平成30年6月27日
日本原子力発電株式会社

東海第二発電所　工事計画認可申請資料　提出リスト(耐震計算書分)

No.	資料番号	資料名称	備考
1	工認-634　改0	Ⅴ-2-10-1-3-2 高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震性についての計算書	
2	工認-663　改0	Ⅴ-2-9-5-4-3 主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワの耐震性についての計算書	
3	工認-600　改0	Ⅴ-2-5-3-2-1 管の耐震性についての計算書　(復水給水系)	
4	工認-608　改0	Ⅴ-2-5-2-1-1 管の耐震性についての計算書　(原子炉冷却材再循環系)	
5	工認-605　改0	Ⅴ-2-5-5-1-3 管の耐震性についての計算書	
6	工認-602　改0	Ⅴ-2-6-4-1-3 管の耐震性についての計算書	
7	工認-664　改0	Ⅴ-2-9-5-4-1 低圧マニホールドの耐震性についての計算書	

本資料のうち，枠囲みの内容は，
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-634　改0
提出年月日	平成30年6月27日

Ⅴ-2-10-1-3-2　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 8
3. 評価部位 ····· 9
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 9
4.3 設計用地震力 ····· 14
4.4 解析モデル及び諸元 ····· 15
4.5 固有周期 ····· 17
4.6 計算方法 ····· 18
4.7 計算条件 ····· 18
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
6. 引用文献 ····· 20

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，高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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。

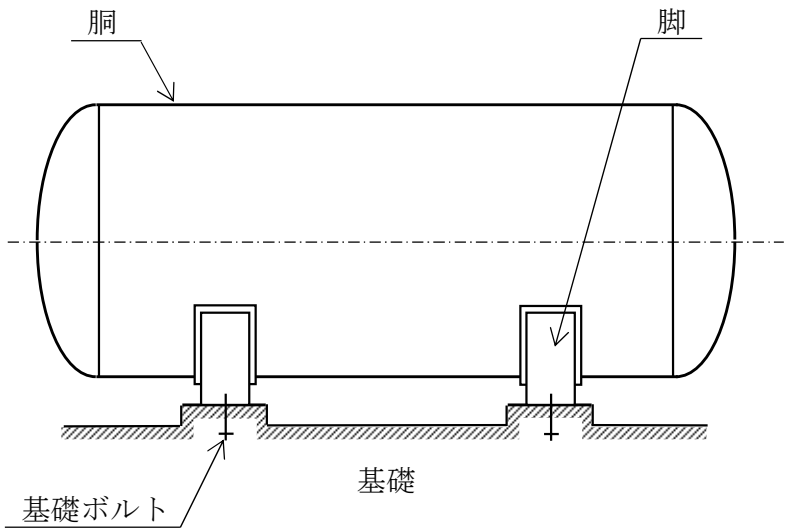
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの構造計画を表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4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。	横置円筒形容器	

2.2　評価方針

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの応力評価は，「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて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」にて示す高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において，「4.4　解析モデル及び諸元」及び「4.5　固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく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。

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フローを図2－1に示す。

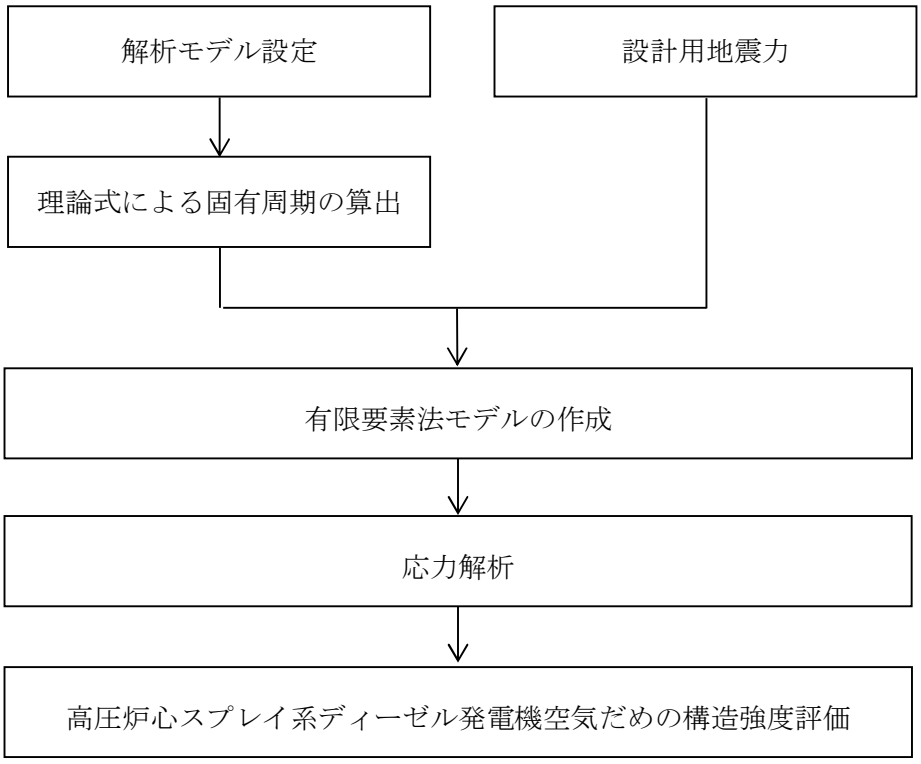


図2－1　高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準を以下に示す。

(1)　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，ＪＥＡＧ４６０１－1987及びＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版）（日本電気協会電気技術基準調査委員会　昭和59年9月，昭和62年8月及び平成3年6月）

(2)　発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005 年版（2007 年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007 年 9 月）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A_b	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
A_s	第1脚の断面積	mm^2
A_{s1}	第1脚の長手方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s2}	第1脚の横方向に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{s3}	第1脚の長手方向に対するせん断断面積	mm^2
A_{s4}	第1脚の横方向に対するせん断断面積	mm^2
a	第1脚底板の長手方向幅	mm
b	第1脚底板の横方向幅	mm
C_1	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の横方向）	mm
C_2	第1脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の長手方向）	mm
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
$C_{\ell j}$	軸方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
D_i	胴の内径	mm
d_1	第1脚底板端面から基礎ボルト中心までの長手方向の距離	mm
d_2	第1脚底板端面から基礎ボルト（外側）中心までの横方向の距離	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
H	水頭	mm
h_1	基礎から第1脚の胴付け根部までの高さ	mm
h_2	基礎から胴の中心までの高さ	mm
I_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
K_c	第1脚のばね定数（胴の横方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_ℓ	第1脚のばね定数（胴の長手方向に水平力が作用する場合）	N/m
K_v	第1脚のばね定数（胴に鉛直力が作用する場合）	N/m

記　号	記　号　の　説　明	単　位
K_{1j}，K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 （j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
K_{cj}，$K_{\ell j}$	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数 （j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
ℓ_0	脚中心間距離	mm
ℓ_i	第1脚より各荷重までの距離（ここで第2脚側の距離は正，その反対側は負とする。）（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	mm
ℓ_w	当て板における脚の取り付かない部分の長手方向長さ	mm
M_1	第1脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N･mm
M_2	第2脚付け根部における胴の運転時質量によるモーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
m_i	容器各部の質量（$i=1, 2, 3\cdots j_1$）	kg
m_{s1}	第1脚の質量	kg
m_{s2}	第2脚の質量	kg
n	脚1個当たりの基礎ボルトの本数	－
n_1	長手方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	－
n_2	横方向及び鉛直方向地震時に引張りを受ける基礎ボルトの本数	－
R_1	第1脚の受ける荷重	N
R_2	第2脚の受ける荷重	N
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
Sa	胴の許容応力	MPa
Su	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
Sy	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
Sy（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
s	基礎ボルトと基礎の縦弾性係数比	－
T	胴の温度条件	℃
T_s	脚の温度条件	℃
T_1	長手方向固有周期	s
T_2	横方向固有周期	s
T_3	鉛直方向固有周期	s
t	第1脚側胴板の厚さ	mm
t_e	第1脚付け根部における胴の有効板厚	mm

記　号	記　号　の　説　明	単　位
Z_{sx}	第1脚の長手方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{sy}	第1脚の横方向軸に対する断面係数	mm^3
θ	引用文献(1)による胴の有効範囲角の2分の1	rad
θ_0	胴の第1脚端部より鉛直軸までの角度	rad
θ_w	胴の第1脚端部より当板端部までの角度	rad
σ_0	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
σ_1	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_2	胴の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{s1}	脚の一次応力の最大値	MPa
σ_{s2}	脚の一次応力と二次応力の和の変動値の最大値	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は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
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第2位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	胴の厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積*2		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント		N･mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力		N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊2：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

＊3：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引張強さ及び降伏点は，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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価は，「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，耐震評価上厳しくなる胴，脚及び基礎ボルトについて実施する。高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの耐震評価部位については，表2－1の概略構造図に示す。

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) 容器及び内容物の質量は胴の中心軸に集中するものとする。

(2) 地震力は，容器に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，原則として，強度評価において組合せるものとする。なお，基礎ボルトにおいては，作用する荷重の算出において組合せるものとする。

(3) 容器の胴は4個の脚で支持され，脚はそれぞれ基礎に基礎ボルトで取り付ける。

(4) 水平方向は，脚をはりと考え，変形モードは脚の曲げ及びせん断変形を考慮する。胴の鉛直方向は剛とみなす。

(5) 胴と脚との取付部において胴の局部変形を考慮する。

(6) 脚は全脚固定とし，水平方向荷重は全ての脚で受けるものとする。

(7) 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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの許容応力を表4－3～表4－4に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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。

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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 空気だめ	S	クラス３容器*1	$D+P_D+M_D+S_d$ *2	ⅢAS
					$D+P_D+M_D+S_s$	ⅣAS

注記　＊1：クラス３容器の支持構造物を含む。
　　＊2：Ｓｓと組み合わせ，ⅢAＳの評価を実施する。

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
その他発電用原子炉の附属施設	非常用電源設備	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機 空気だめ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２容器*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：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
　　＊2：重大事故等クラス２容器の支持構造物を含む。
　　＊3：「$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$」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　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のうち大きい方とする。	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*3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。*3 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：座屈に対する評価が必要な場合には，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。

＊3：2・Ｓｙを超えるときは弾塑性解析若しくは設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。Ｓｍは2/3・Ｓｙと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

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）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅢAS	1.5・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t*	1.5・f_s*
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)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
胴	SM50B*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

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)
胴	SM50B*1 (16mm＜厚さ≦40mm)	最高使用温度	60	—	304	471	—
脚		周囲環境温度		—	309	480	—
基礎ボルト		周囲環境温度		—	231	394	—

4.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4－7及び表4－8に示す。

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$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」に基づく。

表 4－7　設計用地震力（設計基準対象施設）

耐震設計上の重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓ$_d$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
S	原子炉建屋 EL. -4.0*1	0.017	0.002	－*2	－*2	C_H＝0.87	C_V＝0.90

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：Ｓｓ組み合わせ，Ⅲ$_A$Ｓについて評価を実施する。

表 4－8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

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Ｓ$_d$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
常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建屋 EL. -4.0*	0.017	0.002	－	－	C_H＝0.87	C_V＝0.90

注記　＊：基準床レベルを示す。

4.4　解析モデル及び諸元

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめの解析モデルを図4－1に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表4－9に示す。

(1)　空気だめをシェル要素でモデル化したＦＥＭモデルによって求める。

(2)　拘束条件は，脚を脚底面ボルト位置で変位3(X，Y，Z)方向拘束，脚底面を鉛直(Z)方向フリーとする。

(3)　計算機コードは，「ＡＢＡＱＵＳ」を使用し，胴，脚及び基礎ボルトの応力を求める。なお，評価に用いる計算機コードの検証及び妥当性確認等の概要については，「Ⅴ-5-5 計算機プログラム（解析コード）の概要・ＡＢＡＱＵＳ」に示す。

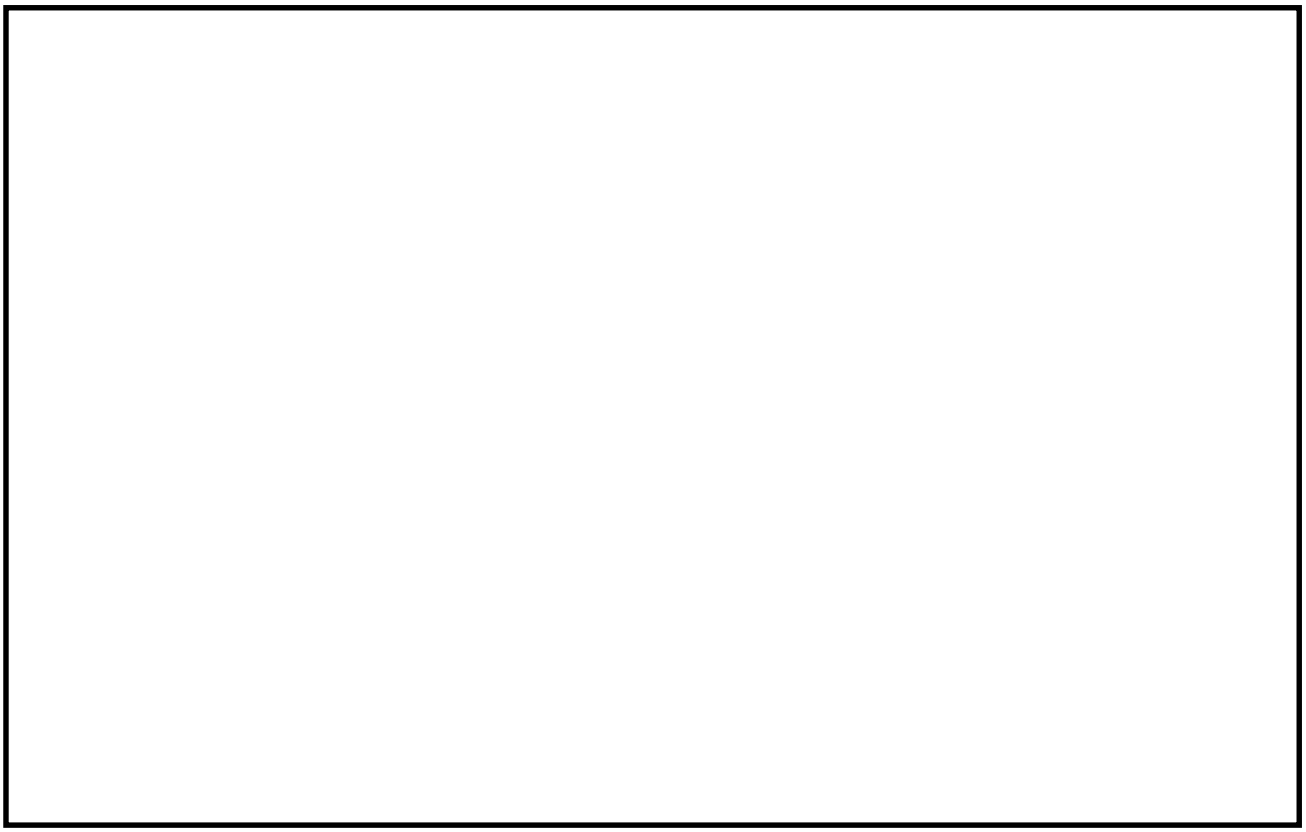


図4－1　解析モデル

表4－9　機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質		－	－	[redacted]
質量		m_0	kg	2000
温度条件（雰囲気温度）	胴	T	℃	60
	脚	T_s	℃	[redacted]
縦弾性係数	胴	E	MPa	201000
	脚	E_s	MPa	201000
ポアソン比		ν	－	0.3
要素数		－	個	13544
節点数		－	個	13522

[redacted]

4.5　固有周期

(1)　計算モデル

本容器は，4.1項より図4－1，図4－2及び図4－3のような1質点系振動モデルとして考える。

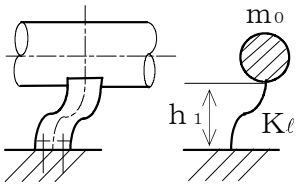


図 4－1　長手方向の固有周期計算モデル

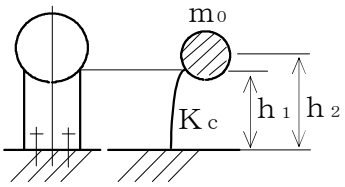


図 4－2　横方向の固有周期計算モデル

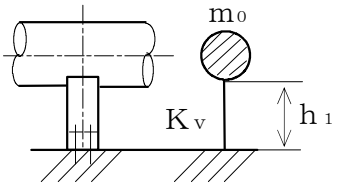


図 4－3　鉛直方向の固有周期計算モデル

(2)　脚の受ける荷重

脚の受ける荷重は全ての脚が下端固定構造であるため，機器の運転時質量m_0を全ての脚で受けるものとする。

(3)　長手方向の固有周期

図4－1におけるばね定数は次式で求める。

$$K_\ell = \frac{1000}{\dfrac{h_1^{\,3}}{12 \cdot E_s \cdot I_{sy}} + \dfrac{h_1}{G_s \cdot A_{s1}}} \quad \cdots\cdots (4.5.1)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_1 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_\ell}} \quad \cdots\cdots (4.5.2)$$

(4)　横方向の固有周期

図4－2におけるばね定数は次式で求める。

$$K_c = \frac{1000}{\dfrac{h_1^{\,2} \cdot (3 \cdot h_2 - h_1)}{6 \cdot E_s \cdot I_{sx}} + \dfrac{(h_2 - h_1) \cdot h_1 \cdot (h_2 - h_1/2)}{E_s \cdot I_{sx}} + \dfrac{h_1}{G_s \cdot A_{s2}}} \quad \cdots\cdots (4.5.3)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_2 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_c}} \quad \cdots\cdots (4.5.4)$$

(5)　鉛直方向の固有周期

図4－3におけるばね定数は次式で求める。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h_1}{A_s \cdot E_s}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.5.5)$$

固有周期は次式で求める。

$$T_3 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.5.6)$$

(6)　固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表4－10に示す。

表 4－10　固有周期（s）

方向		固有周期
水平	長手方向	0.005
	横方向	0.017
鉛直		0.002

4.6　計算方法

計算機コード「ＡＢＡＱＵＳ」により，胴，脚及び基礎ボルトの応力を求める。

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重（胴，脚及び基礎ボルト）は，本計算書の【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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。

4.8　応力の評価

4.8.1　胴及び脚の応力評価

4.6項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度及び脚の周囲環境温度における許容応力Ｓａ以下であること。ただし，Ｓａは下表による。

応力の種類	許　容　応　力　Ｓａ	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	設計降伏点Ｓｙと設計引張強さＳｕの0.6倍のいずれか小さい方の値。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あっては許容引張応力Ｓの1.2倍の方が大きい場合はこの大きい方の値とする。	設計引張強さＳｕの0.6倍
一　次　応　力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次応力と二次応力の和	地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値が設計降伏点Ｓｙの2倍以下であれば，疲れ解析は不要とする。	

4.8.2　基礎ボルトの応力評価

4.6項で求めた基礎ボルトの引張応力σｂは次式より求めた許容引張応力f_{ts}以下であること。ただし，f_{to}は下表による。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.8.2.1)$$

せん断応力τｂはせん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力f_{sb}以下であること。ただし，f_{sb}は下表による。

	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2}\cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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，弾性設計用地震動Ｓｄ及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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。

6. 引用文献

(1) Stresses in Large Horizontal Cylindrical Pressure Vessels on Two Saddle Supports, Welding Research Supplement, Sep.1951.

(2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, October 2002 Update of the March 1979 revision (original, August 1965)

【高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ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	耐震設計上の重要度分類	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			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ	S	原子炉建屋 EL. -4.0*1	0.017	0.002	－*2	－*2	C_H=0.87	C_V=0.90	3.24	60	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：ⅢＡＳについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

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)	H (mm)
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

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)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
2000	－	－	1200	22.0	22.0	－	－	－	－	－

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)
－	－	2.128×10^8	5.230×10^8	－	－	－	－

A_S (mm^2)	E (MPa)	E_S (MPa)	G_S (MPa)	A_{S1} (mm^2)	A_{S2} (mm^2)	A_{S3} (mm^2)	A_{S4} (mm^2)
5.333×10^4	201000 *1	201000 *2	77300	2.153×10^4	3.133×10^4	－	－

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell1}$	$K_{\ell2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\ell1}$	$C_{\ell2}$	C_{C1}	C_{C2}
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
－	－	－	－								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
－	4	－	－	－	－	452.4 (M24)	－	－

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)
304 *1	471 *1	－	309 *2	480 *2	－	－	231 *2	394 *2	231	276

注記　*1：最高使用温度で算出
　　*2：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し，解析コードＡＢＡＱＵＳを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

1.3.1 胴に生じる応力 （単位：MPa）

応　　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
	発生応力	発生応力
一次一般膜	－	$\sigma_0 = 90$
一　　次	－	$\sigma_1 = 107$
一次＋二次	－	$\sigma_2 = 31$

1.3.2 脚に生じる応力 （単位：MPa）

応　　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
	発生応力	発生応力
一　　次	－	$\sigma_{S1} = 80$
一次＋二次	－	$\sigma_{S2} = 29$

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力 （単位：MPa）

応　　力	弾性設計用地震動Ｓ$_d$ 又は静的震度	基準地震動Ｓ$_s$
	発生応力	発生応力
引　張　り	－	$\sigma_b = 9$
せ　ん　断	－	$\tau_b = 61$

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＝ 0.005
横方向	T_2＝ 0.017
鉛直方向	T_3＝ 0.002

1.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM50B	一次一般膜	σ_0 ＝ 90	S_a ＝ 282	σ_0 ＝ 90	S_a ＝ 282
		一次	σ_1 ＝ 107	S_a ＝ 423	σ_1 ＝ 107	S_a ＝ 423
		一次＋二次	σ_2 ＝ 31	S_a ＝ 608	σ_2 ＝ 31	S_a ＝ 608
脚	[redacted]	一次	σ_{S1} ＝ 80	S_a ＝ 432	σ_{S1} ＝ 80	S_a ＝ 432
		一次＋二次	σ_{S2} ＝ 29	S_a ＝ 619	σ_{S2} ＝ 29	S_a ＝ 619
基礎ボルト		引張り	σ_b ＝ 9	f_{ts} ＝ 145*2	σ_b ＝ 9	f_{ts} ＝ 192*2
		せん断	τ_b ＝ 61	f_{sb} ＝ 133	τ_b ＝ 61	f_{sb} ＝ 159

すべて許容応力以下である。

注記 *1：基準地震動Ｓｓによる算出値

*2：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b， f_{to}]より算出

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			
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電機空気だめ	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建屋 EL. -4.0*	0.017	0.002	－	－	C_H=0.87	C_V=0.90	3.24	60	

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)	H (mm)
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

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)	θ_w (rad)	ℓ_w (mm)
2000	－	－	1200	22.0	22.0	－	－	－	－	－

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)
－	－	2.128×10^8	5.230×10^8	－	－	－	－

A_S (mm^2)	E (MPa)	E_S (MPa)	G_S (MPa)	A_{S1} (mm^2)	A_{S2} (mm^2)	A_{S3} (mm^2)	A_{S4} (mm^2)
5.333×10^4	201000 *1	201000 *2	77300	2.153×10^4	3.133×10^4	－	－

K_{11}	K_{12}	K_{21}	K_{22}	$K_{\ell1}$	$K_{\ell2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\ell1}$	$C_{\ell2}$	C_{C1}	C_{C2}
－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
－	－	－	－								

s	n	n_1	n_2	a (mm)	b (mm)	A_b (mm^2)	d_1 (mm)	d_2 (mm)
－	4	－	－	－	－	452.4 (M24)	－	－

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)
304 *1	471 *1	－	309 *2	480 *2	－	－	231 *2	394 *2	－	276

注記　*1：最高使用温度で算出
　　*2：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

応力算出には有限要素解析手法を適用し，解析コードＡＢＡＱＵＳを使用して計算した。
以下に応力計算結果（応力最大値）を示す。

2.3.1 胴に生じる応力 （単位：MPa）

応　力	弾性設計用地震動Ｓd 又は静的震度	基準地震動Ｓs
	発生応力	発生応力
一次一般膜	－	$\sigma_0 = 90$
一　次	－	$\sigma_1 = 107$
一次＋二次	－	$\sigma_2 = 31$

2.3.2 脚に生じる応力 （単位：MPa）

応　力	弾性設計用地震動Ｓd 又は静的震度	基準地震動Ｓs
	発生応力	発生応力
一　次	－	$\sigma_{S1} = 80$
一次＋二次	－	$\sigma_{S2} = 29$

2.3.3 基礎ボルトに生じる応力 （単位：MPa）

応　力	弾性設計用地震動Ｓd 又は静的震度	基準地震動Ｓs
	発生応力	発生応力
引張り	－	$\sigma_b = 9$
せん断	－	$\tau_b = 61$

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

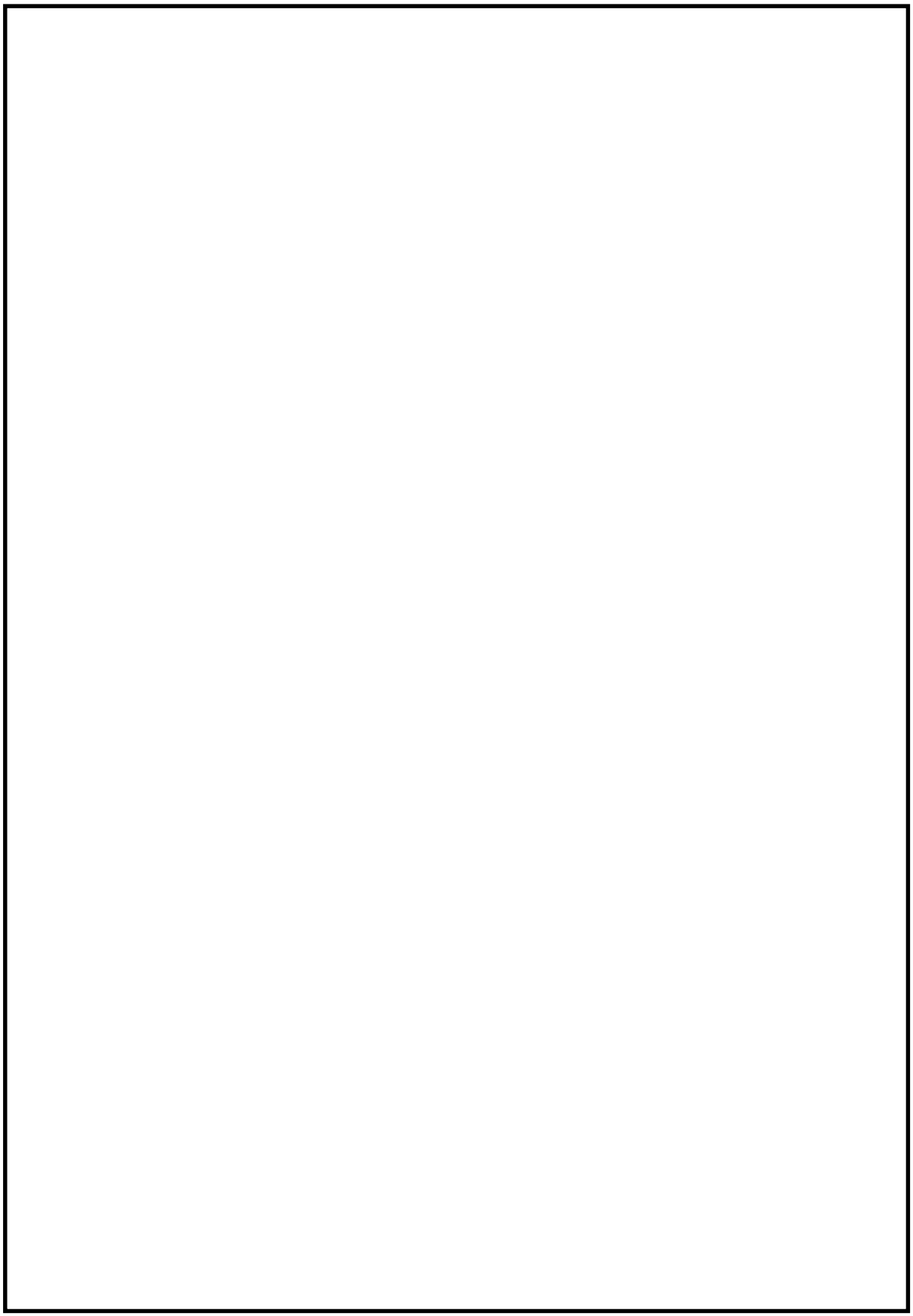
方向	固有周期
長手方向	T_1＝ 0.005
横方向	T_2＝ 0.017
鉛直方向	T_3＝ 0.002

2.4.2 応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SM50B	一次一般膜	－	－	σ_0 ＝ 90	S_a ＝ 282
		一次	－	－	σ_1 ＝ 107	S_a ＝ 423
		一次＋二次	－	－	σ_2 ＝ 31	S_a ＝ 608
脚	[redacted]	一次	－	－	σ_{S1} ＝ 80	S_a ＝ 432
		一次＋二次	－	－	σ_{S2} ＝ 29	S_a ＝ 619
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b ＝ 9	f_{ts} ＝ 192*
		せん断	－	－	τ_b ＝ 61	f_{sb} ＝ 159

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τb， f_{to}]より算出



空気だめの解析モデル

本資料のうち，枠囲みの内容は，
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-663　改0
提出年月日	平成30年6月27日

Ⅴ-2-9-5-4-3　主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ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. 構造強度評価 ····· 3
3.1 構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
4. 評価結果 ····· 7
4.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 7

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，主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ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。

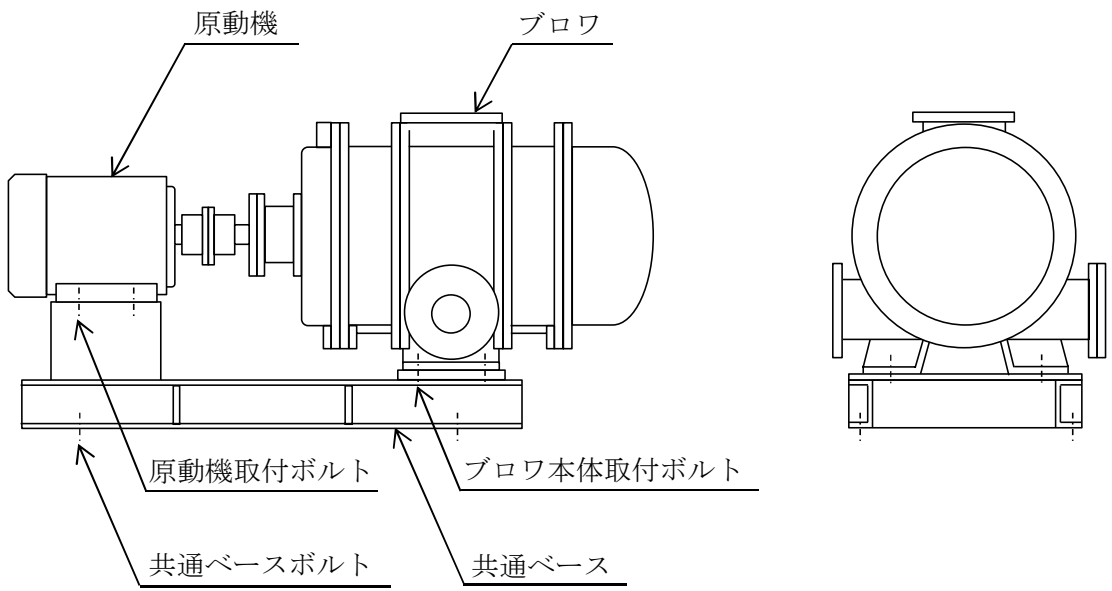
主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワの構造計画を表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	
ブロワは共通ベースボルトで壁の間に設置した梁に据え付ける。	ルーツ形	

3.　構造強度評価

3.1　構造強度評価方法

主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワの構造は横軸ブロワであるため，構造強度評価は，「Ⅴ-2-1-14-4　横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評価する。

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

主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ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に示す。

3.2.2　許容応力

主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワの許容応力を表3－2に示す。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ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3－3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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ	S	－*1	$D+P_D+M_D+S_d$*2	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊1：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊2：Ｓｓと組合せ，$\mathrm{III}_A S$の評価を実施する。

表 3－2　許容応力（その他の支持構造物）

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・f_t	1.5・f_s
ⅣAS	1.5・f_t^*	1.5・f_s^*

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 3－3　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)
共通ベースボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	—	685	847	—
ブロワ本体取付ボルト		周囲環境温度		—	685	847	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度		—	685	847	—

[redacted]

4. 評価結果

4.1 設計基準対象施設としての評価結果

主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ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，弾性設計用地震動Ｓｄ及び静的震度は基準地震動Ｓｓを下回っており，基準地震動Ｓｓによる発生値が，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度に対する評価における許容限界を満足するため，弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度による発生値の算出を省略した。

【主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		ポンプ振動による震度	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			
主蒸気隔離弁漏えい抑制系ブロワ	S	原子炉建屋 EL. 23.00 (EL. 29.00*1)	—*2	—*2	—*3	—*3	C_H=1.55	C_V=1.17	C_p=0.09	—	[redacted]

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。
＊3：ⅢASについては，基準地震動Ｓｓで評価する。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
共通ベースボルト (i=1)	[redacted]					4	—	2
ブロワ本体取付ボルト (i=2)						4	—	2
原動機取付ボルト (i=3)						4	—	2

