Ⅴ-2-4-3-3-1　代替燃料プール冷却系熱交換器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 ····· 9
3. 評価部位 ····· 9
4. 固有周期 ····· 10
4.1 固有周期の計算方法 ····· 10
4.2 固有周期の計算条件 ····· 13
4.3 固有周期の計算結果 ····· 13
5. 構造強度評価 ····· 13
5.1 構造強度評価方法 ····· 13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
5.3 設計用地震力 ····· 18
5.4 計算方法 ····· 19
5.5 計算条件 ····· 27
5.6 応力の評価 ····· 27
6. 評価結果 ····· 28
6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 28
7. 引用文献 ····· 34

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，代替燃料プール冷却系熱交換器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。

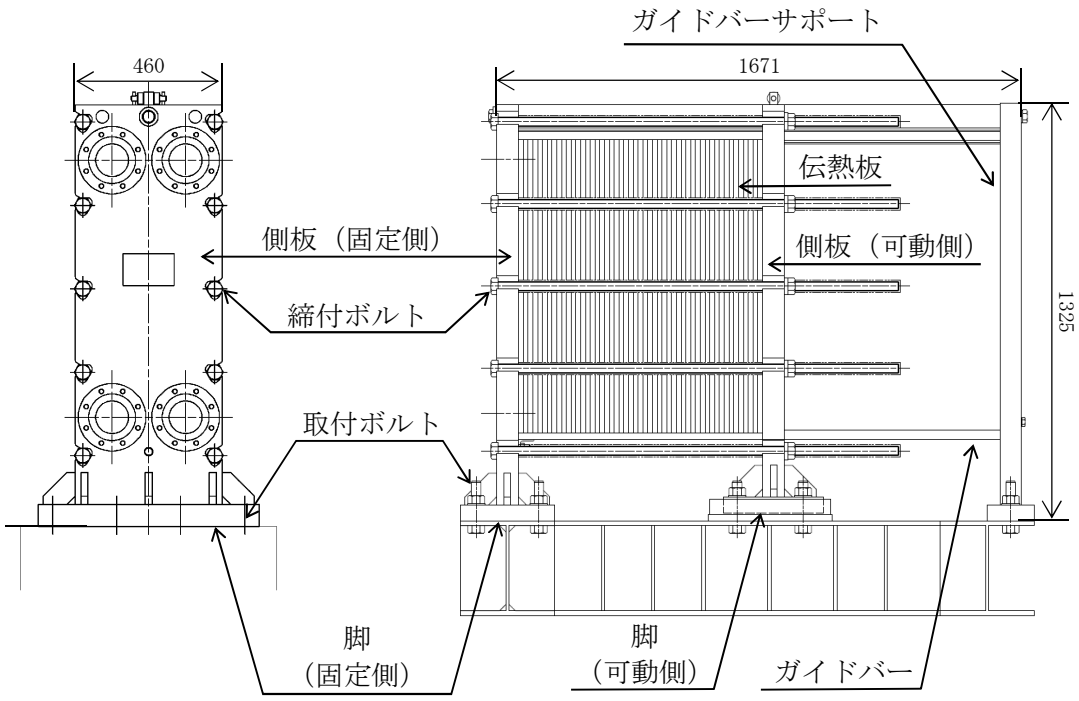
代替燃料プール冷却系熱交換器は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1　構造計画

代替燃料プール冷却系熱交換器の構造計画を表 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	
代替燃料プール冷却系熱交換器は側板を2個の脚で支持し，架台に取付ボルトで設置する。	伝熱板，側板，脚を有するプレート式熱交換器	 （単位：mm）

2.2　評価方針

代替燃料プール冷却系熱交換器の応力評価は，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」にて示す代替燃料プール冷却系熱交換器の部位を踏まえ「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設計用地震力による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。

代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

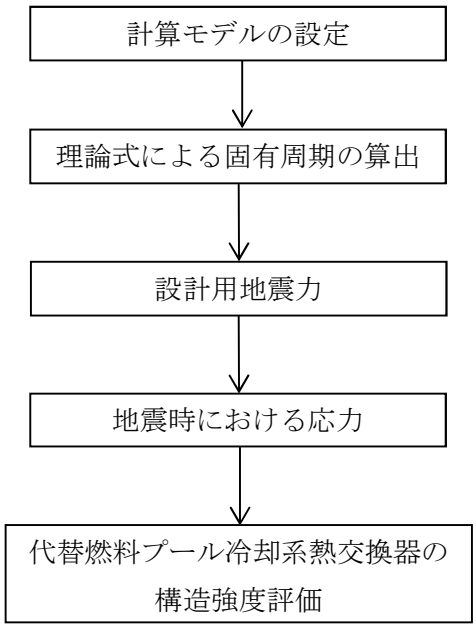


図 2-1　代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価フロー

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（日本電気協会）

(2) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(3) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

(4) 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。)）ＪＳＭＥＳ　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_p	内圧に対する側板の有効幅	mm
$A_{,F,j}$	側板の断面積	mm^2
$A_{b,j}$	取付ボルトの断面積	mm^2
$A_{e,BP1,j}$	脚の有効せん断断面積	mm^2
$A_{s,F,j}$	側板の有効せん断断面積	mm^2
$A_{s,BPx,j}$	長手方向地震に対する脚の有効せん断断面積	mm^2
$A_{s,BPy,j}$	横方向振動に対する脚の有効せん断断面積	mm^2
b_p	内圧に対する側板の有効長さ	mm
C_V	鉛直方向設計震度	―
C_H	水平方向設計震度	―
d_N	側板の開口部直径	mm
$E_{,b,j}$	取付ボルト材の縦弾性係数	MPa
$E_{,BP,j}$	脚材の縦弾性係数	MPa
$E_{,F,j}$	側板材の縦弾性係数	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
$F_{,bzi,j}$	取付ボルトの引張力	N
$F_{,BPx,j}$	長手方向地震により脚に作用するせん断力	N
$F_{,BPy,j}$	横方向地震により脚に作用するせん断力	N
$F_{,BPz,j}$	運転時質量による脚のせん断力	N
$F_{,Fgv,j}$	運転時質量による側板の軸力	N
$F_{,Fv,j}$	鉛直方向地震による側板の軸力	N
$F_{,Fx,j}$	長手方向地震により重心位置に作用するせん断力	N
$F_{,Fy,j}$	横方向地震により重心位置に作用するせん断力	N
f_t	脚の許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 （f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力（f_t^*を1.5倍した値）	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
$G_{,BP,j}$	脚のせん断弾性係数	MPa
$G_{,F,j}$	側板のせん断弾性係数	MPa
H	機器の重心高さ	mm
$I_{,BPx,j}$	長手方向振動に対する脚の断面二次モーメント	mm^4
$I_{,BPy,j}$	横方向振動に対する脚の断面二次モーメント	mm^4
$I_{,Fi,j}$	側板の断面二次モーメント	mm^4

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
$k_{b,j}$	取付ボルトの締結部剛性	N/mm
$k_{b\theta,BPx,j}$	長手方向振動に対する脚の曲げによる回転剛性	N･mm/rad
$k_{,Fi,j}$	側板の剛性	N/mm
$k_{,BPy,j}$	横方向振動に対する脚のせん断/曲げ剛性	N/mm
$k_{s,BPx,j}$	長手方向振動に対する脚のせん断剛性	N/mm
$k_{\theta,bi,j}$	取付ボルト締結部の回転剛性	N･mm/rad
$k_{\theta,Bi,j}$	脚の剛性	N･mm/rad
$k_{\theta,BPi,j}$	脚の回転剛性	N･mm/rad
K_i	固定側及び可動側の並列剛性	N/mm
$K_{i,j}$	固定側，若しくは可動側の全体剛性	N/mm
$\ell_{b,j}$	取付ボルトの伸びに有効な長さ	mm
$\ell_{x,j}$	長手方向振動に対する取付ボルト締付幅	mm
$\ell_{x,BP1,j}$	側板中心から外側取付ボルトまでの長手方向距離	mm
$\ell_{x,BP2,j}$	側板中心から内側取付ボルトまでの長手方向距離	mm
$\ell_{y,BP1,j}$	横方向振動に対する外側取付ボルト締付幅の 1/2	mm
$\ell_{y,BP2,j}$	横方向振動に対する内側取付ボルト締付幅の 1/2	mm
m_0	機器の運転時質量	kg
$M_{,Fx,j}$	長手方向地震による重心位置の曲げモーメント	N･mm
$M_{,Fy,j}$	横方向地震による重心位置の曲げモーメント	N･mm
$M_{,Fz,j}$	運転時質量により脚に作用する曲げモーメント	N･mm
n_N	側板開口部の数	－
$n_{x,BP,j}$	長手方向の荷重に寄与する脚片側の取付ボルト本数	－
$n_{y,BP1,j}$	$\ell_{y,BP1,j}$ の位置の取付ボルト本数	－
$n_{y,BP2,j}$	$\ell_{y,BP2,j}$ の位置の取付ボルト本数	－
P	機器に作用する内圧	MPa
S_a	側板の許容応力	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
S_y（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
$t_{,F,j}$	側板の板厚	mm
T_i	機器の固有周期	s
$Z_{,Fx,j}$	長手方向地震に対する側板の断面係数	mm^3
$Z_{,Fy,j}$	横方向地震に対する側板の断面係数	mm^3
$Z_{,BP2,j}$	長手方向地震に対する脚の総断面係数	mm^3
$Z_{e,BP1,j}$	脚の有効断面係数	mm^3

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
β_{i}	応力係数	－
π	円周率	－
$\sigma_{a,BPz,j}$	鉛直方向地震による脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{a,Fz,j}$	鉛直方向地震による側板の応力	MPa
$\sigma_{ab,BPx,j}$	鉛直方向地震と長手方向地震による脚の長手方向の組合せ応力	MPa
$\sigma_{ab,BPy,j}$	鉛直方向地震と横方向地震による脚の横方向の組合せ応力	MPa
$\sigma_{,b}$	取付ボルトの最大引張応力	MPa
$\sigma_{,bi,j}$	取付ボルトの引張応力	MPa
$\sigma_{b,Fx,j}$	長手方向地震による側板の曲げ応力	MPa
$\sigma_{b,Fy,j}$	横方向地震による側板の曲げ応力	MPa
$\sigma_{b,BPx,j}$	長手方向地震による脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{b,BPy,j}$	横方向地震による脚の曲げ応力	MPa
σ_{m}	側板の一次一般膜応力の最大値	MPa
$\sigma_{m1,j}$	側板軸方向の一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{m2,j}$	側板水平方向の一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{(m+b)}$	側板の一次応力の最大値	MPa
$\sigma_{(m+b)x,j}$	長手方向地震が作用した場合の側板の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)x1,j}$	長手方向地震が作用した場合の側板軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)x2,j}$	長手方向地震が作用した場合の側板水平方向の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)y,j}$	横方向地震が作用した場合の側板の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)y1,j}$	横方向地震が作用した場合の側板軸方向の一次応力	MPa
$\sigma_{(m+b)y2,j}$	横方向地震が作用した場合の側板水平方向の一次応力	MPa
$\sigma_{p,Fi,j}$	内圧による側板の応力	MPa
$\sigma_{r(m+b)}$	側板の一次＋二次応力の変動値の最大値	MPa
$\sigma_{r(m+b)x,j}$	長手方向地震による側板の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)x1,j}$	長手方向地震による側板軸方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)x2,j}$	長手方向地震による側板水平方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)y,j}$	横方向地震による側板の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)y1,j}$	横方向地震による側板軸方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{r(m+b)y2,j}$	横方向地震による側板水平方向の一次＋二次応力の変動値	MPa
$\sigma_{,BP}$	脚の組合せ応力の最大値	MPa
$\sigma_{,BPx,j}$	鉛直方向地震と長手方向地震による脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{,BPy,j}$	鉛直方向地震と横方向地震による脚の組合せ応力	MPa
$\sigma_{w,BPz,j}$	運転時質量による脚の曲げ応力	MPa
$\sigma_{w,Fz,j}$	運転時質量による側板の応力	MPa
$\tau_{ab,BPx,j}$	鉛直方向地震と長手方向地震による脚長手方向の組合せせん断応力	MPa

記　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
$\tau_{ab,BPy,j}$	鉛直方向地震と横方向地震による脚横方向の組合せせん断応力	MPa
$\tau_{a,BPz,j}$	鉛直方向地震による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{,b}$	取付ボルトの最大せん断応力	MPa
$\tau_{,bi,j}$	取付ボルトのせん断応力	MPa
$\tau_{b,BPx,j}$	長手方向地震による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{b,BPy,j}$	横方向地震による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{w,BPz,j}$	運転時質量による脚のせん断応力	MPa
$\tau_{,Fx,j}$	長手方向地震による側板のせん断応力	MPa
$\tau_{,Fy,j}$	横方向地震による側板のせん断応力	MPa

注：添字の意味は，以下のとおりとする。

x：長手方向，y：横方向

i：1＝長手方向，2＝横方向

j：1＝固定側，2＝可動側

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*1	℃	―	―	整数位
質量	kg	―	―	整数位
長さ*1	mm	―	―	整数位
面積	mm^2	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

代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価は，「5.1　構造強度評価方法」に示す条件に基づき，地震荷重を受け持つ主要な部材である側板，脚，取付ボルトについて実施する。代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震評価部位については，表2-1の概略構造図に示す。

なお，側板は下部が固定されているため，地震時には側板の上部（側板と伝熱板の一体部）が挙動することで応力が生じる。一方，伝熱板は側板と一体となって全面が挙動し，固定部分を持たないことから，地震時に伝熱板に発生する応力は小さいと考えられ，支配的に応力が生じる側板を評価部位とし，伝熱板は評価部位から除外する。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

代替燃料プール冷却系熱交換器の固有周期の計算方法を以下に示す。

4.1.1 水平方向

(1) 代替燃料プール冷却系熱交換器の質量は，重心に集中するものとする。

(2) 代替燃料プール冷却系熱交換器は，固定側板と可動側板の並列結合により 1 質点を支持するものとし，図 4-1 に示す計算モデルとして考える。

(3) 各側板は，脚及び取付ボルト締結部の剛性からなる回転ばねと側板の剛性からなる曲げせん断ばねの直列結合と考える。長手方向の振動モデルを図 4-2，横方向の振動モデルを図 4-3 に示す。



図 4-1 固有周期の計算モデル



図 4-2 長手方向の振動モデル



図 4-3 横方向の振動モデル

(4) 固有周期は次式で求める。

$$T_i = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_0}{K_i \times 10^3}} \quad \cdots\cdots (4.1.1.1)$$

$$K_i = K_{i,1} + K_{i,2} \quad \cdots\cdots (4.1.1.2)$$

$K_{i,j} =$ [redacted] $\cdots\cdots (4.1.1.3)$

ここに，添字： $i = 1,2$ （1：長手方向，2：横方向）

$j = 1,2$ （1：固定側，2：可動側）

1) 側板の剛性

$k_{,Fi,j} =$ [redacted] $\cdots\cdots (4.1.1.4)$

2) 脚の剛性

$k_{\theta,Bi,j} =$ [redacted] $\cdots\cdots (4.1.1.5)$

a. 長手方向に対する脚の剛性

(a) 脚の回転剛性

$k_{\theta,BP1,j} =$ [redacted] $\cdots\cdots (4.1.1.6)$

イ. せん断剛性

$k_{s,BPx,j} =$ [redacted] $\cdots\cdots (4.1.1.7)$

ロ. 曲げによる回転剛性

$k_{b\theta,BPx,j} =$ [redacted] $\cdots\cdots (4.1.1.8)$

(b)　取付ボルト締結部の回転剛性

$k_{\theta,b1,j}$ = [redacted] …… (4.1.1.9)

ここに，[redacted]

b.　横方向に対する脚の剛性

(a)　脚の回転剛性

$k_{\theta,BP2,j}$ = [redacted] …… (4.1.1.10)

イ．固定脚の面外剛性

$k_{,BPy,1}$ = [redacted] …… (4.1.1.11)

ロ．可動脚の面外剛性

$k_{,BPy,2}$ = [redacted] …… (4.1.1.12)

(b)　取付ボルト締結部の回転剛性

$k_{\theta,b2,j}$ = [redacted] …… (4.1.1.13)

ここに，[redacted]

c.　取付ボルト締結部の剛性

$k_{b,j}$ = [redacted] …… (4.1.1.14)

4.1.2　鉛直方向

代替燃料プール冷却系熱交換器は，伝熱板及び側板が一体に締付けられた構造であり，一体での挙動を示す。鉛直方向の剛性は，側板の軸方向剛性と脚及び取付ボルト締結部の剛性の直列結合であることから，鉛直方向は十分な剛性を有しているとみなせるため，固有周期の計算を省略する。

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，本計算書の【代替燃料プール冷却系熱交換器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。

4.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 示す。代替燃料プール冷却系熱交換器の固有周期は 0.05 秒以下であることから，剛構造である。

表 4-1　固有周期（s）

水平方向		鉛直方向
長手方向	横方向	
[redacted]	[redacted]	―*

注記　＊：固有周期は十分に小さく計算は省略する。

5. 構造強度評価

5.1　構造強度評価方法

(1) 計算方法は既往研究「ＢＷＲプラントへのプレート式熱交換器適用化に関する研究」（引用文献(1)）に準拠する。

(2) 代替燃料プール冷却系熱交換器の質量は，重心に集中するものとする。

(3) 地震力は，代替燃料プール冷却系熱交換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。

(4) 代替燃料プール冷却系熱交換器は 2 個の脚で支持され，脚は 1 個につき取付ボルトが 2 列以上になっている。このため，脚は固定支持として扱う。

(5) 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

代替燃料プール冷却系熱交換器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2　許容応力

代替燃料プール冷却系熱交換器の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-2，表 5-3 のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

代替燃料プール冷却系熱交換器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備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（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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	代替燃料プール冷却系熱交換器	常設耐震／防止	重大事故等クラス２容器*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$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5-2　許容応力（重大事故等クラス２容器（クラス２，３容器））

許容応力状態	許容限界*1			
	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
$Ⅳ_AS$	$0.6・S_u$	左欄の1.5倍の値	S_s地震動のみによる疲労解析*2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$2・S_y$以下であれば，疲労解析*2は不要	
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる）				

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：$2・S_y$を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。S_mは 2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 5-3　許容応力（重大事故等クラス２支持構造物（クラス２，３支持構造物））

許容応力状態	許容限界*1，*2 （脚）	許容限界*1，*2 （取付ボルト）		
	一次応力	一次応力		
	組合せ	引張り	せん断	組合せ
ⅣＡＳ	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$\mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b,\ f_{to}]$
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 5-4　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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
側　　板	SGV410	最高使用温度	80	206	375	—
脚	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	201	373	—
取 付 ボ ル ト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	673	759	—

5.3　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 5-5 に示す。

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-5　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）		基準地震動Ｓ$_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
常設耐震／防止	EL. 29.00＊1		―＊2		

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。。

5.4　計算方法

5.4.1　応力の計算方法

5.4.1.1　部材力の算定



(1) 運転時質量による軸力

$$F_{,Fgv,j}=\frac{m_0 \cdot g}{2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.1)$$

添字：　j=1,2　(1：固定側，2：可動側)

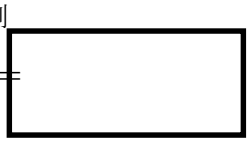
(2) 鉛直方向地震力

$$F_{,Fv,j}=\frac{m_0 \cdot g \cdot C_v}{2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.2)$$

