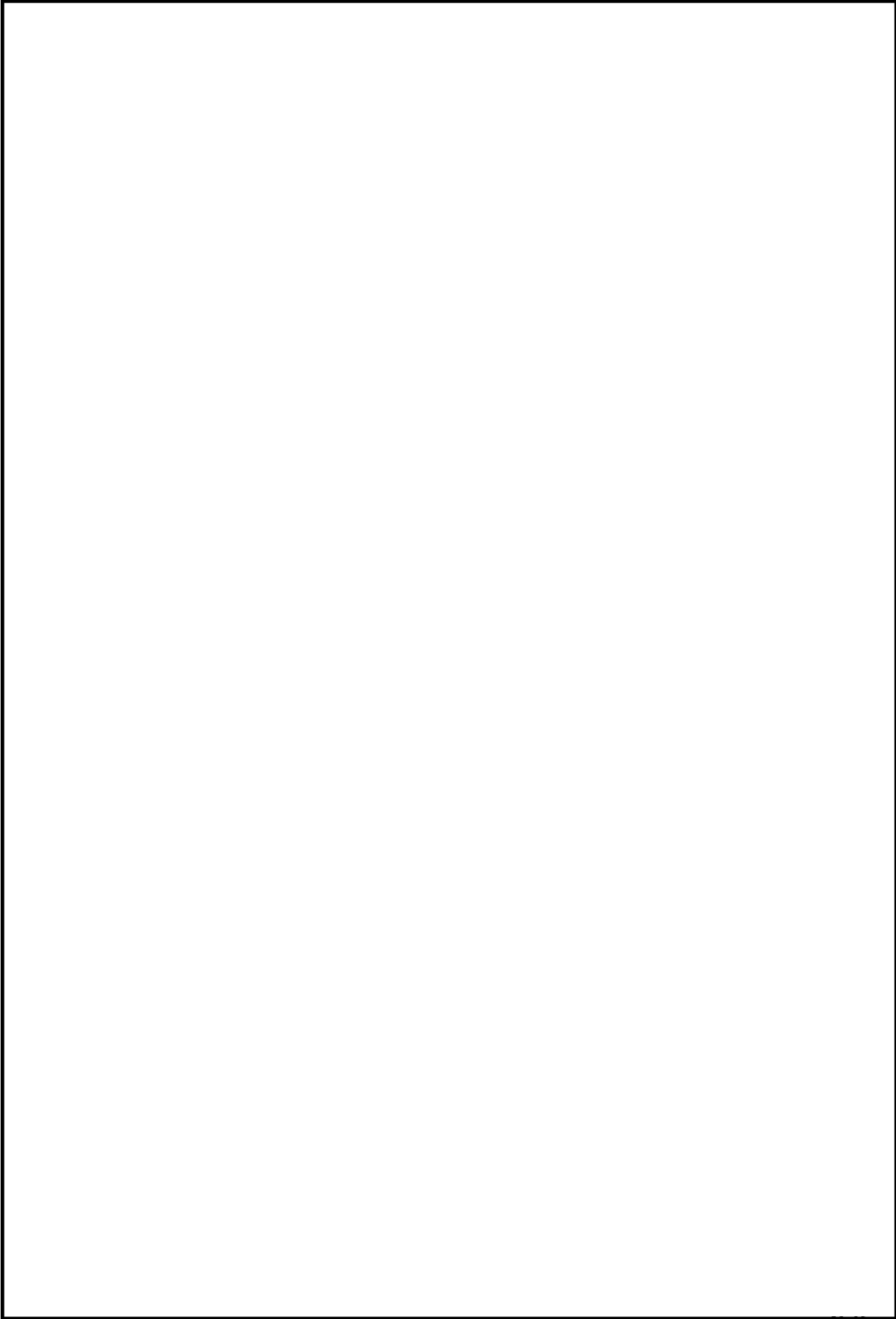
2.2 鳥瞰図

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。

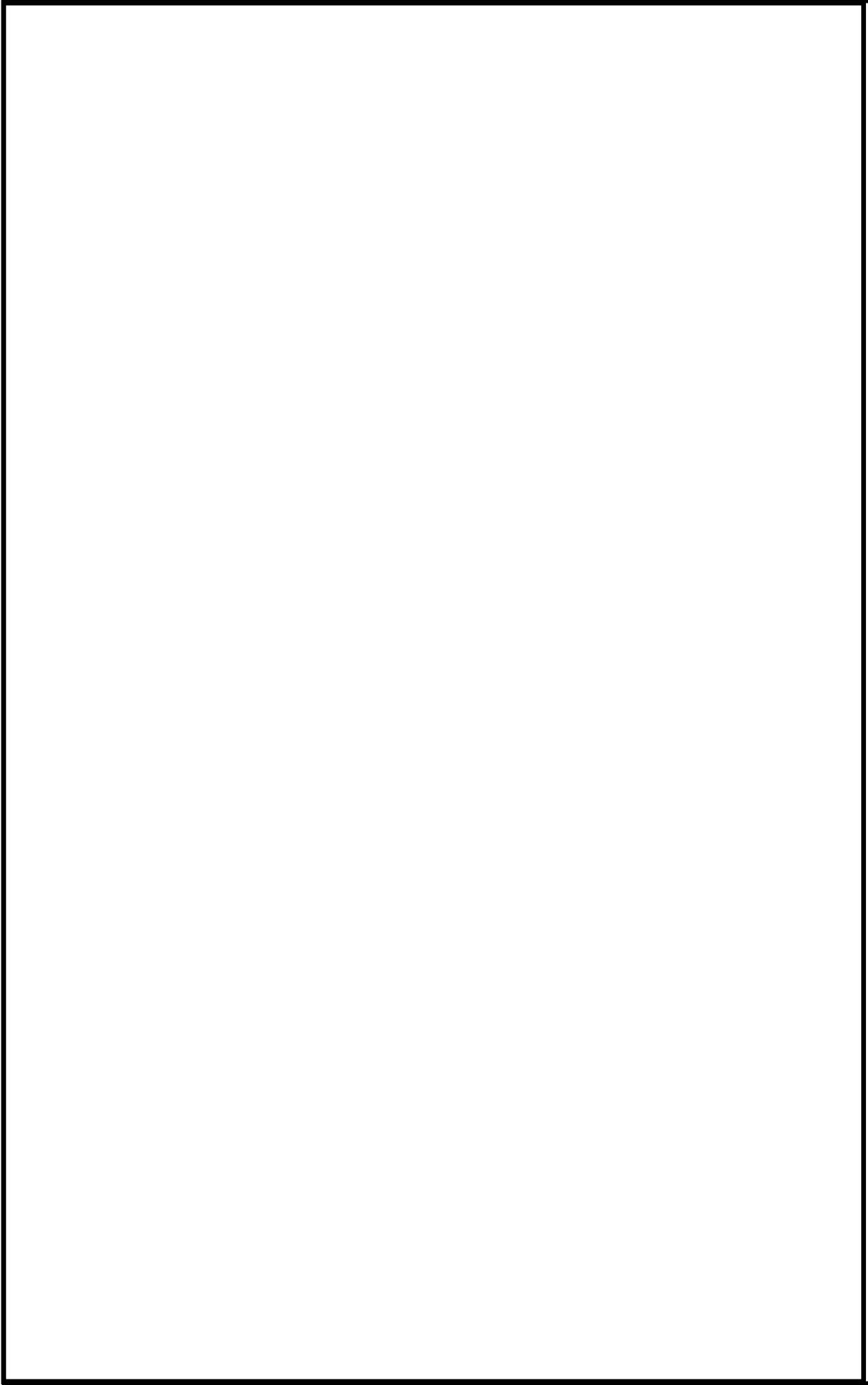