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向		M_p(N・mm)	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
共通ベースボルト (i=1)	685	847	592*	592*	—	軸直角	—	—
ブロワ本体取付ボルト (i=2)	685	847	592*	592*	—	軸	—	—
原動機取付ボルト (i=3)	685	847	592*	592*	—	軸	—	—

注記 ＊：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})
H_p=65	N=1500

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部　　材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
共通ベースボルト (i＝1)	－	4.184×10^3	－	8.401×10^3
ブロワ本体取付ボルト (i＝2)	－	5.909×10^3	－	6.401×10^3
原動機取付ボルト (i＝3)	－	563.1	－	1.104×10^3

1.4 結　　論

1.4.1 ボルトの応力

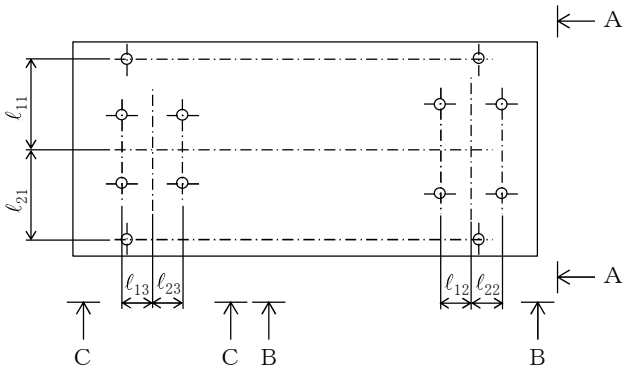
(単位：MPa)

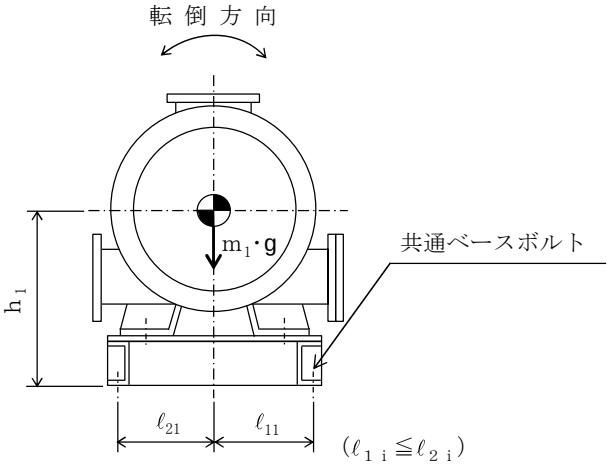
部　　材	材　　料	応　力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
共通ベースボルト (i＝1)	[redacted]	引張り	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝444*2	σ_{b1}＝37	f_{ts1}＝444*2
		せん断	τ_{b1}＝19	f_{sb1}＝342	τ_{b1}＝19	f_{sb1}＝342
ブロワ本体取付ボルト (i＝2)		引張り	σ_{b2}＝19	f_{ts2}＝444*2	σ_{b2}＝19	f_{ts2}＝444*2
		せん断	τ_{b2}＝ 5	f_{sb2}＝342	τ_{b2}＝ 5	f_{sb2}＝342
原動機取付ボルト (i＝3)		引張り	σ_{b3}＝ 8	f_{ts3}＝444*2	σ_{b3}＝ 8	f_{ts3}＝444*2
		せん断	τ_{b3}＝ 4	f_{sb3}＝342	τ_{b3}＝ 4	f_{sb3}＝342

すべて許容応力以下である。

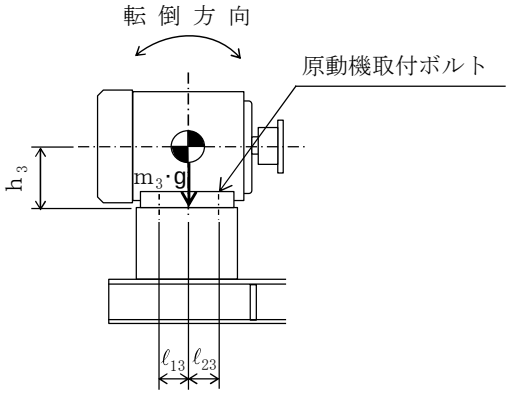
注記　*1：基準地震動 S_s による算出値

*2：$f_{tsi}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{toi}-1.6\cdot \tau_{bi},\ f_{toi}]$ より算出

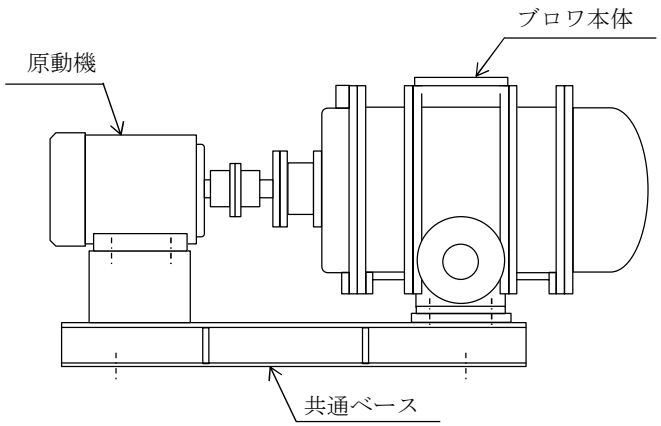


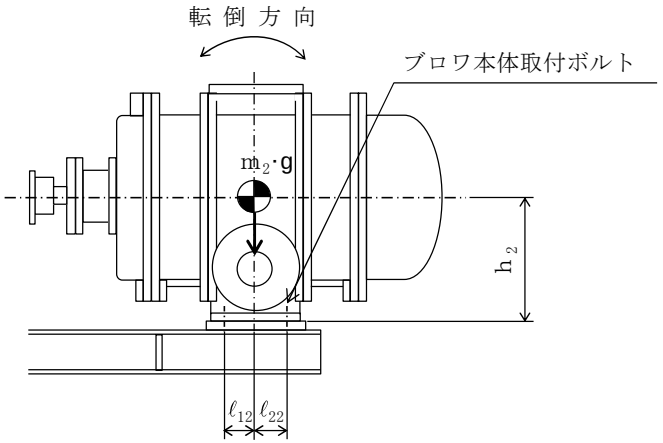


A～A矢視図
（共通ベースボルト）



C～C矢視図
（原動機取付ボルト）





B～B矢視図
（ブロワ本体取付ボルト）

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-600　改 0
提出年月日	平成30年6月27日

Ⅴ-2-5-3-2-1　管の耐震性についての計算書

（復水給水系）

Ⅴ-2-5-3-2-1　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 ····· 15
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 15
3.2　設計条件 ····· 16
3.3　材料及び許容応力 ····· 26
3.4　設計用地震力 ····· 27
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 ····· 40
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 40
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 42
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 43

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，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

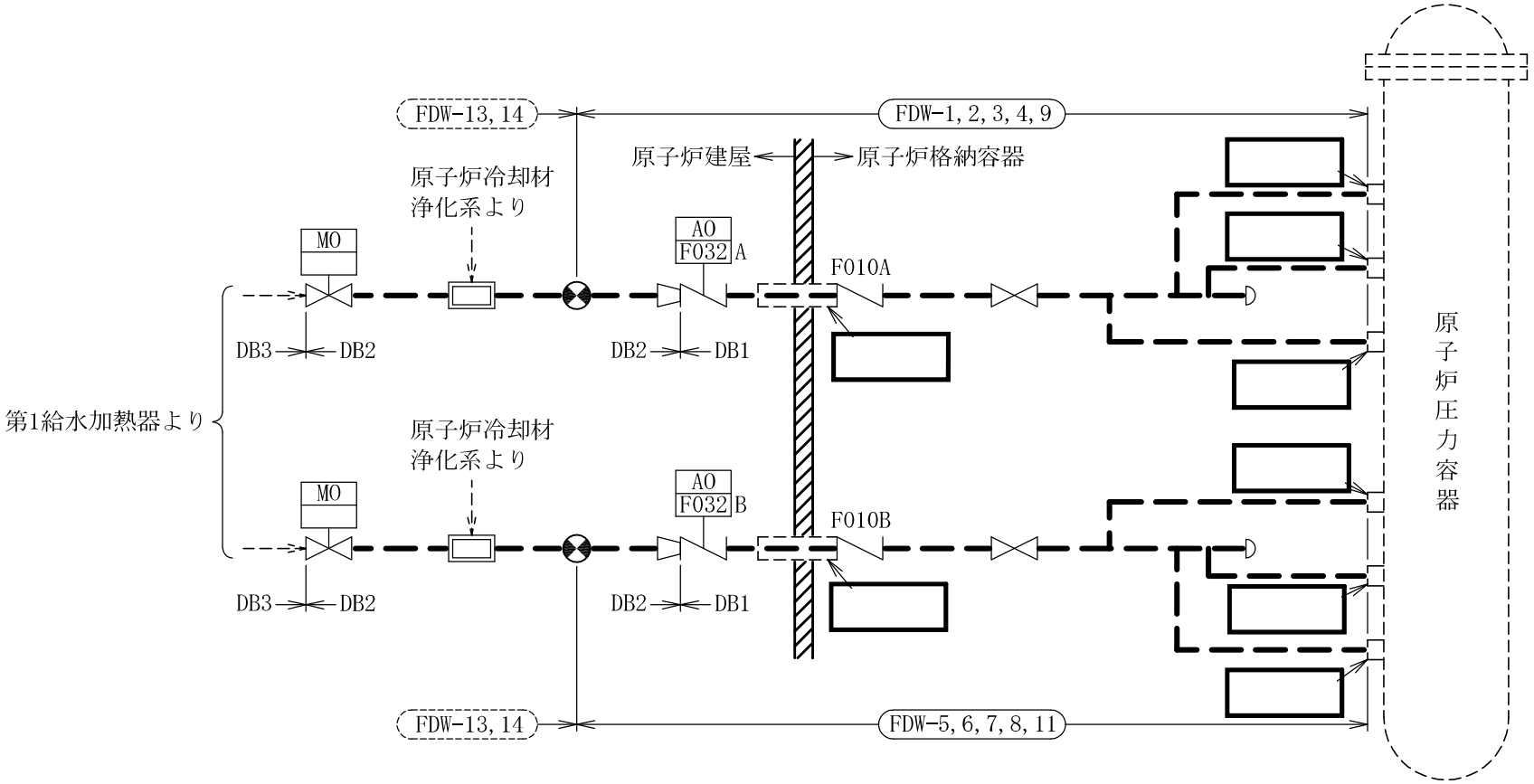
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

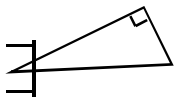
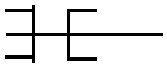
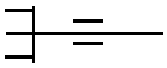
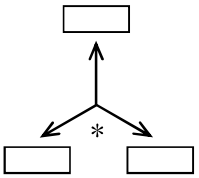
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果の記載を省略する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１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

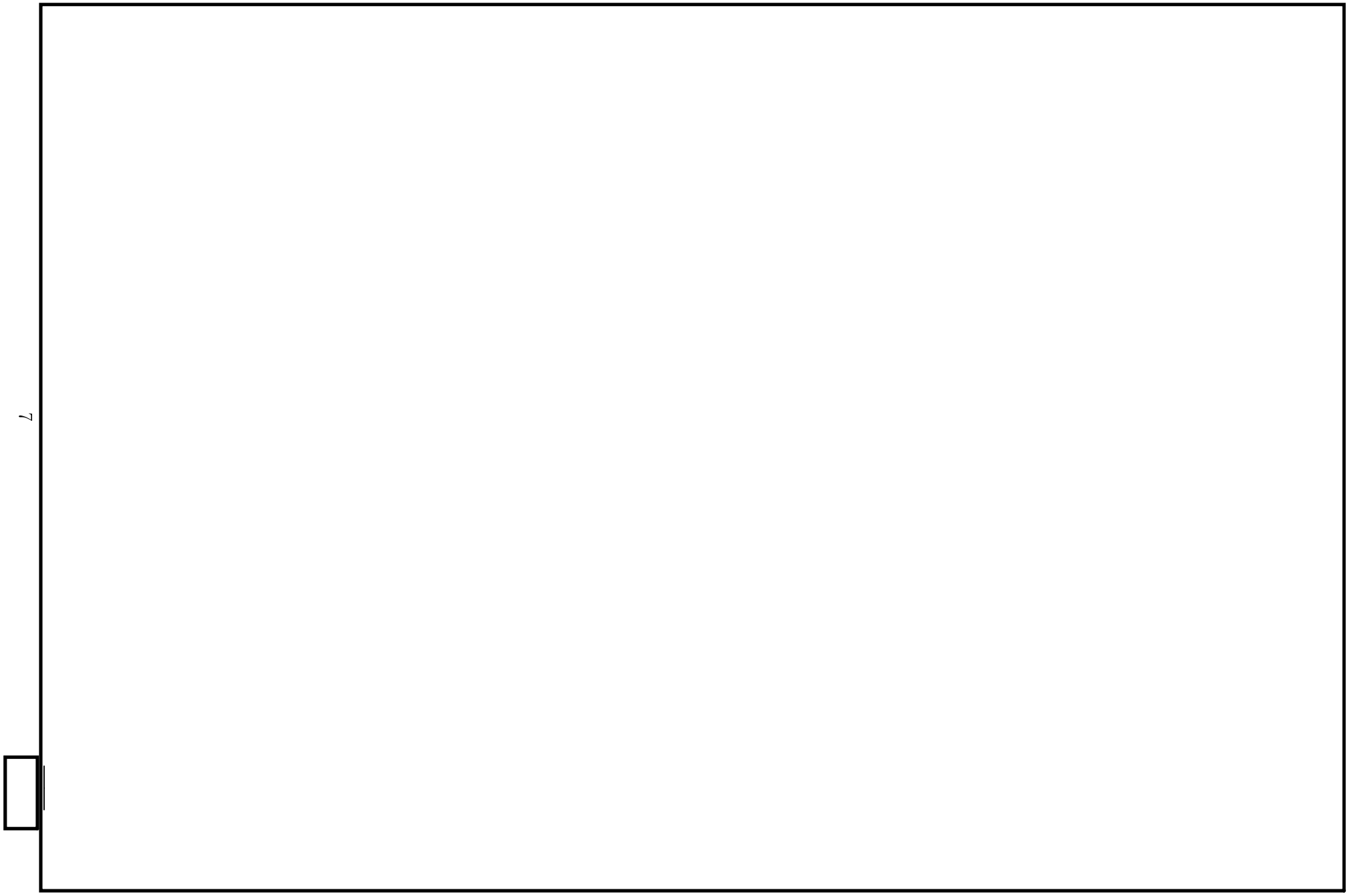

FDW-13,14
FDW-1,2,3,4,9
原子炉建屋
原子炉格納容器
原子炉冷却材
浄化系より
MO
AO
F032 A
F010A
DB3
DB2
DB2
DB1
第1給水加熱器より
原子炉冷却材
浄化系より
MO
AO
F032 B
F010B
DB3
DB2
DB2
DB1
FDW-13,14
FDW-5,6,7,8,11
原子炉圧力容器

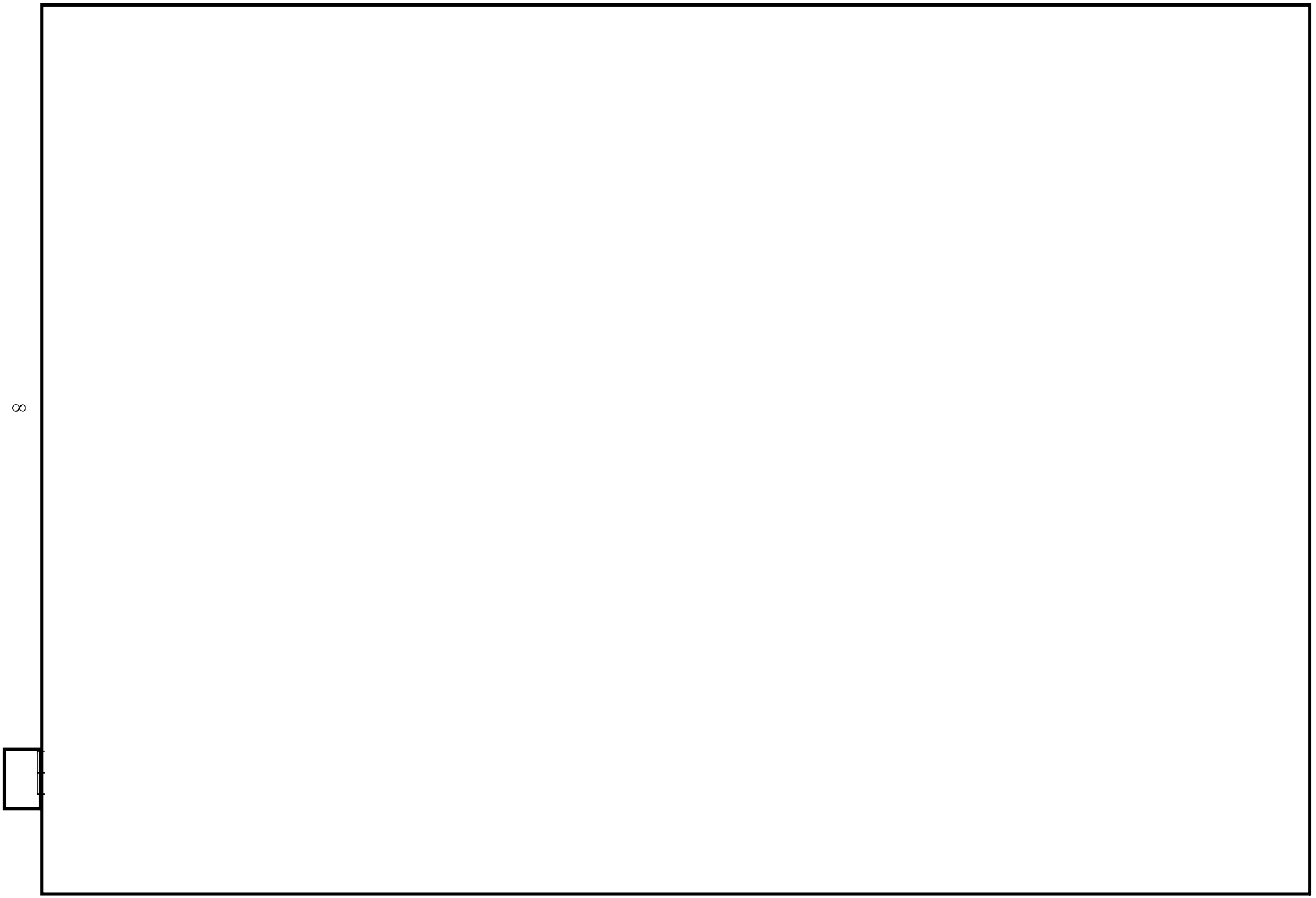
復水給水系概略系統図

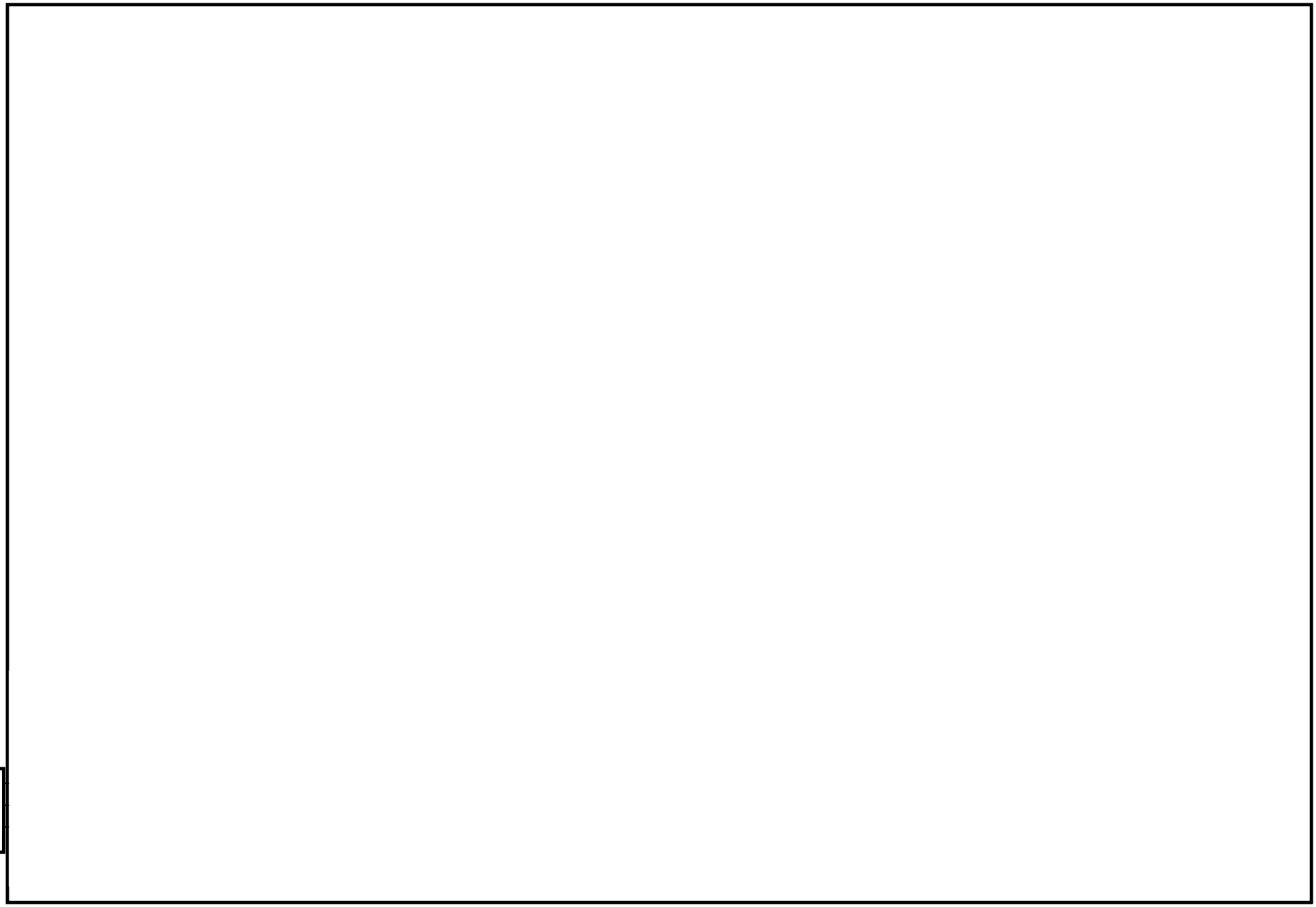
2.2　鳥瞰図

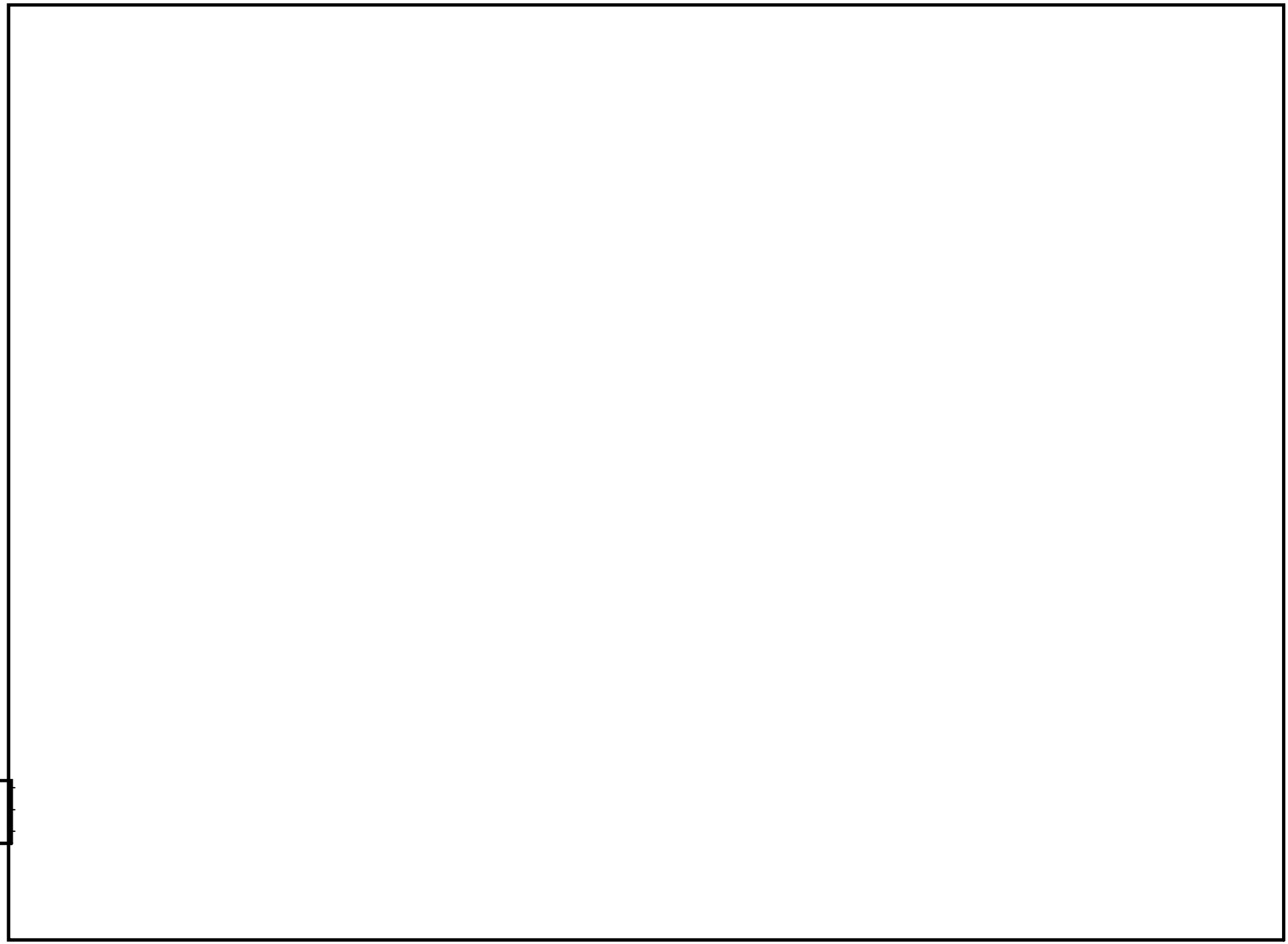
鳥瞰図記号凡例

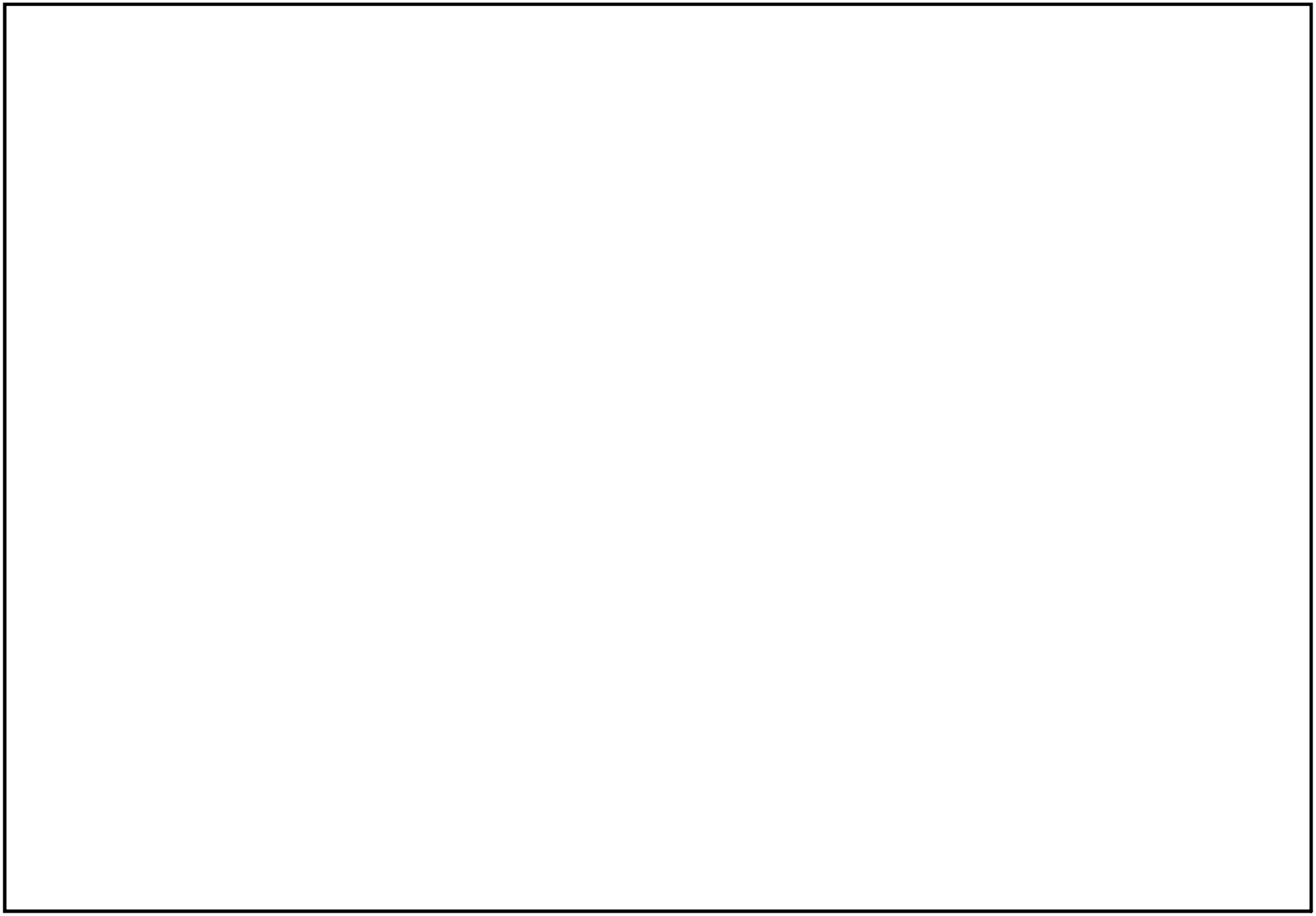
記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
―――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	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：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。











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	耐震クラス	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	復水給水系	DB	—	クラス１管 クラス２管 クラス３管	S	$I_L + S_d$	$III_A S$
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	$IV_A S$
							$II_L + S_s$	
							$IV_L(L) + S_d$ *6	
							$V_L(L) + S_d$ *7,8	$V_A S$
							$V_L(LL) + S_s$ *7	

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$V_A S$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： クラス１管においてのみ考慮する。

＊7： 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。

＊8： 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　FDW-1,2,3,4,9

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	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～3	8.62	302	609.6	46.0	STPT42	S	
2	5～6,11～16 17～450	8.62	302	508.0	26.2	ASTM A333 Gr.6	S	
3	6～10	8.62	302	508.0	26.2		S	
4	45～71,35～58 26～46	8.62	302	318.5	17.4		S	
5	71～79N,58～70N 46～57N	8.62	302	318.5	17.4	STS49	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　FDW-1,2,3,4,9

質量	対応する評価点
	1A～3
	5～6
	6～901
	901～10
	11～1501,18～2501,27～3401,3501～4401
	1501～16,17～18
	2501～27
	3401～3501
	4401～4501
	4501～450
	45～79N,35～70N,26～57N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　FDW-1,2,3,4,9

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				10～11			
16～17							

弁部の質量

鳥　瞰　図　FDW-1,2,3,4,9

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	4～5	[redacted]	10～11
	16～17		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　FDW-1,2,3,4,9

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						
502						
14						
15						
19						
19						
20						
29						
** 31 **						
** 32 **						
38						
** 41 **						
** 42 **						
** 42 **						
44						
73						
N1						
** 59 **						
63						
N11						
** 47 **						
50						
N12						

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　FDW-5,6,7,8,11

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	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～3	8.62	302	609.6	46.0	STPT42	S	
2	5～6,11～16 17～450	8.62	302	508.0	26.2	ASTM A333 Gr.6	S	
3	6～10	8.62	302	508.0	26.2		S	
4	45～71,35～58 26～46	8.62	302	318.5	17.4		S	
5	71～79N,58～70N 46～57N	8.62	302	318.5	17.4	STS49	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　FDW-5,6,7,8,11

質量	対応する評価点
	1A～3
	5～6
	6～901
	901～10
	11～1501,18～2501,27～3401,3501～4401
	1501～16,17～18
	2501～27
	3401～3501
	4401～4501
	4501～450
	45～79N,35～70N,26～57N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　FDW-5,6,7,8,11

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4～5	[redacted]			10～11	[redacted]		
16～17							

弁部の質量

鳥　瞰　図　FDW-5,6,7,8,11

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	4～5	[redacted]	10～11
	16～17		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　FDW-5,6,7,8,11

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
1A						
502						
14						
15						
19						
** 19 **						
20						
29						
** 31 **						
** 32 **						
38						
** 41 **						
** 42 **						
** 42 **						
44						
73						
N1						
** 59 **						
63						
N11						
** 47 **						
50						
N12						

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
STPT42	302	―	182	404	―
[redacted]	302	122	182	―	―
	302	122	182	―	―
	302	125	187	―	―
STS49	302	138	209	―	―

3.4　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を下表に示す。

なお，設計用床応答スペクトルは「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(%)
FDW-1,2,3,4,9	原子炉しゃへい壁		
FDW-5,6,7,8,11	原子炉しゃへい壁		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FDW-1,2,3,4,9

耐震クラス		S					
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		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							
10 次							
11 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