(3) 長手方向地震力

1)　側板のせん断力

a.　固定側

$F_{,Fx,1}=$  $\cdots\cdots (5.4.1.1.3)$

b.　可動側

$F_{,Fx,2}=$  $\cdots\cdots (5.4.1.1.4)$

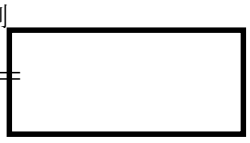
2)　側板の曲げモーメント

$M_{,Fx,j}=$  $\cdots\cdots (5.4.1.1.5)$

(4) 横方向地震力

1)　側板のせん断力

a.　固定側

$F_{,Fy,1}=$  $\cdots\cdots (5.4.1.1.6)$

b.　可動側

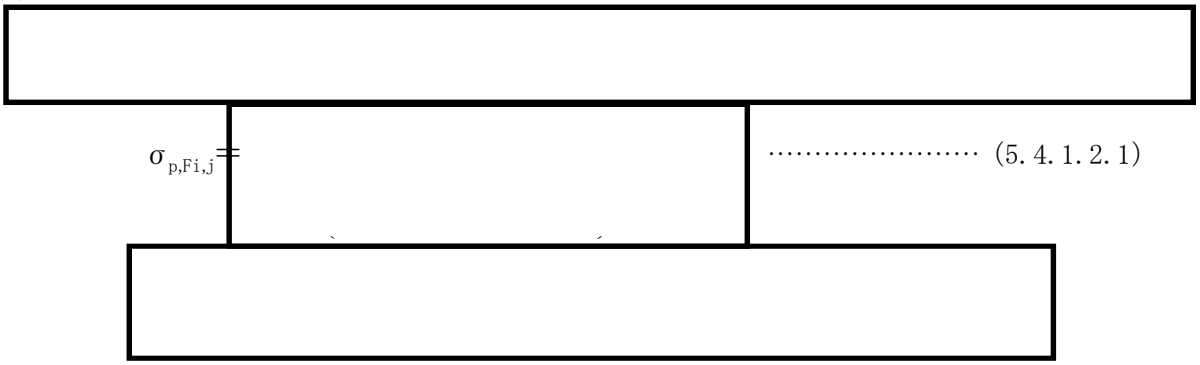
$F_{,Fy,2}=$  $\cdots\cdots (5.4.1.1.7)$

2) 側板の曲げモーメント

$$M_{,Fy,j}=$$ ……(5.4.1.1.8)

5.4.1.2 側板の計算方法

(1) 内圧による応力



$$\sigma_{p,Fi,j}=$$ ……(5.4.1.2.1)

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{w,Fz,j}=\frac{F_{,Fgv,j}}{A_{,F,j}}$$ ……(5.4.1.2.2)

$$\sigma_{a,Fz,j}=\frac{F_{,Fv,j}}{A_{,F,j}}$$ ……(5.4.1.2.3)

(3) 長手方向地震による応力

a. 曲げ応力

$$\sigma_{b,Fx,j}=\frac{M_{,Fx,j}}{Z_{,Fx,j}}$$ ……(5.4.1.2.4)

b. せん断応力

$$\tau_{,Fx,j}=\frac{F_{,Fx,j}}{A_{s,F,j}}$$ ……(5.4.1.2.5)

(4) 横方向地震による応力

a. 曲げ応力

$$\sigma_{b,Fy,j}=\frac{M_{,Fy,j}}{Z_{,Fy,j}}$$ ……(5.4.1.2.6)

b. せん断応力

$$\tau_{,Fy,j}=\frac{F_{,Fy,j}}{A_{s,F,j}}$$ ……(5.4.1.2.7)

(5) 組合せ応力

a. 一次一般膜応力



$\sigma_m = \mathrm{Max}(\sigma_{m1,j}, \sigma_{m2,j})$ …… (5.4.1.2.8)

$\sigma_{m1,j} =$ …… (5.4.1.2.9)

$\sigma_{m2,j} =$ …… (5.4.1.2.10)

b. 一次応力

(a) 長手方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$\sigma_{(m+b)x,j} =$ (5.4.1.2.11)

$\sigma_{(m+b)x1,j} =$ …… (5.4.1.2.12)

$\sigma_{(m+b)x2,j} =$ …… (5.4.1.2.13)

(b) 横方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$\sigma_{(m+b)y,j} =$

…… (5.4.1.2.14)

$\sigma_{(m+b)y1,j} =$ …… (5.4.1.2.15)

$\sigma_{(m+b)y2,j} =$ …… (5.4.1.2.16)

(c) 一次応力の最大値

$\sigma_{(m+b)} = \mathrm{Max}(\sigma_{(m+b)x,j}, \sigma_{(m+b)y,j})$ …… (5.4.1.2.17)

c.　地震力のみによる一次＋二次応力の変動値

(a)　長手方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$\sigma_{r(m+b)x,j}$＝ ……（5.4.1.2.18）

$\sigma_{r(m+b)x1,j}$＝ ……（5.4.1.2.19）

$\sigma_{r(m+b)x2,j}$＝ ……（5.4.1.2.20）

(b)　横方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$\sigma_{r(m+b)y,j}$＝ ……（5.4.1.2.21）

$\sigma_{r(m+b)y1,j}$＝ ……（5.4.1.2.22）

$\sigma_{r(m+b)y2,j}$＝ ……（5.4.1.2.23）

(c)　一次＋二次応力の変動値の最大値

$$\sigma_{r(m+b)}=\mathrm{Max}(\sigma_{r(m+b)x,j},\sigma_{r(m+b)y,j}) \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.24)$$

5.4.1.3　脚の計算方法

(1) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

a.　曲げモーメント

$M_{,Fz,j}=$ [redacted] ……(5.4.1.3.1)

$F_{,BPz,j}=$ [redacted] ……(5.4.1.3.2)

ただし [redacted]

b.　運転時質量により脚に作用する応力

(a)　曲げ応力

$$\sigma_{w,BPz,j}=\frac{M_{,Fz,j}}{Z_{e,BP1,j}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.3)$$

(b)　せん断応力

$$\tau_{w,BPz,j}=\frac{F_{,BPz,j}}{A_{e,BP1,j}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.4)$$

c.　鉛直方向地震により脚に作用する応力

(a)　曲げ応力

$$\sigma_{a,BPz,j}=C_v\cdot\frac{M_{,Fz,j}}{Z_{e,BP1,j}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.5)$$

(b)　せん断応力

$$\tau_{a,BPz,j}=C_v\cdot\frac{F_{,BPz,j}}{A_{e,BP1,j}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.6)$$

(2) 長手方向地震による応力

a.　曲げ応力

$$\sigma_{b,BPx,j}=\frac{M_{,Fx,j}}{Z_{,BP2,j}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.7)$$

b.　せん断応力

$$\tau_{b,BPx,j}=\frac{F_{,BPx,j}}{A_{s,BPx,j}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.3.8)$$

$F_{,BPx,j}=$ [redacted] ……(5.4.1.3.9)

(3) 横方向地震による応力

a. 曲げ応力

$\sigma_{b,BPy,j}$＝ …… (5.4.1.3.10)

ただし，

$F_{,BPy,j}$＝ …… (5.4.1.3.11)

b. せん断応力

$\tau_{b,BPy,j}$＝ …… (5.4.1.3.12)

ただし

(4) 組合せ応力

a. 長手方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$\sigma_{,BPx,j}$＝ …… (5.4.1.3.13)

$\sigma_{ab,BPx,j}$＝ …… (5.4.1.3.14)

$\tau_{ab,BPx,j}$＝ …… (5.4.1.3.15)

b. 横方向地震及び鉛直方向地震が作用した場合

$\sigma_{,BPy,j}$＝ …… (5.4.1.3.16)

$\sigma_{ab,BPy,j}$＝ …… (5.4.1.3.17)

$\tau_{ab,BPy,j}$＝ …… (5.4.1.3.18)

c. 組合せ応力の最大値

$\sigma_{,BP}=\mathrm{Max}(\sigma_{,BPx,j}\ ,\ \sigma_{,BPy,j})$ …… (5.4.1.3.19)

5.4.1.4　取付ボルトの計算方法

取付ボルトの応力は，運転時質量による軸力と水平方向（長手方向，横方向）及び鉛直方向地震の組合せによる引張力，水平方向地震によるせん断力に基づき計算する。

(1) 取付ボルトの引張応力

a.　取付ボルトに作用する引張力

$F_{,bzi,j}=$ ……（5.4.1.4.1）

ただし

ここに，添字i：x＝長手方向，y＝横方向，j：1＝固定側，2＝可動側

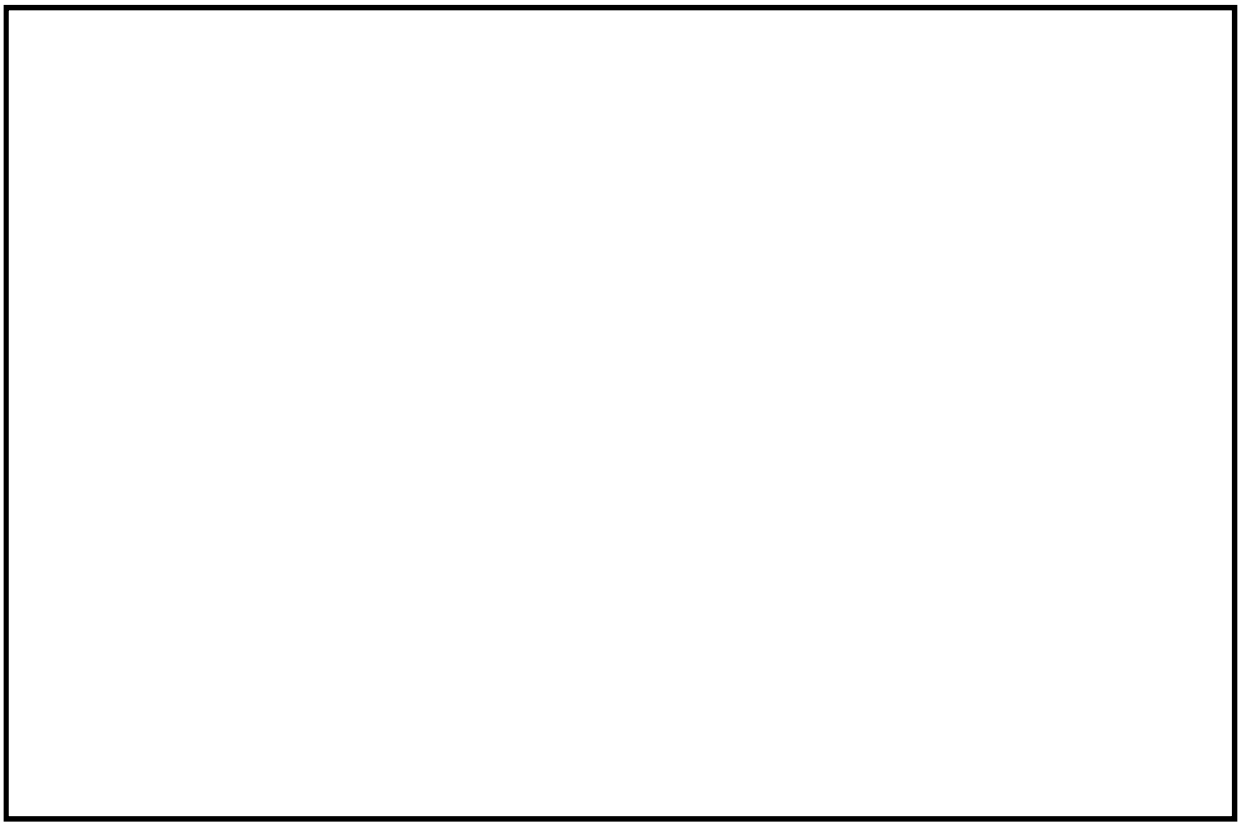


図 5-1　脚部に作用する外荷重と取付ボルトの引張力の関係

b. 鉛直方向地震及び水平方向地震による引張応力

$\sigma_{,bi,j}$ = ……(5.4.1.4.2)

ただし,

(2) 取付ボルトのせん断応力

$\tau_{,bi,j}$ = ……(5.4.1.4.3)

(3) 最大応力

a. 引張応力

$\sigma_{,b} = \mathrm{Max}(\sigma_{,bx,j}, \sigma_{,by,j})$ ……(5.4.1.4.4)

b. せん断応力

$\tau_{,b} = \mathrm{Max}(\tau_{,bx,j}, \tau_{,by,j})$ ……(5.4.1.4.5)

5.5　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【代替燃料プール冷却系熱交換器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　側板の応力評価

5.4.1.2 項で求めた側板の組合せ応力 $\sigma_{(m+b)}$ は許容応力 S_a 以下であること。

	許　容　応　力　S_a	
応力の種類	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と0.6・S_u の小さい方 ただし，ＡＳＳ（オーステナイト系ステンレス鋼）及びＨＮＡ（高ニッケル合金）については上記値と1.2・Ｓとの大きい方	0.6・S_u
一　次　応　力	上記の1.5倍の値	上記の1.5倍の値
一次＋二次応力	地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が2・S_y 以下であれば，疲労解析は不要	

5.6.2　脚の応力評価

5.4.1.3 項で求めた脚の組合せ応力 $\sigma_{,BP}$ は許容引張応力 f_t 以下であること。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

5.6.3　取付ボルトの応力評価

5.4.1.4 項で求めた取付ボルトの引張応力 $\sigma_{,b}$ 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。

$$f_{ts} = \mathrm{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{,b},\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.6.3.1)$$

せん断応力 $\tau_{,b}$ はせん断力のみを受ける取付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Ｓ$_d$ 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動Ｓ$_s$ 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}	$\frac{F}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\sqrt{3}} \cdot 1.5$

6.　評価結果

6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

代替燃料プール冷却系熱交換器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。発生値は許容応力を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有することを確認した。

(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。

【代替燃料プール冷却系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1 重大事故等対処設備

1.1 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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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			
代替燃料プール冷却系熱交換器	常設耐震／防止	EL. 29.00*1		—*2	—				0.98	80	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：鉛直方向は十分な剛構造を有しているため，固有周期の計算は省略する。

1.2 機器要目

m_0 (kg)	H (mm)	$E_{,F,1}$ (MPa)	$E_{,F,2}$ (MPa)	$G_{,F,1}$ (MPa)	$G_{,F,2}$ (MPa)	$t_{,F,1}$ (mm)	$t_{,F,2}$ (mm)	$A_{,F,1}$ (mm^2)	$A_{,F,2}$ (mm^2)	$A_{S,F,1}$ (mm^2)	$A_{S,F,2}$ (mm^2)	$I_{,F1,1}$ (mm^4)	$I_{,F2,1}$ (mm^4)	$I_{,F1,2}$ (mm^4)	$I_{,F2,2}$ (mm^4)

$A_{S,BPx,1}$ (mm^2)	$A_{S,BPx,2}$ (mm^2)	$I_{,BPx,1}$ (mm^4)	$I_{,BPx,2}$ (mm^4)	$n_{x,BP,1}$	$n_{x,BP,2}$	$\ell_{x,BP1,1}$ (mm)	$\ell_{x,BP1,2}$ (mm)	$\ell_{x,BP2,1}$ (mm)	$\ell_{x,BP2,2}$ (mm)	$n_{y,BP1,1}$	$n_{y,BP1,2}$	$n_{y,BP2,1}$	$n_{y,BP2,2}$	$E_{,BP,1}$ (MPa)	$E_{,BP,2}$ (MPa)

$G_{,BP,1}$ (MPa)	$G_{,BP,2}$ (MPa)	$A_{S,BPy,1}$ (mm^2)	$A_{S,BPy,2}$ (mm^2)	$I_{,BPy,1}$ (mm^4)	$I_{,BPy,2}$ (mm^4)	$E_{,b,1}$ (MPa)	$E_{,b,2}$ (MPa)	$\ell_{b,1}$ (mm)	$\ell_{b,2}$ (mm)	$A_{b,1}$ (mm^2)	$A_{b,2}$ (mm^2)	a_p (mm)	b_p (mm)	β_1	β_2

d_N (mm)	n_N	$Z_{,Fx,1}$ (mm^3)	$Z_{,Fx,2}$ (mm^3)	$Z_{,Fy,1}$ (mm^3)	$Z_{,Fy,2}$ (mm^3)	$Z_{e,BP1,1}$ (mm^3)	$Z_{e,BP1,2}$ (mm^3)	$A_{e,BP1,1}$ (mm^2)	$A_{e,BP1,2}$ (mm^2)	$Z_{,BP2,1}$ (mm^3)	$Z_{,BP2,2}$ (mm^3)	$\ell_{x,1}$ (mm)	$\ell_{x,2}$ (mm)	$\ell_{y,BP1,1}$ (mm)	$\ell_{y,BP1,2}$ (mm)

$\ell_{y,BP2,1}$ (mm)	$\ell_{y,BP2,2}$ (mm)

S_y（側板） (MPa)	S_u（側板） (MPa)	S_y（脚） (MPa)	S_u（脚） (MPa)	F（脚） (MPa)	F*（脚） (MPa)	S_y（取付ボルト） (MPa)	S_u（取付ボルト） (MPa)	F（取付ボルト） (MPa)	F*（取付ボルト） (MPa)
*1	*1	*2	*2		*2	*2	*2		*2

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

1.3.1 側板に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

a. 固定側

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
応力の方向	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力
内圧による応力	－			
運転時質量による応力	－			
鉛直方向地震による応力	－	－		
組合せ応力	－			

b. 可動側

(単位：MPa)

地震の種類	弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
応力の方向	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力
内圧による応力	－	－		
運転時質量による応力	－			
鉛直方向地震による応力	－			
組合せ応力	－	－		

(2) 一次応力

a. 固定側

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度				基準地震動S_s			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力
内圧による応力		－	－	－	－				
運転時質量による応力		－	－	－					
鉛直方向地震による応力		－	－	－					
水平方向地震による応力	曲げ	－	－	－	－				
	せん断	－		－					
組合せ応力		－		－					

b. 可動側

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度				基準地震動S_s			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力
内圧による応力		－	－	－					
運転時質量による応力		－	－	－					
鉛直方向地震による応力		－	－	－					
水平方向地震による応力	曲げ	－	－	－	－				
	せん断	－		－					
組合せ応力		－		－					

(3) 地震動のみによる一次＋二次応力の変動値

a. 固定側

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力
鉛直方向地震による応力		－	－	－	－				
水平方向地震による応力	曲げ	－	－	－	－				
	せん断	－		－					
組合せ応力		－		－					

b. 可動側

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度				基準地震動Ｓｓ			
地震の方向		長手方向		横方向		長手方向		横方向	
応力の方向		軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力	軸方向応力	横方向応力
鉛直方向地震による応力		－	－	－	－				
水平方向地震による応力	曲げ	－	－	－	－				
	せん断	－		－					
組合せ応力		－		－					

1.3.2 脚に生じる応力

a. 固定側

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
応力の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	曲げ	－			
	せん断	－			
鉛直方向地震による応力	曲げ	－			
	せん断	－			
水平方向地震による応力	曲げ	－			
	せん断	－			
組合せ応力		－			

b. 可動側

(単位：MPa)

地震の種類		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
応力の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
運転時質量による応力	曲げ	－			
	せん断	－			
鉛直方向地震による応力	曲げ	－			
	せん断	－			
水平方向地震による応力	曲げ	－			
	せん断	－			
組合せ応力		－	－		

1.3.3 取付ボルトに生じる応力

a. 固定側 （単位：MPa）

地震の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
応力の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張り	－			
水平方向地震による応力	せん断	－	－		

b. 可動側 （単位：MPa）

地震の種類		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
応力の方向		長手方向	横方向	長手方向	横方向
鉛直方向地震及び水平方向地震による応力	引張り	－			
水平方向地震による応力	せん断	－			

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 ＝
横方向	T_2 ＝
鉛直方向	T_3 ＝ －*

注 ＊：固有周期は十分小さく計算は省略する。

代替燃料プール冷却系熱交換器の固有周期は0.05 秒以下であることから，剛構造である。

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	許容応力	算出応力	許容応力
側板	SGV410	一次一般膜	－			
		一次	－			
		一次＋二次	－			
脚		組合せ	－			
取付ボルト		引張り	－			*
		せん断	－			

注記 ＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・$\tau_{.b}$, f_{to}]より算出

すべて許容応力以下である。

7. 引用文献

引用文献を以下に示す。

(1) 大山 ほか，BWRプラントへのプレート式熱交換器適用化に関する研究，火力原子力発電，第576号，Vol. 55，No. 9，2004年，pp. 962-969.