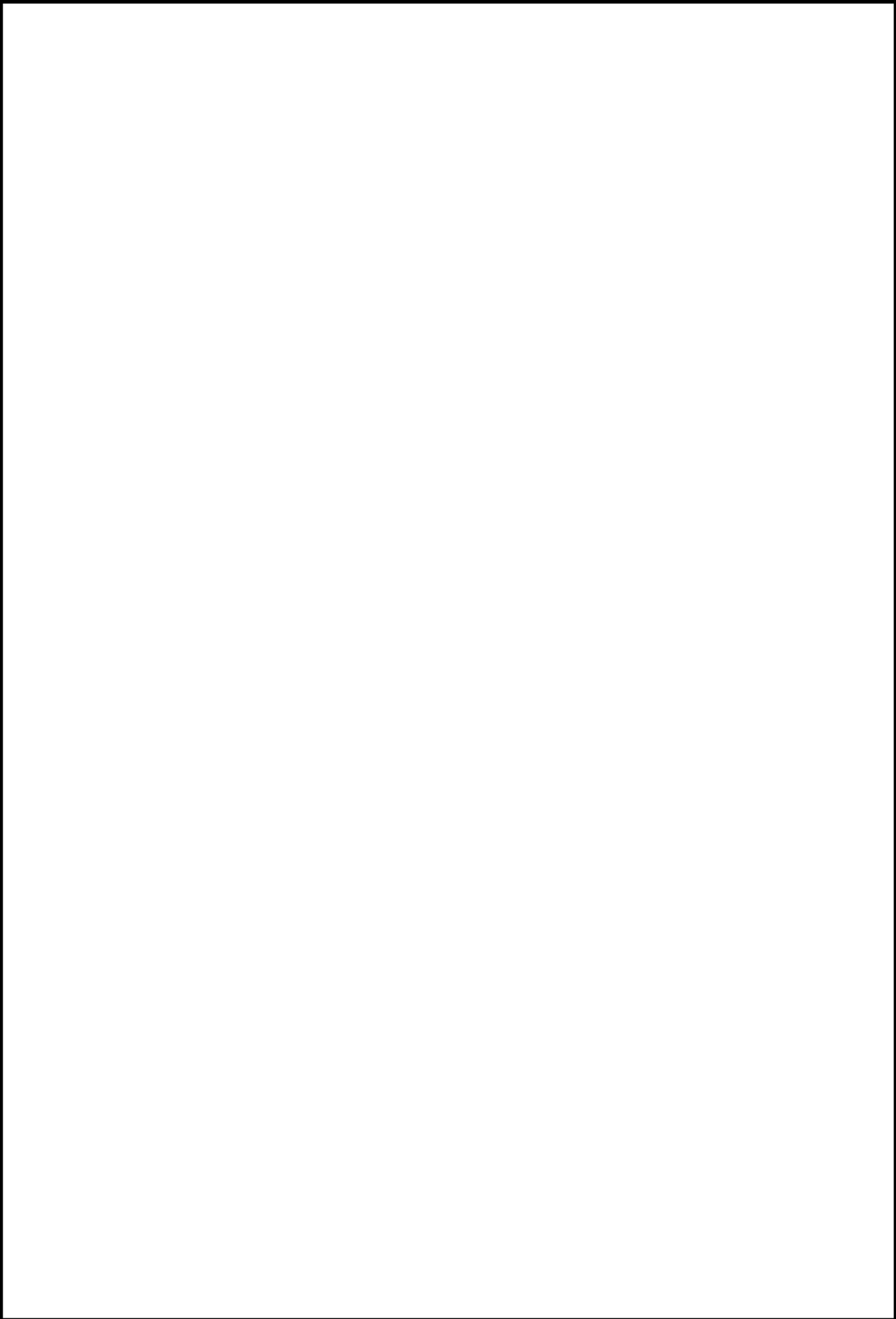


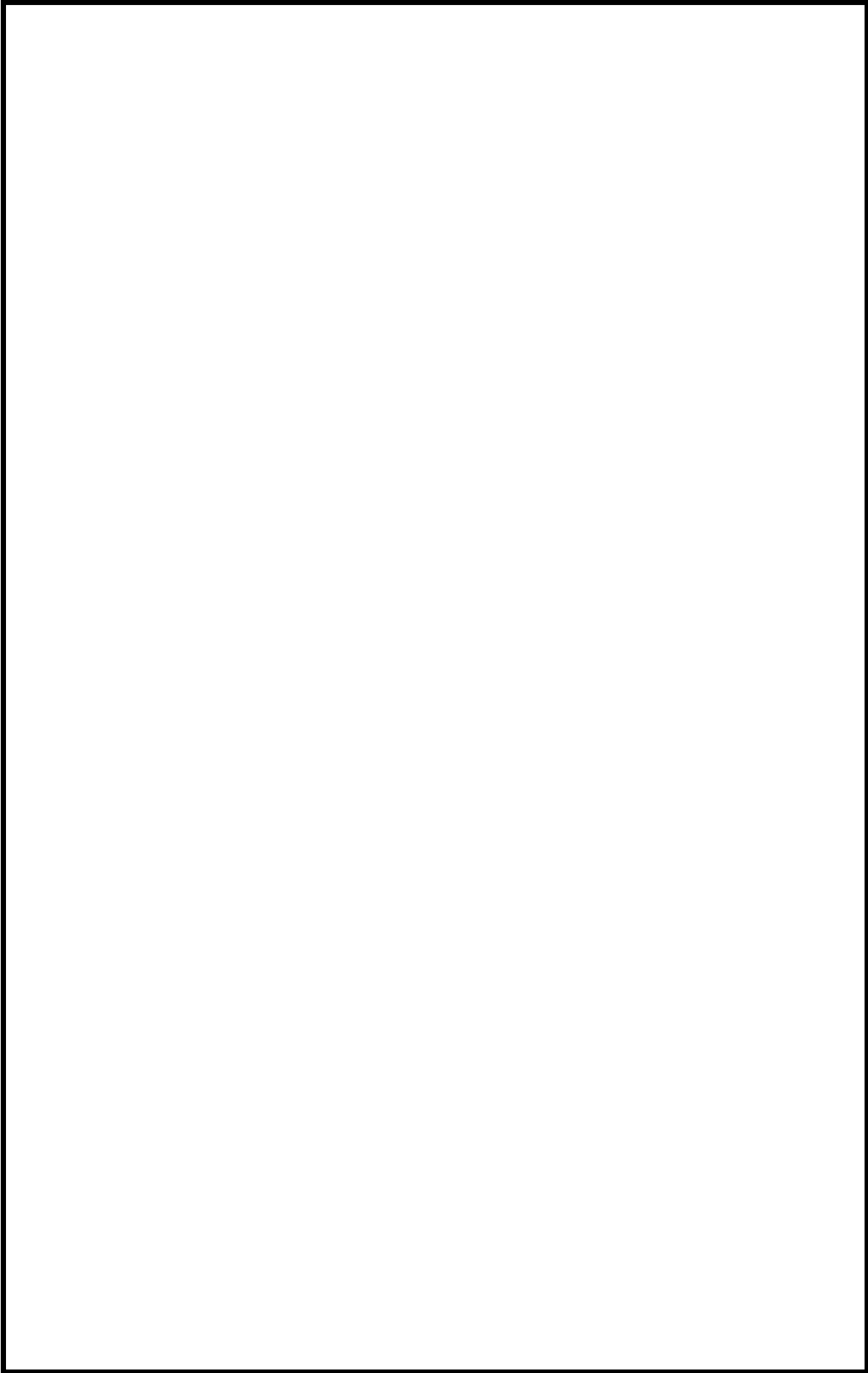


鳥瞰図

AC-1, 2, 3, 8 (SA) (2/4)