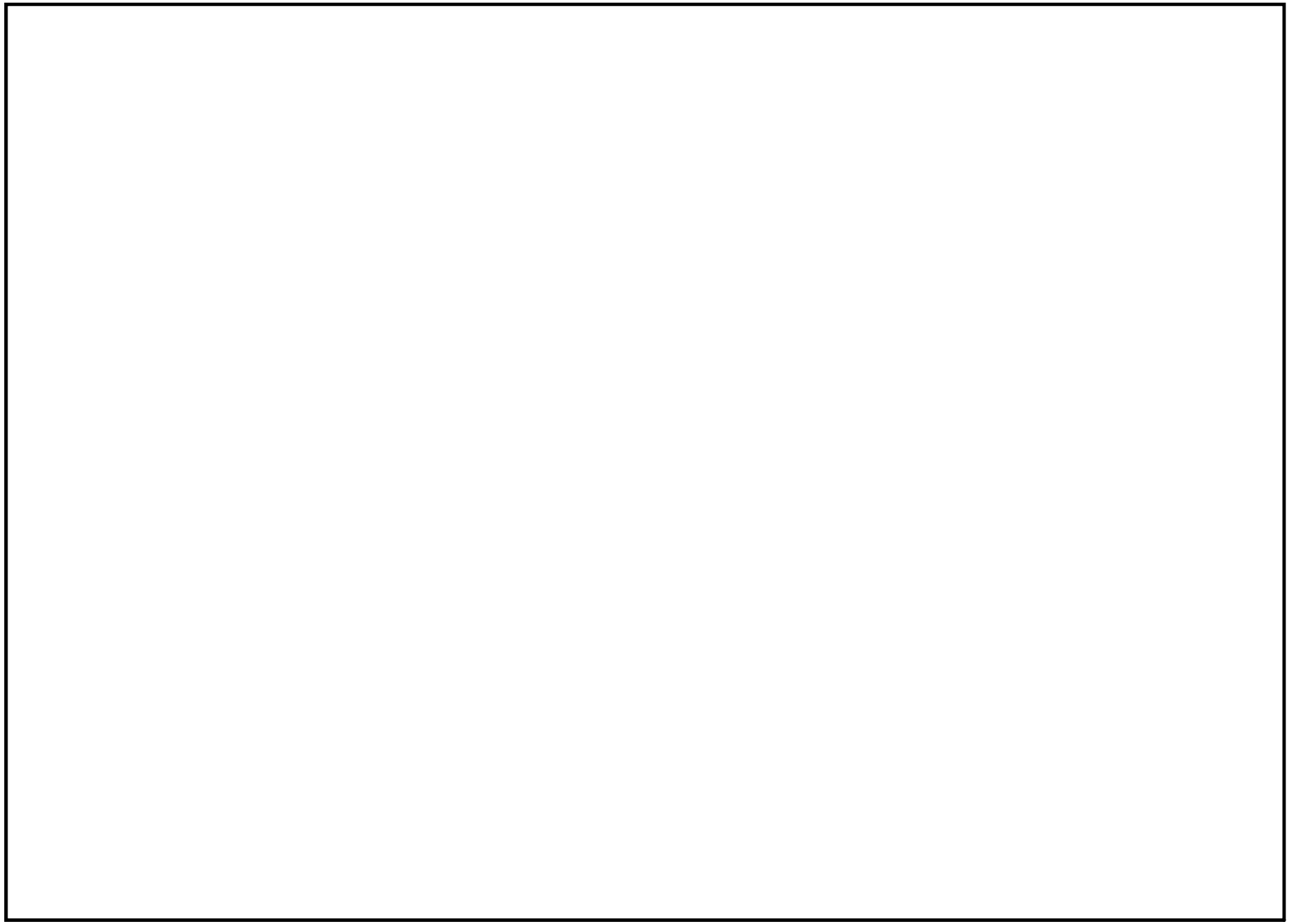
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　FDW-1,2,3,4,9

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				
10 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　FDW-5,6,7,8,11

耐震クラス		S					
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		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							
10 次							
11 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

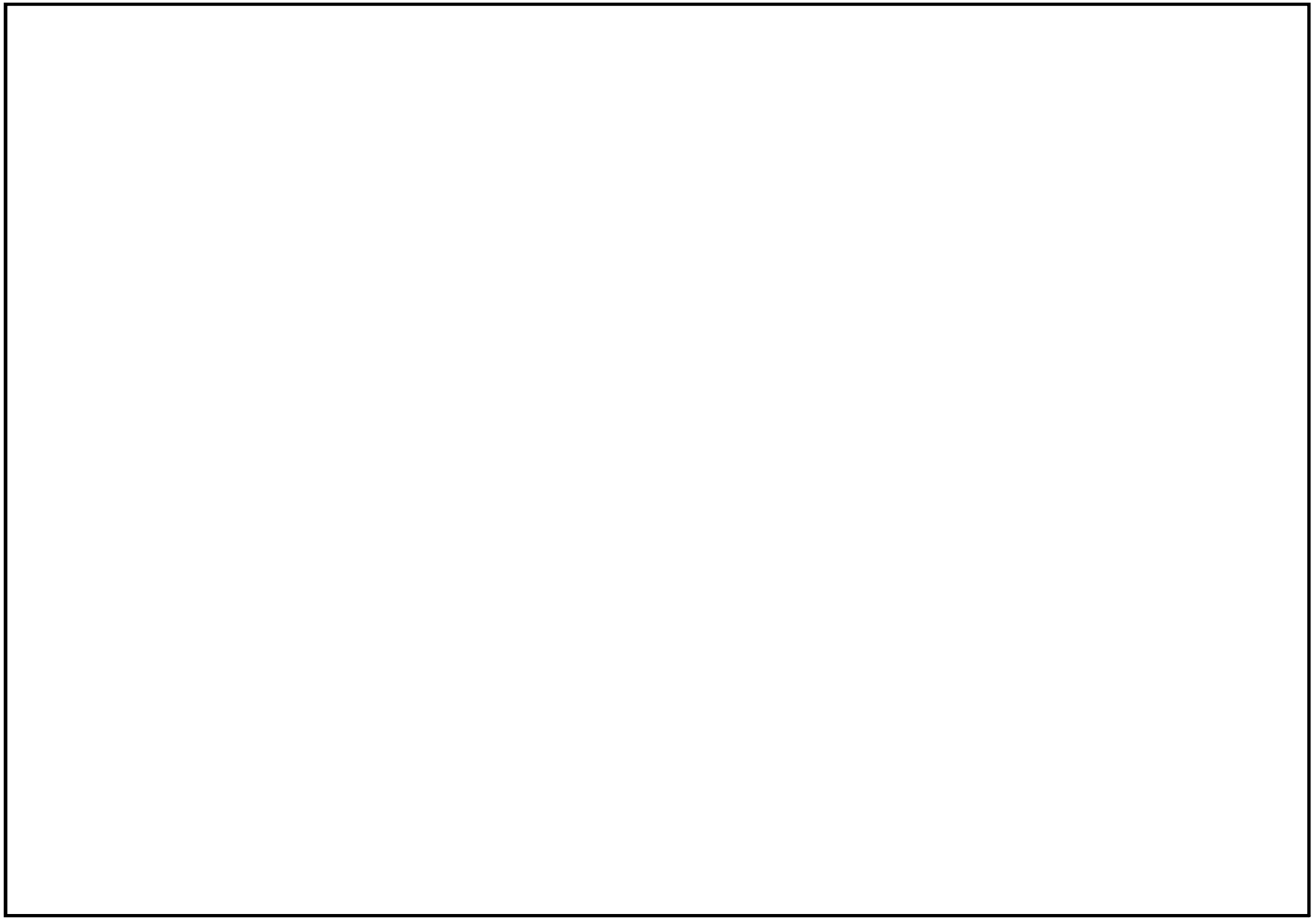
各モードに対応する刺激係数

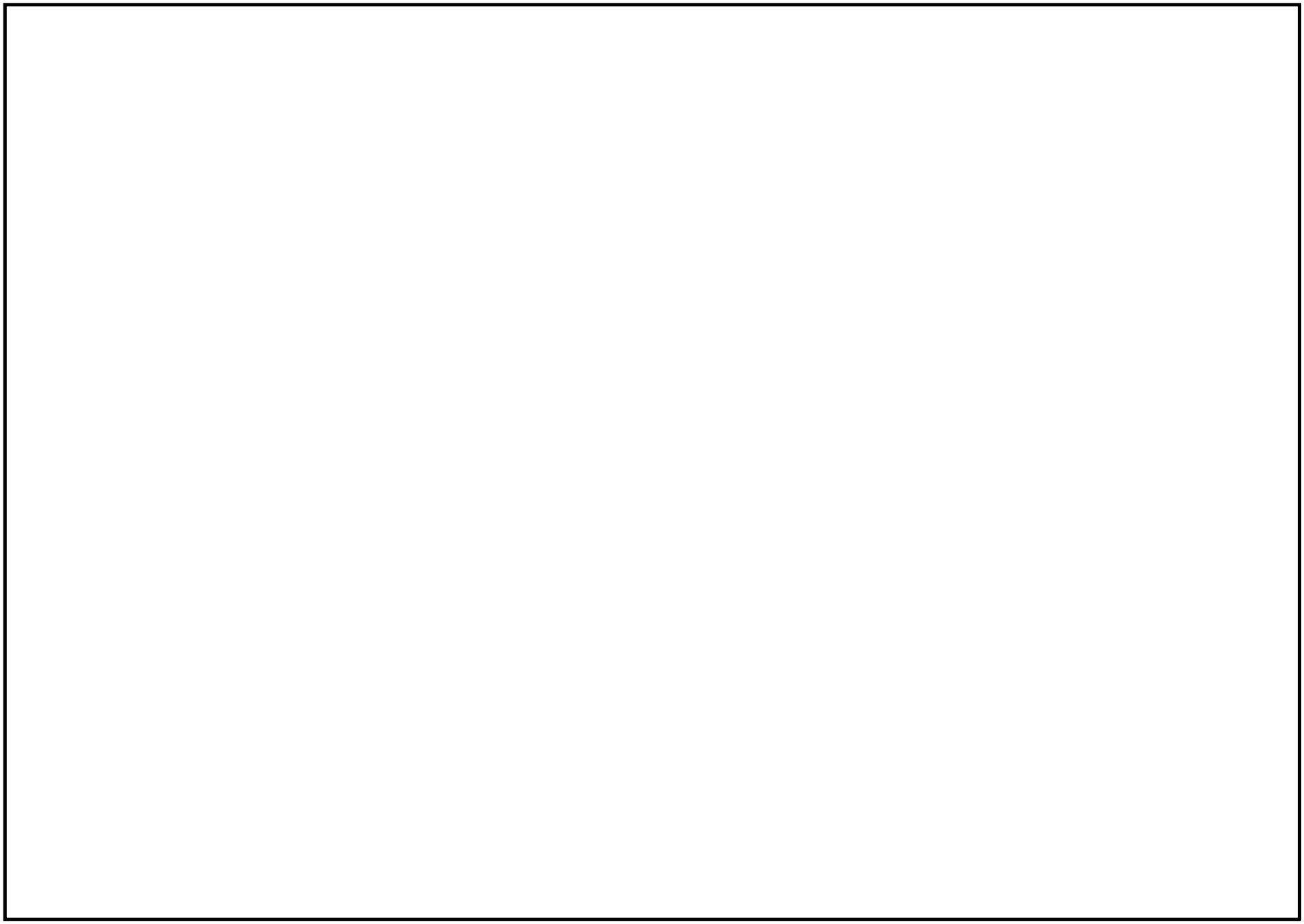
鳥　瞰　図　FDW-5,6,7,8,11

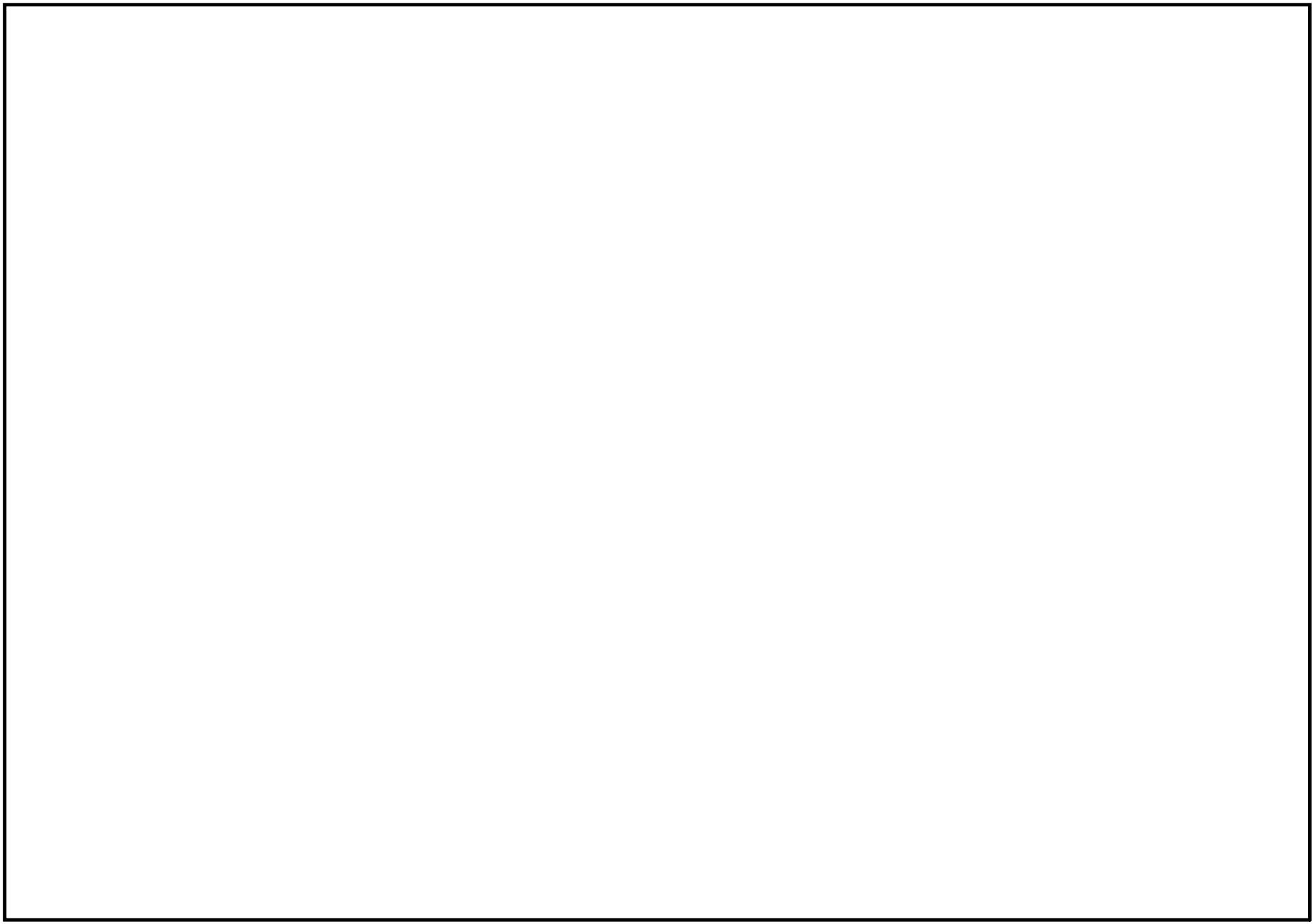
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
10 次				

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

下表に示すごとく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（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
					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	疲労累積係数 U+USs
FDW-5,6,7,8,11	ⅢAS	26	TEE	Sprm(Sd)	119	274	—	—	—	—	—
FDW-5,6,7,8,11	ⅢAS	48	ELBOW	St(Sd)	—	—	59	75	—	—	—
FDW-5,6,7,8,11	ⅣAS	26	TEE	Sprm(Ss)	164	364	—	—	—	—	—
FDW-5,6,7,8,11	ⅣAS	48	ELBOW	St(Ss)	—	—	98	100	—	—	—
FDW-5,6,7,8,11	ⅣAS	26	TEE	Sn(Ss)	—	—	—	—	422	366	0.2229
FDW-5,6,7,8,11	ⅣAS	26	TEE	U+USs	—	—	—	—	—	—	0.2229

管の応力評価結果

下表に示すごとく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 (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 Ｓn（Ｓs)	許容応力 2Ｓy	疲労累積係数 ＵＳs
FDW-1,2,3,4,9	ⅢAS	1A	Ｓprm（Ｓd)	73	182	—	—	—
FDW-1,2,3,4,9	ⅣAS	1A	Ｓprm（Ｓs)	97	363	—	—	—
FDW-1,2,3,4,9	ⅣAS	1A	Ｓn（Ｓs)	—	—	143	364	—

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

下表に示すごとく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-FDW-133B	メカニカルスナッバ	SMS-10	「V-2-1-11機器・配管の耐震支持設計方針」参照		112.0	150.0
SNO-FDW-144C,D	オイルスナッバ	SN-25			162.0	375.0
RO-FDW-143	ロッドレストレイント	RTS-16			214.0	288.0
SH-FDW-135A	スプリングハンガ	VS-2			54.3	72.9
CH-FDW-137A	コンスタントハンガ	CSH-40			42.1	45.9

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			
RE-FDW-142A	レストレイント	パイプバンド	SM41A	302	0	191.0	0	－	－	－	圧縮	39	111
AN-FDW-142	アンカ	ラグ	SB49	302	382.0	383.0	802.0	227.0	987.0	390.0	組合せ	93	217

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すごとく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＊ (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×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
B22-F010A	逆止め弁	α(Ss)	4.9	3.3	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。

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-608　改 0
提出年月日	平成30年6月27日

Ⅴ-2-5-2-1-1　管の耐震性についての計算書

（原子炉冷却材再循環系）

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 ····· 25
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 25
3.2　設計条件 ····· 26
3.3　材料及び許容応力 ····· 38
3.4　設計用地震力 ····· 39
4.　解析結果及び評価 ····· 40
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 40
4.2　評価結果 ····· 52
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 52
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 54
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 55

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，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

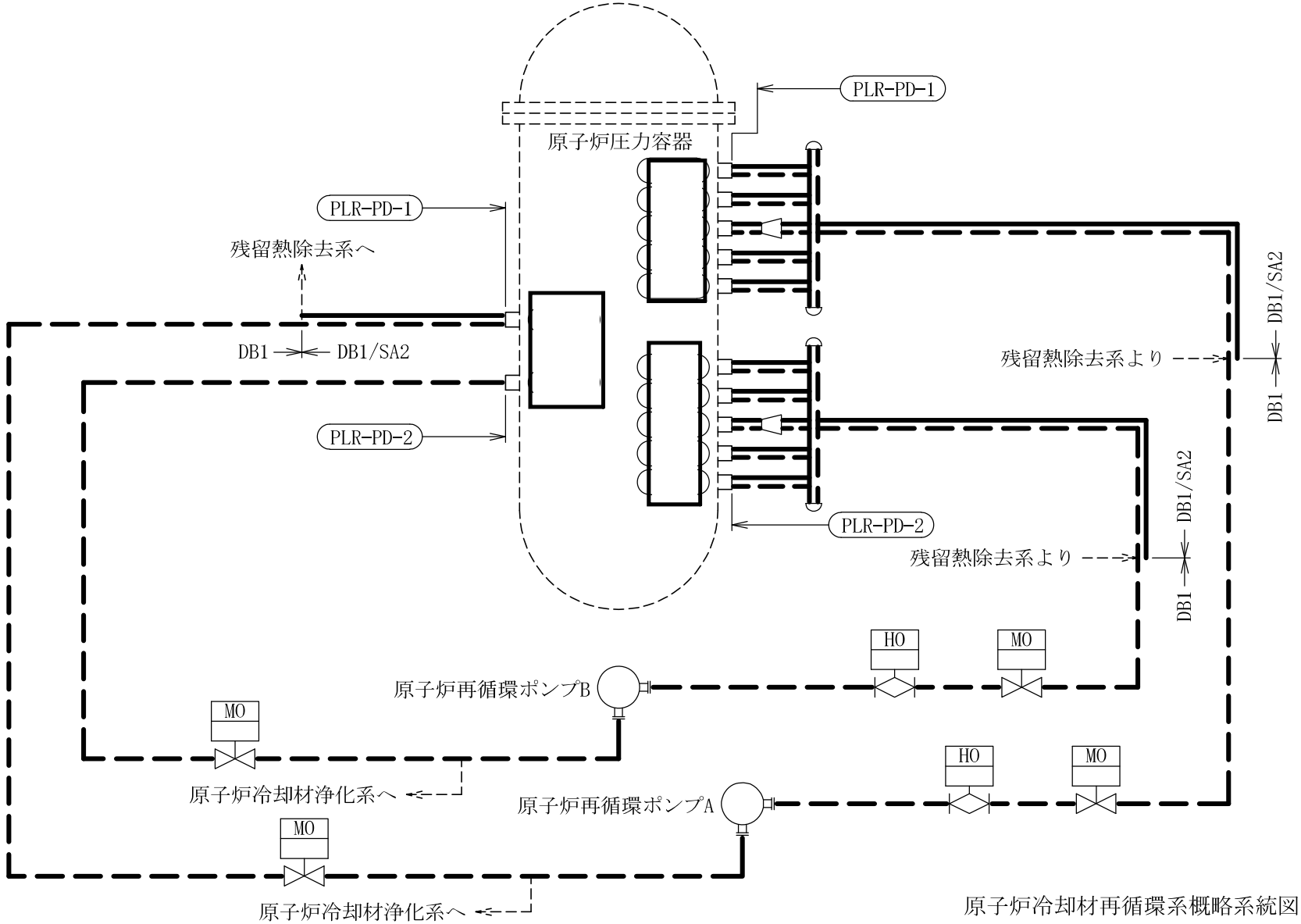
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

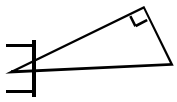
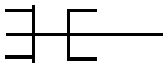
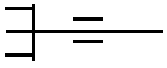
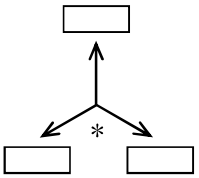
記　　号	内　　容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果の記載を省略する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１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