(2) チモシェンコ・ヴォアノフスキークリーガー共著,板とシェルの理論＜上＞（長谷川 節訳）,ブレイン図書出版,1994年5月

(3) Warren C. Young, Richard G. Budynas: Roark’s Formulas for Stress and Strain, 7th Edition, 2002, McGraw-Hill, pp. 194-196.

Ⅴ-2-4-3-3-2　代替燃料プール冷却系ポンプ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. 機能維持評価 ····· 7
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 7
5. 評価結果 ····· 8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 8

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，代替燃料プール冷却系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

代替燃料プール冷却系ポンプは，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に分類される。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

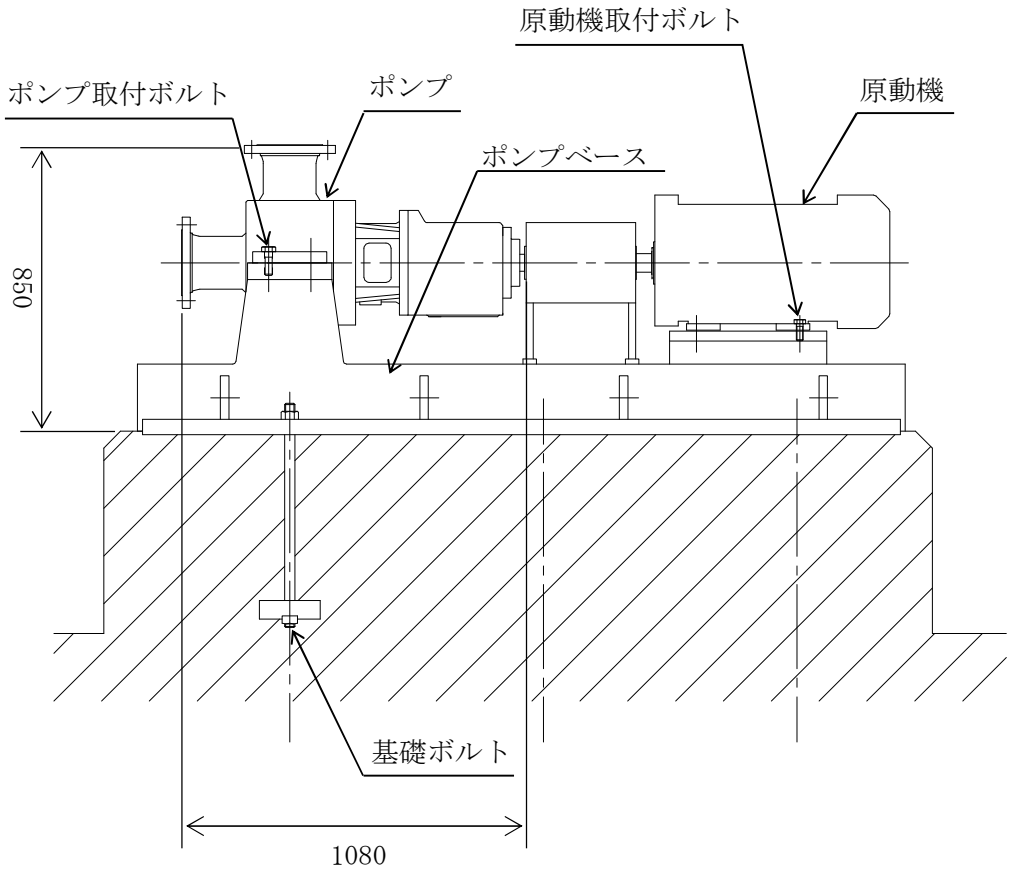
2. 一般事項

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4　横軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

代替燃料プール冷却系ポンプの構造計画を表 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	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ターボ形横軸ポンプ	

（単位：mm）

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

代替燃料プール冷却系ポンプの構造は横軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-4 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

代替燃料プール冷却系ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-1 に示す。

3.2.2 許容応力

代替燃料プール冷却系ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-2 のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

代替燃料プール冷却系ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備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（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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	代替燃料プール冷却系ポンプ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$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を示す。

＊2：重大事故等クラス２ポンプ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 3-2　許容応力（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
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$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 3-3　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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	－	171	441	205
ポンプ取付ボルト		周囲環境温度		－	673	759	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		－	673	759	－

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

代替燃料プール冷却系ポンプの地震時の動的機能維持評価について，以下に示す。

代替燃料プール冷却系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8 m/s^2)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

代替燃料プール冷却系ポンプ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及び動的機能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。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【代替燃料プール冷却系ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 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			
代替燃料プール冷却系ポンプ	常設耐震／防止	EL. 29.00*1	－*2	－*2	－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17		－	

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。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i}*1 (mm)	ℓ_{2i}*1 (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}*1	
							弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト（i＝1）					706.9 (M30)	6	－	2
								3
ポンプ取付ボルト（i＝2）					452.4 (M24)	4	－	2
								2
原動機取付ボルト（i＝3）					201.1 (M16)	4	－	2
								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
基礎ボルト（i＝1）	171*2	441*2	－	230	－	軸直角	－	－
ポンプ取付ボルト（i＝2）	673*2	759*2	－	531	－	軸	－	－
原動機取付ボルト（i＝3）	673*2	759*2	－	531	－	軸直角	－	

予想最大両振幅 (μm)	回転速度 (min^{-1})

注記 ＊1：各ボルトの機器要目における上段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示し，下段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示す。

＊2：周囲環境温度で算出

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
基礎ボルト (i＝1)	－	6.648×10^3	－	2.779×10^4
ポンプ取付ボルト (i＝2)	－	1.601×10^4	－	9.320×10^3
原動機取付ボルト (i＝3)	－	2.122×10^3	－	5.351×10^3

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	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	[redacted]	[redacted]
		せん断	－	－		
ポンプ取付ボルト		引張り	－	－		
		せん断	－	－		
原動機取付ボルト		引張り	－	－		
		せん断	－	－		

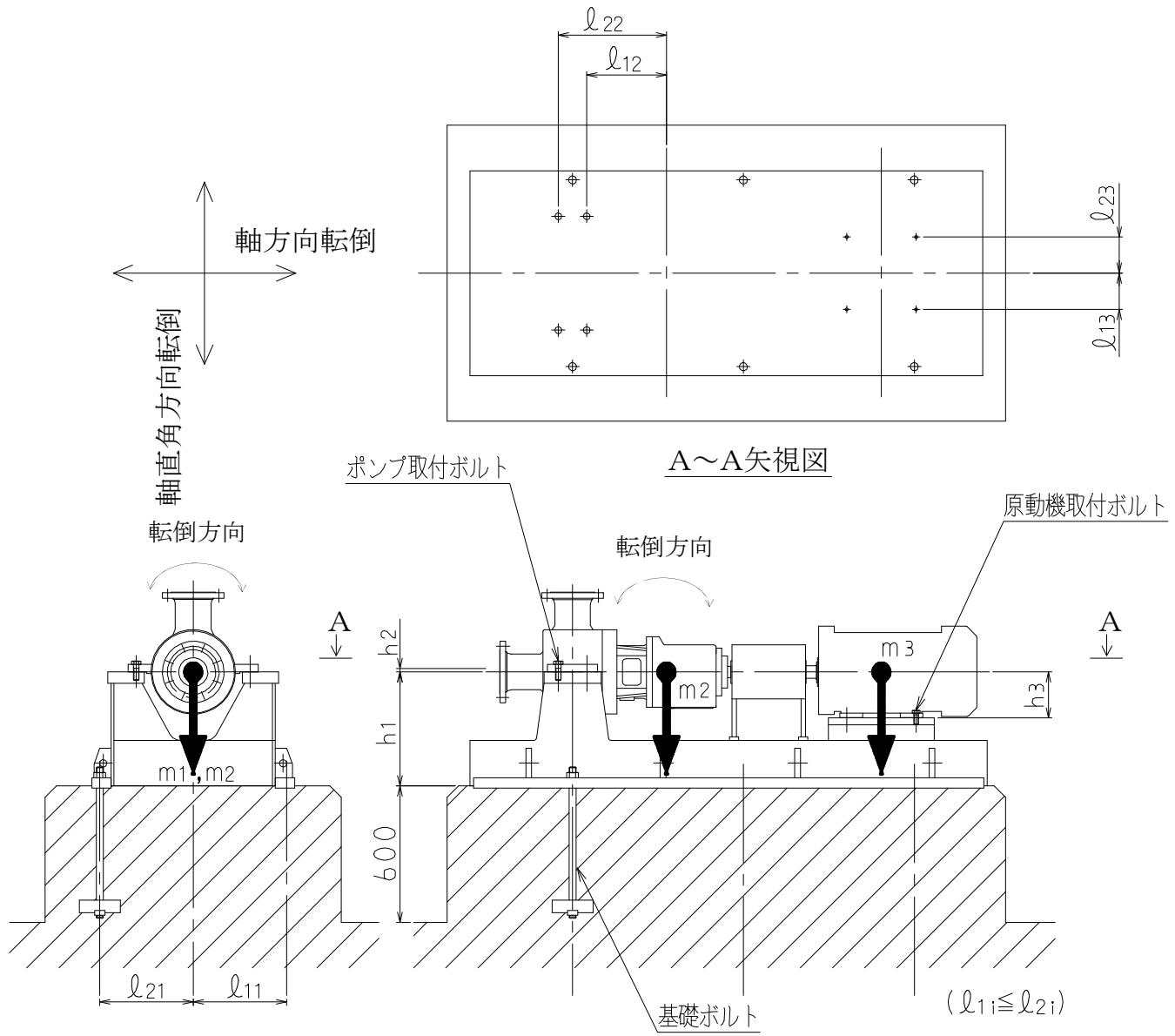
すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 動的機能の評価結果 ($\times 9.8\ m/s^2$)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.29	1.4
	鉛直方向	0.98	1.0
原動機	水平方向	1.29	4.7
	鉛直方向	0.98	1.0

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。


ℓ22
ℓ12
軸方向転倒
軸直角方向転倒
ℓ23
ℓ13
A～A矢視図
ポンプ取付ボルト
原動機取付ボルト
転倒方向
転倒方向
A
A
h2
h1
600
h3
m1,m2
m2
m3
ℓ21
ℓ11
基礎ボルト
(ℓ1i≦ℓ2i)

Ⅴ-2-4-3-3-3　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 6
3.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 6
3.2　設計条件 7
3.3　材料及び許容応力 12
3.4　設計用地震力 13
4.　解析結果及び評価 14
4.1　固有周期及び設計震度 14
4.2　評価結果 20
4.2.1　管の応力評価結果 20
4.2.2　支持構造物評価結果 21
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 22
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 23

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」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　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とおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全５モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

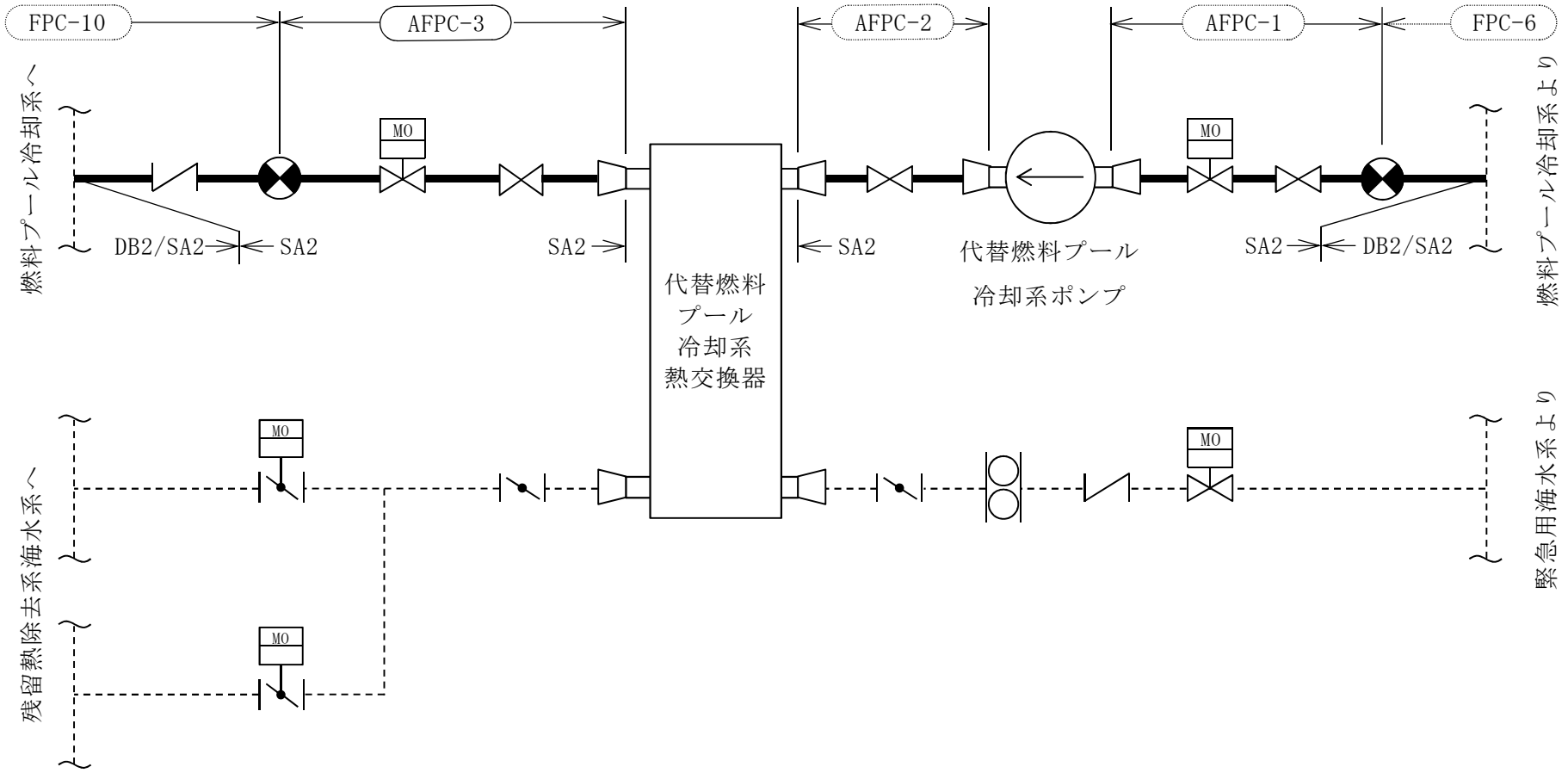
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

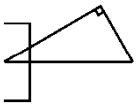
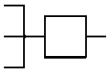
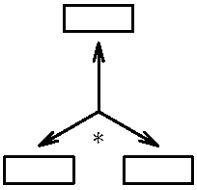
記　　号	内　　容
━━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備）
━ ━ ━（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （設計基準対象施設）
―――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
― ― ― ―（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○－○－○○	鳥瞰図番号 （鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○－○－○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
	アンカ
[管クラス]	
DB1	クラス１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

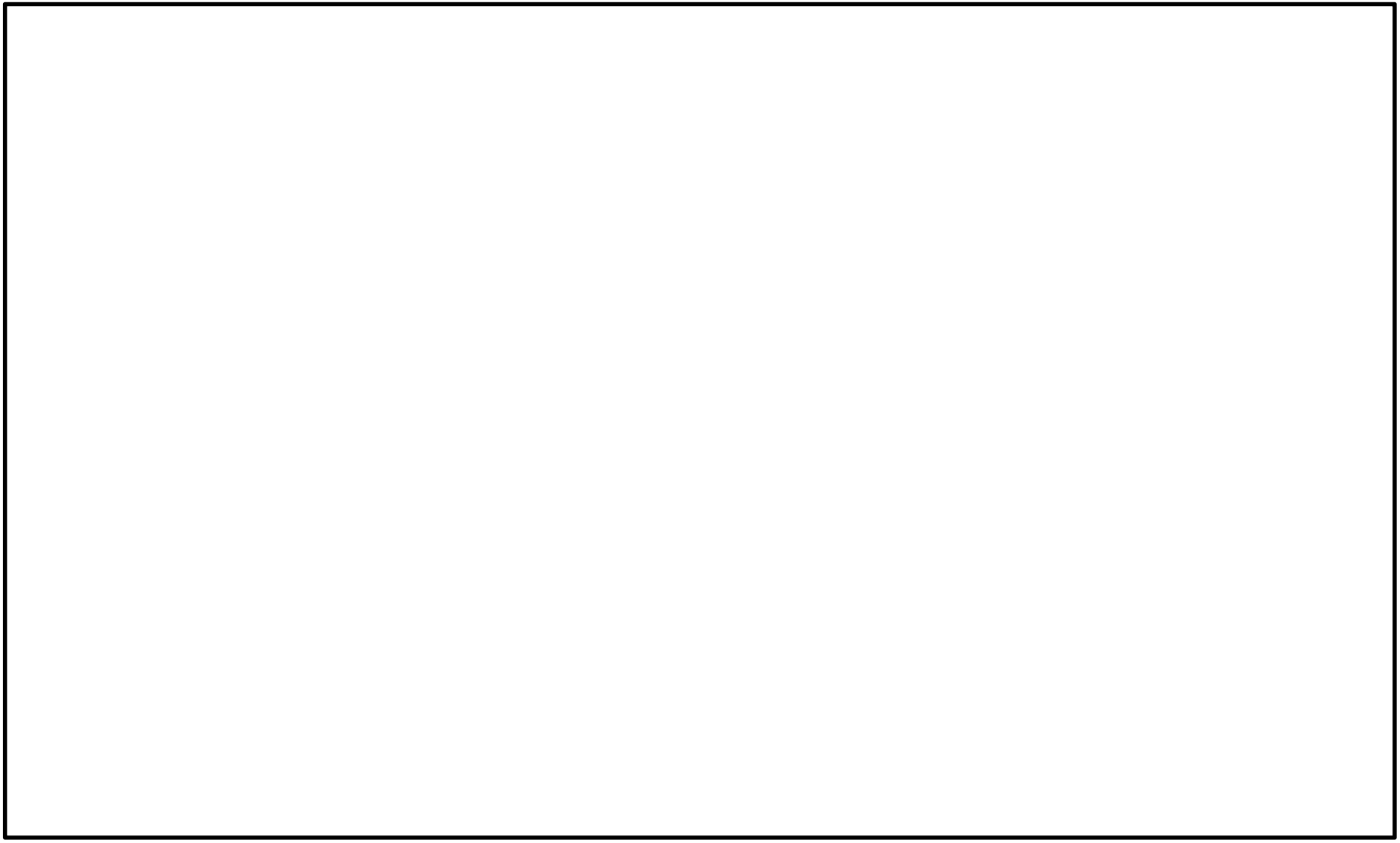


代替燃料プール冷却系概略系統図

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
○ ◎	節　　点 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
	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	AFPC-3（ＳＡ）