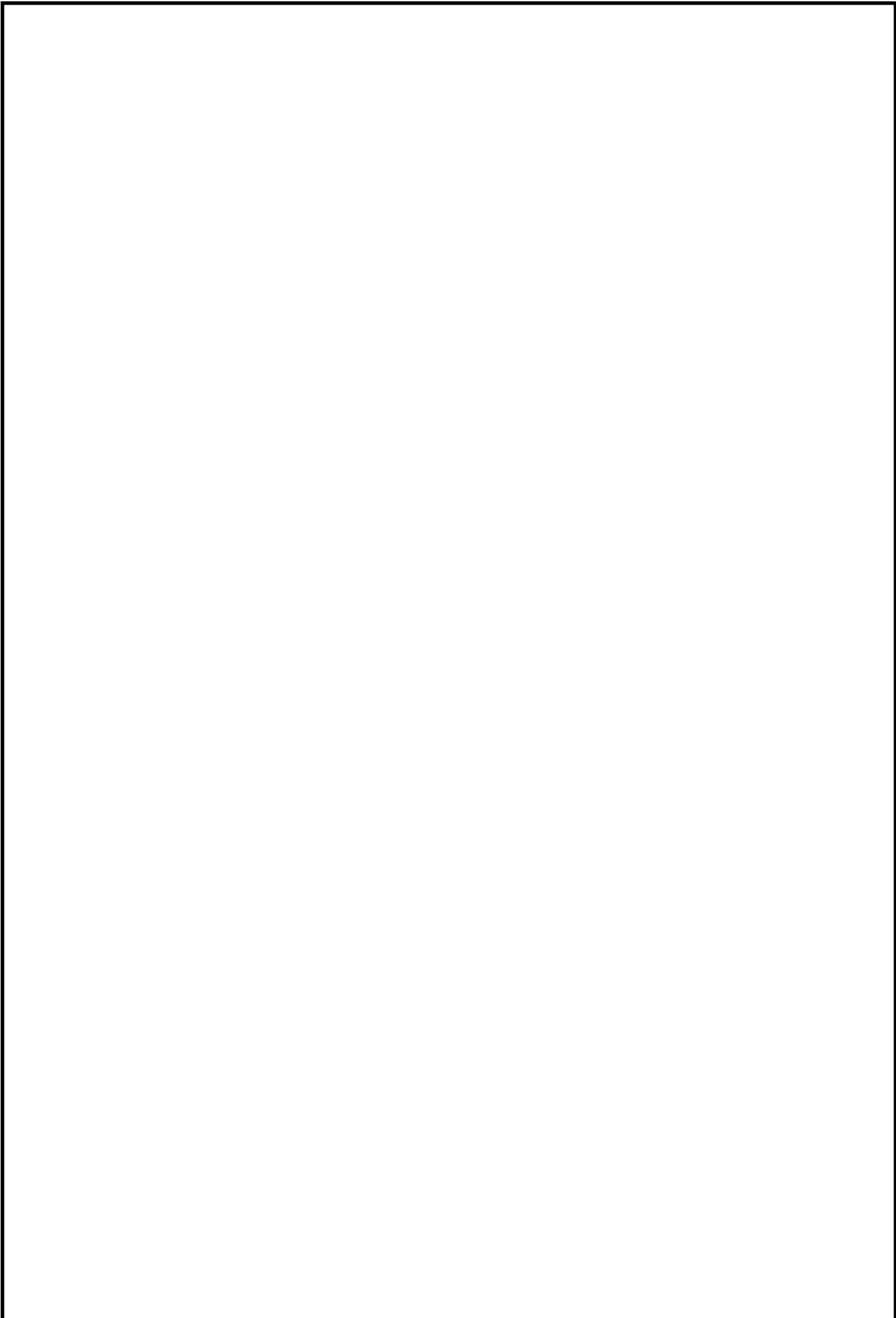


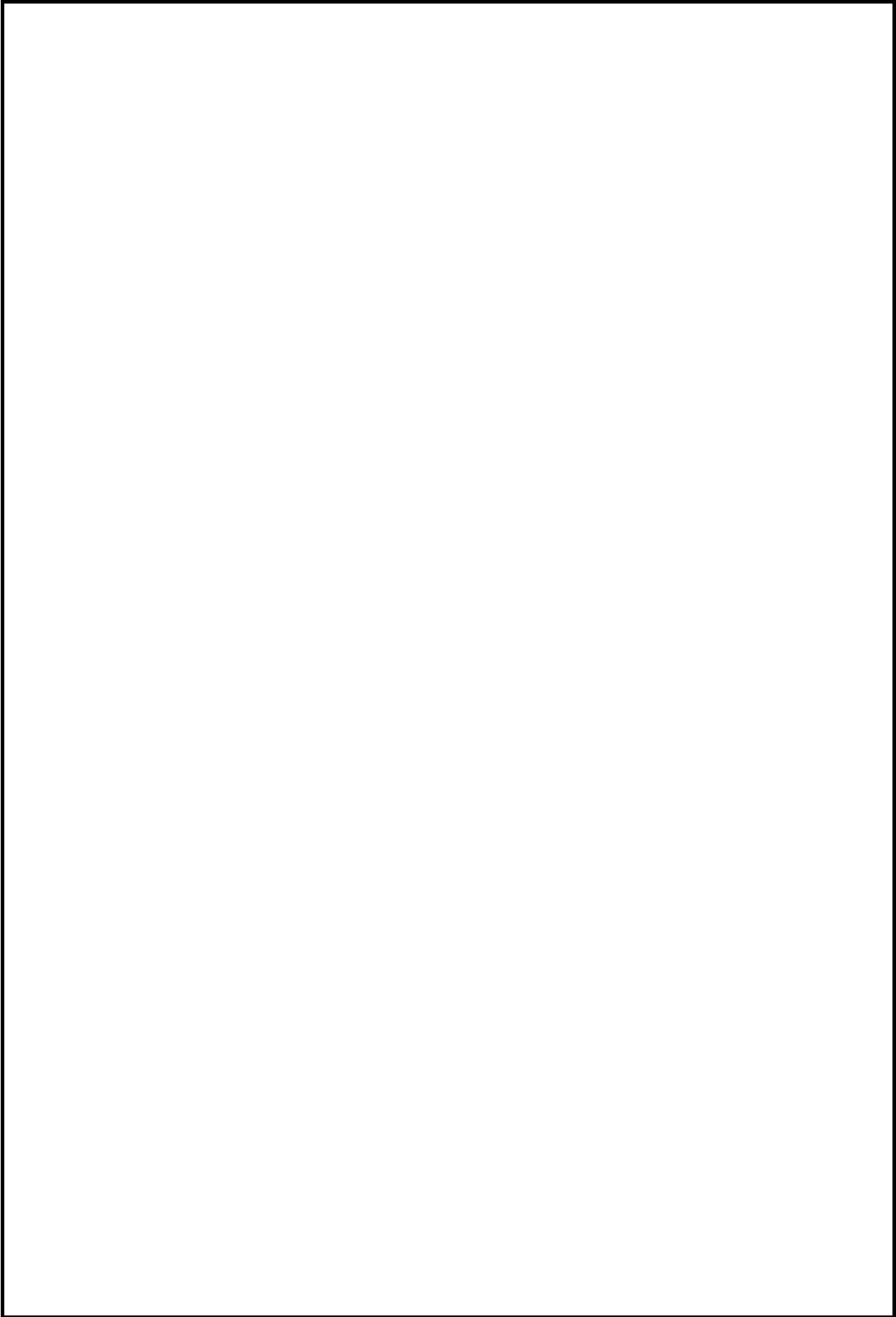




鳥瞰図

AC-11 (DB) (1/2)





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
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	不活性ガス系	DB	—	クラス2管 クラス3管	S	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
		$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$					
		$V_L(LL) + S_s^{*6}$						
	窒素ガス代替注入系	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$	
						$V_L(LL) + S_s^{*6}$		
						$V_L + S_s$		
	格納容器圧力逃がし装置	SA	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d^{*6,7}$	$V_A S$	
						$V_L(LL) + S_s^{*6}$		
						$V_L + S_s$		

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}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器圧力逃がし装置	S A	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
							$V_L(LL) + S_s$ ^{*6}	
							$V_L + S_s$	
		耐圧強化ベント系	S A	常設耐震／防止	重大事故等クラス2管	—	$V_L(L) + S_d$ ^{*6,7}	V _A S
							$V_L(LL) + S_s$ ^{*6}	
							$V_L + S_s$	

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： 「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，(LL)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_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。

*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 $V_L(LL) + S_s$ 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 AC-1, 2, 3, 8

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	2~5	0.31	171	508.0	9.5	SM41B	S	
2	6~10F, 12F~39F 37~68F	0.31	171	609.6	9.5	SM41B	S	
3	411F~412A	0.31	171	609.6	9.5	SM41A	S	
4	70F~76F, 74~82F 71~92	0.62	200	609.6	9.5	SM41B	S	
5	78F~79F, 84F~86F	0.31	105	609.6	9.5	SM41B	S	
6	93~95	0.62	200	508.0	9.5	SM41B	S	
7	43~101F	0.31	171	457.2	9.5	SM41B	S	
8	103F~115	1.04	66	457.2	9.5	SM41B	S	
9	113~1350	1.04	66	318.5	10.3	STPT42	S	