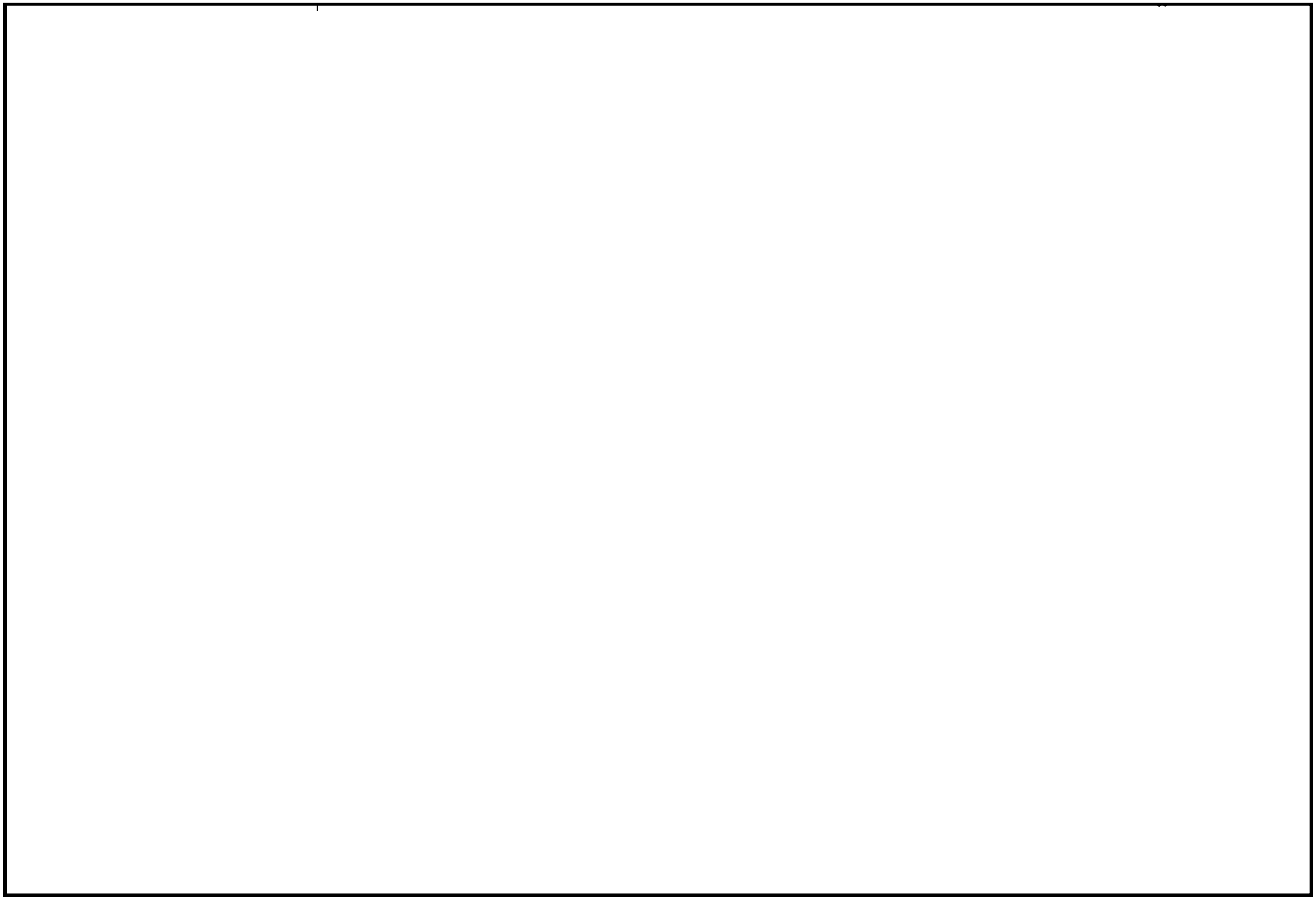


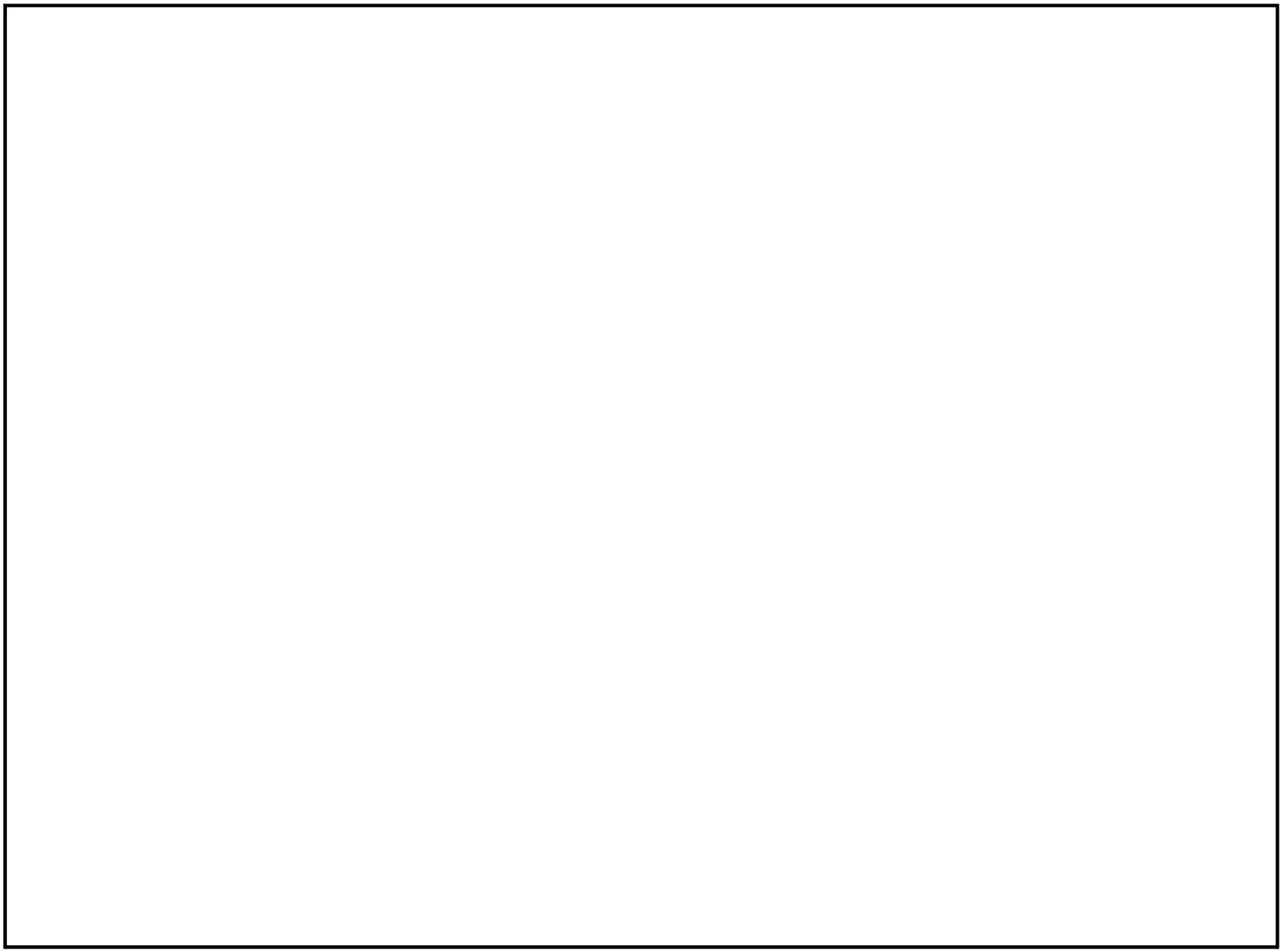
原子炉冷却材再循環系概略系統図

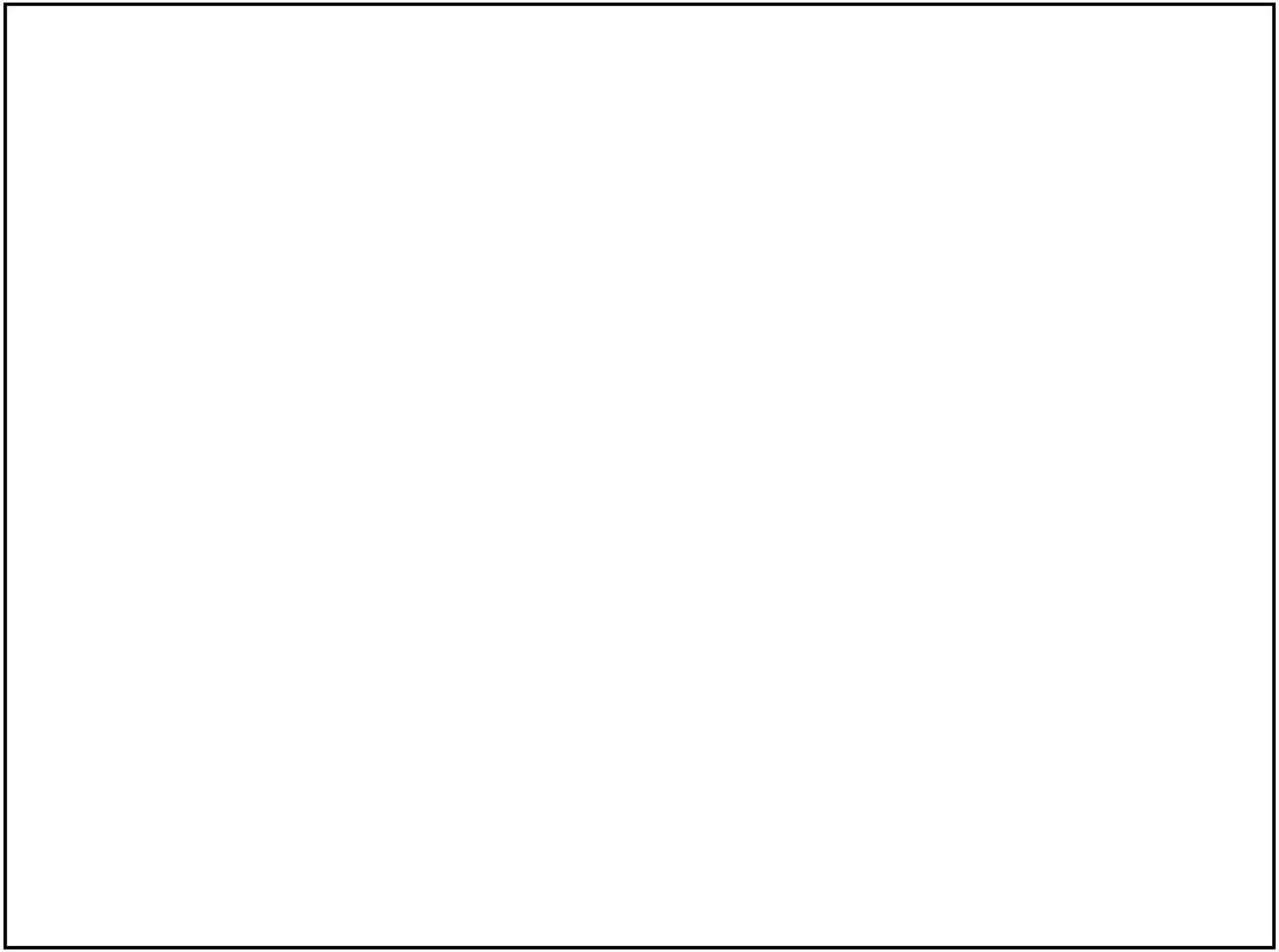
2.2　鳥瞰図

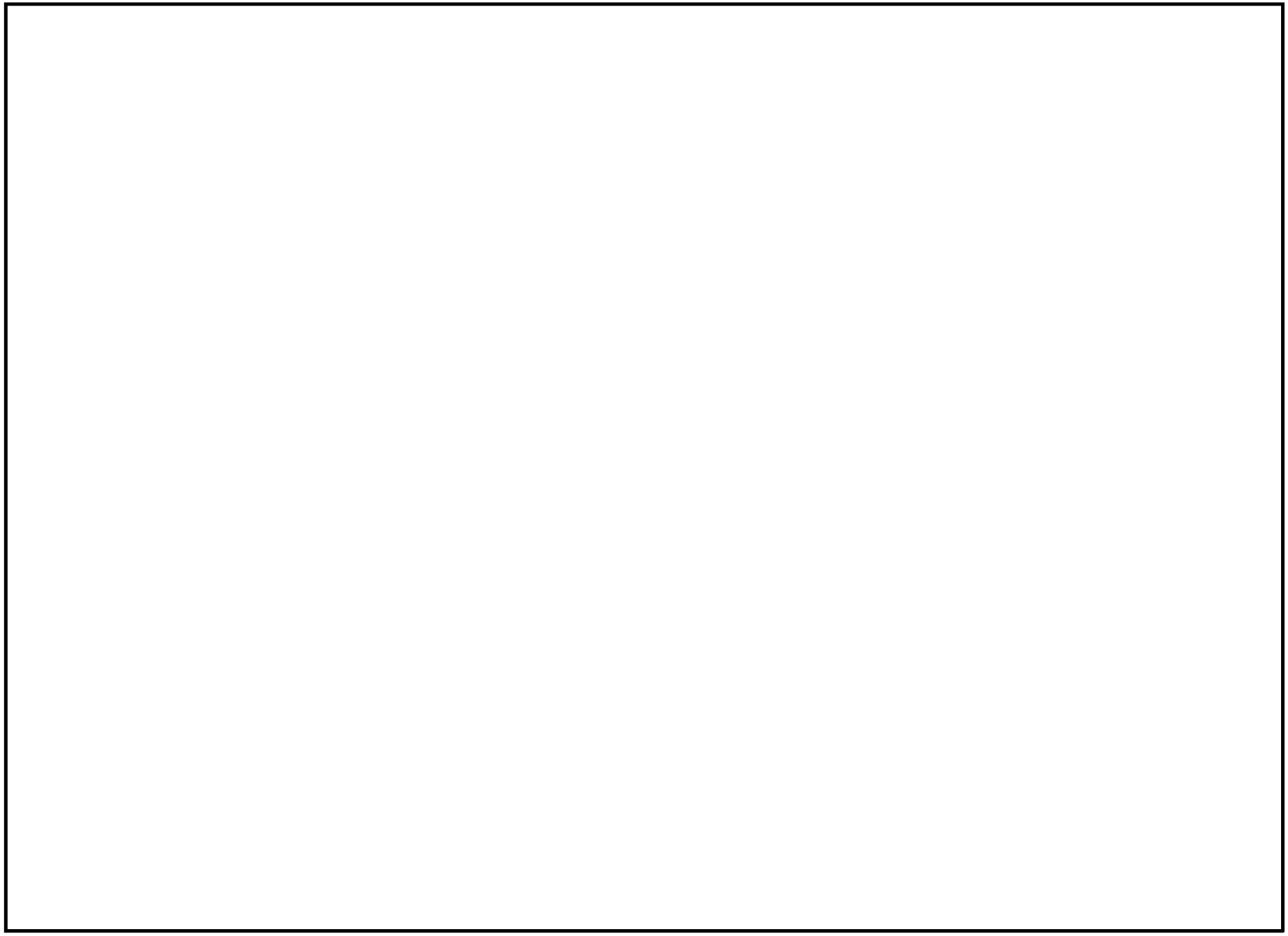
鳥瞰図記号凡例

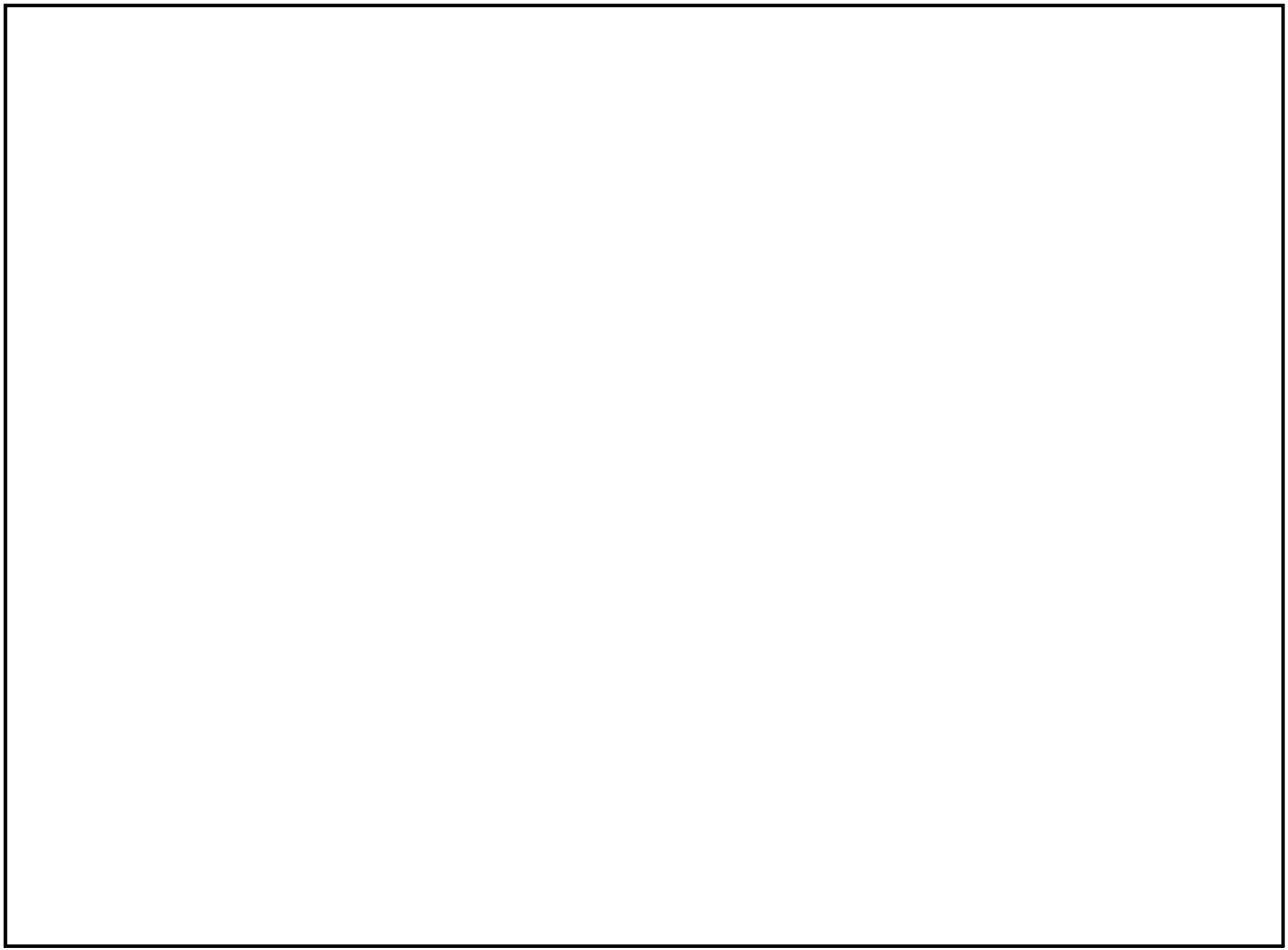
記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
	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：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

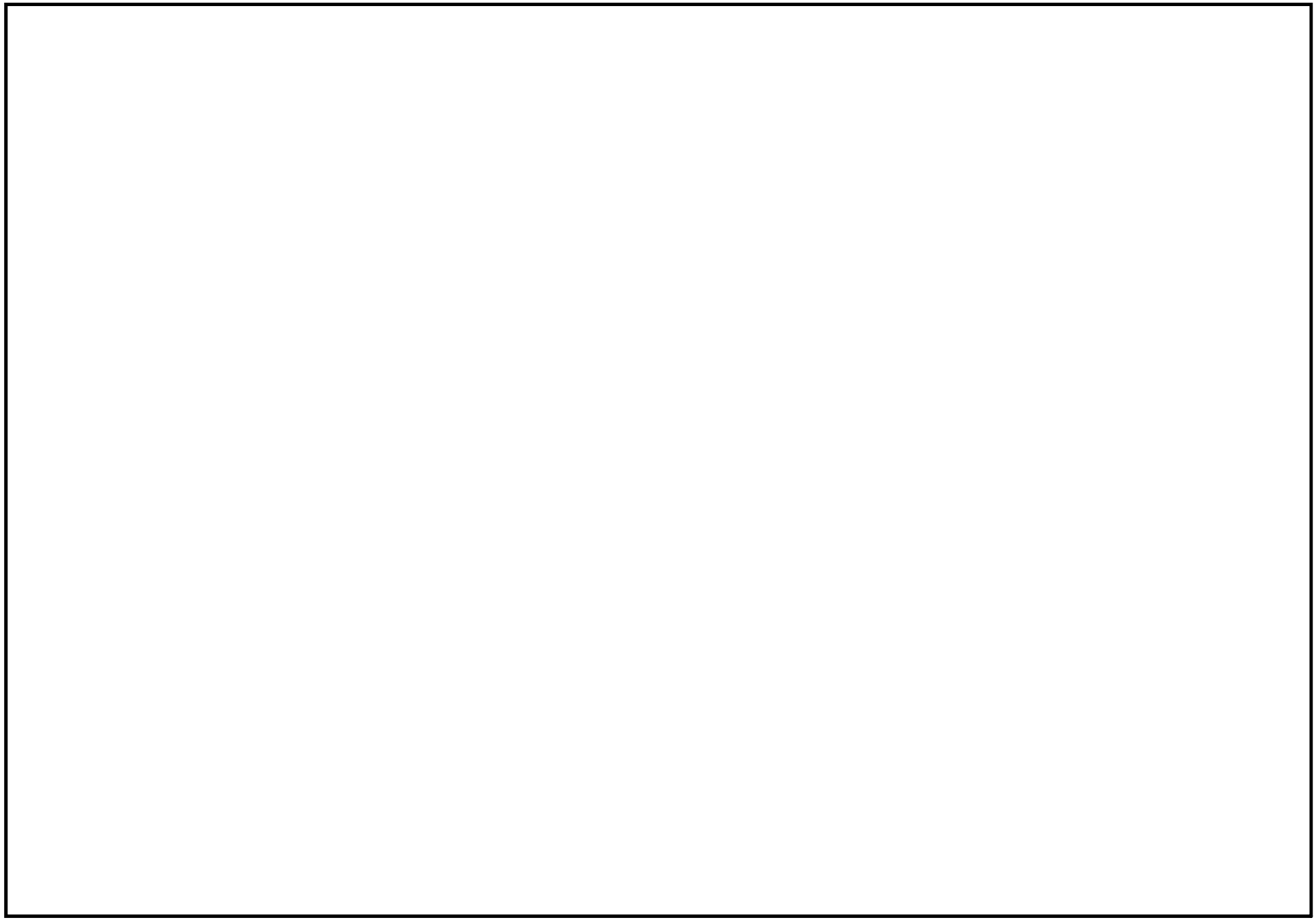


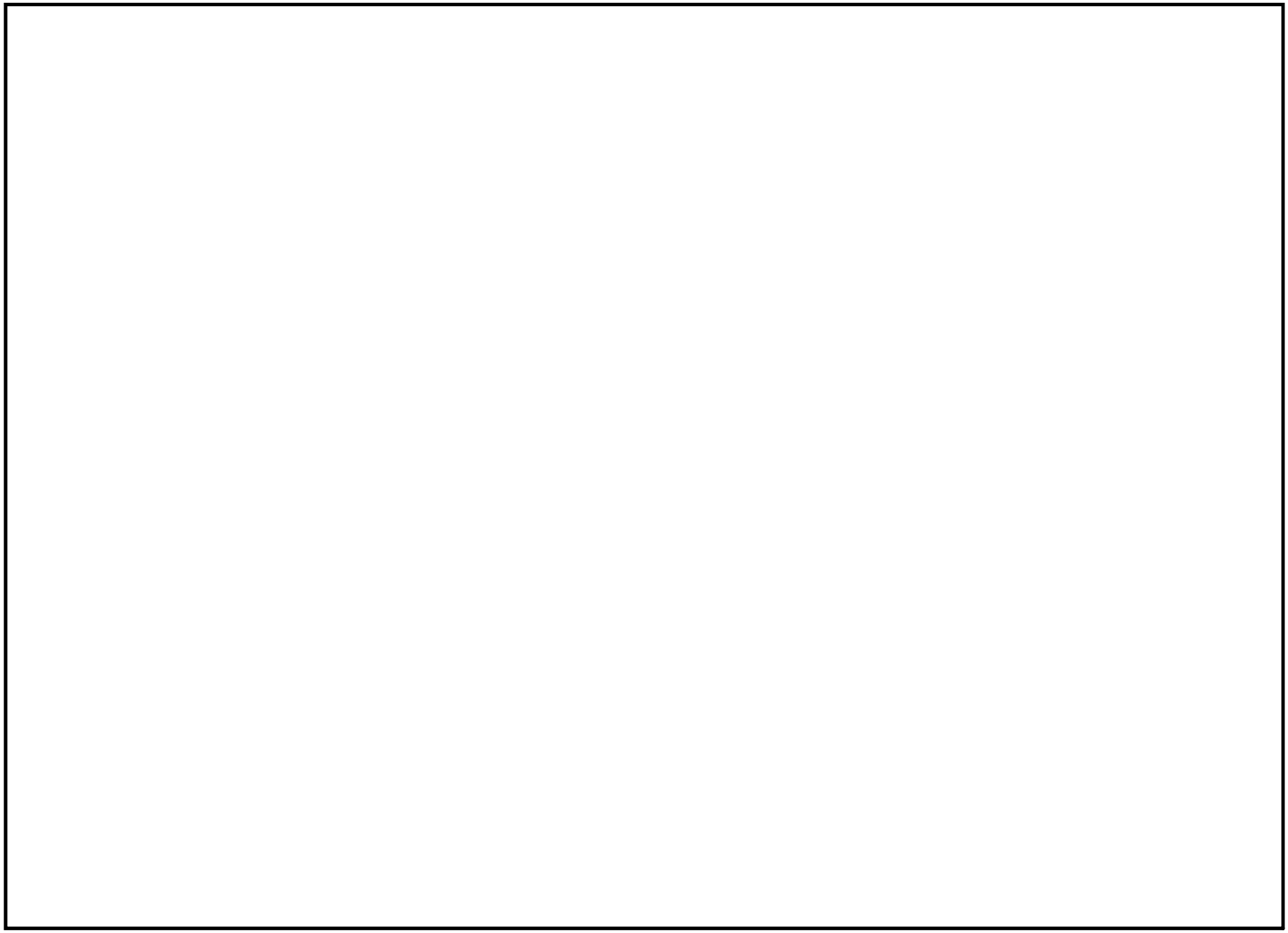












3. 計算条件

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	耐震クラス	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材再循環設備	原子炉冷却材再循環系	ＤＢ	―	クラス１管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
							$IV_L(L)+S_d$	
	残留熱除去設備	残留熱除去系	ＤＢ	―	クラス１管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
							$IV_L(L)+S_d$	
			ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	―	―	―

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。

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 PLR-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	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～10	8.62	302	609.6	31.0		S	
2	14～16	8.62	302	630.0	40.0		S	
3	35～37,41～46	11.38	302	630.0	40.0		S	
4	50～55	10.70	302	609.6	39.0		S	
5	55～57	10.70	302	673.0	71.4		S	
6	58～62N,75～114N 80～124N,94～134N 100～144N	10.70	302	323.9	21.4		S	
7	56～81,56～101	10.70	302	420.0	33.8		S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　PLR-PD-1

質量	対応する評価点
	1N～601, 701～10, 50～55
	601～701
	14～16, 35～37, 41～46
	55～57, 56～70, 56～90
	58～62N, 110～114N, 120～124N, 130～134N, 140～144N
	70～74, 76～79, 90～93, 95～99
	74～76, 93～95, 75～110, 94～130
	79～81, 99～101, 80～120, 100～140

弁部の寸法

鳥　瞰　図　PLR-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)
10～11				11～12			
12～13				11～14			
37～38				38～39			
39～40				38～41			
46～47				47～48			
48～49				47～50			

弁部の質量

鳥　瞰　図　PLR-PD-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	10～11, 11～14	[redacted]	10, 14
	11		12
	13		37～38, 38～41
	38		39
	40		46～47, 47～50
	46, 50		47
	48		49

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PLR-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
N01						
5						
** 8 **						
** 8 **						
** 14 **						
** 1401 **						
** 18 **						
** 19 **						
** 20 **						
** 20 **						
23						
24						
25						
26						
** 30 **						
** 31 **						
** 32 **						
43						
43						
44						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PLR-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
512						
512						
** 53 **						
** 53 **						
NA1						
72						
** 77 **						
** 7701 **						
92						
** 97 **						
** 98 **						
NB1						
NC1						
ND1						
NE1						

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　PLR-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	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～10	8.62	302	609.6	31.0		S	
2	14～16	8.62	302	630.0	40.0		S	
3	35～37,41～46	11.38	302	630.0	40.0		S	
4	50～55	10.70	302	609.6	39.0		S	
5	55～57	10.70	302	673.0	71.4		S	
6	58～62N,75～114N 80～124N,94～134N 100～144N	10.70	302	323.9	21.4		S	
7	56～81,56～101	10.70	302	420.0	33.8		S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　PLR-PD-2

質量	対応する評価点
	1N～10, 14～16, 35～37, 41～46, 50～55
	55～57, 56～70, 56～90
	58～62N, 110～114N, 120～124N, 130～134N, 140～144N
	70～74, 76～79, 90～93, 95～99
	74～76, 93～95, 75～110, 94～130
	79～81, 99～101, 80～120, 100～140

弁部の寸法

鳥　瞰　図　PLR-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)
10～11				11～12			
12～13				11～14			
37～38				38～39			
39～40				38～41			
46～47				47～48			
48～49				47～50			

弁部の質量

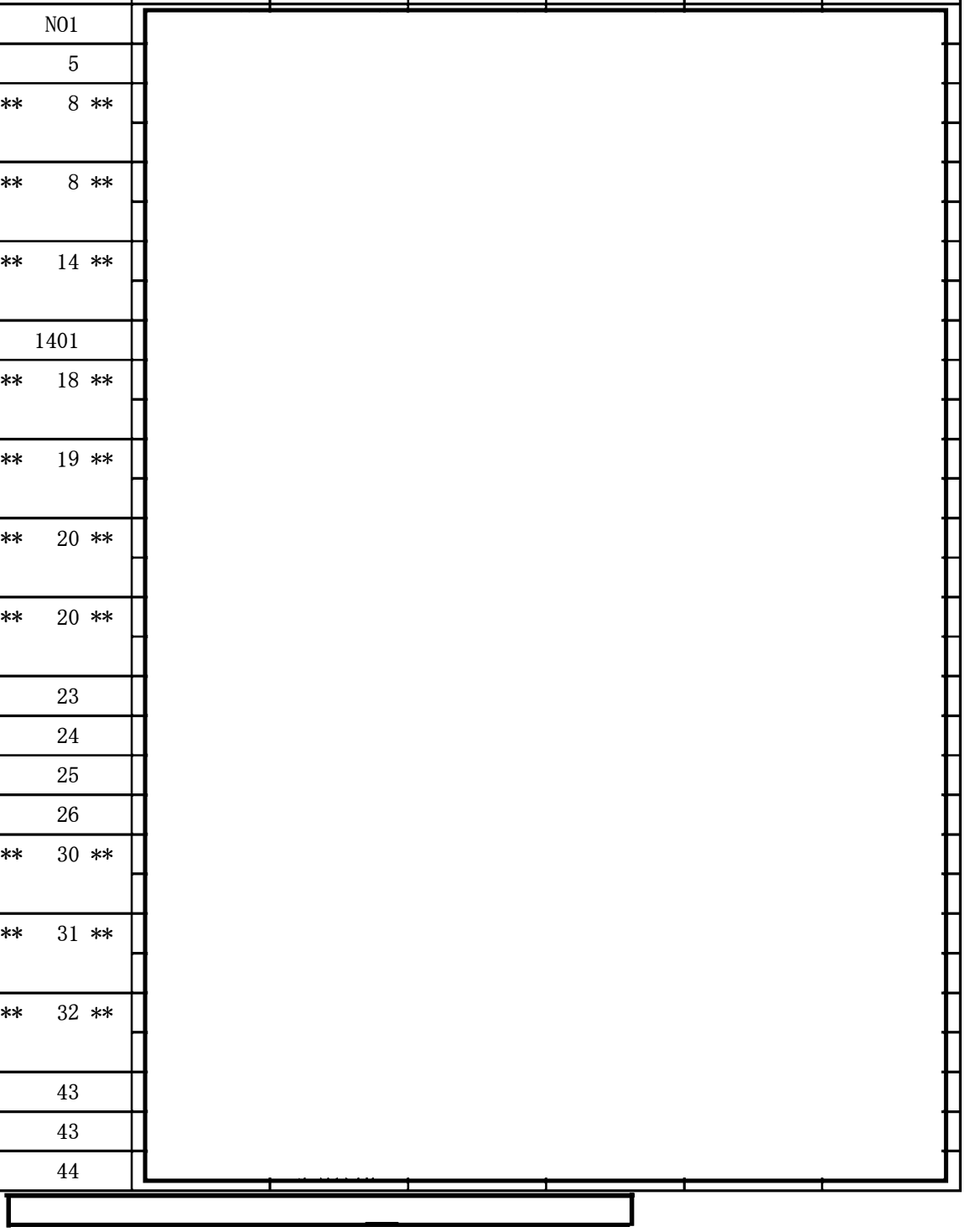
鳥　瞰　図　PLR-PD-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	10～11, 11～14		10, 14
	11		12
	13		37～38, 38～41
	38		39
	40		46～47, 47～50
	46, 50		47
	48		49

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PLR-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
N01						
5						
** 8 **						
** 8 **						
** 14 **						
1401						
** 18 **						
** 19 **						
** 20 **						
** 20 **						
23						
24						
25						
26						
** 30 **						
** 31 **						
** 32 **						
43						
43						
44						



支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　PLR-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
5101						
5101						
** 53 **						
** 53 **						
NA1						
72						
** 77 **						
** 7701 **						
92						
** 96 **						
** 98 **						
NB1						
NC1						
ND1						
NE1						

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
[redacted]	302	114	126	—	—
	302	114	126	—	—

3.4　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を下表に示す。

なお，設計用床応答スペクトルは「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(%)
PLR-PD-1	ペデスタル		
PLR-PD-2	ペデスタル		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 PLR-PD-1

耐震クラス		S					
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		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							
21 次							
22 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

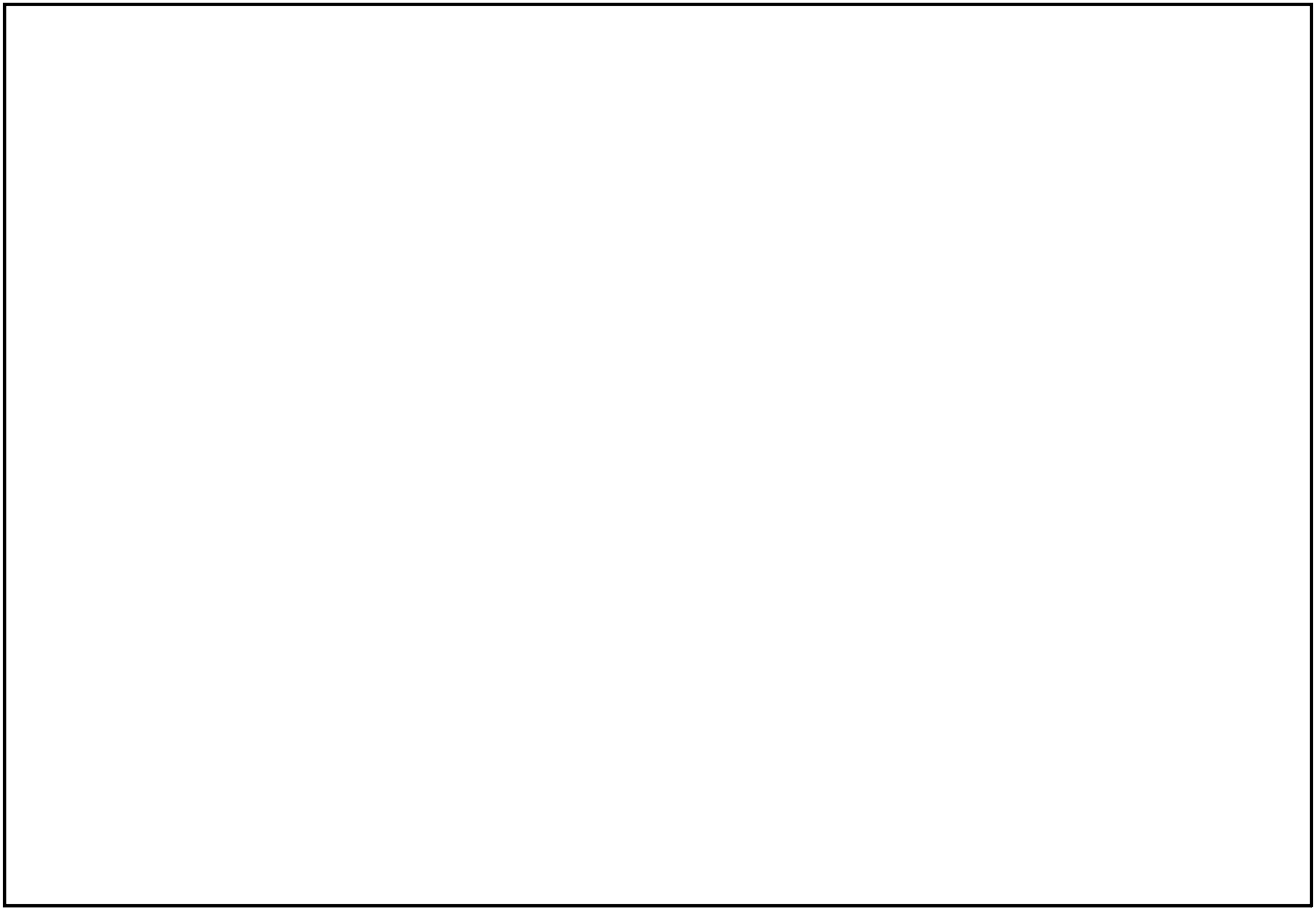
各モードに対応する刺激係数

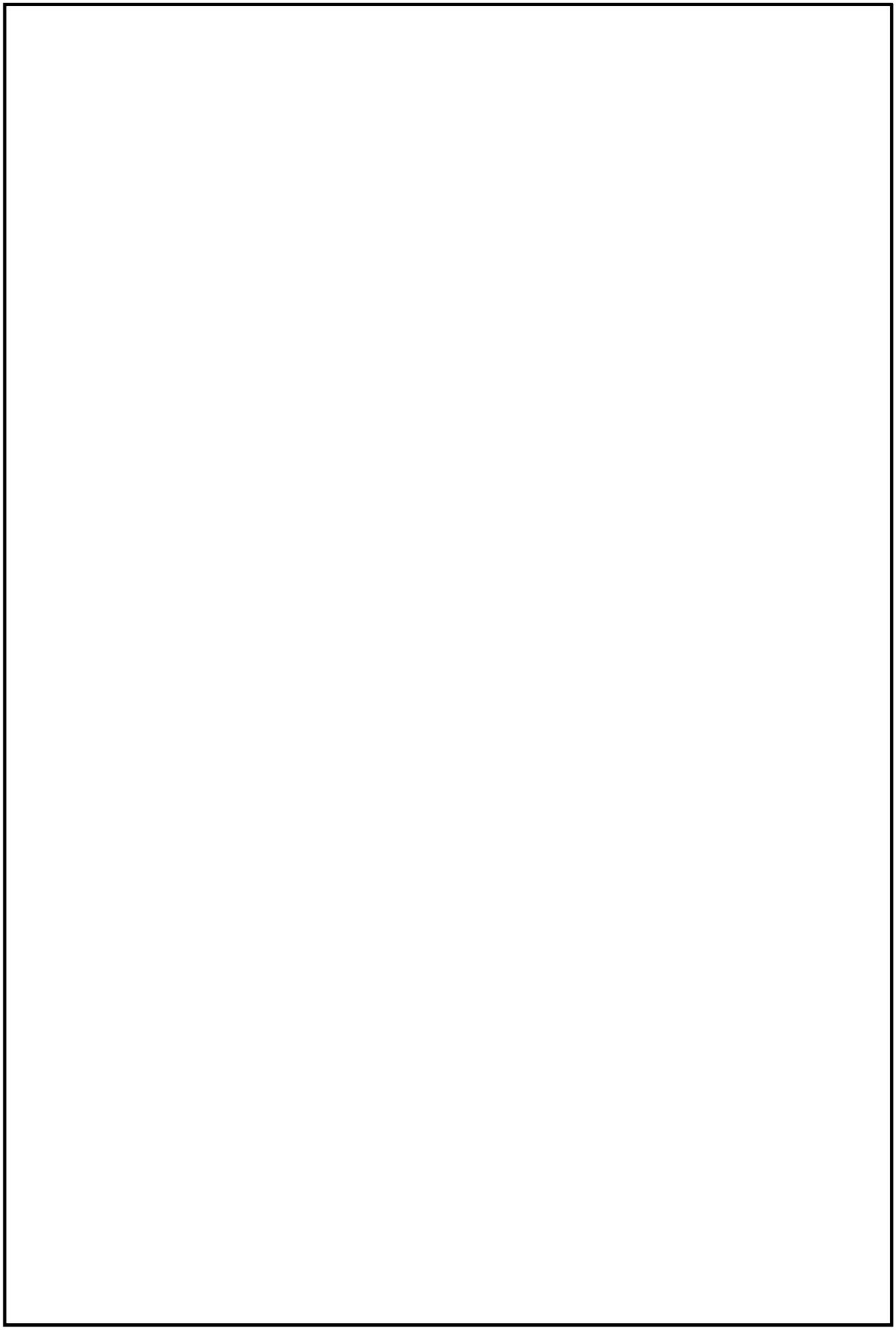
鳥　瞰　図　PLR-PD-1

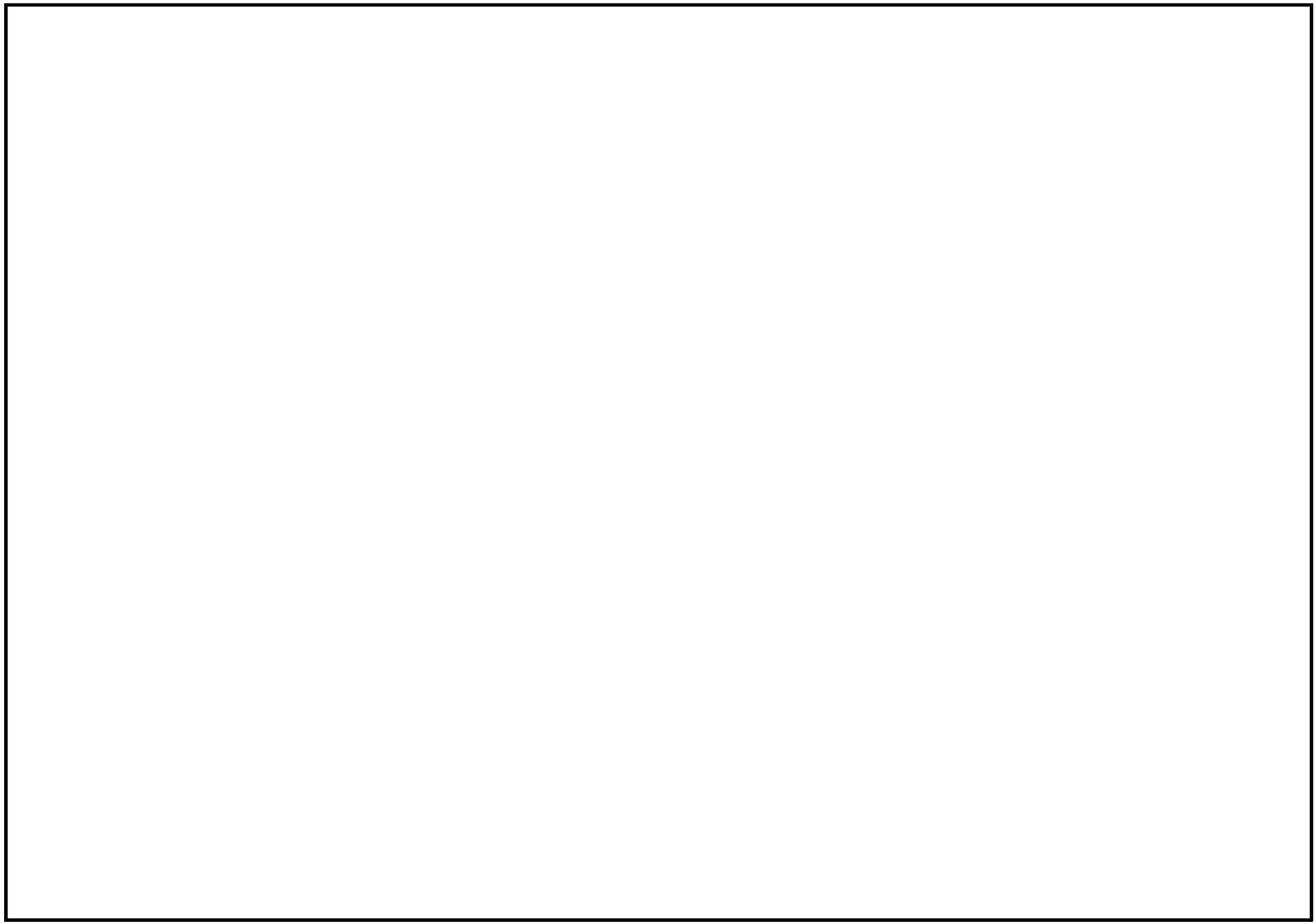
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
21 次				