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	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	使用済燃料貯蔵槽冷却浄化設備	代替燃料プール冷却系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	－	$V_L + S_s$	$V_A S$

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$V_A S$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。

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 AFPC-3

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1001,501, 2, 3, 5,502 211	0.98	80	114.3	6.0	STPT410	－	
2	212,311,901,312,801, 6 8,802,600,803, 9, 11 601,804, 12, 14,602,321 902	0.98	80	165.2	7.1	STPT410	－	
3	902,322,805,603,806, 15 17, 18, 20, 22, 24,807 25, 27,604,808, 28,605 30,809, 31, 33,606, 34 36,810, 37, 39,811, 40 42,607,812	1.38	80	165.2	7.1	STPT410	－	

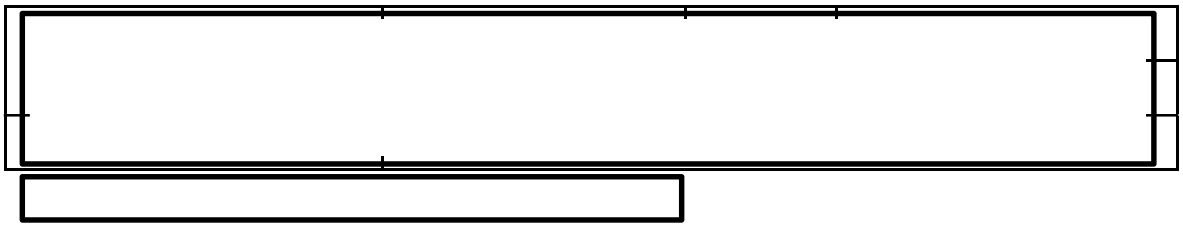
フランジ部の質量

鳥　瞰　図　AFPC-3

質量	対応する評価点
[redacted]	501
	502

弁部の寸法

鳥　瞰　図　AFPC-3



弁部の質量

鳥　瞰　図　AFPC-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	901	[redacted]	902
	952		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　AFPC-3

支持点番号	各軸方向ばね定数(N/mm)			各軸回り回転ばね定数(N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1001						
** 801 **						
** 801 **						
802						
803						
804						
805						
** 806 **						
807						
** 808 **						
809						
810						
811						
812						

** 印は　斜め拘束を示す。　また，下段は方向余弦を示す。

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)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT410	80	－	225	406	－

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備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「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，減衰定数は添付書類「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(%)
AFPC-3	[redacted]	EL. 34.700 m	[redacted]
		EL. 29.000 m	

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　AFPC-3

耐震設計上の重要度分類		－		
適用する地震動等		Ｓｓ		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		Ｘ方向	Ｚ方向	Ｙ方向
動的震度				

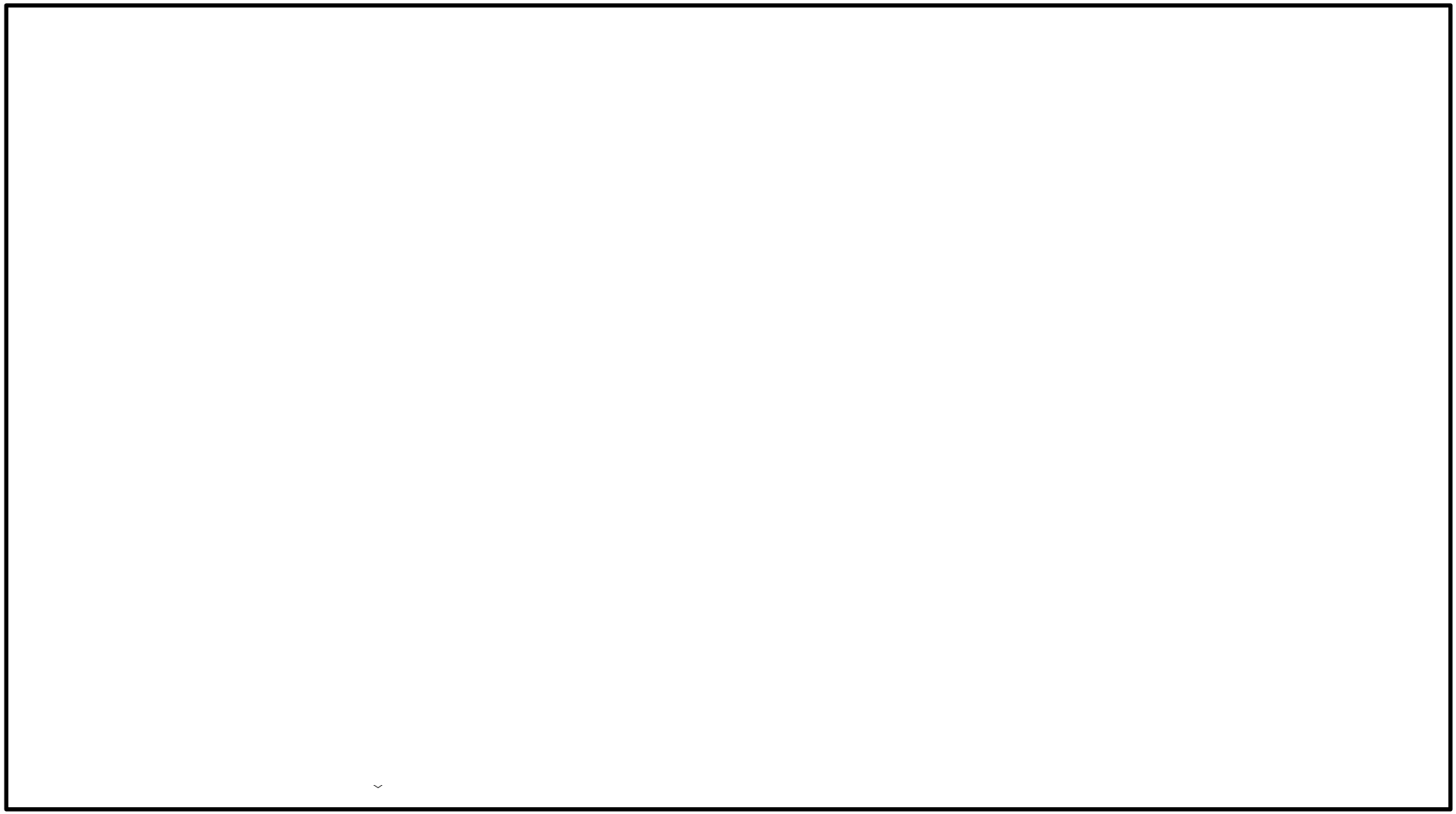
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　AFPC-3

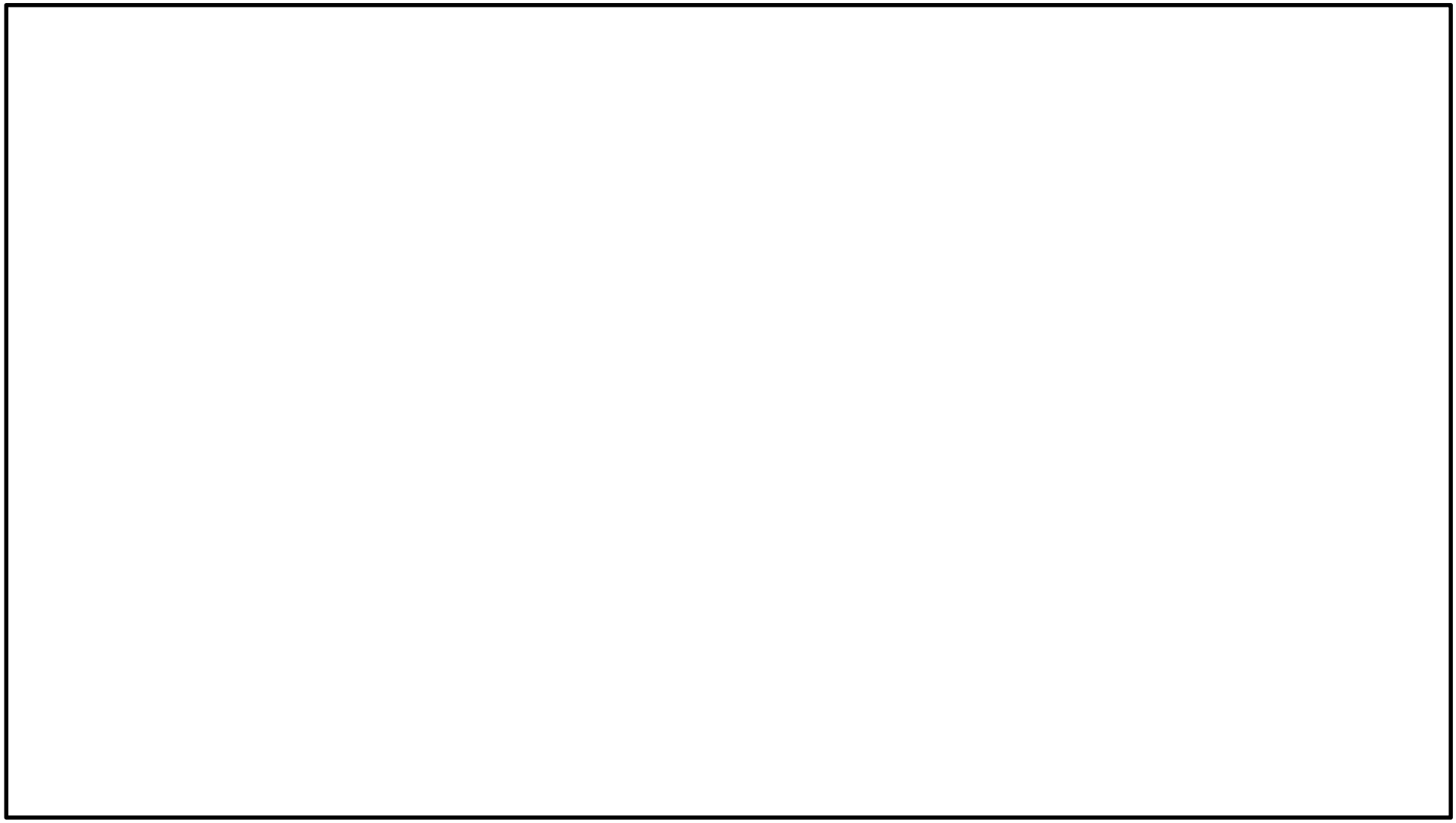
モード	固有周期 (s)	刺激係数		
		X方向	Y方向	Z方向

代表的振動モード図

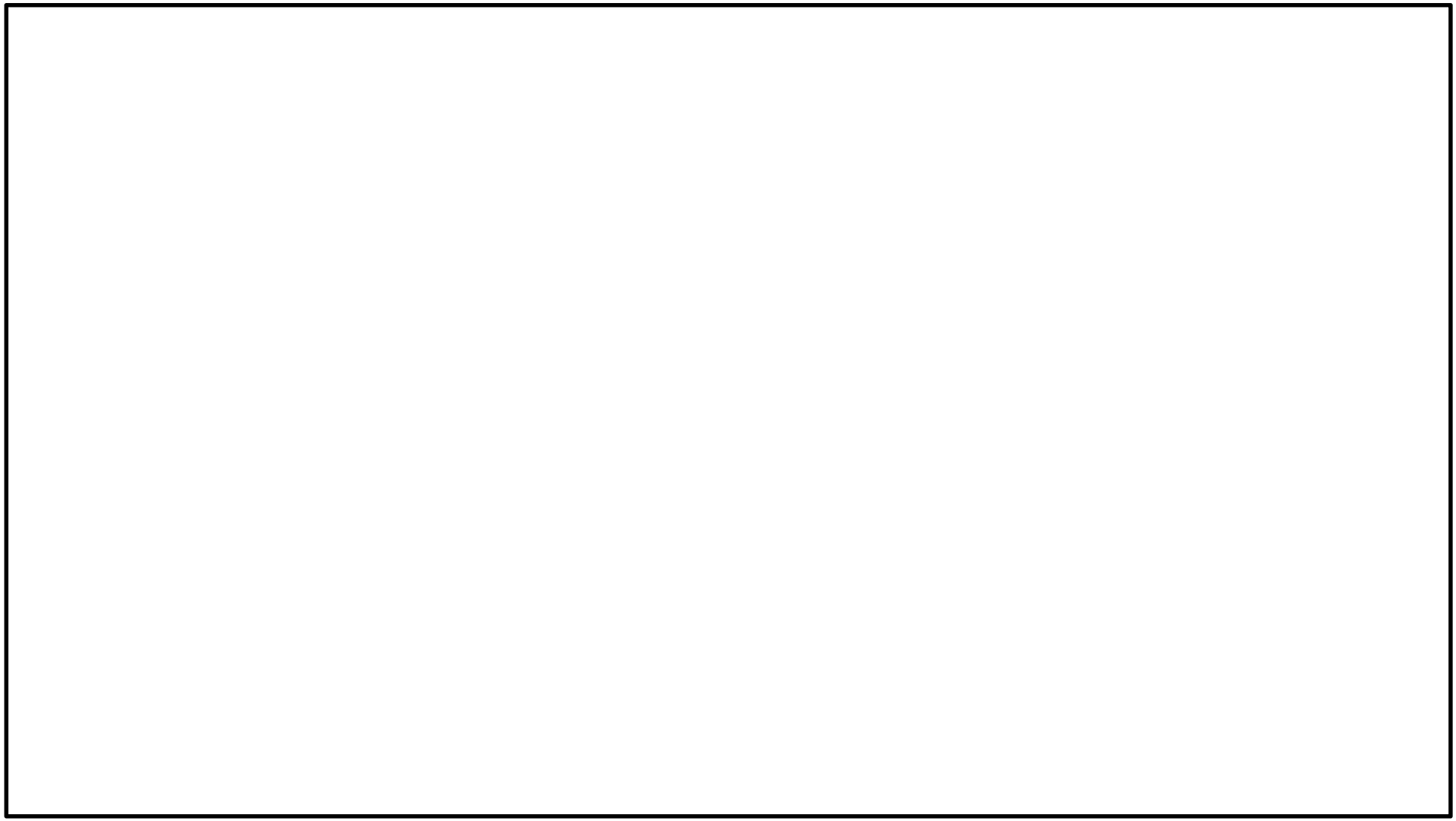
振動モード図は，3 次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	AFPC-3



鳥瞰図	AFPC-3



鳥瞰図	AFPC-3

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価(MPa)		一次＋二次応力評価(MPa)		疲労評価
				計算応力 $S_{prm}(S_s)$	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
AFPC-3	V_AS	15	$S_{prm}(S_s)$	77	365	－	－	－
AFPC-3	V_AS	15	$S_n(S_s)$	－	－	127	450	－

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果(荷重評価)

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-AFPC-1-001	オイルスナッバ	SN-1	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		6	15
RO-AFPC-1-003	ロッドレストレイント	RTS-3			26	54
SH-AFPC-1-001	スプリングハンガ	VSA-9			3.3	4.15

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-AFPC-1-002	レストレイント	Uボルト	SS400	80	9.5	15	—	—	—	—	組合せ	64	277
AN-AFPC-1-001	アンカ	ラグ	STPT410	80	24	15	12.4	4.2	6.6	13.4	組合せ	48	155

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり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	型式	要求機能	応答加速度 ($\times$9.8 m/s^2)		機能確認済加速度 ($\times$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
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（重大事故等クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態　V_AS												
		一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FPC-6	577A	17	365	21.47	－	577A	13	450	34.61	－	－	－	－
2	AFPC-1	807	63	365	5.79	－	807	110	450	4.09	－	－	－	－
3	AFPC-2	1002	18	365	20.27	－	1002	13	450	34.61	－	－	－	－
4	AFPC-3	15	77	365	4.74	○	15	127	450	3.54	○	－	－	－
5	FPC-10	210	42	365	8.69	－	210	61	450	7.37	－	－	－	－

Ⅴ-2-4-4-1　使用済燃料プール監視カメラの耐震性についての計算書

目次

1. 使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ） 1
1.1 概要 1
1.2 一般事項 1
1.2.1 構造計画 1
1.3 固有周期 3
1.3.1 固有周期の算出方法 3
1.3.2 固有周期の計算条件 4
1.3.3 固有周期の計算結果 4
1.4 構造強度評価 5
1.4.1 構造強度評価方法 5
1.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 5
1.5 機能維持評価 8
1.5.1 電気的機能維持評価方法 8
1.6 評価結果 9
1.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 9
2. 使用済燃料プール監視カメラ（制御盤） 12
2.1 概要 12
2.2 一般事項 12
2.2.1 構造計画 12
2.3 固有周期 14
2.4 構造強度評価 14
2.4.1 構造強度評価方法 14
2.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 14
2.5 機能維持評価 17
2.5.1 電気的機能維持評価方法 17
2.6 評価結果 18
2.6.1 重大事故等対処設備としての評価結果 18
3. 使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱） 21
3.1 概要 21
3.2 一般事項 21
3.2.1 構造計画 21
3.3 固有周期 23
3.4 構造強度評価 23
3.4.1 構造強度評価方法 23
3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力 23
3.5 機能維持評価 26
3.5.1 電気的機能維持評価方法 26

3.6　評価結果 27
3.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 27
4. 使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ） 30
4.1　概要 30
4.2　一般事項 30
4.2.1　構造計画 30
4.2.2　評価方針 32
4.2.3　適用基準 32
4.3　評価部位 32
4.4　機能維持評価 33
4.4.1　電気的機能維持評価方法 33
4.4.2　機能確認済加速度 34
4.5　評価結果 35
4.5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 35

1. 使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）

1.1 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，使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）は，重大事故等対処設備においては常設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，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