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 AC-1, 2, 3, 8

質量	対応する評価点
	10F, 12F, 39F, 411F, 68F, 70F, 76F, 78F, 79F, 81F, 82F, 84F 88F
	221F, 250F, 291F, 422F, 481F
	30F, 511F
	86F
	101F, 103F

弁部の寸法

鳥 瞰 図 AC-1, 2, 3, 8

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
10F~11				11~1101			
11~12F				39F~40			
40~4001				40~411F			
68F~69				69~6901			
69~70F				76F~77			
77~770				77~78F			
79F~80				80~81F			
82F~83				83~830			
83~84F				86F~87			
87~88F				101F~102			
102~1021				102~103F			
115~117				133~135			

弁部の質量

鳥 瞰 図 AC-1, 2, 3, 8

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	10F, 12F, 39F, 411F, 68F, 70F		76F, 78F, 82F, 84F
	11, 40, 69, 77, 83		1101, 4001, 6901, 770, 830
	79F~80, 80~81F		86F~87, 87~88F
	101F, 103F		102
	1021		115~117
	133~135		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-1, 2, 3, 8

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						
651						
652						
** 900 **						
1201						
1210						
1401						
** 1401 **						
15						
1801						
19						
25						
** 25 **						
** 2501 **						
29						
32						
412A						
4221						
** 471 **						
48						
51						
** 561 **						
** 571 **						
57						

NT2 補③ V-2-9-6-1-1 R0

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-1, 2, 3, 8

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
60						
** 65 **						
** 65 **						
6500						
670						
72						
80						
750						
** 750 **						
** 750 **						
851						
** 851 **						
87						
** 901 **						
901						
96N						
104						
112						
114						
1171						
1350						

NT2 補③ V-2-9-6-1-1 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 AC-11

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	65A~37	0.31	171	89.1	5.5	STPT42	S	
2	37~379	0.31	171	89.1	5.5	STPT410	S	
3	39~40	0.31	105	89.1	5.5	STPT410	S	
4	40~41	0.62	200	89.1	5.5	STPT410	S	
5	41~895N	0.62	200	89.1	5.5	STPT42	S	

弁部の寸法

鳥 瞰 図 AC-11

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
379~38				38~381			
381~382				38~39			

弁部の質量

鳥 瞰 図 AC-11

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	379, 39	<input type="checkbox"/>	38
<input type="checkbox"/>	381	<input type="checkbox"/>	382

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 AC-11

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
65A						
301						
7						
9						
13						
141						
1901						
204						
208						
** 208 **						
2102						
27						
30						
34						
** 34 **						
375						
895N						

NT2 補③ V-2-9-6-1-1 R0

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
SM41B	171	—	201	373	—
SM41A	171	—	201	373	—
SM41B	200	—	193	373	—
SM41B	105	—	219	373	—
SM41B	66	—	234	385	—
STPT42	66	—	231	407	—
STPT42	171	—	211	404	—
STPT410	171	—	211	404	—
STPT410	105	—	219	404	—
STPT410	200	—	207	404	—
STPT42	200	—	207	404	—

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 (%)
AC-1, 2, 3, 8	原子炉建屋		
AC-11	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 AC-1, 2, 3, 8

耐震設計用の重要度分類		S					
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		応答鉛直震度	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							
5次							
6次							
7次							
8次							
18次							
19次							
動的震度							
静的震度							

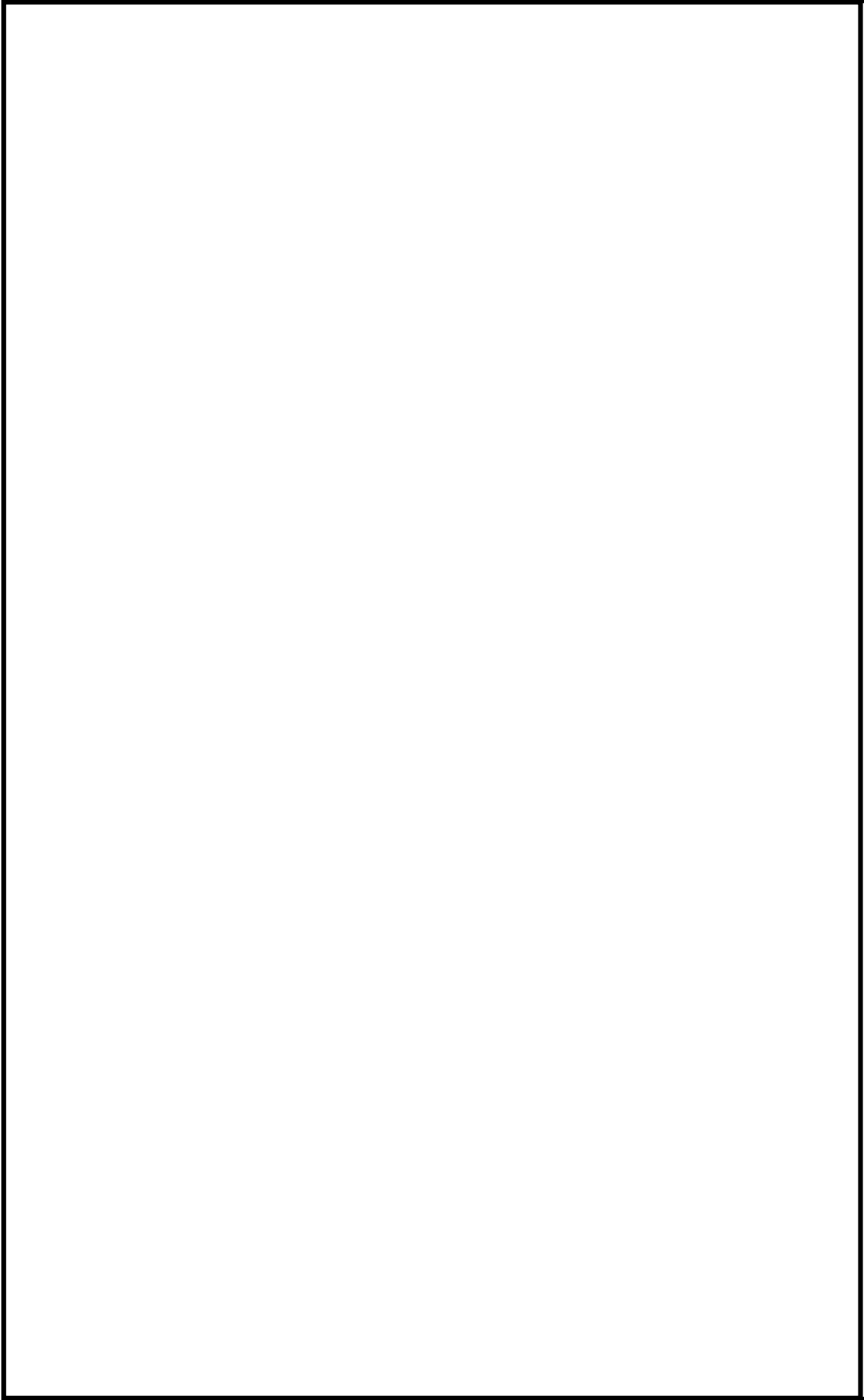
各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 AC-1, 2, 3, 8