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　PLR-PD-2

耐震クラス		S					
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		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							
15 次							
16 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

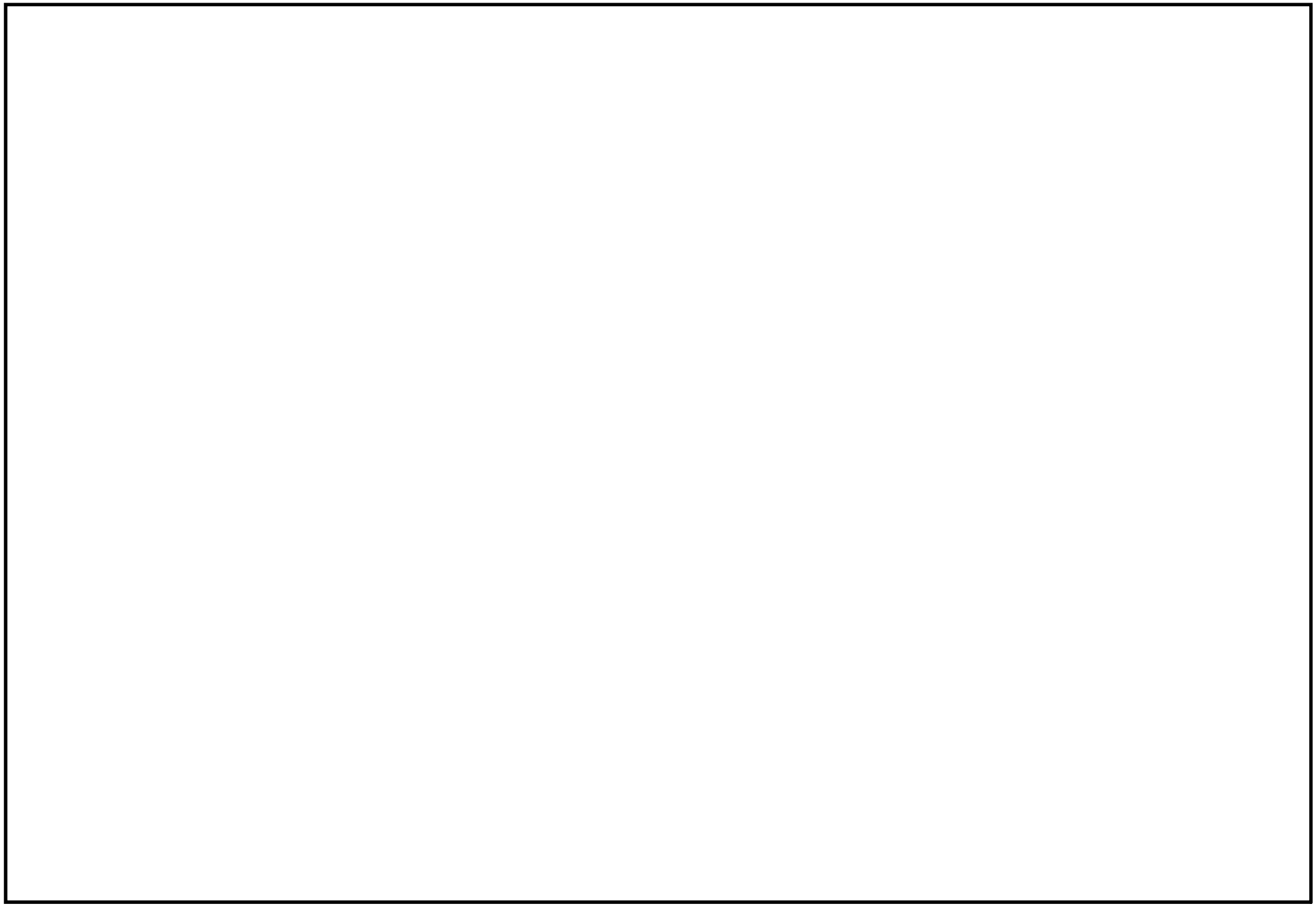
各モードに対応する刺激係数

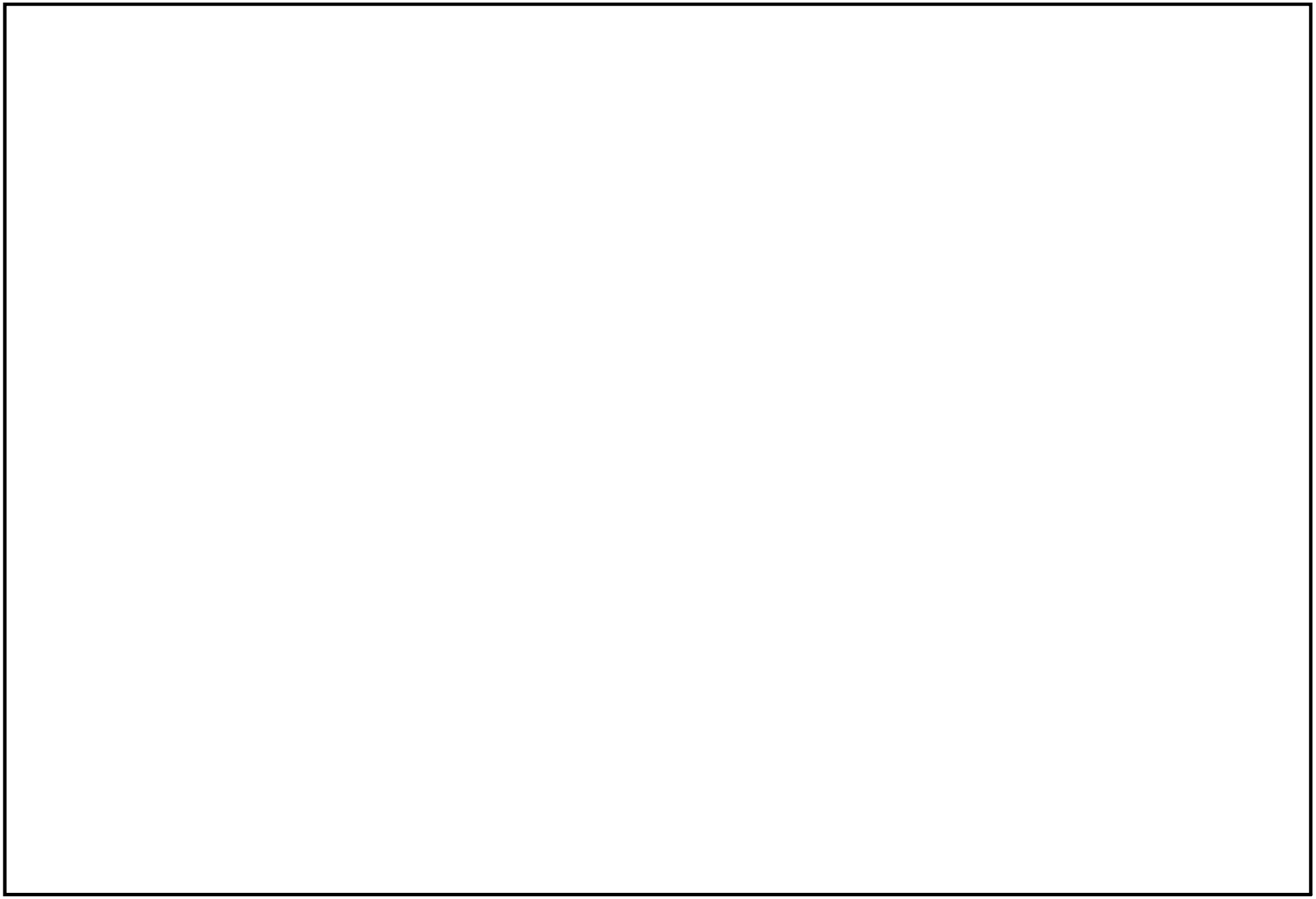
鳥　瞰　図　PLR-PD-2

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				
15 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

下表に示すごとく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管及び重大事故等クラス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
					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	疲労累積係数 U+USs
PLR-PD-1	III_AS	7	TEE	Sprm(Sd)	125	226	—	—	—	—	—
PLR-PD-1	III_AS	16	ELBOW	St(Sd)	—	—	52	62	—	—	—
PLR-PD-1	IV_AS	7	TEE	Sprm(Ss)	182	252	—	—	—	—	—
PLR-PD-1	IV_AS	16	ELBOW	St(Ss)	—	—	＊ 95	83	—	—	—
PLR-PD-2	IV_AS	58	REDUCER	Sn(Ss)	—	—	—	—	718	342	0.1827
PLR-PD-2	IV_AS	58	REDUCER	U+USs	—	—	—	—	—	—	0.1827

＊印はねじりによる応力が許容応力状態III_ASのとき0.55Sm，又は許容応力状態IV_ASのとき0.73Smを超える評価点を示し，次紙に曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

下表に示すごとくねじりによる応力が許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}$Ｓのとき0.55Ｓｍ，又は許容応力状態$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}$Ｓ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
PLR-PD-1	16	―	―	―	―
PLR-PD-1	16	95	83	138	273

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すごとく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)
SNO-PLR-SA4	オイルスナッバ	SN-100	「V-2-1-11 機器・配管の耐震支持設計方針」参照		1430.0	1500.0
RO-PLR-RA2	ロッドレストレイント	RTS-60			852.0	1080.0
SH-PLR-HB1	スプリングハンガ	VS-L2			58.4	72.9
CH-PLR-HA3	コンスタントハンガ	CSV-60			180.0	207.9

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			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すごとく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＊ (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×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
—	—	—	—	—	—	—	—	—

＊ 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。

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-605　改0
提出年月日	平成30年6月27日

Ⅴ-2-5-5-1-3　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 ····· 11
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 11
3.2　設計条件 ····· 13
3.3　材料及び許容応力 ····· 23
3.4　設計用地震力 ····· 24
4.　解析結果及び評価 ····· 25
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 25
4.2　評価結果 ····· 37
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 37
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 39
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 40

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，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

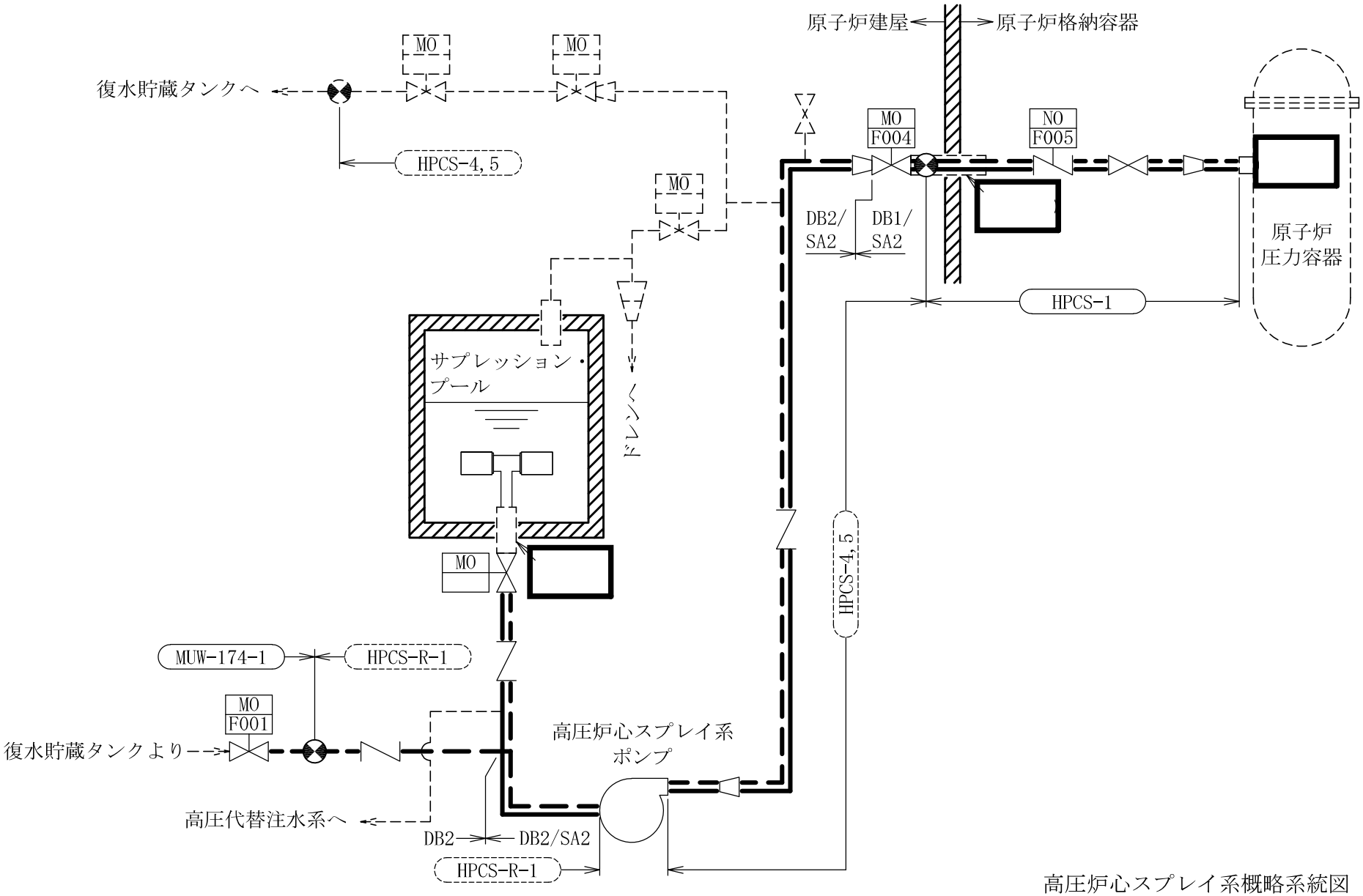
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

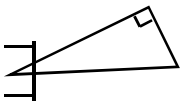
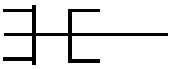
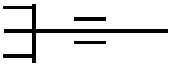
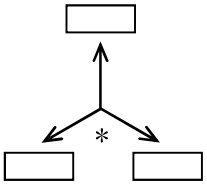
記　　号	内　　容
―――――（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ―（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果の記載を省略する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス１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

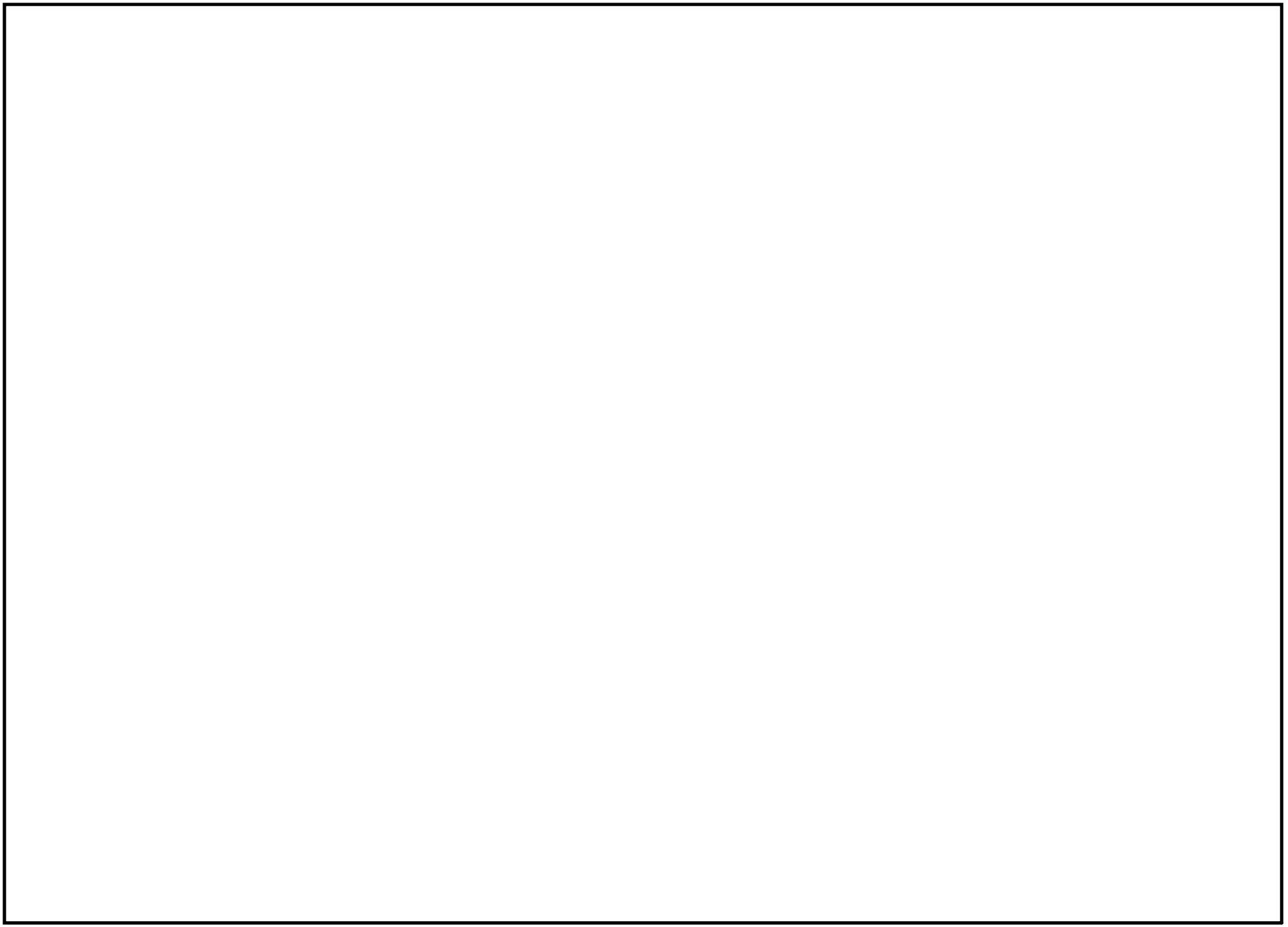


高圧炉心スプレイ系概略系統図

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：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



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	耐震クラス	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	高圧炉心スプレイ系	ＤＢ	—	クラス１管 クラス２管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							$IV_L(L)+S_d$	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
							$V_L(L)+S_d$ *6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$ *6	
			ＳＡ	常設／防止	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$ *6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$ *6	
							V_L+S_s	
		高圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	—	$V_L(L)+S_d$ *6,7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$ *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	耐震クラス	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	高圧代替注水系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	―	V_L（L）＋S_d*6,7	V_AS
							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$_A$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（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 HPCS-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	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～6	8.62	302	318.5	17.4		S	
2	6～13,13～19 19～23,23～27 28～32,33～35	8.62	302	318.5	17.4	STS49	S	
3	36～39N	8.62	302	267.4	15.1	STS49	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　HPCS-1

質量	対応する評価点
[redacted]	1A～6
	6～23
	23～27,28～32
	33～35
	36～39N

弁部の寸法

鳥　瞰　図　HPCS-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)
27～28	[redacted]			32～33	[redacted]		

弁部の質量

鳥　瞰　図　HPCS-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	27～28	[redacted]	32～33

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　HPCS-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						
8						
12						
** 15 **						
** 16 **						
18						
** 29 **						
30						
** 31 **						
34						
37						
N9						

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　MUW-174-1

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	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	8～13	1.04	66	508.0	9.5	SUS304TP	S	[redacted]
2	13～14	1.04	66	508.0	9.5	SM41B	S	
3	16～23A	0.70	100	508.0	9.5	SM41B	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　MUW-174-1

質量	対応する評価点
[redacted]	8～14

弁部の寸法

鳥　瞰　図　MUW-174-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
14～140				140～141			
141～15				140～16			

弁部の質量

鳥　瞰　図　MUW-174-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	14,16	[redacted]	140
	141		15

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MUW-174-1

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
8						
111						
17						
** 190 **						
23A						

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
[redacted]	302	122	182	—	—
STS49	302	138	209	—	—
SUS304TP	66	—	188	479	126
SM41B	66	—	234	385	—
SM41B	100	—	221	373	—

3.4　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を下表に示す。

なお，設計用床応答スペクトルは「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(%)
HPCS-1	原子炉しゃへい壁		
MUW-174-1	原子炉建屋		
	タービン建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 HPCS-1

耐震クラス		S					
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		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							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

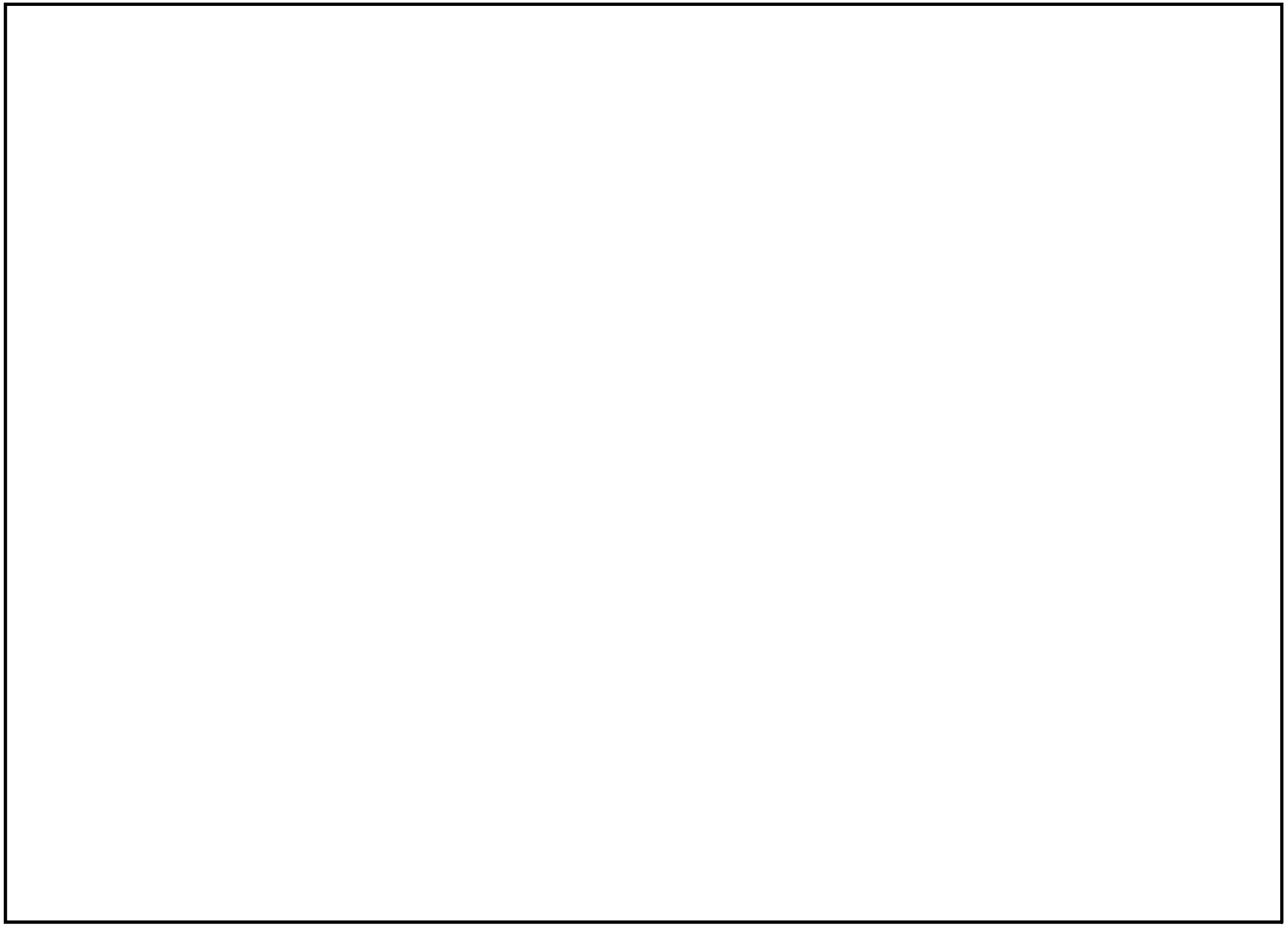
各モードに対応する刺激係数

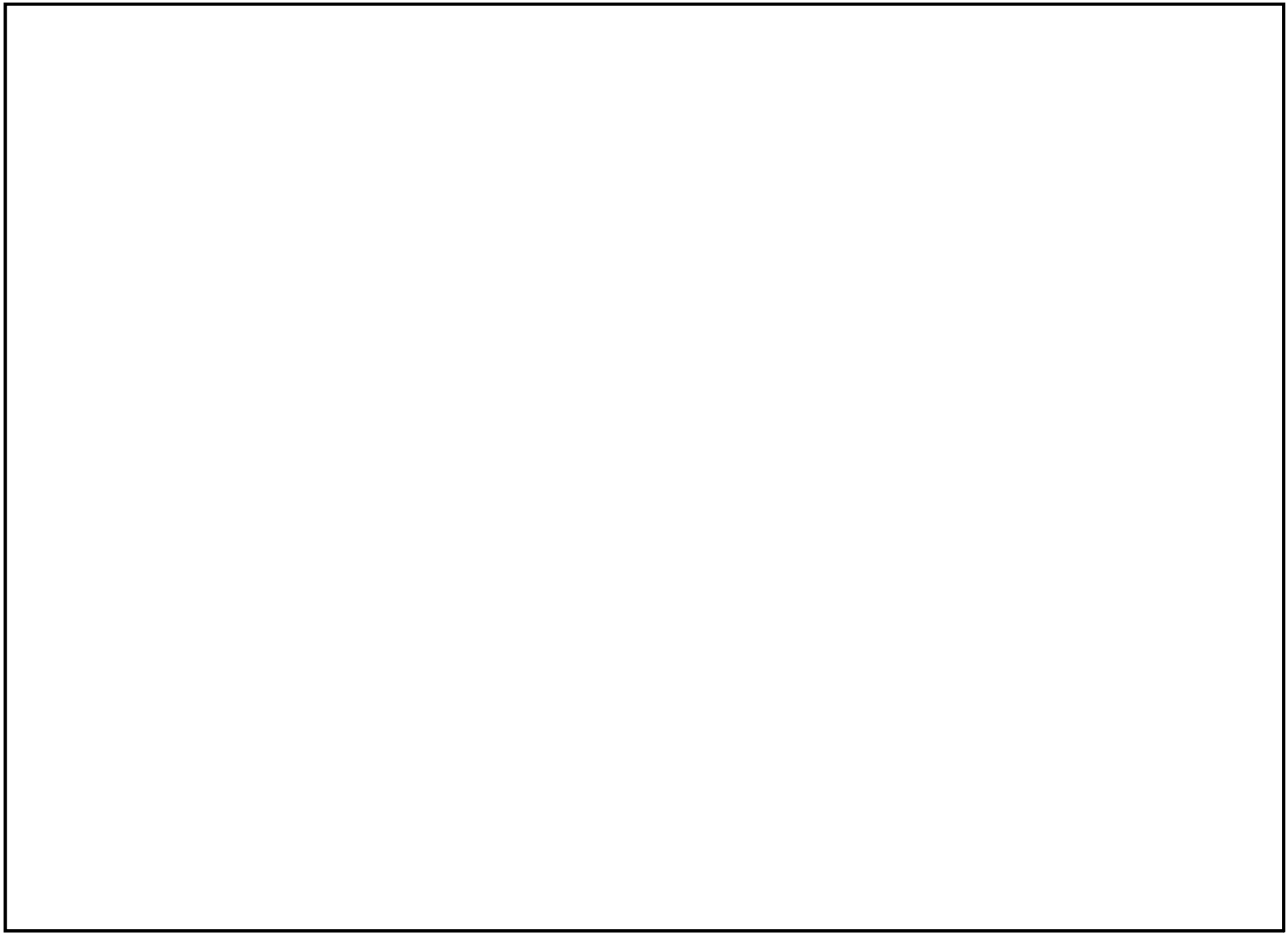
鳥　瞰　図　HPCS-1

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　MUW-174-1

耐震クラス		S					
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		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							
12 次							
13 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

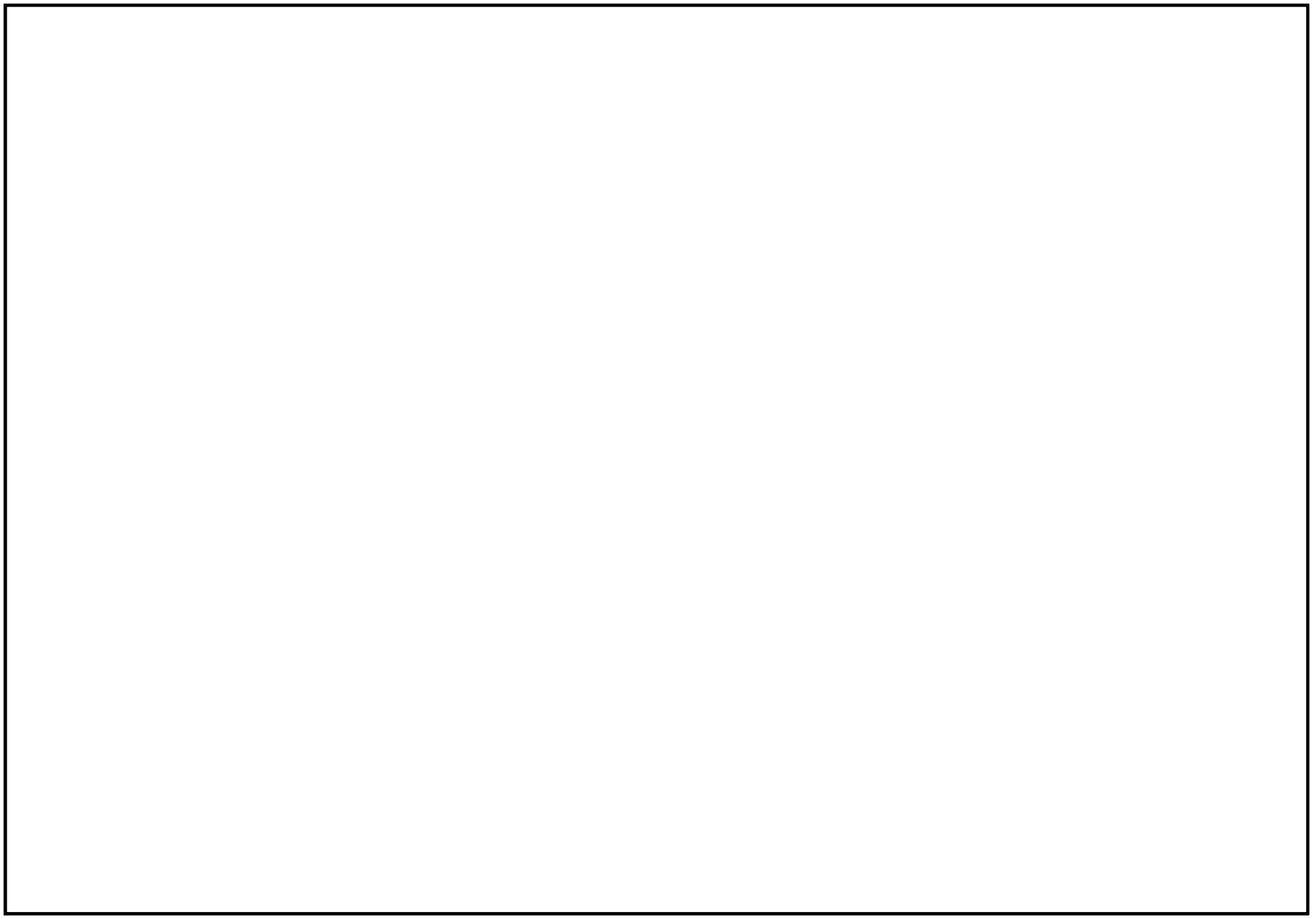
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　MUW-174-1

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				
12 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

下表に示すごとく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
					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	疲労累積係数 U+USs
HPCS-1	ⅢAS	13	ELBOW	Sprm(Sd)	168	310	—	—	—	—	—
HPCS-1	ⅢAS	24	BUTT WELD	St(Sd)	—	—	56	75	—	—	—
HPCS-1	ⅣAS	13	ELBOW	Sprm(Ss)	226	414	—	—	—	—	—
HPCS-1	ⅣAS	24	BUTT WELD	St(Ss)	—	—	93	100	—	—	—
HPCS-1	ⅣAS	13	ELBOW	Sn(Ss)	—	—	—	—	739	414	0.4508
HPCS-1	ⅣAS	13	ELBOW	U+USs	—	—	—	—	—	—	0.4508

管の応力評価結果

下表に示すごとく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以下の管及び重大事故等クラス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 Sn（Ss)	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
MUW-174-1	ⅢAS	13	Sprm（Sd)	77	188	—	—	—
MUW-174-1	ⅣAS	13	Sprm（Ss)	113	346	—	—	—
MUW-174-1	ⅣAS	13	Sn（Ss)	—	—	169	376	—