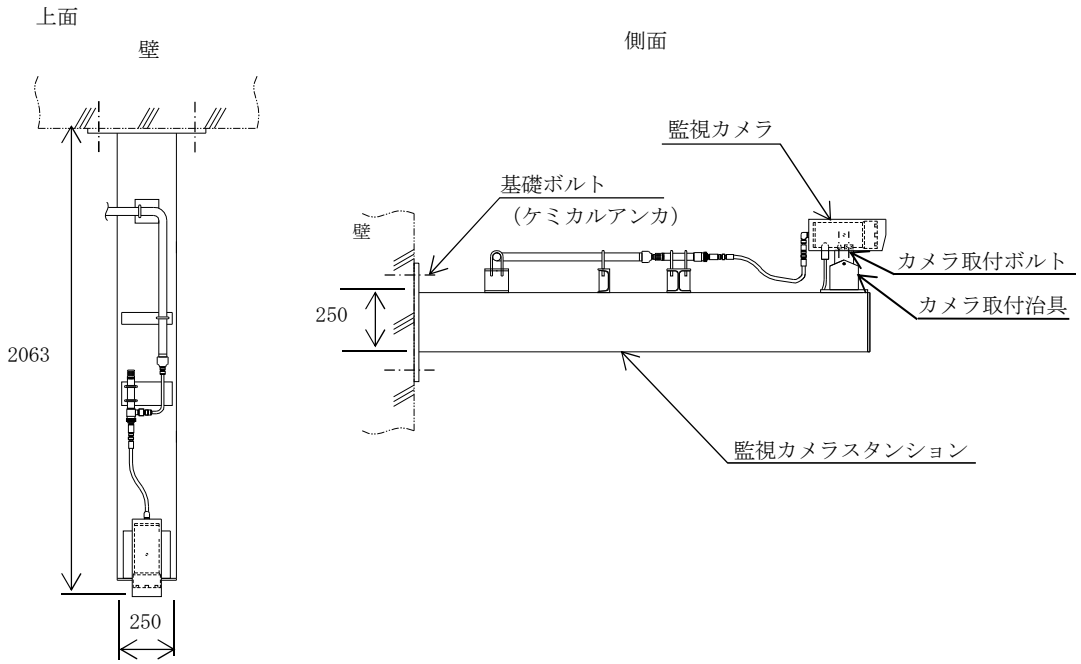
1.2 一般事項

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

1.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の構造計画を表 1-1 に示す。

表 1-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
監視カメラは，カメラ取付ボルトによりカメラ取付治具に固定され，カメラ取付治具は，溶接により監視カメラスタンションに固定される。 監視カメラスタンションは，壁に基礎ボルトで設置する。	監視カメラ	 （単位：mm）

1.3　固有周期

1.3.1　固有周期の算出方法

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1)　使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）は，図 1-1 に示す壁面固定の１質点系振動モデルとして考える。

(2)　監視カメラスタンションは，鋼材で原子炉建屋壁面に固定されているため，計算モデルでは，監視カメラスタンションは直線とみなし，支持点（監視カメラスタンション基礎部）１点で固定されるものとする。

(3)　監視カメラ及び監視カメラスタンションの質量は，質点に集中するものとし，質点は監視カメラ設置位置に設定する。

(4)　図 1-1 中の ⊕ は検出器及び監視カメラスタンションの質点，●は監視カメラスタンションの支持点，━ は監視カメラスタンションを示す。

1.3.1.1　水平方向（Ｘ方向，Ｚ方向）

(1)　Ｘ方向に対する固有周期は次式で求める。

$$T=2\cdot\pi\sqrt{\frac{m}{1000}\cdot\left(\frac{{h_2}^3}{3\cdot E\cdot I}+\frac{h_2}{As\cdot G}\right)}\quad\cdots(1.3.1.1.1)$$

(2)　Ｚ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略する。

1.3.1.2　鉛直方向（Ｙ方向）

Ｙ方向に対する固有周期を 1.3.1.1.1 式で求める。

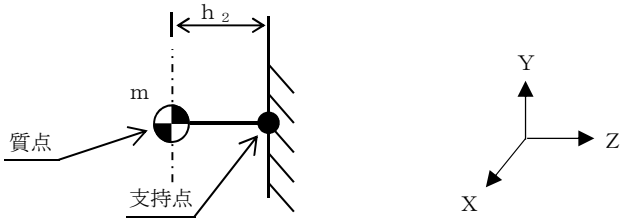
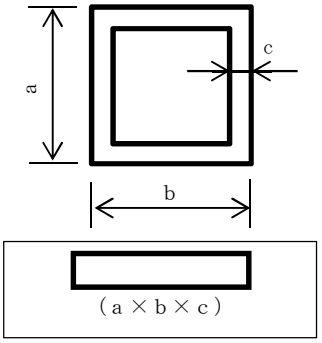


図 1-1　固有周期の計算モデル

1.3.2　固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 1-2 に示す。

表 1-2　固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値等
監視カメラ及び監視カメラスタンションの質量	m	kg	
取付面から重心までの距離（壁掛形）	h_2	mm	
監視カメラスタンション材質	－	－	
縦弾性係数	E	MPa	
断面二次モーメント	I	mm^4	
最小有効せん断断面積	A_s	mm^2	
せん断弾性係数	G	MPa	
監視カメラスタンションの断面形状（mm）			

1.3.3　固有周期の計算結果

固有周期の計算の結果から，水平方向（X方向）及び鉛直方向の固有周期は，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。また，水平方向のZ方向は十分な剛性を有していることから，固有周期の計算を省略した。

固有周期の計算結果を表 1-3 に示す。

表 1-3　固有周期（s）

水平方向	鉛直方向

1.4　構造強度評価

1.4.1　構造強度評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の構造は壁掛型計器スタンションであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンション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。

1.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-4 に示す。

1.4.2.2　許容応力

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 1-5 のとおりとする。

1.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備としての評価に用いるものを表 1-6 に示す。

表 1-4　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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	その他	使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）	常設／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「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。

＊2：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。

＊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 1-5　許容応力（重大事故等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
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 1-6　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$_y$ （MPa）	Ｓ$_u$ （MPa）	Ｓ$_y$（ＲＴ） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	673	759	－

1.5　機能維持評価

1.5.1　電気的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-9　計器スタンションの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の機能確認済加速度には，同形式の監視カメラ本体の単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-7 に示す。

表 1-7　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ本体	水平	
	鉛直	

1.6　評価結果

1.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）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及び電気的機能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。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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	
使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）	常設／防止 常設／緩和	EL. 46.50 (EL. 57.00*)			－	－	C_H＝2.09	C_V＝1.77	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）

部材	m (kg)	h_2 (mm)	ℓ_3 (mm)	ℓ_a (mm)	ℓ_b (mm)	A_b (mm^2)	n	n_{fV}	n_{fH}
基礎ボルト								2	2

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	673	759	－	422	－	水平方向

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_b		Q_b	
	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
基礎ボルト				

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Ｓd又は静的震度		基準地震動Ｓs	
			算出応力*1	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b＝153	f_{ts}＝318*
		せん断	－	－	τ_b＝11	f_{sb}＝245

すべて許容応力以下である。

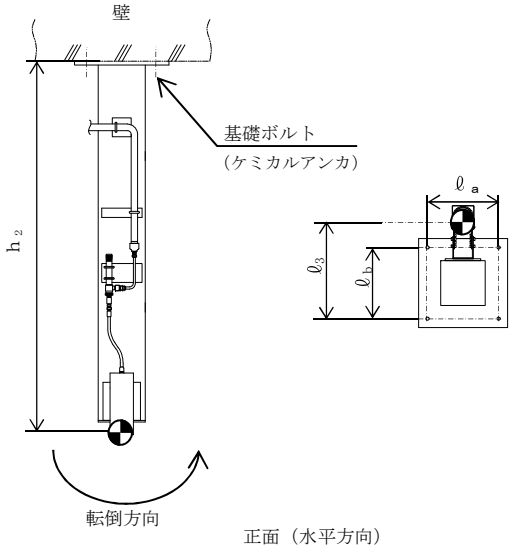
注記　＊：f_{ts}＝Min[1.4・f_{to}－1.6・τ_b，f_{to}]より算出

1.4.2 電気的機能維持の評価結果

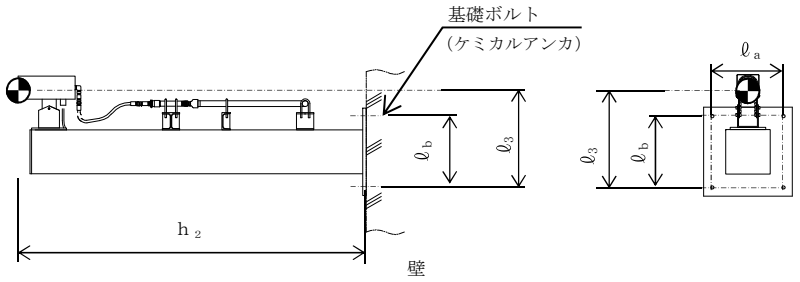
（×9.8 m/s²）

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ）	水平方向	1.74	[redacted]
	鉛直方向	1.47	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（水平方向）



側面（鉛直方向）

2. 使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）

2.1 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，使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）は，重大事故等対処設備においては常設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，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

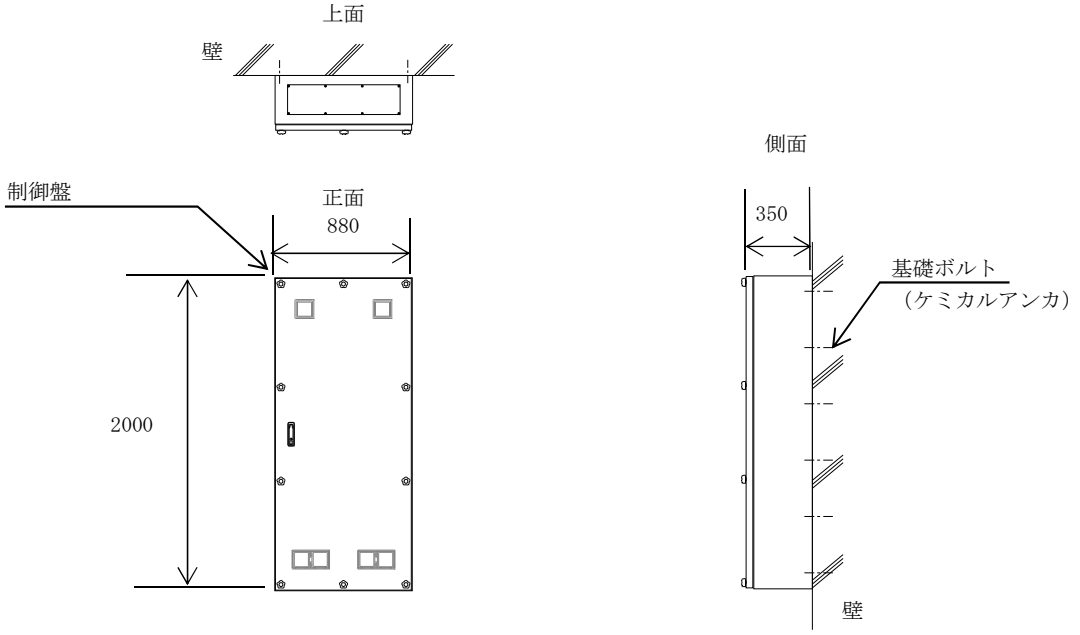
2.2 一般事項

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）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	
制御盤は，壁に基礎ボルトで設置する。	壁掛型	 （単位：mm）

2.3　固有周期

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 2-2 に示す。

表 2-2　固有周期

水平方向	鉛直方向

2.4　構造強度評価

2.4.1　構造強度評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）の構造は壁掛型であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤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。

2.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

2.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-3 に示す。

2.4.2.2　許容応力

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 2-4 のとおりとする。

2.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

表 2-3　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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	その他	使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）	常設／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「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。

＊2：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。

＊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 2-4　許容応力（重大事故等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
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$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 2-5　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_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－

2.5　機能維持評価

2.5.1　電気的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）の機能確認済加速度には，同形式の制御盤の単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 2-6 に示す。

表 2-6　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ （制御盤）	水平	
	鉛直	

2.6　評価結果

2.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）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及び電気的機能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。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

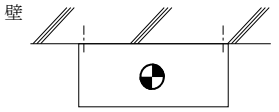
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
	常設／防止 常設／緩和	EL. 18.00 (EL. 29.00*)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

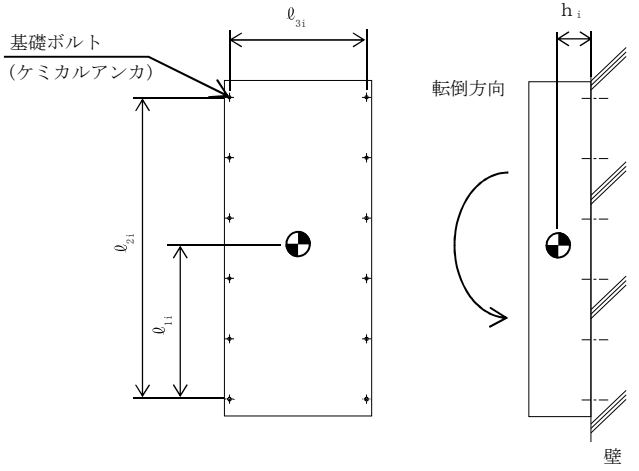
1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fVi}	n_{fHi}
基礎ボルト (i＝1)								2	6



部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i＝1)	205	520	－	246	－	鉛直方向



正面（水平方向）　　側面（鉛直方向）

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
基礎ボルト (i=1)				

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	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	$\sigma_b=7$	$f_{ts}=147$*
		せん断	－	－	$\tau_b=4$	$f_{sb}=113$

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電気的機能維持の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール監視カメラ（制御盤）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

3. 使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）

3.1 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，使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）は，重大事故等対処設備においては常設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，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

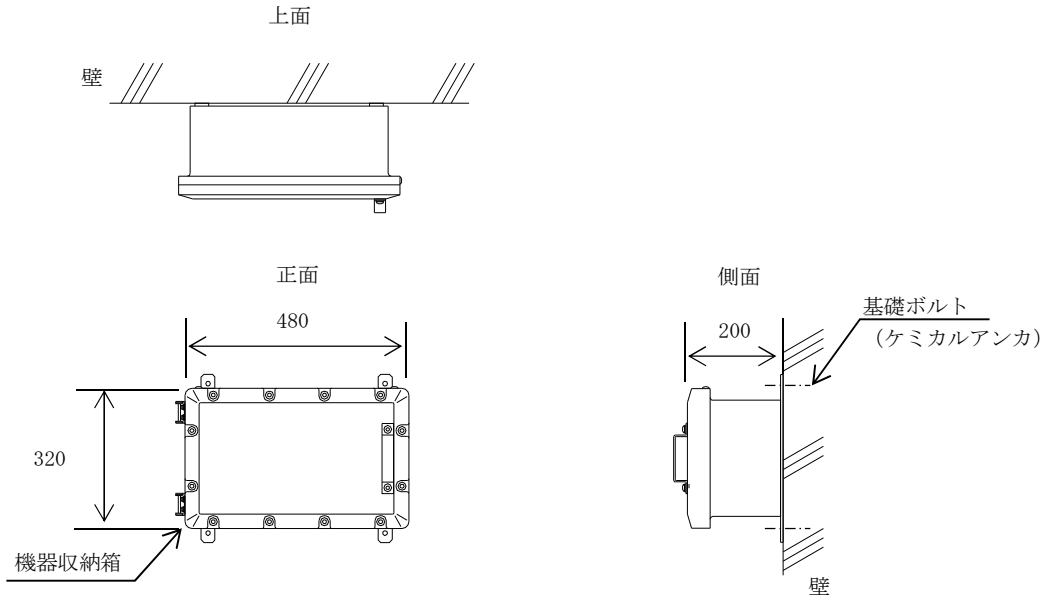
3.2 一般事項

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

3.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
機器収納箱は，壁に基礎ボルトで設置する。	壁掛型	 （単位：mm）

3.3　固有周期

振動試験装置により固有振動数（共振周波数）を測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

固有周期を表 3-2 に示す。

表 3-2　固有周期

水平方向	鉛直方向

3.4　構造強度評価

3.4.1　構造強度評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の構造は壁掛型であるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤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。

3.4.2　荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.4.2.2　許容応力

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき表 3-4 のとおりとする。

3.4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備としての評価に用いるものを表 3-5 に示す。

表 3-3　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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	その他	使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）	常設／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$Ⅳ_AS$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記　＊1：「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。

＊2：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。

＊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 3-4　許容応力（重大事故等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
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$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 3-5　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_y （MPa）	S_u （MPa）	S_y（RT） （MPa）
基礎ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	205	520	－

3.5　機能維持評価

3.5.1　電気的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の電気的機能維持評価について，以下に示す。

電気的機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-7　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき評価する。

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の機能確認済加速度には，同形式の機器収納箱の単体の正弦波加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-6 に示す。

表 3-6　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ （機器収納箱）	水平	
	鉛直	

3.6　評価結果

3.6.1　重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）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及び電気的機能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。

(2)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）の耐震性についての計算結果】
1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

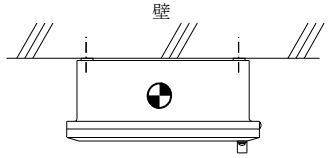
機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S_d又は静的震度		基準地震動S_s		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	
	常設／防止 常設／緩和	EL. 23.00 (EL. 29.00*)	0.05 以下	0.05 以下	－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊：基準レベルを示す。

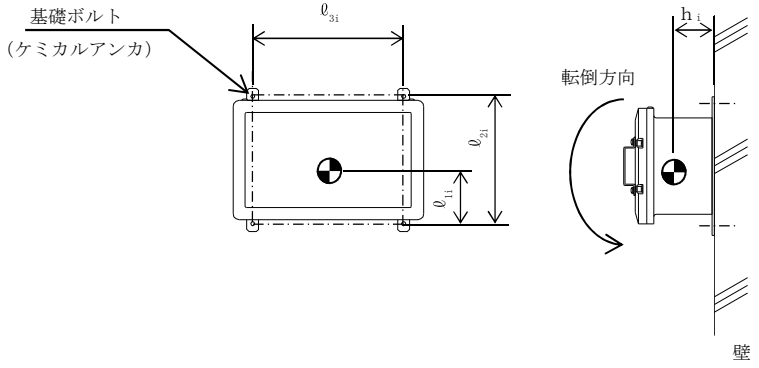
1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プール監視カメラ（機器収納箱）

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	ℓ_{1i} (mm)	ℓ_{2i} (mm)	ℓ_{3i} (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fVi}	n_{fHi}
基礎ボルト （i＝1）								2	2



部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト （i＝1）	205	520	－	246	－	鉛直方向



正面（水平方向）　　:側面（鉛直方向）

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
基礎ボルト (i＝1)	[redacted]			

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	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	[redacted]	引張り	－	－	σ_b＝5	f_{ts}＝147*
		せん断	－	－	τ_b＝4	f_{sb}＝113

すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電気的機能の評価結果 (×9.8 m/s²)

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール監視カメラ (機器収納箱)	水平方向	1.29	[redacted]
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度 (1.0ZPA) はすべて機能確認済加速度以下である。

4. 使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）

4.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

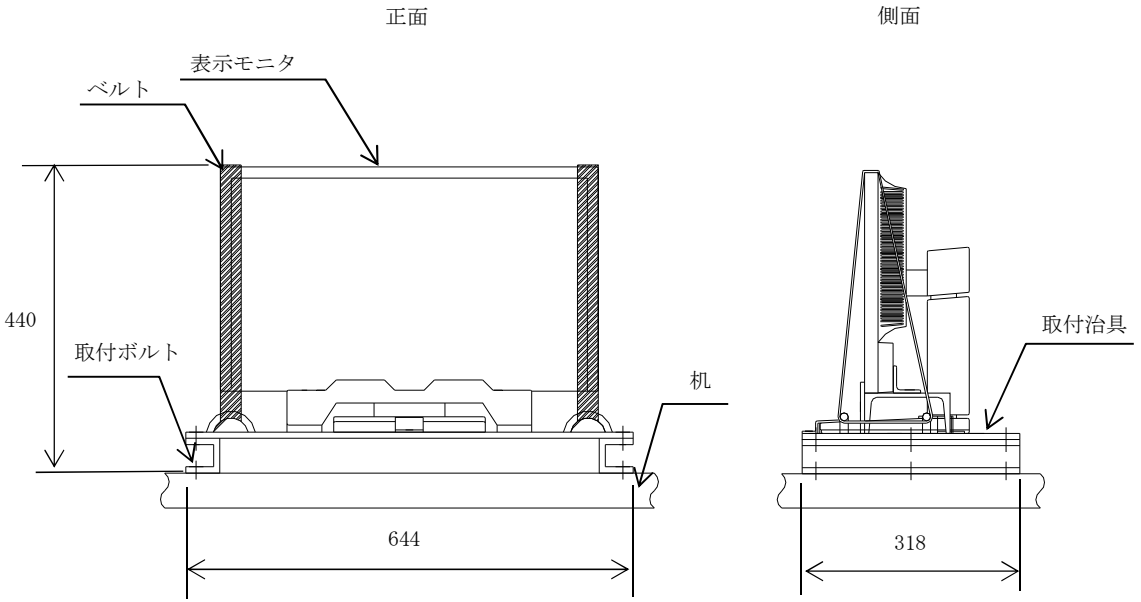
使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての電気的機能維持評価を示す。