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				
18次				

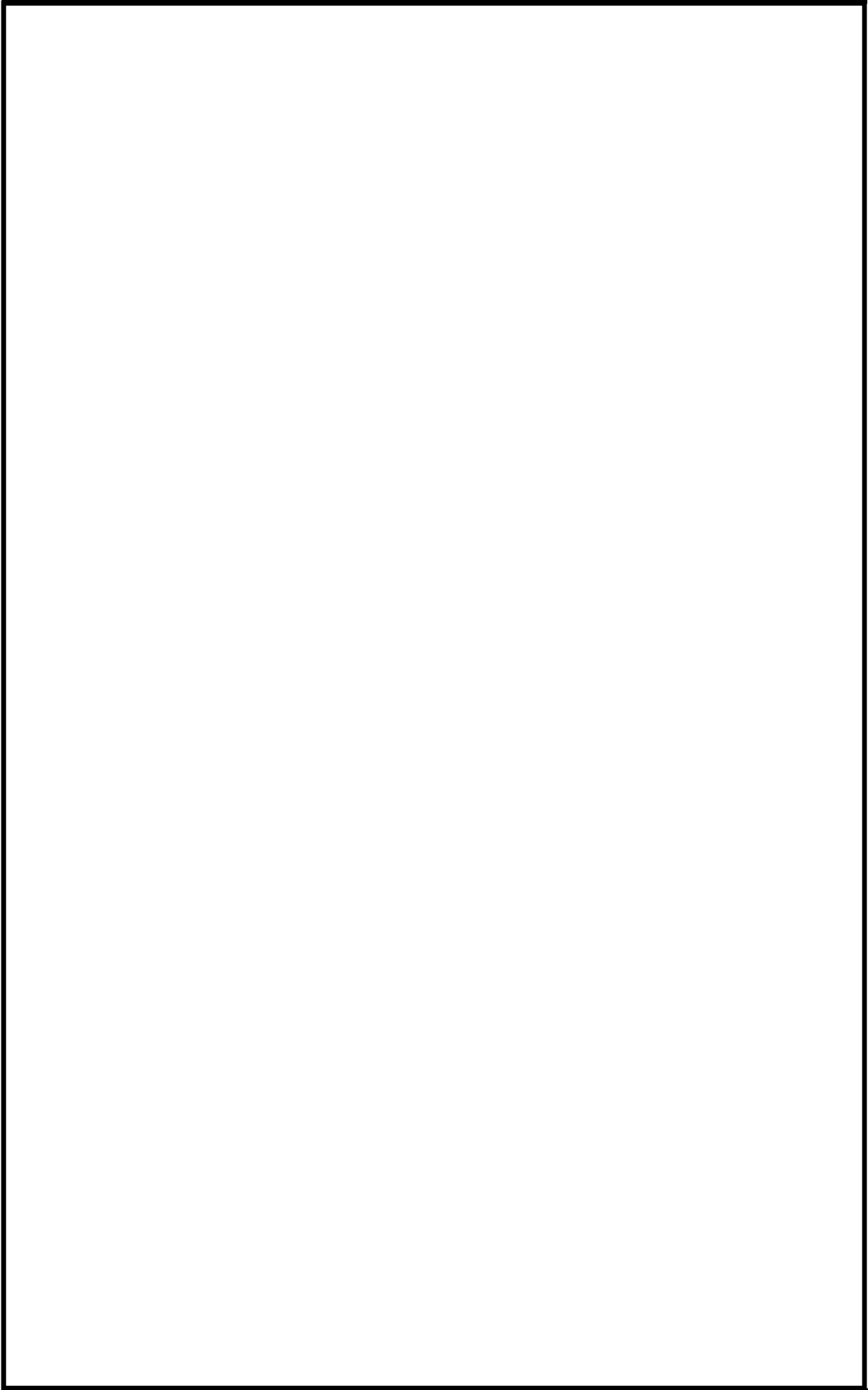
代表的振動モード図

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。



鳥瞰図

AC-1, 2, 3, 8



鳥瞰図

AC-1, 2, 3, 8

解析結果及び評価
固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 AC-11

耐震設計用の重要度分類		S					
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		応答鉛直震度	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							
5次							
6次							
7次							
8次							
動的震度							
静的震度							