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

下表に示すごとく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)
SNO-HPCS-1BX	オイルスナッバ	HSP-10	「V-2-1-11機器・配管の耐震支持設計方針」参照		122.0	150.0
SH-HPCS-30	スプリングハンガ	VS-1			40.1	54.7
CH-HPCS-1A	コンスタントハンガ	CSH-28			19.1	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(℃)	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-HPCS-37	アンカ	ラグ	SS41	302	69.4	82.8	85.8	88.9	182.0	120.0	組合せ	121	136
RE-HPCS-1B	レストレイント	パイプバンド	SM400B STKR400	302	0	0	167.0	－	－	－	圧縮	77	99

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すごとく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＊ (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×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
E22-F005	逆止め弁	β(Ss)	2.8	1.4	6.0	6.0	—	—
E22-F001	止め弁	β(Ss)	3.9	1.2	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。

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-602　改0
提出年月日	平成30年6月27日

Ⅴ-2-6-4-1-3　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 ····· 8
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
3.2　設計条件 ····· 9
3.3　材料及び許容応力 ····· 15
3.4　設計用地震力 ····· 16
4.　解析結果及び評価 ····· 17
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 17
4.2　評価結果 ····· 23
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 23
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 24
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 25

1. 概要

本計算書は，「付録6　管の応力計算書及び耐震性についての計算書作成の基本方針」及び「Ⅴ-2-1-11　機器・配管の耐震支持設計方針」に基づき，管，支持構造物及び弁の耐震性についての計算を実施した結果を示したものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りとする。

(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，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

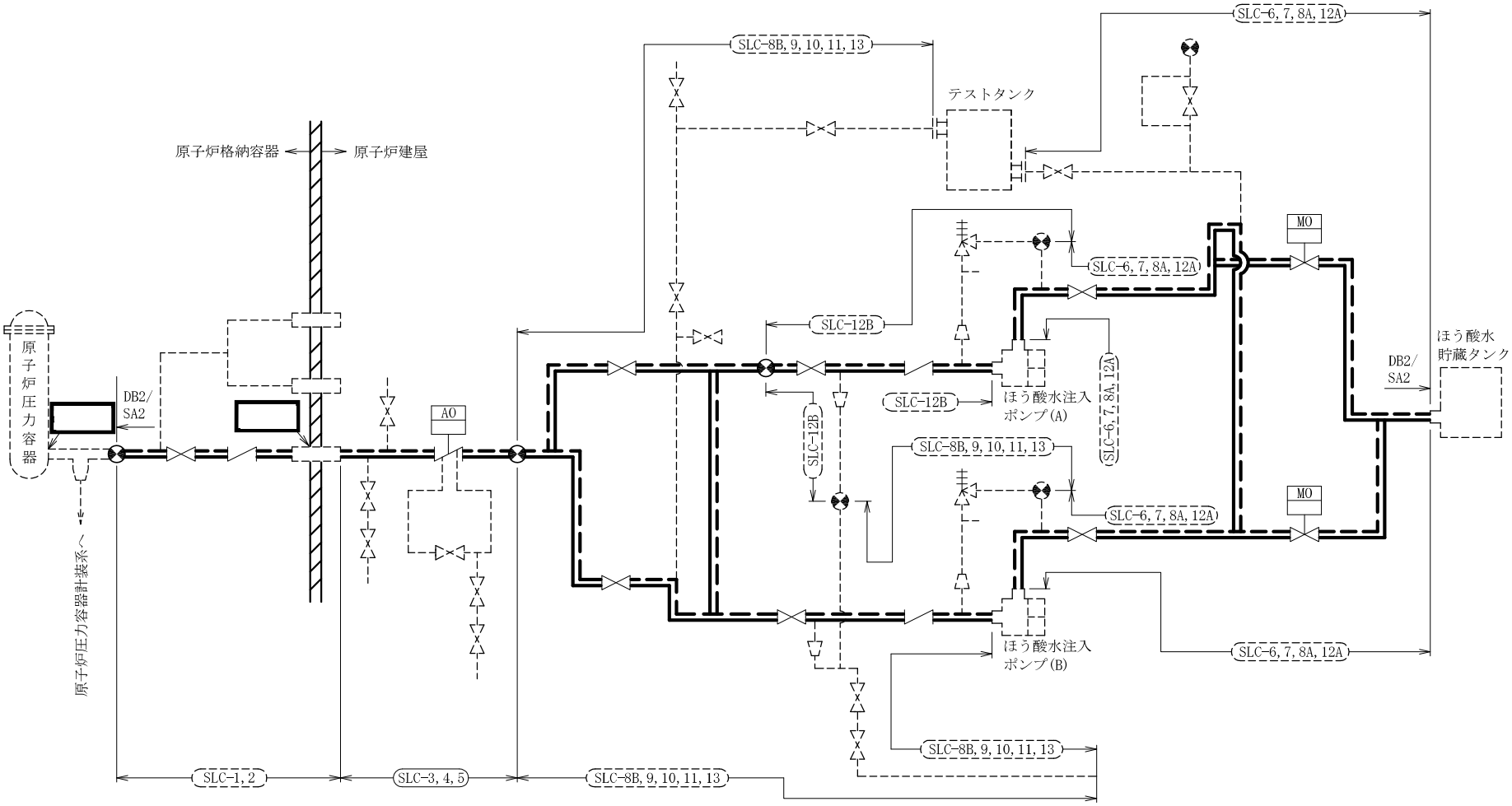
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

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

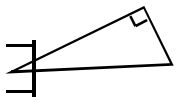
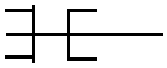
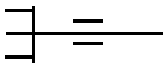
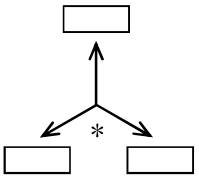
記　　号	内　　容
――――――（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ―（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
――――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果の記載を省略する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1	クラス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

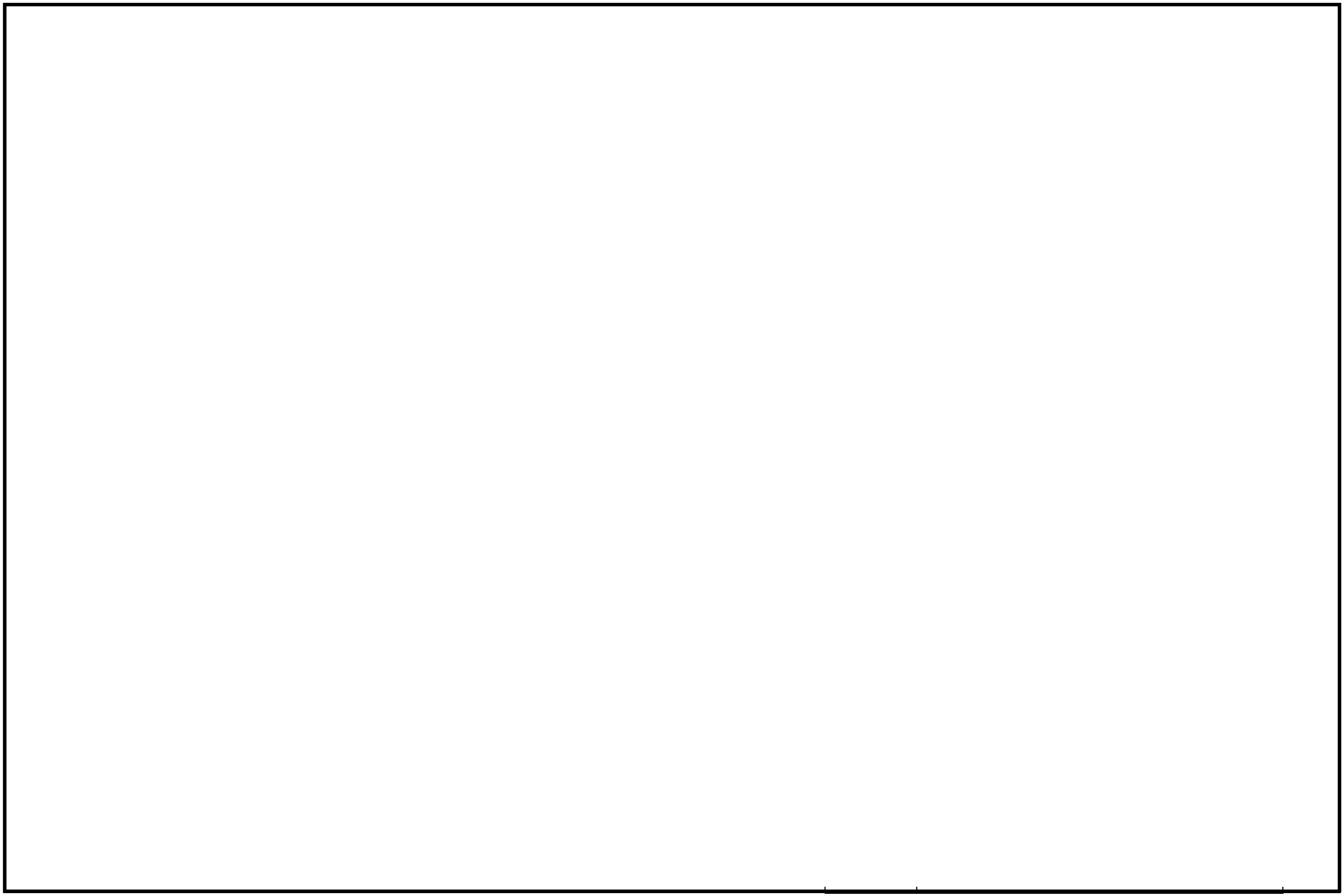


ほう酸水注入系概略系統図

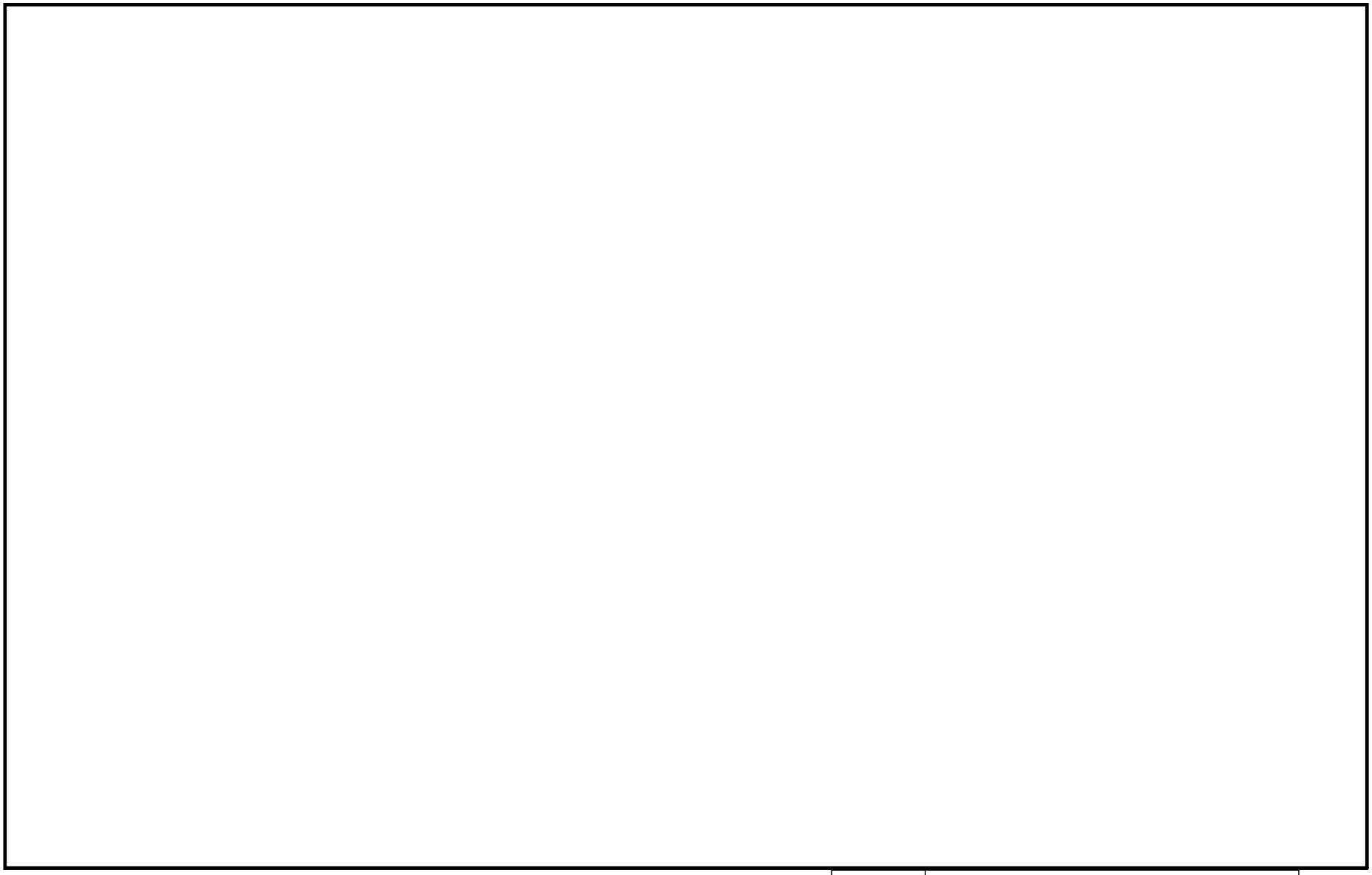
2.2　鳥瞰図

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：　鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(2/3)



鳥瞰図	SLC-3,4,5(DB/SA)(3/3)

3. 計算条件

3.1 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	耐震クラス	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
計測制御系統施設	ほう酸水注入設備	ほう酸水注入系	ＤＢ	－	クラス２管	Ｓ	I_L+S_d	III_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
			ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$*6,*7	V_AS
							$V_L(LL)+S_s$*6	

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：重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ閉じ込め機能維持要求として、原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する荷重の組合せを示す。

＊7：荷重の組合せＶＬ（Ｌ）+Ｓｄ はＶＬ（Ｌ）+ＳＳ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　SLC-3,4,5

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	耐震クラス	縦弾性係数 (MPa)
1	3W～6Z,6Z～12Z 12Z～18W,24W～55A	9.66	302	48.6	5.1	SUS304TP	S	[redacted]

配管の付加質量

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

質量	対応する評価点
[redacted]	3W～6Z,6Z～12Z,12Z～18W,24W～55A

弁部の寸法

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
18W～20				20～22			
22～24W							

弁部の質量

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	18W～20,20～22	[redacted]	22～24W

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

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
1N						
** 1N **						
** 1N **						
10						
** 1501 **						
** 181 **						
182						
2401						
** 2401 **						
** 27 **						
** 27 **						
** 29 **						
** 29 **						
3003						
311						
33						
35						
37						
391						
41						
42						
45						

** 印は　斜め拘束を示す。　また，下段は方向余弦を示す。

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

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
49						
51						
5300						
55A						

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 (℃)	許容応力 (MPa)			
		Ｓｍ	Ｓｙ	Ｓｕ	Ｓｈ
SUS304TP	302	―	126	391	110

3.4　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を下表に示す。

なお，設計用床応答スペクトルは「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 (%)
SLC-3, 4, 5	原子炉建屋	[redacted]	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

耐震クラス		S					
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		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							
11 次							
12 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

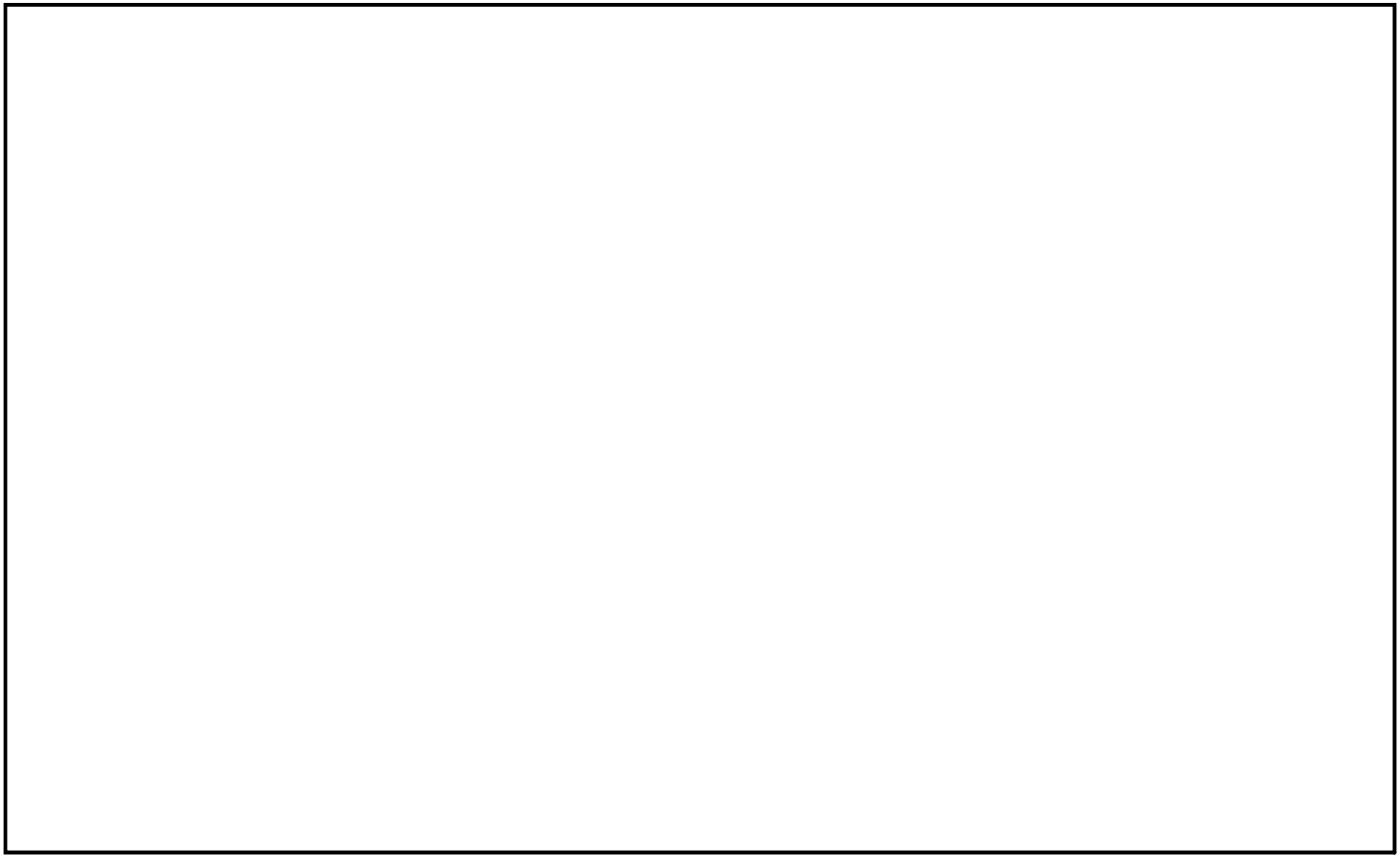
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　SLC-3,4,5

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				
6 次				
7 次				
8 次				
11 次				

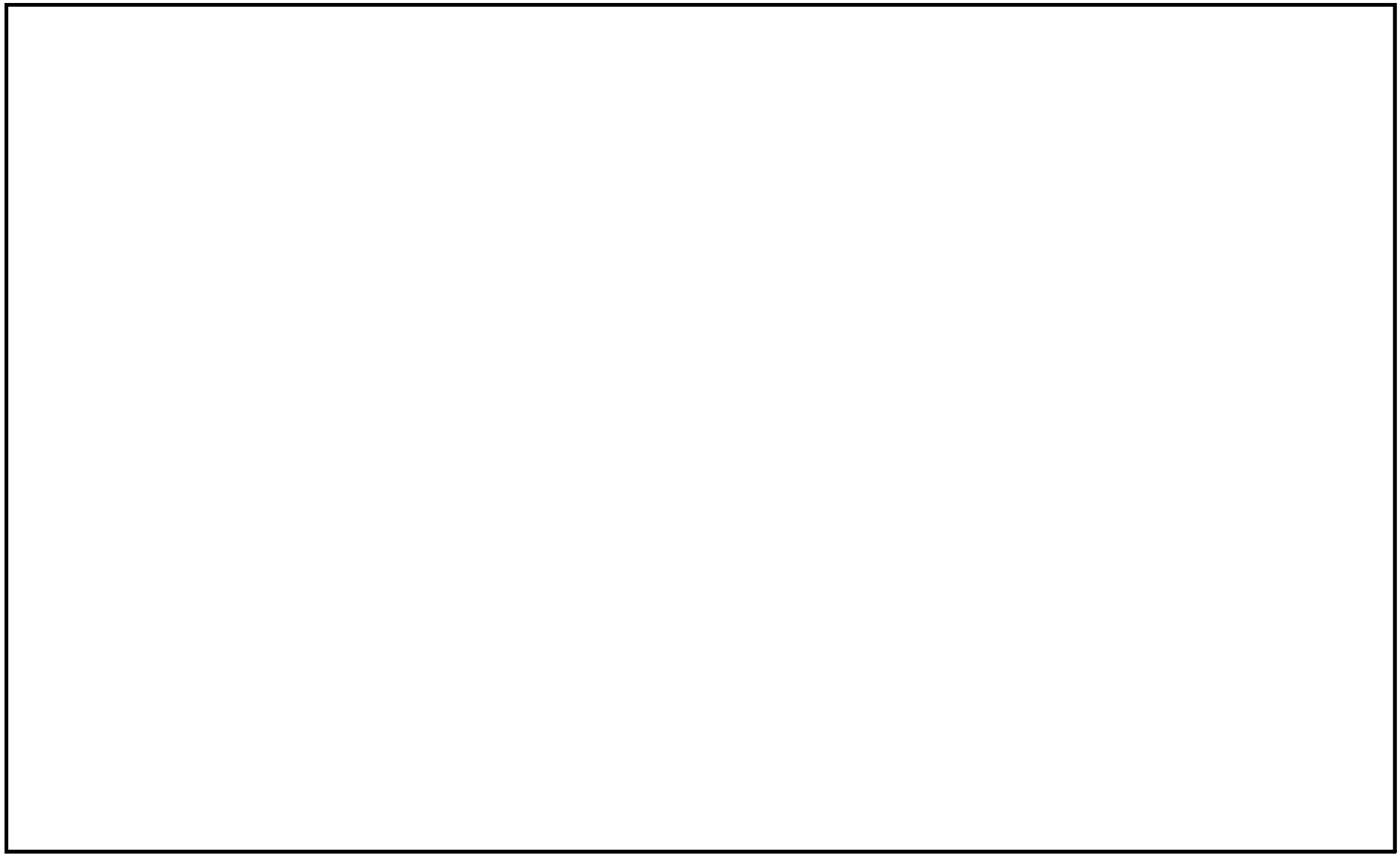
代表的振動モード図

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。



鳥瞰図	ＳＬＣ－３，４，５

鳥瞰図	ＳＬＣ－３，４，５



鳥瞰図	ＳＬＣ－３，４，５

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すごとく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 Sn（Ss）	許容応力 2Sy	疲労累積係数 USs
SLC-3,4,5	ⅢAS	30W	Sprm（Sd）	96	132	—	—	—
SLC-3,4,5	ⅣAS	30W	Sprm（Ss）	144	351	—	—	—
SLC-3,4,5	ⅣAS	30W	Sn（Ss）	—	—	202	252	—

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

下表に示すごとく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)
SNO-SLC-27C	オイルスナッバ	HSP-05	「V-2-1-11機器・配管の耐震支持設計方針」参照		2.9	7.5
SNM-SLC-35T1	メカニカルスナッバ	SMS-03			0.3	4.5
SH-SLC-R004	スプリングハンガ	VSA-L4			1.2	1.7

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(℃)	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			
RE-SLC-50	レストレイント	パイプバンド	STK400 SM400B	66	0	5.0	0	－	－	－	圧縮	16	142
AN-SLC-90	アンカ	ラグ	SUS304	66	2.8	0.4	0.4	0.1	0.2	0.2	組合せ	85	141

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すごとく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 (×9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 (×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
－	－	－	－	－	－	－	－	－

本資料のうち，枠囲みの内容は，
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-664　改 0
提出年月日	平成30年6月27日

Ⅴ-2-9-5-4-1　低圧マニホールド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 適用基準 ····· 4
2.4 記号の説明 ····· 5
2.5 計算精度と数値の丸め方 ····· 12
3. 評価部位 ····· 13
4. 固有周期 ····· 13
4.1 固有周期の計算方法 ····· 13
4.2 固有周期の計算条件 ····· 18
4.3 固有周期の計算結果 ····· 18
5. 構造強度評価 ····· 18
5.1 構造強度評価方法 ····· 18
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 18
5.3 設計用地震力 ····· 23
5.4 計算方法 ····· 24
5.5 計算条件 ····· 36
5.6 応力の評価 ····· 36
6. 評価結果 ····· 39
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 39
7. 引用文献 ····· 47

1. 概要

本計算書は，添付書類「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，低圧マニホールド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。

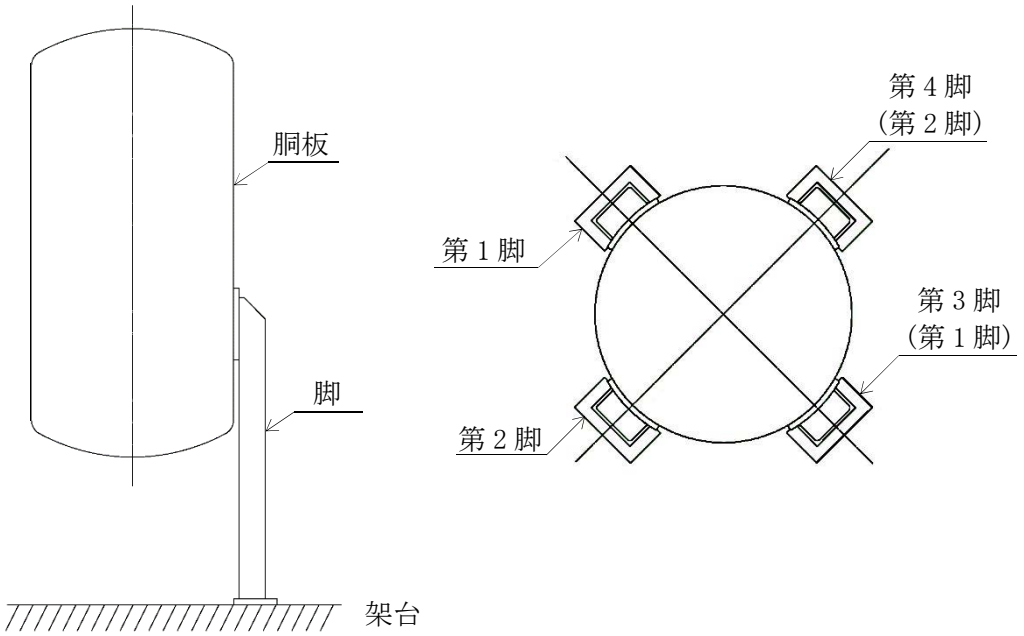
低圧マニホールドは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に分類される。以下，設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

低圧マニホールドの構造計画を表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 4 個の脚で支持し，脚を溶接で架台に据え付ける。	上面及び下面に鏡板を有するたて置円筒形	

2.2　評価方針

低圧マニホールドの応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　3.1　構造強度上の制限」にて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」にて示す低圧マニホールドの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.　固有周期」にて算出した固有周期に基づく応力等が許容限界内に収まることを，「5.　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「6.　評価結果」に示す。

低圧マニホールドの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

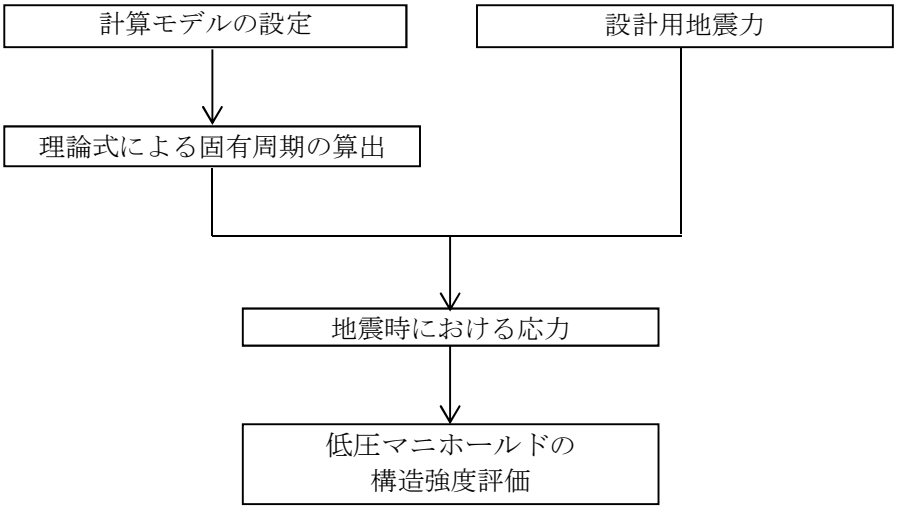


図 2－1　低圧マニホールドの耐震評価フロー

2.3　適用基準

本計算書においては，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，ＪＥＡＧ４６０１－1987 及びＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版）（日本電気協会　電気技術基準調査委員会　昭和 59 年 9 月，昭和 62 年 8 月及び平成 3 年 6 月）に準拠して評価する。

2.4　記号の説明

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
A_e	胴の有効せん断断面積	mm^2
A_f	脚の圧縮フランジの断面積	mm^2
A_s	脚の断面積	mm^2
A_{s1}	脚の半径方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{s2}	脚の周方向軸に対するせん断断面積	mm^2
A_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るＴ形断面の断面積	mm^2
A_{sr}	脚の半径方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
A_{st}	脚の周方向軸に対する有効せん断断面積	mm^2
C	脚の座屈曲げモーメントに対する修正係数	－
C_1	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_2	脚の胴付け根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_{cj}	周方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ｊ＝1：周方向応力，ｊ＝2：軸方向応力）	－
C_H	水平方向設計震度	－
C_v	鉛直方向設計震度	－
$C_{\ell j}$	鉛直方向モーメントによる応力の補正係数（引用文献(2)より得られる値）（ｊ＝1：周方向応力，ｊ＝2：軸方向応力）	－
D_i	胴の内径	mm
E	胴の縦弾性係数	MPa
E_s	脚の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3に定める値	MPa
F_0	振動モデル系における水平力	N
F_v	鉛直方向荷重	N
f_{br}	脚の半径方向軸回りの許容曲げ応力	MPa
f_{bt}	脚の半径方向に直角な方向の軸回りの許容曲げ応力	MPa
f_c	脚の許容圧縮応力	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
f_t	脚の許容引張応力	MPa
G	胴のせん断弾性係数	MPa
G_s	脚のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	脚断面のせい	mm
I	胴の断面二次モーメント	mm^4
i	脚の弱軸についての断面二次半径	mm
i_f	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るＴ形断面のウェッブ軸回りの断面二次半径	mm
I_{sf}	脚の圧縮フランジとせいの6分の1から成るＴ形断面のウェッブ軸回りの断面二次モーメント	mm^4
I_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
I_{st}	脚の周方向軸に対する断面二次モーメント	mm^4
J_s	脚のねじりモーメント係数	mm^4
K_{1j}，K_{2j}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの補正係数（ｊ＝1：周方向応力，ｊ＝2：軸方向応力）	－
K_c	胴の脚付け根部における周方向曲げモーメントに対する局部ばね定数（引用文献(1)より得られる値）	－
K_H	ばね定数（水平方向）	N/m
K_ℓ	胴の脚付け根部における長手方向曲げモーメントに対する局部ばね定数（引用文献(1)より得られる値）	－
K_r	胴の脚付け根部における半径方向荷重に対する局部ばね定数（引用文献(1)より得られる値）	－
K_V	ばね定数（鉛直方向）	N/m
k_c，k_ℓ	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータの周方向及び軸方向の補正係数	－
ℓ	脚の長さ	mm
ℓ_c	脚の中立軸間の距離	mm
ℓ_g	架台から容器重心までの距離	mm
ℓ_k	脚の有効座屈長さ	mm
M_1	Ｚ方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N･mm

記　号	記　号　の　説　明	単　位
M_3	Z方向地震による胴の脚付け根部のねじりモーメント	N･mm
M_c	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向モーメント	N･mm
M_ℓ	運転時質量による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N･mm
$M_{\ell 2}$	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント	N･mm
M_{s1}，M_{s2}	脚の上下両端に作用する曲げモーメント	N･mm
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N･mm /mm
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N･mm /mm
m_0	容器の運転時質量	kg
N_x	胴に生じる軸方向の膜力	N/mm
N_ϕ	胴に生じる周方向の膜力	N/mm
P	運転時質量による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_1	Z方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_2	鉛直方向地震による胴の脚付け根部の半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
Q	Z方向地震による胴の脚付け根部の周方向荷重	N
R	運転時質量による脚の軸力	N
R_1	Z方向地震により脚に作用する軸力	N
R_2	鉛直方向地震により脚に作用する軸力	N
r_m	胴の平均半径	mm