4.2 一般事項

4.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）の構造計画を表 4-1 に示す。

表 4-1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
表示モニタは，ベルトにより取付治具に固定され，取付治具は，剛構造の机に取付ボルトで設置する。	表示モニタ	

4.2.2　評価方針

使用済燃料プール監視カメラ(表示モニタ)の機能維持評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針　4.2　電気的機能維持」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき,地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを,「4.4　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.5　評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）の耐震評価フローを図 4-1 に示す。

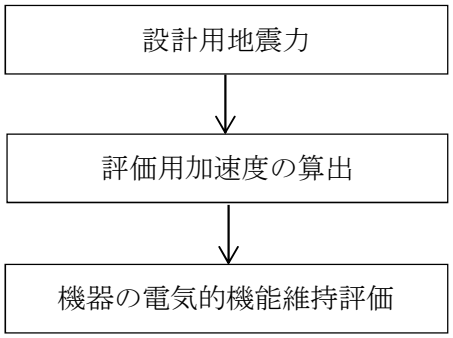


図 4-1 使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）の耐震評価フロー

4.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　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（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

4.3　評価部位

使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）は，建屋床に取り付けられた机に固定されることから，原子炉建屋が支持している。原子炉建屋の構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-2-2　原子炉建屋の耐震性についての計算書」にて実施しているため，本計算書では，設置する建屋の地震応答解析結果を用いた使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）の電気的機能維持評価について示す。

使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）の耐震評価部位については，表 4-1 の概略構造図に示す。

4.4　機能維持評価

4.4.1　電気的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）は原子炉建屋に直接取り付けられた机に設置されることから，評価用加速度は，「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。評価用加速度を表 4-2 に示す。

表 4-2　評価用加速度　　（×9.8m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
	EL. 18.00 (EL. 20.30*)	水平	1.11
		鉛直	0.84

注記　＊：基準床レベルを示す。

4.4.2　機能確認済加速度

使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）の機能確認済加速度については以下に示す。

機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，監視モニタ単体の加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-3 に示す。

表 4-3　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
表示モニタ	水平	
	鉛直	

4.5　評価結果

4.5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して電気的機能が維持されていることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ（表示モニタ）の耐震性についての計算結果】

1.　重大事故等対処設備

1.1　電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ （表示モニタ）	水平方向	1.11	
	鉛直方向	0.84	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-4-4-2　使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置の耐震性についての計算書

目　　次

1.　使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）……1
1.1　概要……1
1.2　一般事項……1
1.2.1　構造計画……1
1.2.2　評価方針……4
1.2.3　適用基準……4
1.2.4　記号の説明……5
1.2.5　計算精度と数値の丸め方……6
1.3　評価部位……6
1.4　固有周期……7
1.4.1　基本方針……7
1.4.2　固有周期の算出方法……7
1.4.3　固有周期の算出結果……7
1.5　構造強度評価……8
1.5.1　構造強度評価方法……8
1.5.2　荷重の組合せ及び許容応力……8
1.5.3　設計用地震力……11
1.5.4　計算方法……12
1.6　機能維持評価……15
1.6.1　電気的機能維持評価方法……15
1.7　評価結果……16
1.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果……16
2.　使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）……23
2.1　概要……23
2.2　一般事項……23
2.2.1　構造計画……23
2.2.2　評価方針……25
2.2.3　適用基準……25
2.3　評価部位……25
2.4　機能維持評価……26
2.4.1　機能維持評価方法……26
2.4.2　機能確認済加速度……27
2.5　評価結果……28
2.5.1　重大事故等対処設備としての評価結果……28

1. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）

1.1 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，使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）は，重大事故等対処設備においては，常設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，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

1.2 一般事項

1.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の構造計画を表 1-1 及び表 1-2 に示す。

表 1-1　構造計画（空気圧縮機）

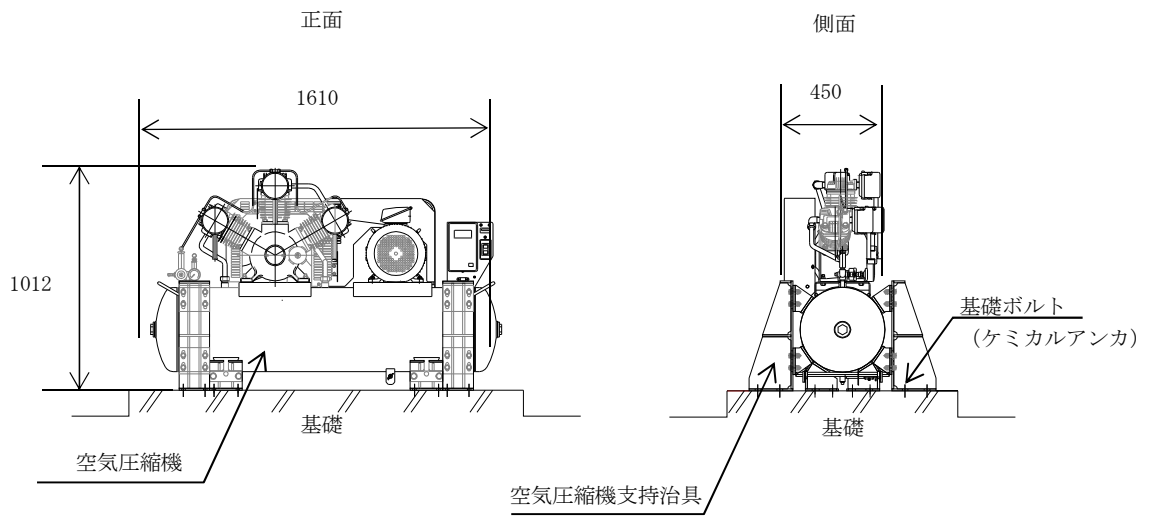
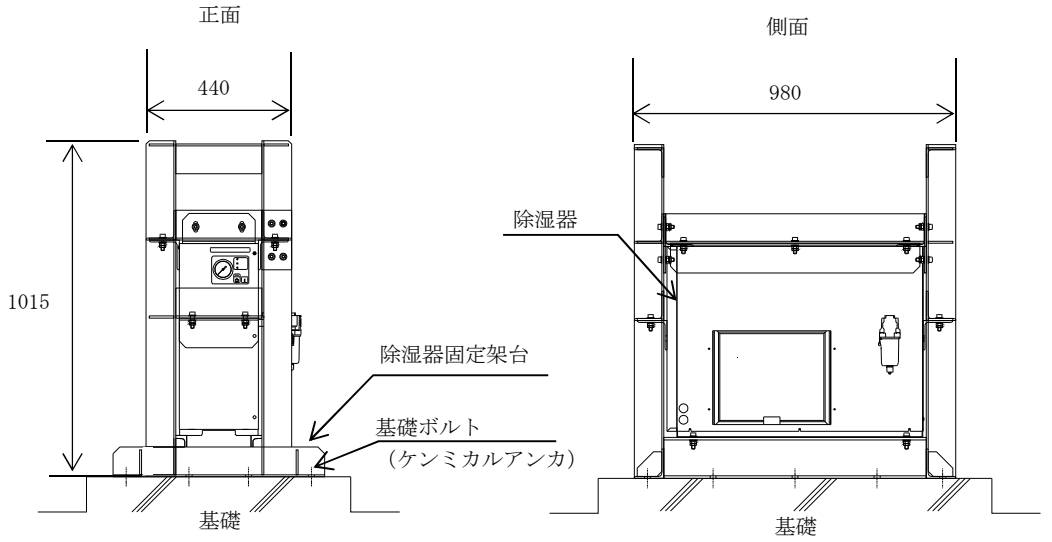
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
空気圧縮機は，空気圧縮機支持治具に支持され，空気圧縮機支持治具は基礎に基礎ボルトで設置する。	空気圧縮機	

表 1-2　構造計画（除湿器）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
除湿器は，取付ボルトにより除湿器固定架台に固定され，除湿器固定架台は基礎に基礎ボルトで設置する。	除湿器	 （単位：mm）

1.2.2　評価方針

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の構造強度評価は，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，「1.2.1　構造計画」にて示す使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の部位を踏まえ「1.3　評価部位」にて設定する箇所において「1.4　固有周期」で測定した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界に収まることを，「1.5　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。また，使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の機能維持評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定した電気的機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が電気的機能確認済加速度以下であることを，「1.6　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「1.7　評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の耐震評価フローを図 1-1 に示す。

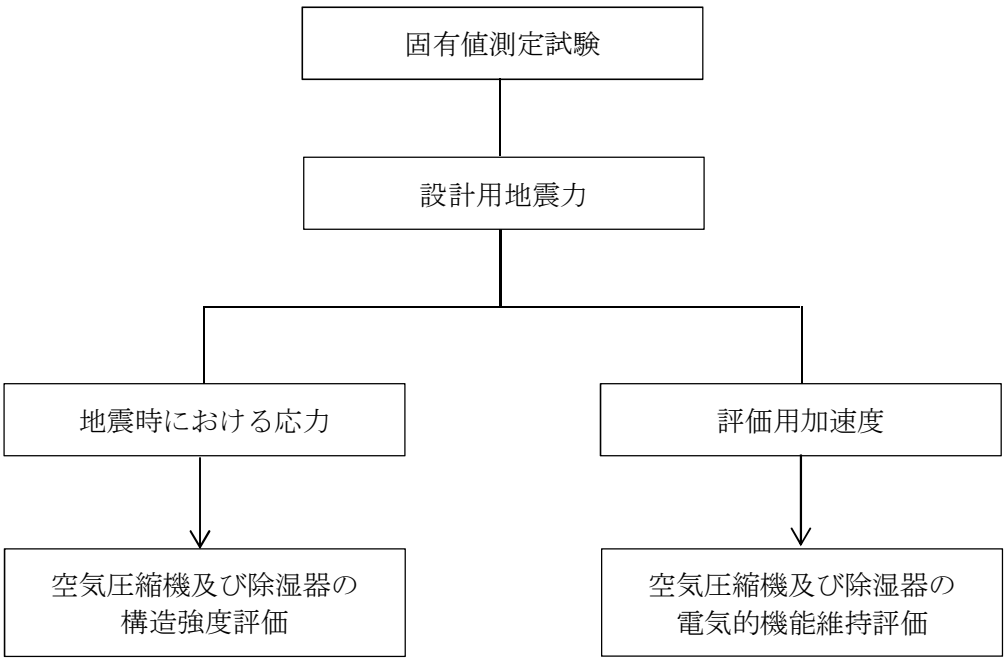


図 1-1　使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の耐震評価フロー

1.2.3　適用基準

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　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（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　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）

1.2.4　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
C_H	水平方向設計震度	－
C_V	鉛直方向設計震度	－
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格　SSB-3131 に定める値	MPa
F*	設計・建設規格　SSB-3133 に定める値	MPa
F_b	基礎ボルトに作用する引張力（１本当たり）	N
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（f_s*を 1.5 倍した値）	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力（f_t*を 1.5 倍した値）	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	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
h	基礎から重心までの距離	mm
ℓ_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
ℓ_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
m	質量	kg
n	基礎ボルトの本数	－
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	－
Q_b	基礎ボルトに作用するせん断力	N
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
S_{yi}（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
π	円周率	－
σ_b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

＊：$\ell_1 \leqq \ell_2$

1.2.5　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 1-3 に示すとおりとする。

表 1-3　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
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
面積*2	mm^2	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。

1.3　評価部位

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の耐震評価は，「1.5.1　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基礎ボルトについて実施する。

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の評価部位については，表 1-1 及び表 1-2 の概略構造図に示す。

1.4　固有周期

1.4.1　基本方針

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の固有周期は，振動試験（加振試験）にて求める。

1.4.2　固有周期の算出方法

空気圧縮機は空気圧縮機支持治具に，除湿器は除湿器固定架台に取付けた状態で振動試験装置により固有振動数を測定する。

1.4.3　固有周期の算出結果

固有周期の測定結果を表 1-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 1-4　固有周期

評価部位	方向	固有周期(s)
空気圧縮機	水平	
	鉛直	
除湿器	水平	
	鉛直	

1.5　構造強度評価

1.5.1　構造強度評価方法

(1)　空気圧縮機及び除湿器の質量は重心に集中するものとする。

(2)　地震力は空気圧縮機及び除湿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)　空気圧縮機及び除湿器は基礎ボルトで基礎に固定されるものとする。

(4)　重心位置については,計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定して耐震性の計算を行うものとする。

(5)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

1.5.2　荷重の組合せ及び許容応力

1.5.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-5 に示す。

1.5.2.2　許容応力

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 1-6 のとおりとする。

1.5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の使用材料の許容応力評価条件のうち，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 1-7 に示す。

表 1-5　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
核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設	その他	使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）	常設／防止 常設／緩和	－*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）

注記　＊1：「常設／防止」は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。

＊2：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。

＊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 1-6　許容応力（重大事故等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
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$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 1-7　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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度		245	400	－

1.5.3　設計用地震力

「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 1-8 に示す。

表 1-8　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）		基準地震動Ｓ$_s$	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
常設／防止 常設／緩和	[redacted] EL. 23.00 (EL. 29.00*)	[redacted]		C_H=1.55	C_V=1,17

注記　＊：基準床レベルを示す。

1.5.4　計算方法

基礎ボルトの応力は，地震による引張応力とせん断応力について計算する。図 1-2 及び図 1-3 に計算モデルを示す。計算モデルは各機器共通とする。

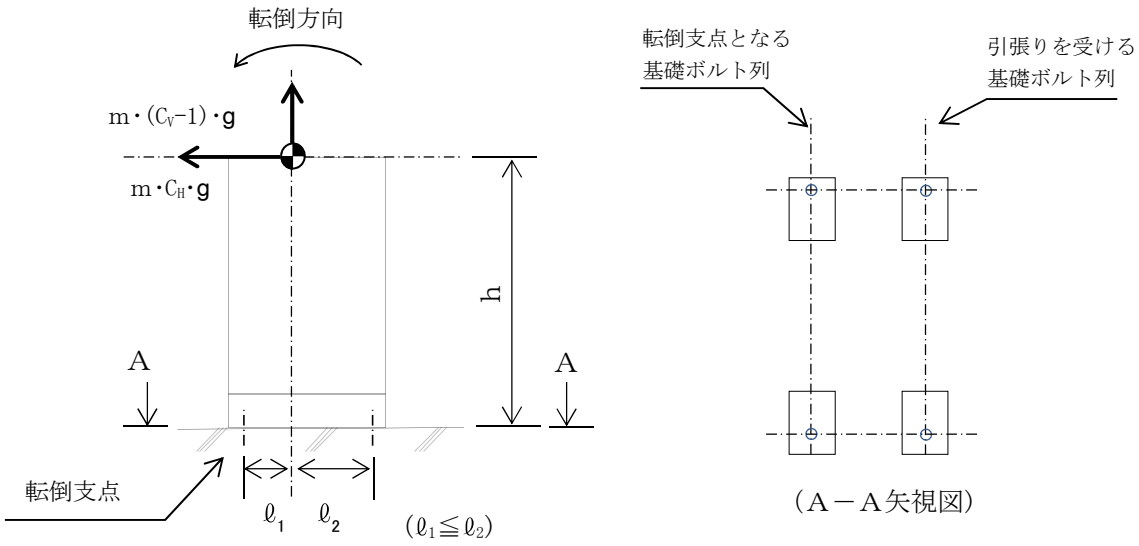


図 1-2　使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）
計算モデル（短辺方向転倒）

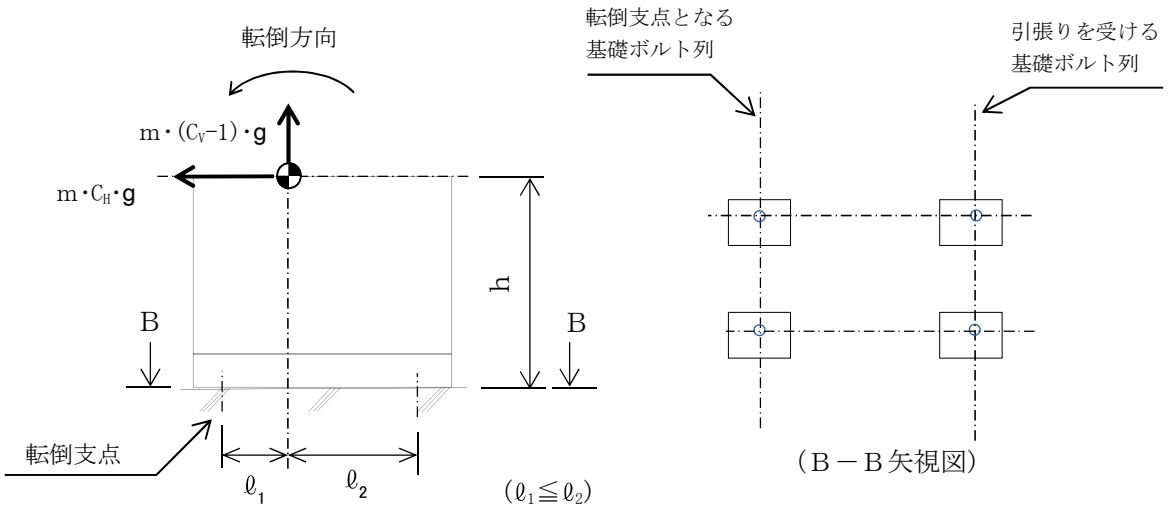


図 1-3　使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）
計算モデル（長辺方向転倒）

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として,図 1-2 及び図 1-3 で基礎ボルトを支点とする転倒を考え，これを片側の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力（F_b）

$$F_b = \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g - m \cdot (1 - C_V) \cdot \ell_2 \cdot g}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \cdots\cdots\cdots (1.5.4.1)$$

引張応力（σ_b）

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \cdots\cdots\cdots (1.5.4.2)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積A_bは次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdots\cdots\cdots (1.5.4.3)$$

ただし，F_bが負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので，引張応力の計算は行なわない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は，基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力（Q_b）

$$Q_b = m \cdot C_H \cdot g \cdots\cdots\cdots (1.5.4.4)$$

せん断応力（τ_b）

$$\tau_b = \frac{Q_b}{n \cdot A_b} \cdots\cdots\cdots (1.5.4.5)$$

1.5.5　応力の評価

1.5.4項で求めたボルトの引張応力σ_{bi}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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.5.6.1)$$

せん断応力τ_bは，せん断力のみを受ける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S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S_s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}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