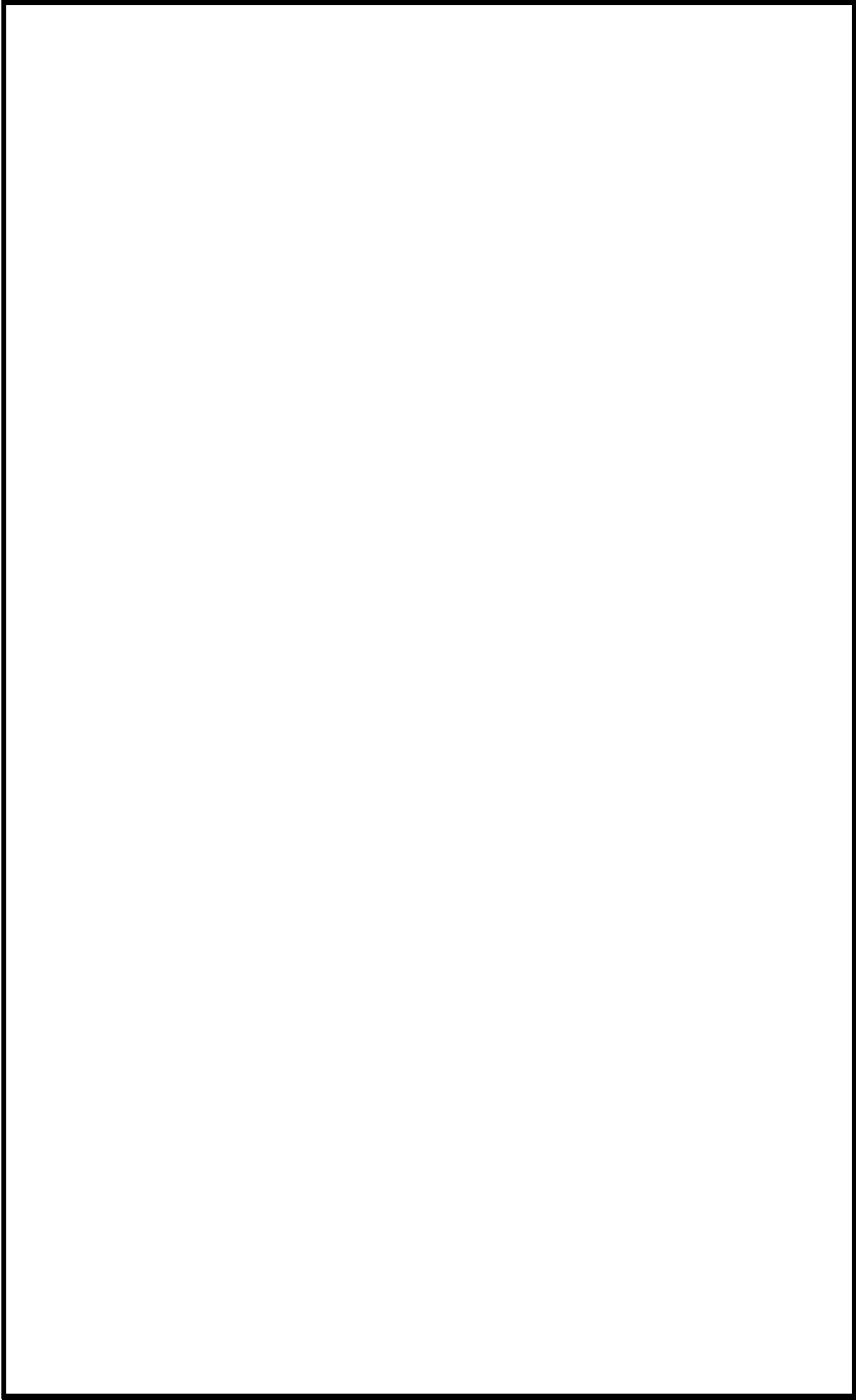
各モードに対応する刺激係数

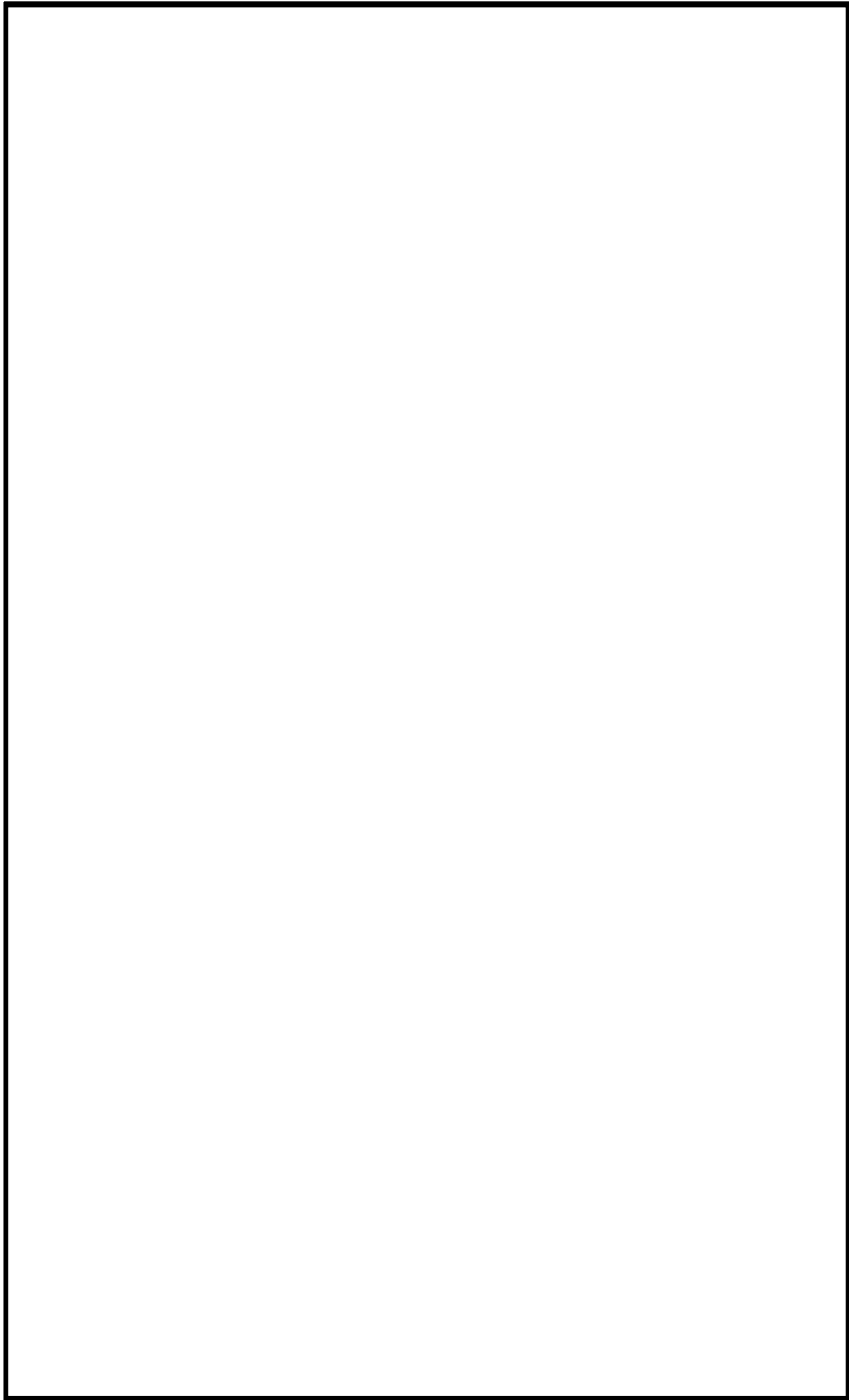
鳥 瞰 図 AC-11

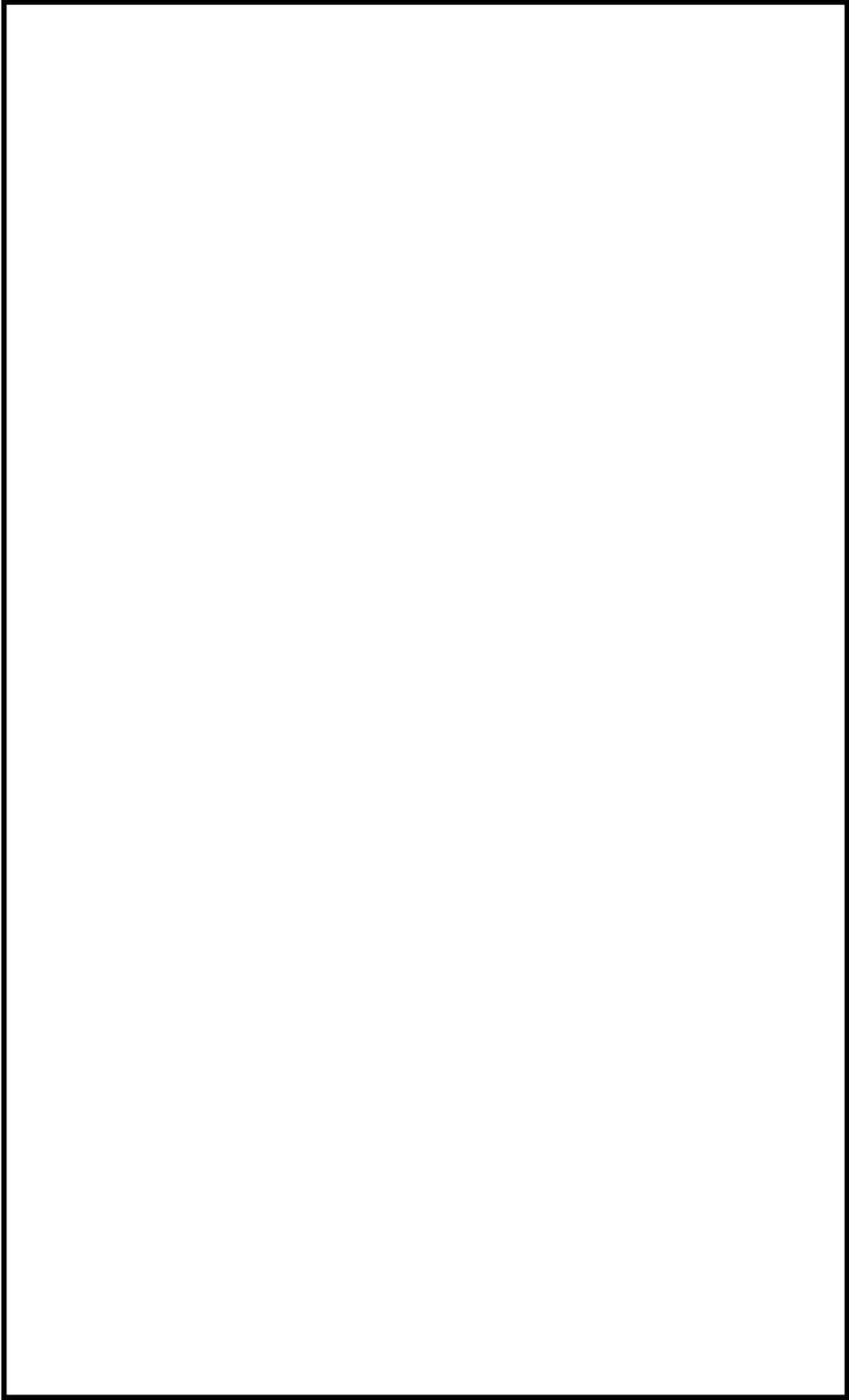
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

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 S _{prm} (S _d) S _{prm} (S _s)	許容応力 S _y * 0.9S _u	計算応力 S _n (S _s)	許容応力 2S _y	疲労累積係数 U S _s
AC-1, 2, 3, 8	III _A S	74	S _{prm} (S _d)	114	193	—	—	—
AC-11	IV _A S	379	S _{prm} (S _s)	193	363	—	—	—
AC-1, 2, 3, 8	IV _A S	74	S _n (S _s)	—	—	322	386	—

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)
SNO-AC-R001	オイルスナッパ	SN-10	「V-2-1-11機器・ 配管の耐震支持設 計方針」参照		102.0	150.0

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-FRVS-5	アンカ	ラグ	SM41A	200	21.6	28.2	65.1	54.3	58.7	35.2	組合せ	32	60
RE-AC-28	レストレイント	ラグ	SM41A	104.5	54.9	197.0	0	—	—	—	圧縮	82	150
RH-AC-25A	リジットハンガ	台座	STKR400 SS400	104.5	0	25.3	0	—	—	—	圧縮	12	74

4.2.3 弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおりの応答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
2-26B-10	止め弁	—	3.6	4.1	6.0	6.0	—	—
2-26B-12	止め弁	—	5.4	2.2	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	疲労累積係数	代表
1	AC-1, 2, 3, 8	74	114	193	1.69	○	74	171	335	1.95	—	74	322	386	1.19	—	○
2	AC-6, 7	11	52	193	3.71	—	11	59	335	5.67	—	10	101	386	3.82	—	—
3	AC-9, 10	7300	98	231	2.35	—	7300	127	366	2.88	—	7300	174	462	2.65	—	—
4	AC-11	379	123	211	1.71	—	379	193	363	1.88	○	379	345	422	1.22	—	—
5	AC-12, 13	23	30	170	5.66	—	23	39	335	8.58	—	23	42	340	8.09	—	—
6	AC-SGTS	92	95	201	2.11	—	92	169	335	1.98	—	92	318	402	1.26	—	—

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。