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_a	胴の許容応力	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
T_H	水平方向の固有周期	s
T_v	鉛直方向の固有周期	s
t	胴板の厚さ	mm
u	脚の中心軸から胴板の厚さの中心までの距離	mm
Z_{sp}	脚のねじり断面係数	mm^3
Z_{sr}	脚の半径方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{st}	脚の周方向軸に対する断面係数	mm^3
β，β_1，β_2	引用文献(2) によるアタッチメントパラメータ	－
γ	引用文献(2) によるシェルパラメータ	－
δ_H	水平力Ｆ０による胴重心の水平方向変位量	mm
δ_v	胴重心の鉛直方向変位量	mm
Δ_r	運転時質量による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{r1}	水平力Ｆ０による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力Ｆ０による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力Ｆ０による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力Ｆ０による第1脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y2}	鉛直方向荷重F_vによる支持脚の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y3}	鉛直方向荷重F_vによる胴の鉛直方向変位量	mm
Δ_{y4}	運転時質量による胴付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量	mm
θ	運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_0	水平力Ｆ０による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力Ｆ０による第1脚の傾き角	rad
θ_1'	水平力Ｆ０による胴の第1脚付け根部における局部傾き角	rad
θ_3	水平力Ｆ０による第2脚の傾き角	rad
Λ	脚の限界細長比	－
λ	脚の有効細長比	－
ν	座屈に対する安全率	－
π	円周率	－

記　号	記　号　の　説　明	単　位
σ_{0}	胴の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{0\phi}$	胴の周方向の一次一般膜応力	MPa
σ_{0x}	胴の軸方向の一次一般膜応力	MPa
σ_{1}	胴の一次応力の最大値	MPa
σ_{2}	胴の一次＋二次応力の最大値	MPa
σ_{11}，σ_{12}	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{13}，σ_{14}	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{15}，σ_{16}	Ｘ方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次応力	MPa
σ_{21}，σ_{22}	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次＋二次応力	MPa
σ_{23}，σ_{24}	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次＋二次応力	MPa
σ_{25}，σ_{26}	Ｘ方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における組合せ一次＋二次応力	MPa
σ_{s}	脚の組合せ応力の最大値	MPa
σ_{s1}，σ_{s2}	運転時質量による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
σ_{s3}，σ_{s4}	鉛直方向地震による脚の圧縮及び曲げ応力	MPa
σ_{s5}，σ_{s6}，σ_{s7}	Ｚ方向地震による脚の圧縮並びに第1脚及び第2脚の曲げ応力	MPa
σ_{s8}，σ_{s9}，σ_{s10}	Ｘ方向地震による脚の圧縮並びに半径方向及び周方向の曲げ応力	MPa
σ_{sc}	脚の圧縮応力の和	MPa
σ_{sr}	脚の半径方向軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{st}	脚の半径方向に直角な軸回りの圧縮側曲げ応力の和	MPa
σ_{sx}	Ｘ方向地震が作用した場合の脚の組合せ応力	MPa
σ_{sz1}，σ_{sz2}	Ｚ方向地震が作用した場合の第1脚及び第2脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{\phi1}$，σ_{x1}	内圧による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x2}	運転時質量による胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi3}$，σ_{x3}	運転時質量により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi4}$，σ_{x4}	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{x5}	水平方向地震が作用した場合の転倒モーメントによる胴の軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi7}$，σ_{x7}	鉛直方向地震による胴の周方向応力及び軸方向応力	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
$\sigma_{\phi 8}$, $\sigma_{x 8}$	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 9}$, $\sigma_{x 9}$	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 10}$, σ_{x10}	鉛直方向地震により生じる鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 11}$, σ_{x11}	鉛直方向地震により生じる半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 61}$, $\sigma_{x 61}$ $\sigma_{\phi 62}$, $\sigma_{x 62}$	Z方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 71}$, $\sigma_{x 71}$ $\sigma_{\phi 72}$, $\sigma_{x 72}$	Z方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 81}$, $\sigma_{x 81}$ $\sigma_{\phi 82}$, $\sigma_{x 82}$	Z方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 91}$, $\sigma_{x 91}$ $\sigma_{\phi 92}$, $\sigma_{x 92}$	X方向地震が作用した場合の半径方向荷重による胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 101}$, $\sigma_{x 101}$ $\sigma_{\phi 102}$, $\sigma_{x 102}$	X方向地震が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 111}$, $\sigma_{x 111}$ $\sigma_{\phi 112}$, $\sigma_{x 112}$	X方向地震が作用した場合の周方向モーメントによる胴の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{xx1}, σ_{xx2}	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{xx3}, σ_{xx4}	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次＋二次応力の和	MPa
σ_{xz1}, σ_{xz2}	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{xz3}, σ_{xz4}	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次応力の和	MPa
σ_{xz5}, σ_{xz6}	Z方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次＋二次応力の和	MPa
σ_{xz7}, σ_{xz8}	Z方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における軸方向一次＋二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x1}$, $\sigma_{\phi x2}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi x3}$, $\sigma_{\phi x4}$	X方向地震が作用した場合の胴の脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次＋二次応力の和	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　　位
$\sigma_{\phi z1}$，$\sigma_{\phi z2}$	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z3}$，$\sigma_{\phi z4}$	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z5}$，$\sigma_{\phi z6}$	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第1脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次＋二次応力の和	MPa
$\sigma_{\phi z7}$，$\sigma_{\phi z8}$	Ｚ方向地震が作用した場合の胴の第2脚付け根部の第1評価点及び第2評価点における周方向一次＋二次応力の和	MPa
τ_3	Ｚ方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_6	Ｘ方向地震により胴の脚付け根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{c1}	Ｚ方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{c4}	Ｘ方向地震により胴の脚付け根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 1}$	運転時質量により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 2}$	Ｚ方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 5}$	Ｘ方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{\ell 3}$	鉛直方向地震により胴の脚付け根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{s1}	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
τ_{s2}	鉛直方向地震による脚のせん断応力	MPa
τ_{s3}，τ_{s4}	Ｚ方向地震による第1脚及び第2脚のせん断応力	MPa
τ_{s5}	Ｘ方向地震による脚のせん断応力	MPa

注記：「設計･建設規格」とは，発電用原子力設備規格（設計・建設規格（2005年版（2007年追補版含む。））ＪＳＭＥ　Ｓ　ＮＣ１－2005/2007）（日本機械学会　2007年9月）をいう。

2.5　計算精度と数値の丸め方

精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2−2 に示すとおりである。

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
最高使用圧力		MPa	—	—	小数点以下第 2 位
温度		℃	—	—	整数位
質量		kg	—	—	整数位
長さ	下記以外の長さ	mm	—	—	整数位*1
	胴板の厚さ	mm	—	—	小数点以下第 1 位
面積		mm^2	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
モーメント		N･mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
力		N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁*2
算出応力		MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力*3		MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記　＊1：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。

＊2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

＊3：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引張強さ及び降伏点は，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

主蒸気隔離弁漏えい抑制系低圧マニホールドは，胴及び脚について評価を実施する。

主蒸気隔離弁漏えい抑制系低圧マニホールドの耐震評価部位については，表2－1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

(1) 計算モデル

本容器は，2.1項より脚下端の支持条件を組み合わせることで次の計算モデルができる。

a. 第1脚及び第2脚とも固定の場合

図4－1にa項の変形モードを示す。

(2) 固有周期

それぞれの脚及び胴について，荷重，モーメント及び変形の釣合い条件の方程式を作ることにより，以下のように固有周期を求める。

a. 水平方向の固有周期

第1脚及び第2脚とも固定の場合（図4－1参照），水平力の釣合いより

$$2 \cdot P_1 + 2 \cdot Q = F_0 \quad \cdots\cdots (4.1.1)$$

転倒モーメントの釣合いより

$$2 \cdot M_1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 \cdot (\ell_g - \ell) \quad \cdots\cdots (4.1.2)$$

ただし，

$$r_m = (D_i + t) / 2 \quad \cdots\cdots (4.1.3)$$

水平力F_0による第1脚の水平方向変位量，傾き角及び鉛直方向変位量は

$$\Delta_{x1} = \frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \cdots\cdots (4.1.4)$$

ここで，（図4－1参照）

$$u = \frac{\ell_c}{2} - r_m \quad \cdots\cdots (4.1.5)$$

$$\theta_1 = \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \quad \cdots\cdots (4.1.6)$$

$$\Delta_{y1} = \frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} \quad \cdots\cdots (4.1.7)$$

水平力F_0による胴の半径方向局部変位量と局部傾き角は

$$\Delta_{r1}=\frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.8)$$

$$\theta_1'=\frac{K_\ell \cdot M_1}{r_m^{3} \cdot \beta^{2} \cdot E} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.9)$$

ここで，K_r 及びK_ℓは引用文献(1)に基づく胴の半径方向荷重による局部変位と長手方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり，シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβは，以下のように定義する。

$$r_m=(D_i+t)/2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.10)$$

$$\gamma=r_m/t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.11)$$

$$\beta_1=C_1/r_m \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.12)$$

$$\beta_2=C_2/r_m \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.13)$$

$$\beta=k_\ell \cdot \sqrt[3]{\beta_1 \cdot \beta_2^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.14)$$

水平力F_0による第2脚の傾き角（胴の中心軸の傾き角に同じ。）と水平方向変位量は

$$\theta_0=\frac{-M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}}+\frac{Q \cdot \ell^{2}}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.15)$$

$$\Delta_{x3}=\frac{Q \cdot \ell^{3}}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}}+\frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}}-\frac{M_3 \cdot \ell^{2}}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} \quad \cdots\cdots \quad (4.1.16)$$

第1脚と胴の傾き角の釣合いより

$$\theta_1+\theta_1'-\theta_0=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.17)$$

水平力F_0による第2脚のねじれ角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\theta_3=\frac{(Q \cdot u-M_c) \cdot \ell}{G_s \cdot J_s}=\frac{K_c \cdot M_c}{r_m^{3} \cdot \beta^{2} \cdot E} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.18)$$

ここで，K_cは，引用文献(1)に基づく胴の周方向曲げモーメントによる局部傾き角に対する定数であり，シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβは，(4.1.10) 式～ (4.1.14) 式とする。ただし，(4.1.14) 式のk_ℓをk_c，β_1をβ_2及びβ_2をβ_1に置き換える。

脚と胴の水平方向変位量の釣合いより

$$\Delta_{x1}+\Delta_{r1}=\Delta_{x3}+u \cdot \theta_3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.19)$$

さらに，鉛直方向の釣合いより

$$\Delta_{y1}-u \cdot \theta_1-r_m \cdot \theta_0=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.20)$$

(4.1.20) 式へ (4.1.6) 式，(4.1.7) 式及び (4.1.15) 式を代入して

$$\frac{R_1 \cdot \ell}{A_s \cdot E_s} - \frac{u \cdot (M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} - \frac{u \cdot P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{r_m \cdot M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{r_m \cdot Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.21)$$

(4.1.17) 式へ (4.1.6) 式，(4.1.9) 式及び (4.1.15) 式を代入して

$$\frac{M_3 \cdot \ell}{E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K\ell \cdot M_1}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.22)$$

(4.1.18) 式を変形して

$$\frac{u \cdot Q \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{M_c \cdot \ell}{G_s \cdot J_s} - \frac{K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.23)$$

(4.1.19) 式へ (4.1.4) 式，(4.1.8) 式，(4.1.16) 式及び (4.1.18) 式を代入して

$$\frac{P_1 \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{P_1 \cdot \ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{(M_1 - R_1 \cdot u) \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_r \cdot P_1}{r_m \cdot E} - \frac{Q \cdot \ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{Q \cdot \ell}{G_s \cdot A_{st}} + \frac{M_3 \cdot \ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{sr}} - \frac{u \cdot K_c \cdot M_c}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.24)$$

以上より，6 変数P_1，Q，R_1，M_1，M_3及びM_cに対して (4.1.1) 式，(4.1.2) 式及び (4.1.21) 式～(4.1.24) 式を連立させ，Δ_{x1}，Δ_{r1}及びθ_0を求める。

胴重心の変位量δ_H，ばね定数K_H及び固有周期T_Hは次式で求める。

$$\delta_H = \Delta_{x1} + \Delta_{r1} + (\ell_g - \ell) \cdot \theta_0 + \frac{(\ell_g - \ell)^3}{3 \cdot E \cdot I} \cdot F_0 + \frac{(\ell_g - \ell)}{G \cdot A_e} \cdot F_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.25)$$

$$K_H = \frac{1000 \cdot F_0}{\delta_H} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.26)$$

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_H}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.27)$$

ここで，胴の断面性能は次式で求める。

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (D_i + t)^3 \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.28)$$

$$A_e = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot (D_i + t) \cdot t \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.29)$$

b.　鉛直方向の固有周期

鉛直方向荷重Ｆｖによる支持脚の鉛直方向変位量と胴の鉛直方向変位量は次式で求める。

$$\Delta_{y2}=\frac{F_v\cdot\ell}{4\cdot A_s\cdot E_s} \quad \cdots\cdots (4.1.30)$$

$$\Delta_{y3}=\frac{F_v\cdot(\ell_g-\ell)}{A_s\cdot E} \quad \cdots\cdots (4.1.31)$$

ここで,

$$A_s=\pi\cdot(D_i+t)\cdot t \quad \cdots\cdots (4.1.32)$$

運転時質量による胴の脚付け根部における局部傾き角による鉛直方向変位量は次式で求める。

$$\Delta_{y4}=\theta\cdot u \quad \cdots\cdots (4.1.33)$$

局部傾き角は脚下端の支持条件により，脚下端が固定の場合

$$\theta=\frac{K_\ell\cdot M_\ell}{r_m{}^3\cdot\beta^2\cdot E} \quad \cdots\cdots (4.1.34)$$

ここで,

$$M_\ell=\left\{\left(\frac{\ell^3}{12\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\cdot\frac{F_v\cdot u\cdot\ell}{4\cdot E_s\cdot I_{st}}\right\}$$
$$\Big/\left\{\left(\frac{\ell^3}{3\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\right.$$
$$\left.\cdot\left(\frac{\ell}{E_s\cdot I_{st}}+\frac{K_\ell}{r_m{}^3\cdot\beta^2\cdot E}\right)-\left(\frac{\ell^2}{2\cdot E_s\cdot I_{st}}\right)^2\right\}$$

$$\cdots\cdots (4.1.35)$$

以上により，胴重心の鉛直方向変位量δ_v，ばね定数K_v及び固有周期T_vは次式で求める。

$$\delta_v=\Delta_{y2}+\Delta_{y3}+\Delta_{y4} \quad \cdots\cdots (4.1.36)$$

$$K_v=\frac{1000\cdot F_v}{\delta_v} \quad \cdots\cdots (4.1.37)$$

$$T_v=2\cdot\pi\sqrt{\frac{m_0}{K_v}} \quad \cdots\cdots (4.1.38)$$

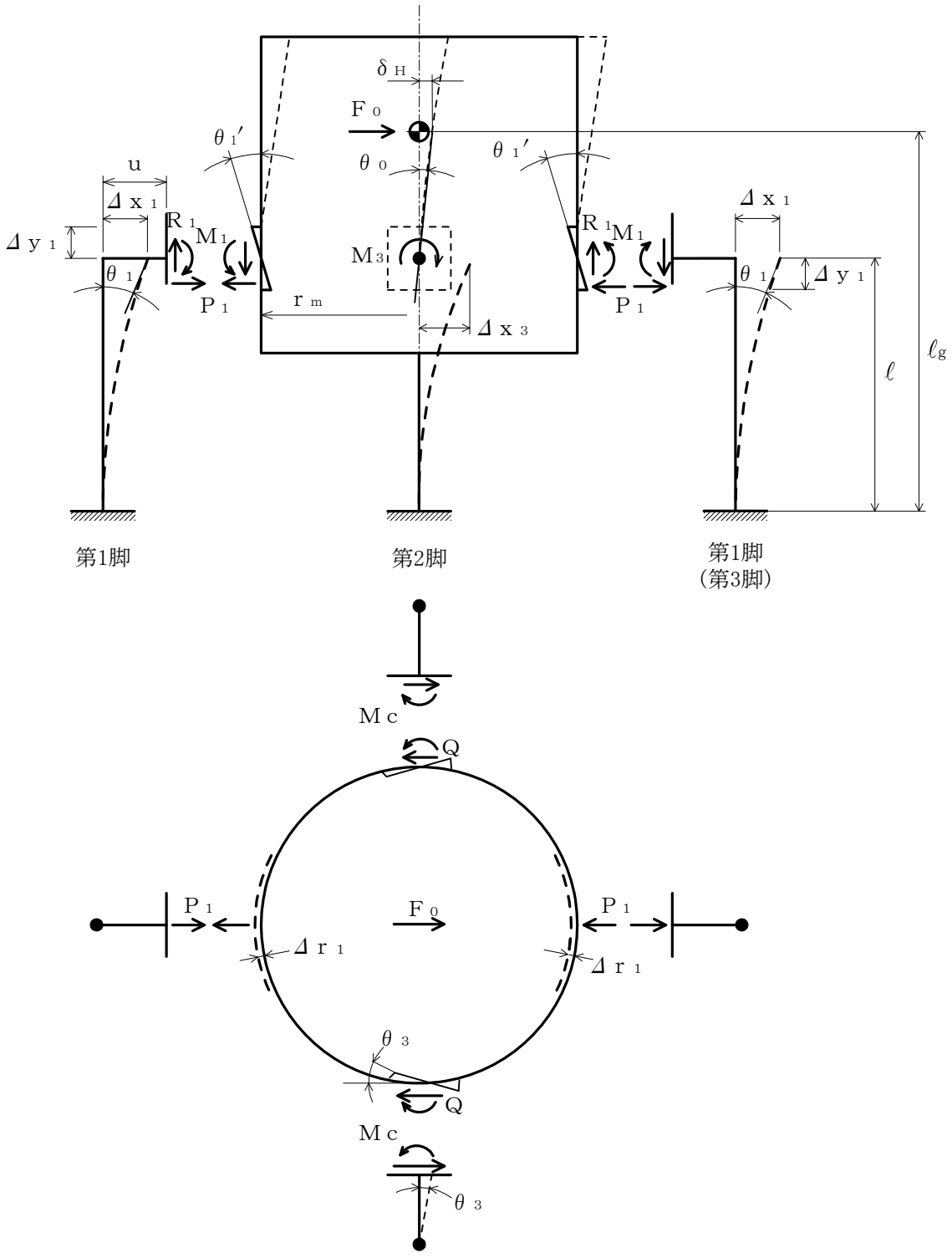


図 4－1　第 1 脚及び第 2 脚とも脚下端が固定
されている場合の変形モード

4.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は，「6.1　設計基準対象施設としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3　固有周期の計算結果

6章の評価結果に示す。

5.　構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1)　容器及び内容物の質量は，重心に集中するものとする。

(2)　地震力は容器に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。

(3)　低圧マニホールドは胴を4個の脚で支持し，脚は溶接で架台に据え付けているため，固定端として評価する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

5.2　荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

低圧マニホールド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5－1に示す。

5.2.2　許容応力

低圧マニホールドの許容応力を表5－2及び表5－3に示す。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

低圧マニホールドの許容応力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表5－4に示す。

表5－1　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	耐震設計上の重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	主蒸気隔離弁漏えい抑制系 低圧マニホールド	S	クラス３容器*	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5－2　許容応力（クラス２，３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の値と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，疲労解析は行わない。	
ⅣAS	0.6・Ｓｕ	左欄の1.5倍の値		

注記　＊1：座屈に対する評価が必要な場合には，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 5－3　許容応力（クラス２，３支持構造物）

許容応力状態	許容限界 * （脚）
	一次応力
	組合せ
ⅢＡＳ	1.5・f_t
ⅣＡＳ	1.5・f_t *

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5－4　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)
胴板	SM400B	最高使用温度	100	－	221	373	－
脚	SS400	周囲環境温度	50	－	241	394	－

5.3　設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5－5 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」に基づく。

表 5－5　低圧マニホールドの設計用地震力（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 EL. 20.3*1			C_H＝0.78*2	C_V＝0.54*2	C_H＝1.34*3	C_V＝1.01*3

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度と同等以上の設計震度

＊3：基準地震動Ｓｓの震度と同等以上の設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

応力計算において，静的地震力を用いるため絶対値和を用いる。

5.4.1.1 胴の応力

(1) 内圧による応力

$$\sigma_{\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t)}{2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 7}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

$$\sigma_{x1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t)}{4\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.3)$$

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{x2}=\frac{m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.4)$$

$$\sigma_{x7}=\frac{m_0\cdot g\cdot C_V}{\pi\cdot(D_i+t)\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.5)$$

(3) 運転時質量による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合,脚の半径方向変位量と胴の半径方向局部変位量は等しいから

$$\Delta_r=\frac{-P\cdot\ell^3}{3\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{-P\cdot\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{(R\cdot u-M\ell)\cdot\ell^2}{2\cdot E_s\cdot I_{st}}$$

$$=\frac{K_r\cdot P}{r_m\cdot E} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.6)$$

また，脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいから

$$\theta=\frac{(R\cdot u-M\ell)\cdot\ell}{E_s\cdot I_{st}}+\frac{-P\cdot\ell^2}{2\cdot E_s\cdot I_{st}}$$

$$=\frac{K\ell\cdot M\ell}{r_m^3\cdot\beta^2\cdot E} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.7)$$

ここで,

$$R=\frac{m_0\cdot g}{4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (5.4.1.1.8)$$

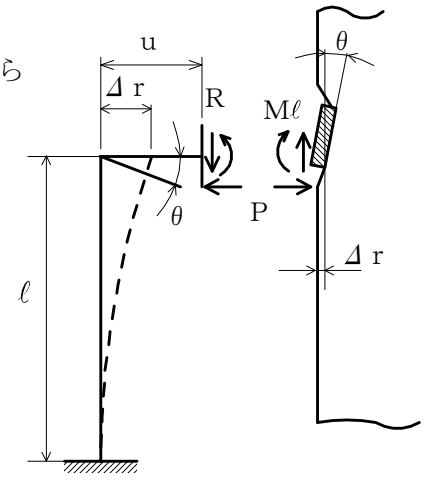


図 5－1 脚下端が固定されている場合の運転時質量による脚及び胴の変形

したがって，（5.4.1.1.8）式を（5.4.1.1.6）式及び（5.4.1.1.7）式に代入した式を連立することにより，Mℓを以下のように求める。

$$M_\ell=\left\{\left(\frac{\ell^3}{12\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\cdot\frac{m_0\cdot g\cdot u\cdot\ell}{4\cdot E_s\cdot I_{st}}\right\}$$
$$\bigg/\left\{\left(\frac{\ell^3}{3\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\cdot\left(\frac{\ell}{E_s\cdot I_{st}}+\frac{K_\ell}{r_m^3\cdot\beta^2\cdot E}\right)-\left(\frac{\ell^2}{2\cdot E_s\cdot I_{st}}\right)^2\right\}$$

…………………………………… (5.4.1.1.9)

Ｐは（5.4.1.1.6）式に（5.4.1.1.8）式を代入して整理すると

$$P=\frac{\dfrac{\dfrac{m_0\cdot g}{4}\cdot u-M_\ell}{2\cdot E_s\cdot I_{st}}\cdot\ell^2}{\dfrac{\ell^3}{3\cdot E_s\cdot I_{st}}+\dfrac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\dfrac{K_r}{r_m\cdot E}}$$

……………… (5.4.1.1.10)

となる。

鉛直方向曲げモーメントMℓにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は引用文献(2)により次のようにして求める。

シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβを以下のように定義する。

$r_m=(D_i+t)/2$ …………………………………… (5.4.1.1.11)

$\gamma=r_m/t$ …………………………………… (5.4.1.1.12)

$\beta_1=C_1/r_m$ …………………………………… (5.4.1.1.13)

$\beta_2=C_2/r_m$ …………………………………… (5.4.1.1.14)

$\beta=\sqrt[3]{\beta_1\cdot\beta_2^2}$ …………………………………… (5.4.1.1.15)

ただし，$\beta\leqq 0.5$

シェルパラメータγ及びアタッチメントパラメータβによって引用文献(2)の図より値（以下＊を付記するもの）を求めることにより，次式で求める。

$$\sigma_{\phi 3}=\left\{\frac{N_\phi}{M_\ell/(r_m^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{M_\ell}{r_m^2\cdot t\cdot\beta}\right)\cdot C_{\ell 1}$$ ……… (5.4.1.1.16)

$$\sigma_{x 3}=\left\{\frac{N_x}{M_\ell/(r_m^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{M_\ell}{r_m^2\cdot t\cdot\beta}\right)\cdot C_{\ell 2}$$ ……… (5.4.1.1.17)

半径方向荷重Ｐにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 4}=\left\{\frac{N_\phi}{P/r_m}\right\}^*\cdot\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$ ………………………… (5.4.1.1.18)

$$\sigma_{x 4}=\left\{\frac{N_x}{P/r_m}\right\}^*\cdot\left(\frac{P}{r_m\cdot t}\right)$$ ………………………… (5.4.1.1.19)

ここで，γ及びβは（5.4.1.1.11）式～（5.4.1.1.15）式によるが，（5.4.1.1.15）式を

$4 \geqq \beta_1 / \beta_2 \geqq 1$のとき

$$\beta = \left\{1 - \frac{1}{3} \cdot (\beta_1 / \beta_2 - 1) \cdot (1 - K_{1j})\right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.20)$$

ただし，$\beta \leqq 0.5$

$\frac{1}{4} \leqq \beta_1 / \beta_2 < 1$のとき

$$\beta = \left\{1 - \frac{4}{3} \cdot (1 - \beta_1 / \beta_2) \cdot (1 - K_{2j})\right\} \cdot \sqrt{\beta_1 \cdot \beta_2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.21)$$

ただし，$\beta \leqq 0.5$

に置き換える。

反力Rによるせん断応力は

$$\tau_{\ell 1} = \frac{R}{4 \cdot C_2 \cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.22)$$

(4)　水平方向地震による胴の曲げ応力

水平方向地震により胴に転倒モーメントが作用するため，脚が取り付く胴の円周上に以下の曲げ応力が発生する。

$$\sigma_{x5} = \frac{C_H \cdot m_0 \cdot g \cdot (\ell_g - \ell) \cdot (D_i + 2 \cdot t)}{2 \cdot I} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.23)$$

(5)　Z方向地震による胴の脚付け根部の応力

4.1節の固有周期計算において（4.1.1）式及び（4.1.2）式の水平力F_0を$C_H \cdot m_0 \cdot g$に置き換えて得られる数値を使用する。

a.　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は（5.4.1.1.18）式及び（5.4.1.1.19）式と同様にして

$$\sigma_{\phi 61} = \left\{\frac{N_\phi}{P_1 / r_m}\right\}^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.24)$$

$$\sigma_{x61} = \left\{\frac{N_x}{P_1 / r_m}\right\}^* \cdot \left(\frac{P_1}{r_m \cdot t}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.25)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は（5.4.1.1.16）式及び（5.4.1.1.17）式と同様にして

$$\sigma_{\phi 71} = \left\{\frac{N_\phi}{M_1 / (r_m^2 \cdot \beta)}\right\}^* \left(\frac{M_1}{r_m^2 \cdot t \cdot \beta}\right) \cdot C_{\ell 1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.26)$$

$$\sigma_{x71}=\left\{\frac{N_x}{M_1/(r_m^2\cdot\beta)}\right\}^{*}\left(\frac{M_1}{r_m^2\cdot t\cdot\beta}\right)\cdot C_{\ell 2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.27)$$

周方向曲げモーメントM_cにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は
(5.4.1.1.16) 式及び (5.4.1.1.17) 式と同様にして

$$\sigma_{\phi 81}=\left\{\frac{N_\phi}{M_c/(r_m^2\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{M_c}{r_m^2\cdot t\cdot\beta}\right)\cdot C_{c1} \quad \cdots \quad (5.4.1.1.28)$$

$$\sigma_{x81}=\left\{\frac{N_x}{M_c/(r_m^2\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{M_c}{r_m^2\cdot t\cdot\beta}\right)\cdot C_{c2} \quad \cdots \quad (5.4.1.1.29)$$

ここで，γ及びβは (5.4.1.1.11) 式～ (5.4.1.1.15) 式によるが，
(5.4.1.1.15) 式を

$$\beta=\sqrt[3]{\beta_1^2\cdot\beta_2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.30)$$

ただし，$\beta \leqq 0.5$
に置き換える。
周方向せん断力Qによるせん断応力は

$$\tau_{C1}=\frac{Q}{4\cdot C_1\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.31)$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は

$$\tau_{\ell 2}=\frac{R_1}{4\cdot C_2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.32)$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_3=\frac{M_3}{2\cdot\pi\cdot C_1^2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.33)$$

ここで，$C_1 > C_2$のときC_1をC_2に置き換える。（図5－2参照）

b. 二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 62}=\left\{\frac{M_\phi}{P_1}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot P_1}{t^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.34)$$

$$\sigma_{x62}=\left\{\frac{M_x}{P_1}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot P_1}{t^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.35)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 72}=\left\{\frac{M_\phi}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta}\right) \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.36)$$

$$\sigma_{x72}=\left\{\frac{M_x}{M_1/(r_m\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot M_1}{r_m\cdot t^2\cdot\beta}\right) \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.37)$$

周方向曲げモーメントＭｃにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 82}=\left\{\frac{M\phi}{Mc\,/\,(rm\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot Mc}{rm\cdot t^{2}\cdot\beta}\right) \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.38)$$

$$\sigma_{x82}=\left\{\frac{Mx}{Mc\,/\,(rm\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot Mc}{rm\cdot t^{2}\cdot\beta}\right) \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.39)$$

(6)　Ｘ方向地震による胴の脚付け根部の応力

a.　一次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 91}=\sigma_{\phi 61}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.40)$$

$$\sigma_{x91}=\sigma_{x61}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.41)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 101}=\sigma_{\phi 71}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.42)$$

$$\sigma_{x101}=\sigma_{x71}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.43)$$

周方向曲げモーメントＭｃにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 111}=\sigma_{\phi 81}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.44)$$

$$\sigma_{x111}=\sigma_{x81}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.45)$$

周方向せん断力Ｑによるせん断応力は

$$\tau_{c4}=\tau_{c1}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.46)$$

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は

$$\tau_{\ell 5}=\tau_{\ell 2}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.47)$$

ねじりモーメントM_3により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_{6}=\tau_{3}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.48)$$

b.　二次応力

半径方向荷重P_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 92}=\sigma_{\phi 62}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.49)$$

$$\sigma_{x92}=\sigma_{x62}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.50)$$

鉛直方向曲げモーメントM_1により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 102}=\sigma_{\phi 72}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.51)$$

$$\sigma_{x102}=\sigma_{x72}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.52)$$

周方向曲げモーメントＭｃにより生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は

$$\sigma_{\phi 112}=\sigma_{\phi 82}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.53)$$

$$\sigma_{x112}=\sigma_{x82}/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.54)$$

(7)　鉛直方向地震による胴の脚付け根部の応力

脚下端が固定の場合の軸力，胴の脚付け根部の鉛直方向モーメント及び半径方向荷重を以下のように求める。

$$R_2=\frac{m_0\cdot g\cdot C_v}{4} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.55)$$

$$M_{\ell 2}=\left\{\left(\frac{\ell^3}{12\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\cdot\frac{R_2\cdot u\cdot\ell}{E_s\cdot I_{st}}\right\} \Big/ \left\{\left(\frac{\ell^3}{3\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right)\cdot\left(\frac{\ell}{E_s\cdot I_{st}}+\frac{K_\ell}{r_m^3\cdot\beta^2\cdot E}\right)-\left(\frac{\ell^2}{2\cdot E_s\cdot I_{st}}\right)^2\right\} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.56)$$

$$P_2=\frac{(R_2\cdot u-M_{\ell 2})\cdot\ell^2}{2\cdot E_s\cdot I_{st}} \Big/ \left(\frac{\ell^3}{3\cdot E_s\cdot I_{st}}+\frac{\ell}{G_s\cdot A_{sr}}+\frac{K_r}{r_m\cdot E}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.57)$$

a.　一次応力

鉛直方向曲げモーメント$M_{\ell 2}$により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 8}=\left\{\frac{N_\phi}{M_{\ell 2}/(r_m^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{M_{\ell 2}}{r_m^2\cdot t\cdot\beta}\right)\cdot C_{\ell 1} \quad \cdot \quad (5.4.1.1.58)$$

$$\sigma_{x8}=\left\{\frac{N_x}{M_{\ell 2}/(r_m^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{M_{\ell 2}}{r_m^2\cdot t\cdot\beta}\right)\cdot C_{\ell 2} \quad \cdot \quad (5.4.1.1.59)$$

半径方向荷重P_2により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 9}=\left\{\frac{N_\phi}{P_2/r_m}\right\}^*\cdot\left(\frac{P_2}{r_m\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.60)$$

$$\sigma_{x9}=\left\{\frac{N_x}{P_2/r_m}\right\}^*\cdot\left(\frac{P_2}{r_m\cdot t}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.61)$$

b.　二次応力

鉛直方向曲げモーメント$M_{\ell 2}$により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 10}=\left\{\frac{M_\phi}{M_{\ell 2}/(r_m\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot M_{\ell 2}}{r_m\cdot t^2\cdot\beta}\right) \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.62)$$

$$\sigma_{x10}=\left\{\frac{M_x}{M_{\ell 2}/(r_m\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot M_{\ell 2}}{r_m\cdot t^2\cdot\beta}\right) \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.63)$$

半径方向荷重Ｐ２により生じる胴の周方向及び軸方向応力は次式で求める。

$$\sigma_{\phi 11}=\left(\frac{M_{\phi}}{P_2}\right)^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot P_2}{t^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.64)$$

$$\sigma_{x11}=\left(\frac{M_x}{P_2}\right)^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot P_2}{t^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.65)$$

せん断応力は次による。

$$\tau_{\ell 3}=\frac{R_2}{4\cdot C_2\cdot t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.66)$$