1.6　機能維持評価

1.6.1　電気的機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の地震後の電気的機能維持について以下に示す。

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の評価用加速度は添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき同形式の検出器単体の正弦波加振試験において電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 1-9 に示す。

表 1-9　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール 監視カメラ用空冷装置 （空気圧縮機）	水平	
	鉛直	
使用済燃料プール 監視カメラ用空冷装置 （除湿器）	水平	
	鉛直	

1.7　評価結果

1.7.1　重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機及び除湿器）の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は評価基準値を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(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。

(2)　機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機）の耐震性についての計算結果】
1. 重大事故等対処設備

1.1 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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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	
	常設／防止 常設／緩和	EL. 23. 00 (EL. 29. 00*)			－	－	C_H＝1. 55	C_V＝1. 17	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

1.2.1 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（空気圧縮機）

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							4 4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	－	280	－	短辺方向

注記 ＊：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する
評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3　計算数値

1.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	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
基礎ボルト				

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	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b＝19	f_{ts}＝168*
		せん断	－	－	τ_b＝2	f_{sb}＝129

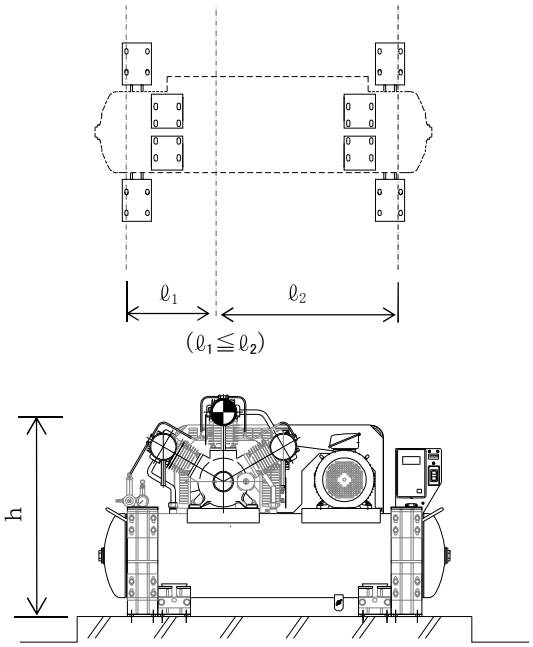
すべて許容応力以下である。

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

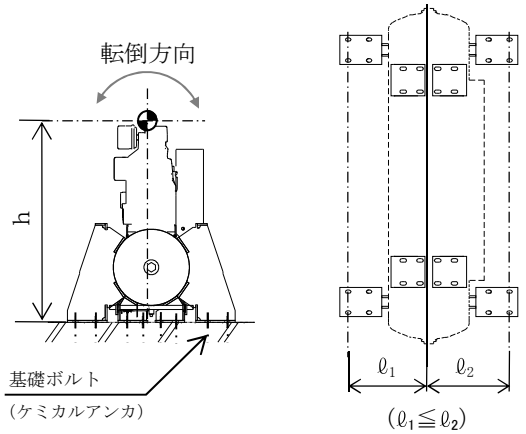
1.4.2　電気的機能維持の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール監視カメラ空冷装置（空気圧縮機）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



正面（長辺方向）



側面（短辺方向）

【使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（除湿器）の耐震性についての計算結果】
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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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	
	常設／防止 常設／緩和	EL. 23.00 (EL. 29.00*)			－	－	C_H＝1.55	C_V＝1.17	

注記 ＊：基準床レベルを示す。

2.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ_1* (mm)	ℓ_2* (mm)	A_b (mm^2)	n	n_f*
基礎ボルト							2 4

部材	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト	245	400	－	280	－	短辺方向

注記 ＊： 各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する
評価時の要目を示し，下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

2.3　計算数値

2.3.1　ボルトに作用する力　　(単位：N)

部　　材	F_b		Q_b	
	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
基礎ボルト				

2.4　結　　論

2.4.1　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	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	－	－	σ_b＝14	f_{ts}＝168*
		せん断	－	－	τ_b＝1	f_{sb}＝129

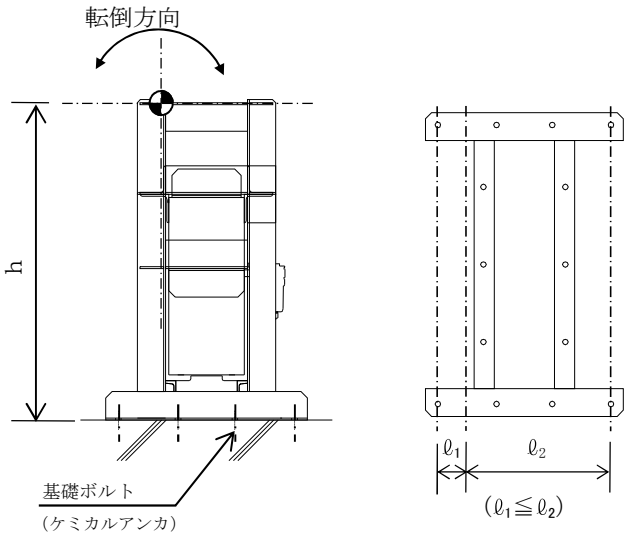
すべて許容応力以下である。

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

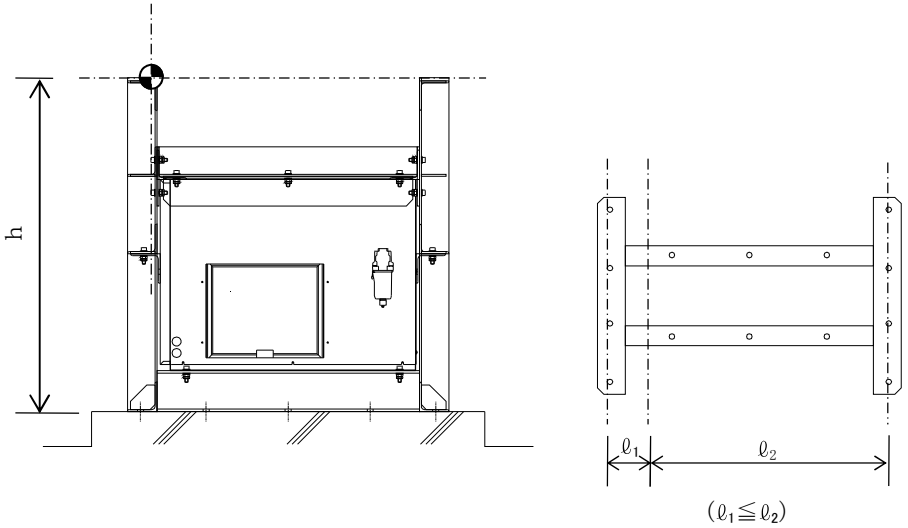
2.4.2　電気的機能の評価結果　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール監視カメラ空冷装置（除湿器）	水平方向	1.29	
	鉛直方向	0.98	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。



（短辺方向）



（長辺方向）

2. 使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）

2.1 概要

本計算書は，添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定している機能維持の設計方針に基づき，使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）が設計用地震力に対して十分な電気的機能を有していることを説明するものである。

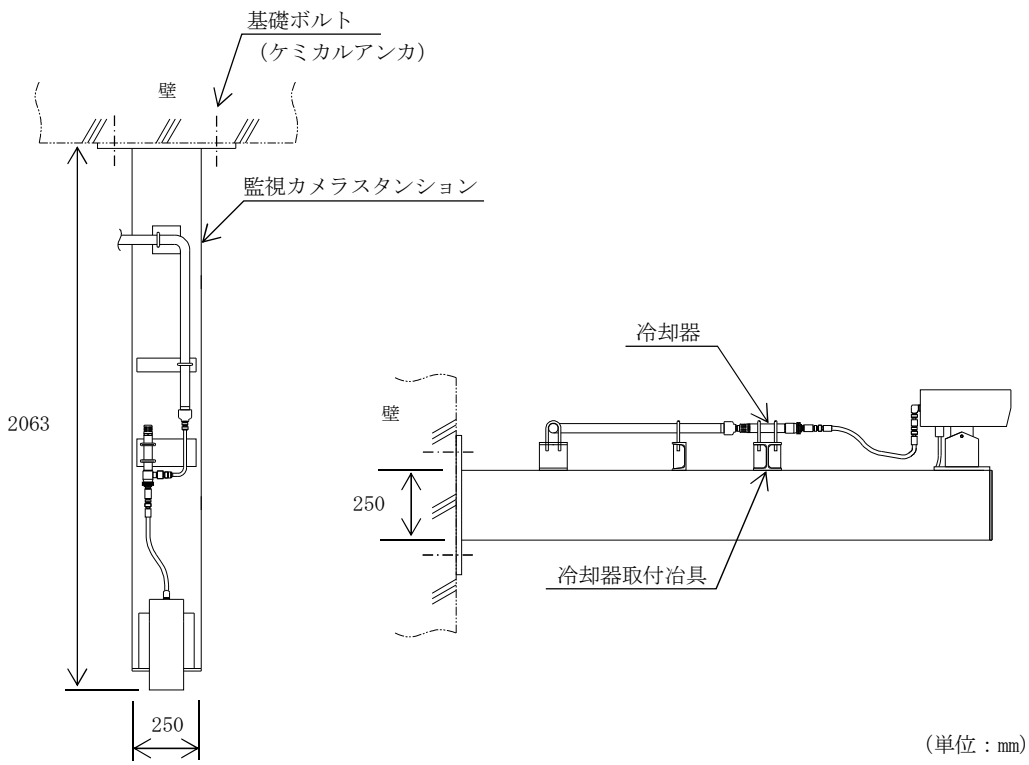
使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）は，重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，重大事故等対処設備としての機能維持評価を示す。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）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	
冷却器は，冷却器取付ボルトにより冷却器取付治具に固定され，取付治具は，監視カメラスタンションに固定される。 監視カメラスタンションは壁に基礎ボルトで設置する。	冷却器	

2.2.2　評価方針

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置(冷却器)の機能維持評価は,添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」にて設定した機能維持の方針に基づき，地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを,「2.4　機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.5　評価結果」に示す。

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

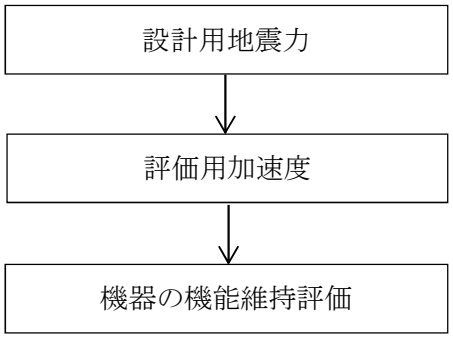


図 2-1　使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）の耐震評価フロー

2.2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　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（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

2.3　評価部位

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）は，使用済燃料プール監視カメラ用監視カメラスタンションに取り付けられた取付治具に固定されることから，使用済燃料プール監視カメラ用監視カメラスタンションが支持している。使用済燃料プール監視カメラ用監視カメラスタンションの構造強度評価は添付書類「Ⅴ-2-4-4-1　使用済燃料プール監視カメラの耐震性についての計算書 1.　使用済燃料プール監視カメラ（監視カメラ)」にて実施しているため，本計算書では，使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）の電気的機能維持評価について示す。

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）の耐震評価部位については，表 2-2 の概略構造図に示す。

2.4　機能維持評価

2.4.1　機能維持評価方法

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）は使用済燃料プール監視カメラ用監視カメラスタンションに取り付けられた取付治具に固定されることから,評価用加速度は,「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力として添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。評価用加速度を表 2-3 に示す。

表 2-3　評価用加速度　　（×9.8 m/s^2）

機器名称	対象機器設置箇所 (m)	方向	基準地震動Ｓ$_s$ 評価用加速度
[redacted]	[redacted] EL. 46.50 (EL.57.00) *	水平	1.74
		鉛直	1.47

注記　＊：基準床レベルを示す。

2.4.2　機能確認済加速度

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）の機能確認済加速度について以下に示す。

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）の機能確認済加速度は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき，冷却器単体の加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表 2-4 に示す。

表 2-4　機能確認済加速度　　（×9.8 m/s^2）

評価部位	方向	機能確認済加速度
使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）	水平	
	鉛直	

2.5　評価結果

2.5.1　重大事故等対処設備としての評価結果

使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）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。評価用加速度は機能確認済加速度以下であり，設計用地震力に対して機能が維持されていることを確認した。

(1)　機能維持評価結果

機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【使用済燃料プール監視カメラ用空冷装置（冷却器）の耐震性についての計算結果】

1.　重大事故等対処設備

1.1　電気的機能維持の評価結果

（×9.8 m/s^2）

		評価用加速度	機能確認済加速度
使用済燃料プール監視カメラ用 空冷装置（冷却器）	水平方向	1.74	
	鉛直方向	1.47	

評価用加速度（1.0ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。

Ⅴ-2-5-1　原子炉冷却系統施設の耐震計算結果

目次

1. 概要 ····· 1
2. 耐震評価条件整理 ····· 1

1. 概要

本資料は，原子炉冷却系統施設の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉冷却系統施設の設備に対して，設計基準対象施設の耐震クラス，重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については，耐震評価における手法及び条件について，既に認可を受けた実績と差異の有無を整理した。また，重大事故等対処施設のうち，設計基準対象施設であるものについては，重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

原子炉冷却系統施設のうち，新設又は、新規登録の設計基準対象施設並びに重大事故等対処施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載することとする。

なお，既設の設備における弾性設計用地震動S_d又は静的地震力による耐震計算については，基準地震動S_sによる評価結果が弾性設計用地震動S_d又は静的地震力の許容限界を満足する場合，省略することとする。弾性設計用地震動S_dによる疲労評価については，弾性設計用地震動S_dによる繰返し回数が，基準地震動S_sで設定している繰返し回数以内であることを確認しているため，省略する。

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（1/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材再循環設備	主配管	S	無	V-2-5-2-1-1	－	－	－
	原子炉冷却材の循環設備	アキュムレータ	S	無	V-2-5-3-1-1	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-5-3-1-1
		主要弁	S	無	V-2-5-3-1-2	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-5-3-1-2	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-3-1-2
		主配管	S	無	V-2-5-3-1-2	－	－	－
		主配管	B	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-3-1-2
		主要弁	S	無	V-2-5-3-2-1	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-5-3-2-1	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-5-3-3-1	－	－	－

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（2/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系熱交換器	S	有	V-2-5-4-1-1	常設耐震／防止	有	V-2-5-4-1-1
		残留熱除去系ポンプ	S	無	V-2-5-4-1-2	常設耐震／防止	無	V-2-5-4-1-2
		残留熱除去系ストレーナ	S	無	V-2-5-4-1-3	常設耐震／防止	有	V-2-5-4-1-3
		主要弁	S	無	V-2-5-4-1-4	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-5-2-1-1 V-2-5-4-1-4 V-2-5-4-1-5	常設耐震／防止	有	V-2-5-2-1-1 V-2-5-4-1-4 V-2-5-4-1-5
		主配管	S	無	V-2-5-4-1-4 V-2-5-4-1-5	（非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備に記載）	－	－
		主配管	S（原子炉冷却材再循環設備に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	V-2-5-2-1-1
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	V-2-9-2-9*2 V-2-9-4-3-1*2

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（2/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	フィルタ装置	－	－	－	常設耐震／防止	－	Ⅴ-2-9-7-1-2*2
		主要弁	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-9-6-1-1*2 Ⅴ-2-9-7-1-1*2
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-9-2-9*2 Ⅴ-2-9-6-1-1*2
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止	－	Ⅴ-2-9-7-1-1*2
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-9-2-9*2 Ⅴ-2-9-5-2-1*2 Ⅴ-2-9-6-1-1*2
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止	－	Ⅴ-2-5-4-2-1
		原子炉圧力容器	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-3-4-1*3
		炉心支持構造物	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-3-3-2*3
		ジェットポンプ	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-3-4-3-5*3
		原子炉格納容器	S(原子炉格納施設に記載)	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-9-2*2
		非常用ガス処理系排気筒	S(放射性廃棄施設に記載)	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-7-2-5*4

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（3/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
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ポンプ	S	無	V-2-5-5-1-1	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-1-1
		高圧炉心スプレイ系ストレーナ	S	無	V-2-5-5-1-2	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-1-2
		主要弁	S	無	V-2-5-5-1-3	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-5-5-1-3 V-2-5-5-1-4	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-1-3 V-2-5-5-1-4
		主配管	S	無	V-2-5-5-1-3	－	－	－
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	V-2-9-2-9*2
		低圧炉心スプレイ系ポンプ	S	無	V-2-5-5-2-1	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-2-1
		低圧炉心スプレイ系ストレーナ	S	無	V-2-5-5-2-2	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-2-2
		主要弁	S	無	V-2-5-5-2-3	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-5-5-2-3 V-2-5-5-2-4	常設耐震／防止	有	V-2-5-5-2-3 V-2-5-5-2-4
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	V-2-9-2-9*2

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（4/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S(原子炉冷却材補給設備に記載)	－	－	常設耐震／防止	－	Ⅴ-2-5-6-1-1 Ⅴ-2-5-6-1-2
		原子炉隔離時冷却系ストレーナ	－	－	－	常設耐震／防止	－	Ⅴ-2-5-5-3-1
		主配管	S（原子炉冷却材の循環設備及び原子炉冷却材補給設備に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-5-3-1-2 Ⅴ-2-5-6-1-3 Ⅴ-2-5-6-1-4
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-9-2-9*2
		残留熱除去系熱交換器	S(残留熱除去設備に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	Ⅴ-2-5-4-1-1
		残留熱除去系ポンプ	S(残留熱除去設備に記載)	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-5-4-1-2
		残留熱除去系ストレーナ	S(残留熱除去設備に記載)	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-5-4-1-3
		主配管	S(残留熱除去設備に記載)	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-5-4-1-4 Ⅴ-2-5-4-1-5
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-5-5-5-2
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	Ⅴ-2-9-2-9*2

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（5/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
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	ほう酸水注入ポンプ	S(計測制御系統に記載)	－	－	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-1*5
		ほう酸水注入タンク	S(計測制御系統に記載)	－	－	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-2*5
		主配管	S(計測制御系統に記載)	－	－	常設／緩和	有	V-2-6-4-1-3*5
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設／緩和	有	V-2-9-2-9*2
		常設高圧代替注水系ポンプ	－	－	－	常設耐震／防止	－	V-2-5-5-4-1
		主配管	S（原子炉冷却材の循環設備及び原子炉冷却材補給設備に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	V-2-5-3-1-2 V-2-5-6-1-3 V-2-5-6-1-4
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止	－	V-2-5-5-4-2
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	V-2-9-2-9*2

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（6/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
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	常設低圧代替注水系ポンプ	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	V-2-5-5-5-1
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	V-2-5-5-5-2
		主配管	S（残留熱除去設備に記載）	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	有	V-2-5-4-1-4 V-2-5-4-1-5
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設耐震／防止	有	V-2-9-2-9*2
		代替循環冷却系ポンプ	－	－	－	常設／緩和	－	V-2-5-5-6-1
		主配管	S（残留熱除去設備に記載）	－	－	常設／緩和	有	V-2-5-4-1-4 V-2-5-4-1-5
		主配管	－	－	－	常設／緩和	－	V-2-5-5-6-2
		主配管	S（原子炉格納施設に記載）	－	－	常設／緩和	有	V-2-9-2-9*2
		原子炉圧力容器	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-3-4-1*3
		炉心支持構造物	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-3-3-2*3
		高圧炉心スプレイスパージャ	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	V-2-3-4-3-7*3