(8)　組合せ応力

(1)～(7)によって求めた胴の脚付け根部に生じる応力を以下のように組み合わせる。

a.　一次一般膜応力

σ_0＝Max｛周方向応力（$\sigma_{0\phi}$），軸方向応力（σ_{0x}）｝ ‥‥　(5.4.1.1.67)

ここで,

【絶対値和】

$$\sigma_{0\phi}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.68)$$

$$\sigma_{0x}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x7}+\sigma_{x5} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.69)$$

b.　Ｚ方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

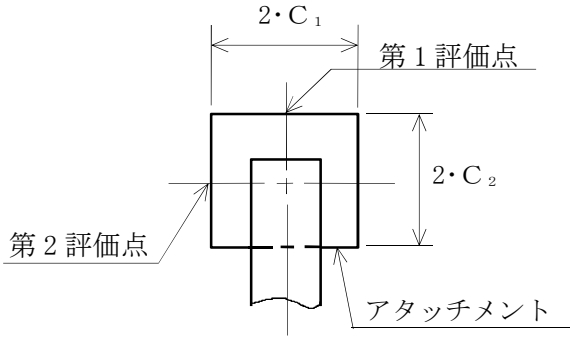


図 5－2　胴の評価点

【絶対値和】

(a)　第1脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.70)$$

$$\sigma_{xz1}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x61}+\sigma_{x71}+\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.71)$$

$$\sigma_{11}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{\phi z1}+\sigma_{xz1})+\sqrt{(\sigma_{\phi z1}-\sigma_{xz1})^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.72)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 9} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.73)$$

$$\sigma_{x z 2}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 61}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.74)$$

$$\sigma_{1 2}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{\phi z 2}+\sigma_{x z 2})+\sqrt{(\sigma_{\phi z 2}-\sigma_{x z 2})^2+4\cdot(\tau_{\ell 1}+\tau_{\ell 2}+\tau_{\ell 3})^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.75)$$

(b) 第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 3}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.76)$$

$$\sigma_{x z 3}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 3}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.77)$$

$$\sigma_{1 3}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{\phi z 3}+\sigma_{x z 3})+\sqrt{(\sigma_{\phi z 3}-\sigma_{x z 3})^2+4\cdot(\tau_{c 1}+\tau_{3})^2}\right\} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.78)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 4}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 81} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.79)$$

$$\sigma_{x z 4}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 81}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.80)$$

$$\sigma_{1 4}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{\phi z 4}+\sigma_{x z 4})+\sqrt{(\sigma_{\phi z 4}-\sigma_{x z 4})^2+4\cdot(\tau_{\ell 1}+\tau_{3}+\tau_{\ell 3})^2}\right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.81)$$

c. X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合の組合せ一次応力

【絶対値和】

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 1}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 101}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.82)$$

$$\sigma_{x x 1}=\sigma_{x 1}+\sigma_{x 2}+\sigma_{x 3}+\sigma_{x 4}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 91}+\sigma_{x 101}+\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.83)$$

$$\sigma_{1 5}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{\phi x 1}+\sigma_{x x 1})+\sqrt{(\sigma_{\phi x 1}-\sigma_{x x 1})^2+4\cdot(\tau_{c 4}+\tau_{6})^2}\right\} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.84)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 2} = \sigma_{\phi 1} + \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 4} + \sigma_{\phi 91} + \sigma_{\phi 111} + \sigma_{\phi 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.85)$$

$$\sigma_{x x 2} = \sigma_{x 1} + \sigma_{x 2} + \sigma_{x 4} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 91} + \sigma_{x 111} + \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.86)$$

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ (\sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2}) + \sqrt{(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2})^2 + 4 \cdot (\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_6 + \tau_{\ell 3})^2} \right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.87)$$

d. 胴の一次応力の最大値

ここで，b項及びc項により組み合わせた一次応力のうち最大のものをσ_1とする。

$$\sigma_1 = \mathrm{Max}(\sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}) \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.88)$$

e. 地震力のみによる一次＋二次応力の変動値

【絶対値和】

Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

(a) 第1脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 5} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 8} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 10} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} + \sigma_{\phi 71} + \sigma_{\phi 72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.89)$$

$$\sigma_{x z 5} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 8} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 10} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62} + \sigma_{x 71} + \sigma_{x 72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.90)$$

$$\sigma_{21} = \sigma_{\phi z 5} + \sigma_{x z 5} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 5} - \sigma_{x z 5})^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.91)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 6} = \sigma_{\phi 7} + \sigma_{\phi 9} + \sigma_{\phi 11} + \sigma_{\phi 61} + \sigma_{\phi 62} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.92)$$

$$\sigma_{x z 6} = \sigma_{x 7} + \sigma_{x 9} + \sigma_{x 11} + \sigma_{x 5} + \sigma_{x 61} + \sigma_{x 62}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.93)$$

$$\sigma_{22} = \sigma_{\phi z 6} + \sigma_{x z 6} + \sqrt{(\sigma_{\phi z 6} - \sigma_{x z 6})^2 + 4(\tau_{\ell 2} + \tau_{\ell 3})^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.94)$$

(b)　第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z 7}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.95)$$

$$\sigma_{x z 7}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 10}+\sigma_{x 11} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.96)$$

$$\sigma_{23}=\sigma_{\phi z 7}+\sigma_{x z 7}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 7}-\sigma_{x z 7})^2+4(\tau_{c 1}+\tau_{3})^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.97)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z 8}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 81}+\sigma_{\phi 82} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.98)$$

$$\sigma_{x z 8}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 11}+\sigma_{x 81}+\sigma_{x 82} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.99)$$

$$\sigma_{24}=\sigma_{\phi z 8}+\sigma_{x z 8}+\sqrt{(\sigma_{\phi z 8}-\sigma_{x z 8})^2+4(\tau_{3}+\tau_{\ell 3})^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.100)$$

f.　X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

第1評価点については

$$\sigma_{\phi x 3}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 101}$$

$$+\sigma_{\phi 92}+\sigma_{\phi 102} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.101)$$

$$\sigma_{x x 3}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 8}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 10}+\sigma_{x 11}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 91}$$

$$+\sigma_{x 101}+\sigma_{x 92}+\sigma_{x 102} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.102)$$

$$\sigma_{25}=\sigma_{\phi x 3}+\sigma_{x x 3}+\sqrt{(\sigma_{\phi x 3}-\sigma_{x x 3})^2+4(\tau_{c 4}+\tau_{6})^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.103)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x 4}=\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 92}+\sigma_{\phi 111}+\sigma_{\phi 112}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.104)$$

$$\sigma_{x x 4}=\sigma_{x 7}+\sigma_{x 9}+\sigma_{x 11}+\sigma_{x 5}+\sigma_{x 91}+\sigma_{x 92}$$

$$+\sigma_{x 111}+\sigma_{x 112} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.105)$$

$$\sigma_{26}=\sigma_{\phi x 4}+\sigma_{x x 4}+\sqrt{(\sigma_{\phi x 4}-\sigma_{x x 4})^2+4(\tau_{\ell 5}+\tau_{6}+\tau_{\ell 3})^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.106)$$

g.　胴の一次＋二次応力の最大値

ここで，e項及びf項により組み合わせた一次＋二次応力のうち最大のものをσ_2とする。

$$\sigma_2=\mathrm{Max}(\sigma_{21},\ \sigma_{22},\ \sigma_{23},\ \sigma_{24},\ \sigma_{25},\ \sigma_{26}) \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.107)$$

5.4.1.2　脚の応力

脚にかかる荷重について計算する。

(1)　運転時質量による応力

$$\sigma_{s1}=\frac{R}{A_s} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.1)$$

$$\sigma_{s2}=\frac{\mathrm{Max}(\left|R\cdot u-M_{\ell}-P\cdot \ell\right|,\left|R\cdot u-M_{\ell}\right|)}{Z_{st}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.2)$$

$$\tau_{s1}=\frac{P}{A_{s1}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.3)$$

(2)　鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{s3}=\frac{R_2}{A_s} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.4)$$

$$\sigma_{s4}=\frac{\mathrm{Max}(\left|R_2\cdot u-M_{\ell 2}-P_2\cdot \ell\right|,\left|R_2\cdot u-M_{\ell 2}\right|)}{Z_{st}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.5)$$

$$\tau_{s2}=\frac{P_2}{A_{s1}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.6)$$

(3)　Z方向地震による応力

第1脚については

$$\sigma_{s5}=\frac{R_1}{A_s} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.7)$$

$$\sigma_{s6}=\frac{\mathrm{Max}\ (\left|R_1\cdot u-M_1-P_1\cdot \ell\right|,\ \left|R_1\cdot u-M_1\right|)}{Z_{st}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.8)$$

$$\tau_{s3}=\frac{P_1}{A_{s1}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.9)$$

第2脚については

$$\sigma_{s7}=\frac{\mathrm{Max}\ (\left|Q\cdot \ell-M_3\right|,\ \left|M_3\right|)}{Z_{sr}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.10)$$

$$\tau_{s4}=\frac{Q}{A_{s2}}+\frac{Q\cdot u-M_c}{Z_{sp}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.11)$$

(4)　X方向地震による応力

$$\sigma_{s8}=\frac{R_1}{\sqrt{2}\cdot A_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.12)$$

$$\sigma_{s9}=\frac{\mathrm{Max}\left(\left|R_1\cdot u-M_1-P_1\cdot \ell\right|,\ \left|R_1\cdot u-M_1\right|\right)}{\sqrt{2}\cdot Z_{st}}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.13)$$

$$\sigma_{s10}=\frac{\mathrm{Max}\left(\left|Q\cdot \ell - M_3\right|,\ \left|M_3\right|\right)}{\sqrt{2}\cdot Z_{sr}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.14)$$

$$\tau_{s5}=\frac{P_1}{\sqrt{2}\cdot A_{s1}}+\frac{Q}{\sqrt{2}\cdot A_{s2}}+\frac{Q\cdot u-M_c}{\sqrt{2}\cdot Z_{sp}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.15)$$

(5)　組合せ応力

脚の最大応力は次式で求める。

a.　Z方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

【絶対値和】

第1脚については

$$\sigma_{sz1}=\sqrt{\left(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s5}+\sigma_{s6}\right)^2+3\cdot\left(\tau_{s1}+\tau_{s2}+\tau_{s3}\right)^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.16)$$

第2脚については

$$\sigma_{sz2}=\sqrt{\left(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s7}\right)^2+3\cdot\left(\tau_{s1}+\tau_{s2}+\tau_{s4}\right)^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.17)$$

b.　X方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

【絶対値和】

$$\sigma_{sx}=\sqrt{\left(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s8}+\sigma_{s9}+\sigma_{s10}\right)^2+3\cdot\left(\tau_{s1}+\tau_{s2}+\tau_{s5}\right)^2}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.18)$$

ここで，組み合わせた応力のうち最大のものをσ_sとする。

$$\sigma_s=\mathrm{Max}\left(\sigma_{sz1},\ \sigma_{sz2},\ \sigma_{sx}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.19)$$

5.5　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【主蒸気隔離弁漏えい抑制系低圧マニホールド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。

5.6　応力の評価

5.6.1　脚の応力評価

(1)　5.4.2 項で求めた脚の組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

$$f_t=\frac{F}{1.5}\cdot 1.5 \quad \cdots\cdots (5.6.1.1)$$

(2)　圧縮応力と曲げによる圧縮側応力の組合せは次式を満足すること。(座屈の評価)

$$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}}+\frac{\sigma_{st}}{f_{bt}}+\frac{\sigma_{sc}}{f_c}\leqq 1 \quad \cdots\cdots (5.6.1.2)$$

a.　f_c は次による。

$\lambda \leqq \Lambda$ のとき

$$f_c=1.5\cdot\left\{1-0.4\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\}\cdot\frac{F}{\nu} \quad \cdots\cdots (5.6.1.3)$$

$\lambda > \Lambda$ のとき

$$f_c=1.5\cdot 0.277\cdot F\cdot\left(\frac{\Lambda}{\lambda}\right)^2 \quad \cdots\cdots (5.6.1.4)$$

ここで,

$$\lambda=\ell_k / i \quad \cdots\cdots (5.6.1.5)$$

$$\Lambda=\sqrt{\frac{\pi^2\cdot E_s}{0.6\cdot F}} \quad \cdots\cdots (5.6.1.6)$$

$$\nu=1.5+\frac{2}{3}\cdot\left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \quad \cdots\cdots (5.6.1.7)$$

$$i=\sqrt{\frac{\mathrm{Min}(I_{st},\ I_{sr})}{A_s}} \quad \cdots\cdots (5.6.1.8)$$

ℓ_k は有効座屈長さで脚下端を固定とする場合は1.2・ℓとする。

b.　f_{br}，f_{bt} は次による。

(a)　脚が鋼管の場合

$$f_{br}=f_{bt}=f_t \quad \cdots\cdots (5.6.1.9)$$

(b)　脚が形鋼の場合で弱軸が半径方向軸の場合

イ．　みぞ形鋼

$$f_{br}=f_t \quad \cdots\cdots (5.6.1.10)$$

f_{bt}は次の2つの式より計算した値のうちいずれか大きい値又はf_tのいずれか小さい方の値とする。

$$f_{bt}=\left(1-0.4\cdot\frac{\ell^2}{C\cdot\Lambda^2\cdot i_f^2}\right)\cdot f_t \quad \cdots\cdots (5.6.1.11)$$

$$f_{bt}=\left(\frac{0.433\cdot E_s\cdot A_f}{\ell\cdot h}\right)\cdot 1.5 \quad \cdots\cdots (5.6.1.12)$$

ここで，i_fは脚の圧縮フランジとはりのせいの6分の1から成るT形断面のウェッブ軸回りの断面二次半径で次式による。

$$i_f=\sqrt{\frac{I_{sf}}{A_{sf}}} \quad \cdots\cdots (5.6.1.13)$$

Cは次の計算式より計算した値又は2.3のうちいずれか小さい方の値とし，M_{s2}及びM_{s1}はそれぞれの脚の両端における強軸回りの曲げモーメントとする。

この場合においてM_{s2}とM_{s1}との比は1より小さいものとし，単曲率の場合を正に，複曲率の場合を負とする。

$$C=1.75-1.05\cdot\left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right)+0.3\cdot\left(\frac{M_{s2}}{M_{s1}}\right)^2 \quad \cdots\cdots (5.6.1.14)$$

脚が形鋼の場合で強軸が半径方向軸の場合は，(b)と同様にして求めたf_{br}をf_{bt}に，f_{bt}をf_{br}に置き換える。

c.　応力の区分は次のようにする。

(a)　Z方向地震が作用した場合の第1脚及び第3脚について

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s3}+\sigma_{s5} \quad \cdots\cdots (5.6.1.15)$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s4}+\sigma_{s6} \quad \cdots\cdots (5.6.1.16)$$

$$\sigma_{sr}=0 \quad \cdots\cdots (5.6.1.17)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントM_{s1}及びM_{s2}は次の2つの式より計算し，M_{s2}の絶対値がM_{s1}の絶対値より大きいときはM_{s1}とM_{s2}を置き換える。（以下同じ。）

【絶対値和】

$$M_{s1}=-(M_\ell+M_{\ell 2}+M_1)+(R+R_2+R_1)\cdot u \quad \cdots\cdots (5.6.1.18)$$

$$M_{s2}=-(P+P_2+P_1)\cdot\ell-(M_\ell+M_{\ell 2}+M_1)+(R+R_2+R_1)\cdot u \quad \cdots\cdots (5.6.1.19)$$

(b)　Z方向地震が作用した場合の第2脚及び第4脚について

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s3} \quad \cdots\cdots (5.6.1.20)$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s4} \quad \cdots\cdots (5.6.1.21)$$

$$\sigma_{sr}=\sigma_{s7} \quad \cdots\cdots (5.6.1.22)$$

脚の強軸が半径方向で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1}=M_3 \quad \cdots\cdots (5.6.1.23)$$

$$M_{s2}=M_3-Q\cdot\ell \quad \cdots\cdots (5.6.1.24)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1}=-(M\ell+M\ell_2)+(R+R_2)\cdot u \quad \cdots\cdots (5.6.1.25)$$

$$M_{s2}=-(P+P_2)\cdot\ell-(M\ell+M\ell_2)+(R+R_2)\cdot u \quad \cdots\cdots (5.6.1.26)$$

(c)　X方向地震が作用した場合について

$$\sigma_{sc}=\sigma_{s1}+\sigma_{s3}+\sigma_{s8} \quad \cdots\cdots (5.6.1.27)$$

$$\sigma_{st}=\sigma_{s2}+\sigma_{s4}+\sigma_{s9} \quad \cdots\cdots (5.6.1.28)$$

$$\sigma_{sr}=\sigma_{s10} \quad \cdots\cdots (5.6.1.29)$$

脚の強軸が半径方向に直角で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

【絶対値和】

$$M_{s1}=-(M\ell+M\ell_2)+(R+R_2)\cdot u+\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(-M_1+R_1\cdot u) \quad \cdots\cdots (5.6.1.30)$$

$$M_{s2}=-(P+P_2)\cdot\ell-(M\ell+M\ell_2)+(R+R_2)\cdot u+\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(-P_1\cdot\ell-M_1+R_1\cdot u) \quad \cdots\cdots (5.6.1.31)$$

脚の強軸が半径方向で脚下端がその軸回りに固定の場合，強軸回りの曲げモーメントは

$$M_{s1}=\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot M_3 \quad \cdots\cdots (5.6.1.32)$$

$$M_{s2}=\frac{1}{\sqrt{2}}\cdot(M_3-Q\cdot\ell) \quad \cdots\cdots (5.6.1.33)$$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

低圧マニホールド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。

【低圧マニホールド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			
主蒸気隔離弁漏えい抑制系 低圧マニホールド	S	原子炉建屋 EL 20.3 *			C_H= 0.78	C_v= 0.54	C_H= 1.34	C_v= 1.01	0.35	100	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2. 機 器 要 目

m_0 (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E_S (MPa)	G (MPa)	G_S (MPa)	ℓ (mm)	ℓ_C (mm)	ℓ_g (mm)	H (mm)	K_C	$K\ell$	K_r
	750	12.0	198000 *1	201000 *2	76200 *1	77300 *2	730	888	970	－	816	237	1520

C_1 (mm)	C_2 (mm)	I_{sf} (mm^4)	I_{sr} (mm^4)	I_{st} (mm^4)	A_f (mm^2)	A_s (mm^2)	A_{sf} (mm^2)	A_{sr} (mm^2)	A_{st} (mm^2)	A_{s1} (mm^2)	A_{s2} (mm^2)	Z_{sp} (mm^3)	Z_{sr} (mm^3)	Z_{st} (mm^3)
100	125	4.531×10^5	8.610×10^6	1.170×10^6	750.0	2.371×10^3	847.5	1.329×10^3	954.8	1.079×10^3	839.4	6.190×10^3	1.150×10^5	2.240×10^4

K_{11}*3	K_{12}*3	K_{21}*3	K_{22}*3	$K_{\ell1}$	$K_{\ell2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\ell1}$	$C_{\ell2}$	C_{C1}	C_{C2}
－											
－											

J_S (mm^4)	h (mm)
6.190×10^4	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)
221 *1 (厚さ≦16 mm)	373 *1	－	241 *2 (厚さ≦16 mm)	394 *2	241	276

注記 ＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

＊3：表中で上段は一次応力、下段は二次応力の係数とする。

3. 計算数値

3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

地震力の種類	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度					基準地震動Ｓｓ				
応力	内圧による応力	運転時質量による応力	鉛直地震による応力	水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力	内圧による応力	運転時質量による応力	鉛直地震による応力	水平地震による応力	組合せ一次一般膜応力
		自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力			自重による応力	自重による応力	転倒モーメントによる応力	
周方向	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	－	－	σ_0＝ 12	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	－	－	σ_0＝ 12
軸方向	σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	σ_{X7}＝ 0	σ_{X5}＝ 1		σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	σ_{X7}＝ 1	σ_{X5}＝ 1	
せん断	－	－	－	－		－	－	－	－	

(2) 胴に生じる一次応力

(単位：MPa)

地震力の種類				弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度										
地震の方向	評価点		応力	内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z方向	第一脚側 第一評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	$\sigma_{\phi 3}$＝ 1	$\sigma_{\phi 4}$＝ 0	－	$\sigma_{\phi 8}$＝ 1	$\sigma_{\phi 9}$＝ 0	－	$\sigma_{\phi 61}$＝ 1	$\sigma_{\phi 71}$＝ 1	－	σ_{11}＝ 12
			軸方向	σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	σ_{X3}＝ 1	σ_{X4}＝ 0	σ_{X7}＝ 0	σ_{X8}＝ 0	σ_{X9}＝ 0	σ_{X5}＝ 1	σ_{X61}＝ 1	σ_{X71}＝ 0	－	
			せん断	－	－			－			－				
	第一脚側 第二評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	－	$\sigma_{\phi 4}$＝ 0	－	－	$\sigma_{\phi 9}$＝ 0	－	$\sigma_{\phi 61}$＝ 1	－	－	σ_{12}＝ 12
			軸方向	σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	－	σ_{X4}＝ 0	σ_{X7}＝ 0	－	σ_{X9}＝ 0	σ_{X5}＝ 1	σ_{X61}＝ 1	－	－	
			せん断	－	$\tau_{\ell 1}$＝ 1			$\tau_{\ell 3}$＝ 1			$\tau_{\ell 2}$＝ 1				
	第二脚側 第一評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	$\sigma_{\phi 3}$＝ 1	$\sigma_{\phi 4}$＝ 0	－	$\sigma_{\phi 8}$＝ 1	$\sigma_{\phi 9}$＝ 0	－	－	－	－	σ_{13}＝ 12
			軸方向	σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	σ_{X3}＝ 1	σ_{X4}＝ 0	σ_{X7}＝ 0	σ_{X8}＝ 0	σ_{X9}＝ 0	－	－	－	－	
			せん断	－	－			－			τ_3＝ 1		τ_{c1}＝ 1		
		第二脚側 第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	－	$\sigma_{\phi 4}$＝ 0	－	－	$\sigma_{\phi 9}$＝ 0	－	－	－	$\sigma_{\phi 81}$＝ 1	σ_{14}＝ 12
			軸方向	σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	－	σ_{X4}＝ 0	σ_{X7}＝ 0	－	σ_{X9}＝ 0	－	－	－	σ_{X81}＝ 1	
			せん断	－	$\tau_{\ell 1}$＝ 1			$\tau_{\ell 3}$＝ 1			τ_3＝ 1				
X方向	第一評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	$\sigma_{\phi 3}$＝ 1	$\sigma_{\phi 4}$＝ 0	－	$\sigma_{\phi 8}$＝ 1	$\sigma_{\phi 9}$＝ 0	－	$\sigma_{\phi 91}$＝ 1	$\sigma_{\phi 101}$＝ 1	－	σ_{15}＝ 12
			軸方向	σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	σ_{X3}＝ 1	σ_{X4}＝ 0	σ_{X7}＝ 0	σ_{X8}＝ 0	σ_{X9}＝ 0	σ_{X5}＝ 1	σ_{X91}＝ 1	σ_{X101}＝ 0	－	
			せん断	－	－			－			τ_6＝ 1		τ_{c4}＝ 1		
	第二評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}$＝ 12	－	－	$\sigma_{\phi 4}$＝ 0	－	－	$\sigma_{\phi 9}$＝ 0	－	$\sigma_{\phi 91}$＝ 1	－	$\sigma_{\phi 111}$＝ 1	σ_{16}＝ 12
			軸方向	σ_{X1}＝ 6	σ_{X2}＝ 1	－	σ_{X4}＝ 0	σ_{X7}＝ 0	－	σ_{X9}＝ 0	σ_{X5}＝ 1	σ_{X91}＝ 1	－	σ_{X111}＝ 1	
			せん断	－	$\tau_{\ell 1}$＝ 1			$\tau_{\ell 3}$＝ 1			τ_6＝ 1		$\tau_{\ell 5}$＝ 1		

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動Ｓｓ										
地震の方向	評価点		応力	内圧による応力	運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力
					自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Ｚ方向	第一脚側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=12$	－	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	－	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	－	$\sigma_{\phi 61}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$	－	$\sigma_{11}=13$
			軸方向	$\sigma_{X1}=6$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=1$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$	$\sigma_{X71}=1$	－	
			せん断	－	－			－			－				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=12$	－	－	$\sigma_{\phi 4}=0$	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$	－	$\sigma_{\phi 61}=1$	－	－	$\sigma_{12}=12$
			軸方向	$\sigma_{X1}=6$	$\sigma_{X2}=1$	－	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	－	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$	－	－	
			せん断	－	$\tau_{\ell 1}=1$			$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_{\ell 2}=1$				
	第二脚側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=12$	－	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	－	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	－	－	－	－	$\sigma_{13}=13$
			軸方向	$\sigma_{X1}=6$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=1$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$	$\sigma_{X9}=0$	－	－	－	－	
			せん断	－	－			－			$\tau_3=2$		$\tau_{c1}=1$		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=12$	－	－	$\sigma_{\phi 4}=0$	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$	－	－	－	$\sigma_{\phi 81}=1$	$\sigma_{14}=13$
			軸方向	$\sigma_{X1}=6$	$\sigma_{X2}=1$	－	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	－	$\sigma_{X9}=0$	－	－	－	$\sigma_{X81}=1$	
			せん断	－	$\tau_{\ell 1}=1$			$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_3=2$				
Ｘ方向		第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=12$	－	$\sigma_{\phi 3}=1$	$\sigma_{\phi 4}=0$	－	$\sigma_{\phi 8}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$	－	$\sigma_{\phi 91}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$	－	$\sigma_{15}=13$
			軸方向	$\sigma_{X1}=6$	$\sigma_{X2}=1$	$\sigma_{X3}=1$	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$	$\sigma_{X101}=0$	－	
			せん断	－	－			－			$\tau_6=1$		$\tau_{c4}=1$		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=12$	－	－	$\sigma_{\phi 4}=0$	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$	－	$\sigma_{\phi 91}=1$	－	$\sigma_{\phi 111}=1$	$\sigma_{16}=13$
			軸方向	$\sigma_{X1}=6$	$\sigma_{X2}=1$	－	$\sigma_{X4}=0$	$\sigma_{X7}=1$	－	$\sigma_{X9}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$	－	$\sigma_{X111}=1$	
			せん断	－	$\tau_{\ell 1}=1$			$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_6=1$		$\tau_{\ell 5}=1$		

(3) 胴に生じる地震動のみによる一次＋二次応力

（単位：MPa）

地震力の種類				弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度								
地震の方向	評価点		応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Z方向	第一脚側	第一評価点	周方向	－	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	－	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=1$	－	$\sigma_{21}=5$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=0$ $\sigma_{X72}=1$	－	
			せん断	－			－				
		第二評価点	周方向	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	－	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	－	－	$\sigma_{22}=4$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	－	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	－	－	
			せん断	$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_{\ell 2}=1$				
	第二脚側	第一評価点	周方向	－	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	－	－	－	－	$\sigma_{23}=4$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	－	－	－	－	
			せん断	－			$\tau_3=1$		$\tau_{c1}=1$		
		第二評価点	周方向	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	－	－	－	$\sigma_{\phi 81}=1$ $\sigma_{\phi 82}=3$	$\sigma_{24}=7$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	－	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	－	－	－	$\sigma_{X81}=1$ $\sigma_{X82}=1$	
			せん断	$\tau_{\ell}=1$			$\tau_3=1$				
X方向	第一評価点		周方向	－	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	－	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$ $\sigma_{\phi 102}=1$	－	$\sigma_{25}=5$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=0$ $\sigma_{X102}=1$	－	
			せん断	－			$\tau_6=1$		$\tau_{c4}=1$		
	第二評価点		周方向	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	－	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	－	$\sigma_{\phi 111}=1$ $\sigma_{\phi 112}=2$	$\sigma_{26}=8$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	－	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	－	$\sigma_{X111}=1$ $\sigma_{X112}=1$	
			せん断	$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_6=1$		$\tau_{\ell 5}=1$		

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動Ｓｓ								
地震の方向	評価点		応力	鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ一次応力
				自重による応力	曲げモーメントによる応力	半径方向荷重による応力	転倒モーメントによる応力	半径方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	周方向モーメントによる応力	
Ｚ方向	第一脚側	第一評価点	周方向	－	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=1$	－	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=2$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=1$	－	$\sigma_{21}=8$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=1$ $\sigma_{X72}=1$	－	
			せん断	－			－				
		第二評価点	周方向	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=1$	－	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=2$	－	－	$\sigma_{22}=7$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	－	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	－	－	
			せん断	$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_{\ell 2}=1$				
	第二脚側	第一評価点	周方向	－	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=1$	－	－	－	－	$\sigma_{23}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	－	－	－	－	
			せん断	－			$\tau_3=2$		$\tau_{c1}=1$		
		第二評価点	周方向	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=1$	－	－	－	$\sigma_{\phi 81}=1$ $\sigma_{\phi 82}=5$	$\sigma_{24}=12$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	－	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	－	－	－	$\sigma_{X81}=1$ $\sigma_{X82}=2$	
			せん断	$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_3=2$				
Ｘ方向		第一評価点	周方向	－	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=1$	－	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=2$	$\sigma_{\phi 101}=1$ $\sigma_{\phi 102}=1$	－	$\sigma_{25}=9$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=0$ $\sigma_{X102}=1$	－	
			せん断	－			$\tau_6=1$		$\tau_{c4}=1$		
		第二評価点	周方向	－	－	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=1$	－	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=2$	－	$\sigma_{\phi 111}=1$ $\sigma_{\phi 112}=4$	$\sigma_{26}=13$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	－	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	－	$\sigma_{X111}=1$ $\sigma_{X112}=2$	
			せん断	$\tau_{\ell 3}=1$			$\tau_6=1$		$\tau_{\ell 5}=1$		

3.2 脚に生じる応力

（単位：MPa）

地震力の種類	地震の方向		運転時質量による応力			鉛直地震による応力			水平地震による応力				組合せ応力
			圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ	せん断	圧縮	曲げ		せん断	
弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	Ｚ方向	第１脚側	σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	σ_{S5}＝ 2	σ_{S6}＝ 6		τ_{S3}＝ 1	σ_{sz1}＝ 10
		第２脚側	σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	－	σ_{S7}＝ 6		τ_{S4}＝ 2	σ_{sz2}＝ 9
	Ｘ方向		σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	σ_{S8}＝ 1	σ_{S9}＝ 5	σ_{S10}＝ 4	τ_{S5}＝ 2	σ_{sx}＝ 12
基準地震動Ｓｓ	Ｚ方向	第１脚側	σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	σ_{S5}＝ 2	σ_{S6}＝ 10		τ_{S3}＝ 1	σ_{sz1}＝ 16
		第２脚側	σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	－	σ_{S7}＝ 10		τ_{S4}＝ 4	σ_{sz2}＝ 14
	Ｘ方向		σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	σ_{S8}＝ 2	σ_{S9}＝ 7	σ_{S10}＝ 7	τ_{S5}＝ 3	σ_{sx}＝ 19

4. 結　論

4.1 固有周期

（単位：ｓ）

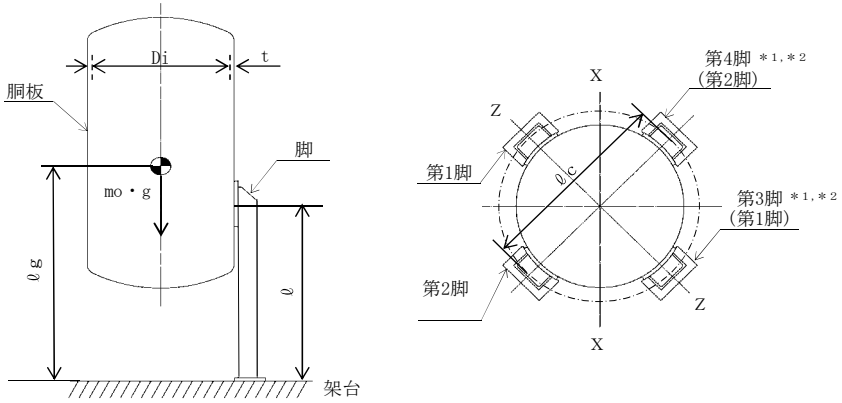
方　　向	固　有　周　期
水 平 方 向	
鉛 直 方 向	

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	SM400B	一次一般膜	$\sigma_0=$ 12	$S_a=$ 221	$\sigma_0=$ 12	$S_a=$ 223
		一　　次	$\sigma_1=$ 12	$S_a=$ 331	$\sigma_1=$ 13	$S_a=$ 335
		一次＋二次	$\sigma_2=$ 8	$S_a=$ 442	$\sigma_2=$ 13	$S_a=$ 442
脚	SS400	組 合 せ	$\sigma_S=$ 12	$f_t=$ 241	$\sigma_S=$ 19	$f_t=$ 276
		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}}+\frac{\sigma_{st}}{f_{bt}}+\frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leqq 1$		$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}}+\frac{\sigma_{st}}{f_{bt}}+\frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leqq 1$	
		（座屈の評価）	0.05　（無次元）		0.07　（無次元）	

すべて許容応力以下である。



注記　＊1：本計算書において地震の方向はＸ方向とＺ方向を考慮し，Ｚ方向地震による応力の計算においては，第3脚を第1脚に，第4脚を第2脚に読み替える。
＊2：脚部材については胴の半径方向をｒ軸，その直角方向をｔ軸とする。

7. 引用文献

(1) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplment,1955.

(2) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.