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（7/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
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	高圧炉心スプレイ配管（原子炉圧力容器内部）	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止	無	V-2-3-4-3-9*3
		低圧炉心スプレイスパージャ	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-3-4-3-7*3
		低圧炉心スプレイ配管(原子炉圧力容器内部)	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-3-4-3-9*3
		残留熱除去系配管(原子炉圧力容器内部)	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	無	V-2-3-4-3-8*3
		差圧検出・ほう酸水注入管（ティーより N10 ノズルまでの外管）	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設／緩和	無	V-2-3-4-2-4*3
		差圧検出・ほう酸水注入管（原子炉圧力容器内部）	S(原子炉本体に記載)	－	－	常設／緩和	無	V-2-3-4-3-10*3
		代替淡水貯槽	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	V-2-2-29*6
		西側淡水貯水設備	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	V-2-2-23*6

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（8/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材補給設備	原子炉隔離時冷却系ポンプ	S	無	V-2-5-6-1-1 V-2-5-6-1-2	（非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備に記載）	－	－
		主要弁	S	無	V-2-5-6-1-3	－	－	－
		主配管	S	無	V-2-5-6-1-3 V-2-5-6-1-4	（非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備に記載）	－	－
	原子炉補機冷却設備	残留熱除去系海水系ポンプ	S	無	V-2-5-7-1-1	常設耐震／防止常設／緩和	無	V-2-5-7-1-1
		残留熱除去系海水系ストレーナ	S	無	V-2-5-7-1-2	常設耐震／防止常設／緩和	無	V-2-5-7-1-2
		主配管	S	無	V-2-5-7-1-3	常設耐震／防止常設／緩和	有	V-2-5-7-1-3

表 2-1　耐震評価条件整理一覧表（9/9）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震設計上の重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
原子炉冷却系統施設	原子炉補機冷却設備	緊急用海水ポンプ	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-5-7-2-1
		緊急用海水系ストレーナ	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-5-7-2-2
		主配管	－	－	－	常設耐震／防止 常設／緩和	－	Ⅴ-2-5-7-2-3
	原子炉冷却材浄化設備	主要弁	S	無	Ⅴ-2-5-8-1-1	－	－	－
		主配管	S	無	Ⅴ-2-5-8-1-1	－	－	－

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：原子炉格納施設と兼用の設備であり、評価内容が共通であるため、耐震評価は添付書類「Ⅴ-2-9 原子炉格納施設の耐震性についての計算書」に記載する。
＊3：原子炉本体と兼用の設備であり、評価内容が共通であるため、耐震評価は添付書類「Ⅴ-2-3 原子炉本体の耐震性についての計算書」に記載する。
＊4：放射性廃棄物の廃棄施設と兼用の設備であり、評価内容が共通であるため、耐震評価は添付書類「Ⅴ-2-7 放射性廃棄物の廃棄施設の耐震性についての計算書」に記載する。
＊5：計測制御系統施設と兼用の設備であり、評価内容が共通であるため、耐震評価は添付書類「Ⅴ-2-6 計測制御系統施設の耐震性についての計算書」に記載する。
＊6：代替淡水貯槽及び西側淡水貯水設備の耐震評価は，添付書類「Ⅴ-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書」に記載する。

Ⅴ-2-5-2-1-1　管の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　概略系統図及び鳥瞰図 ····· 2
2.1　概略系統図 ····· 2
2.2　鳥瞰図 ····· 4
3.　計算条件 ····· 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
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 56

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」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　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。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全２モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

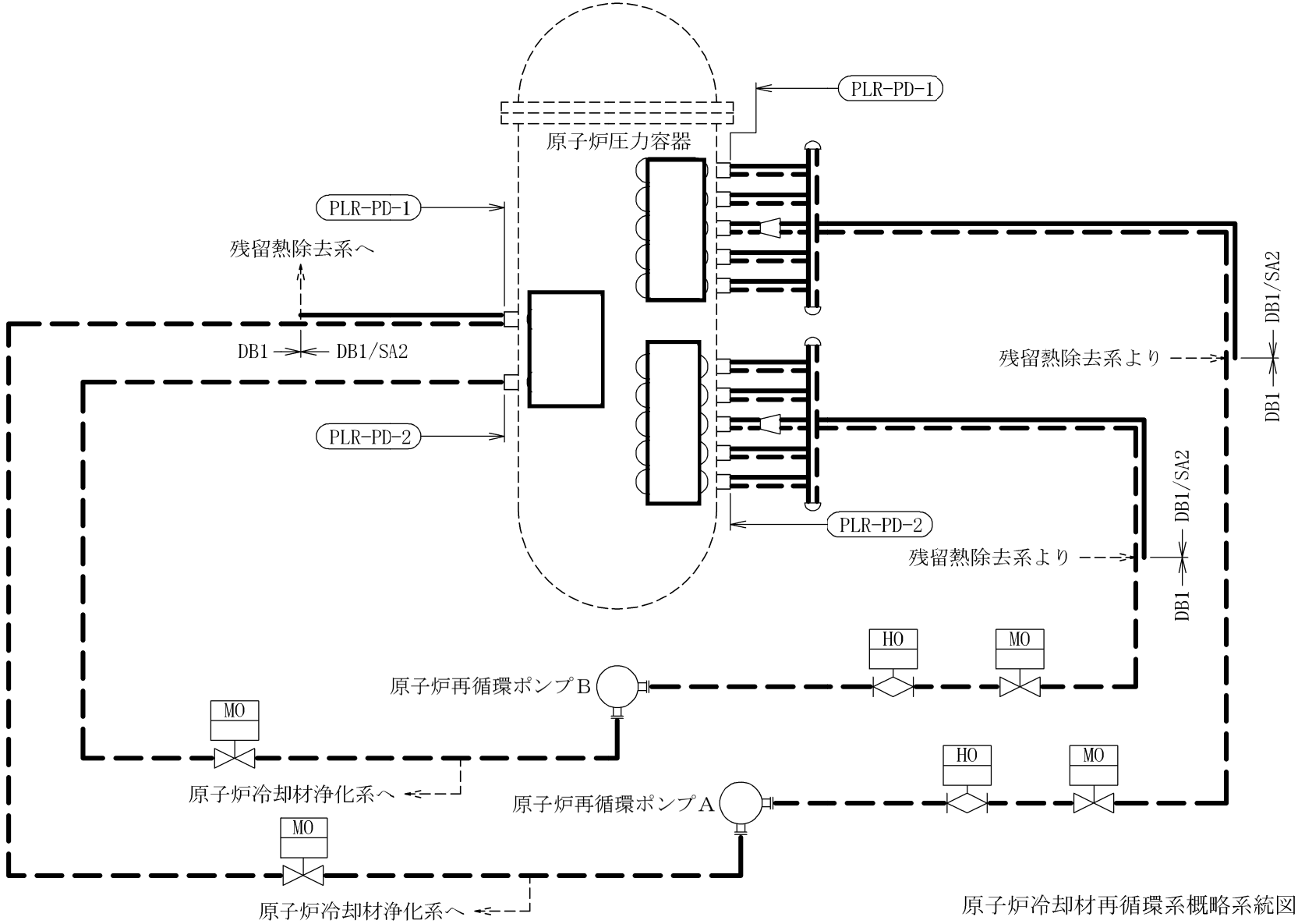
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

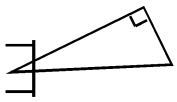
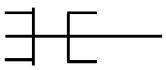
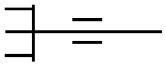
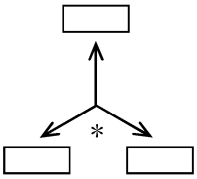
記　　号	内　　容
――――――（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ―（太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
――――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，設計条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］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

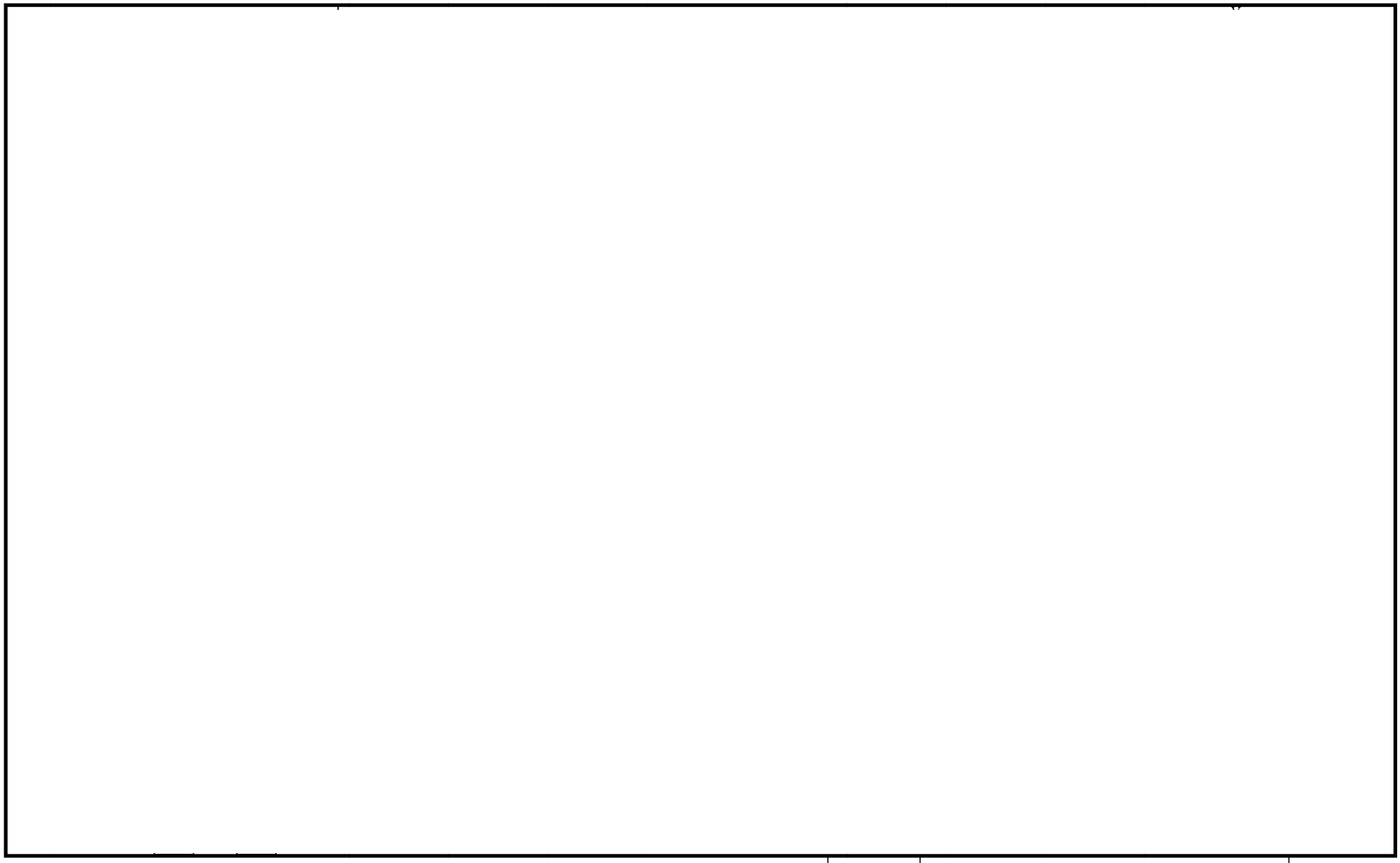


原子炉冷却材再循環系概略系統図

2.2 鳥瞰図

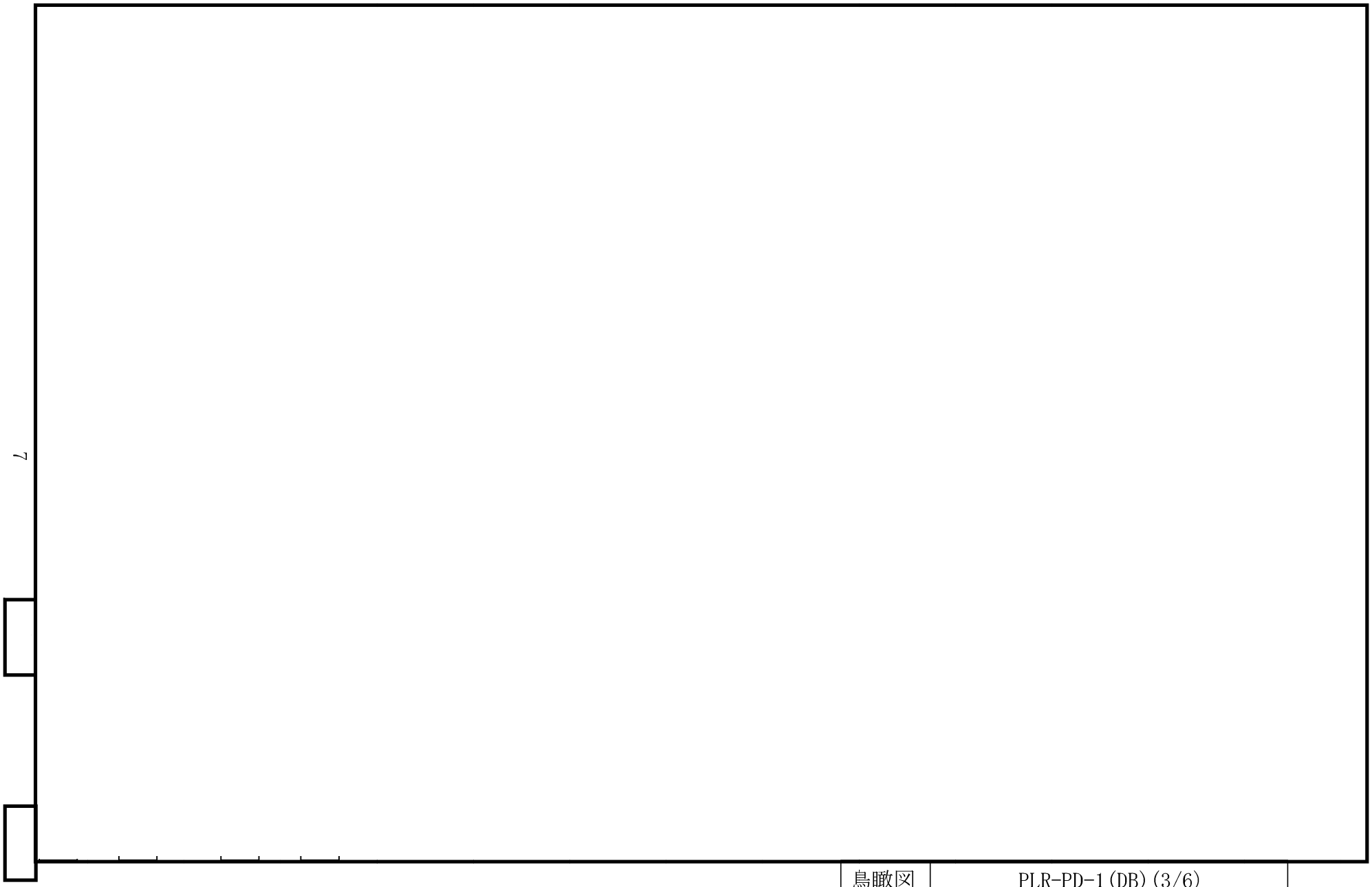
鳥瞰図記号凡例

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。

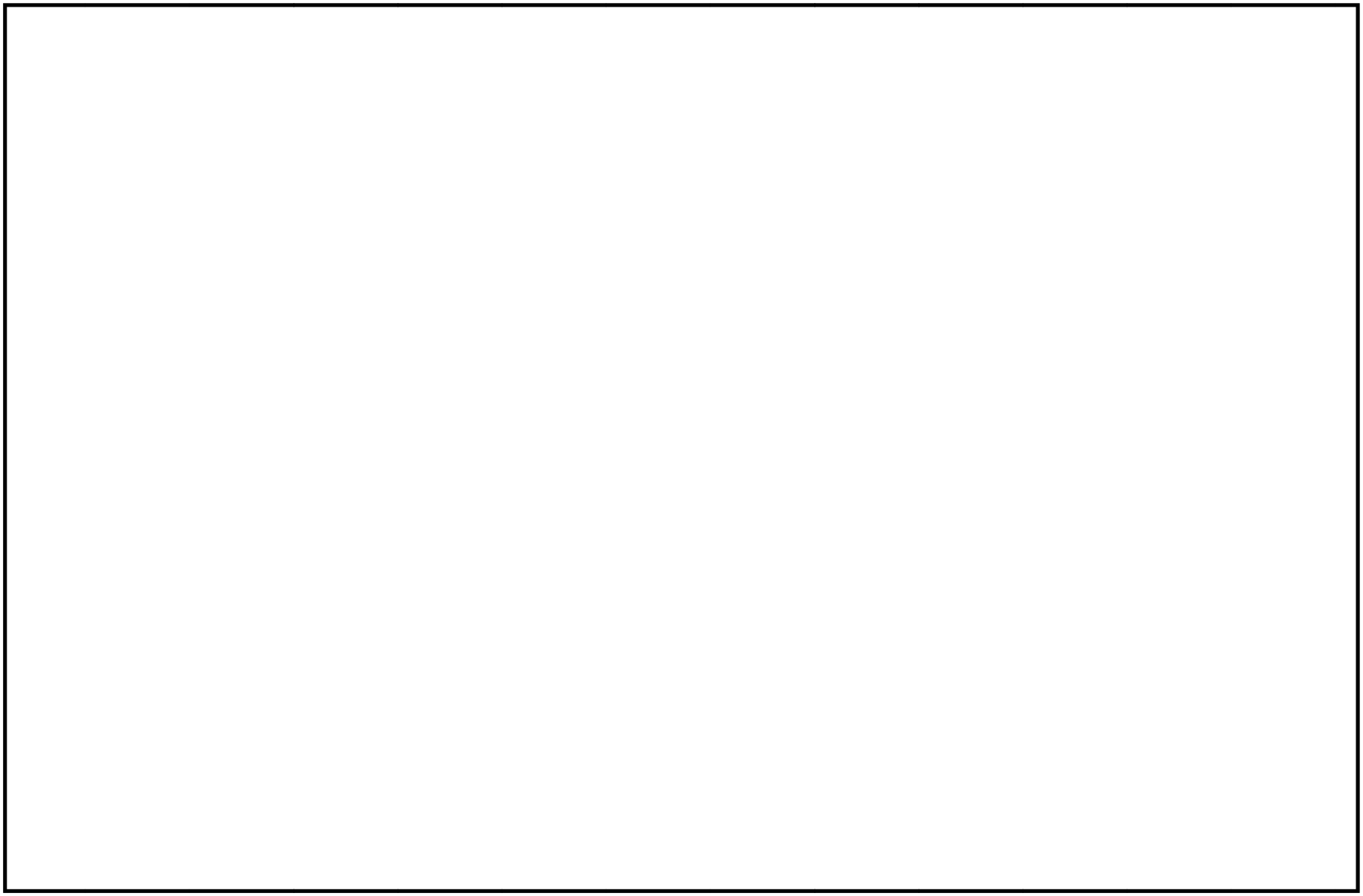


鳥瞰図	PLR-PD-1(DB)(1/6)

鳥瞰図	PLR-PD-1(DB)(2/6)

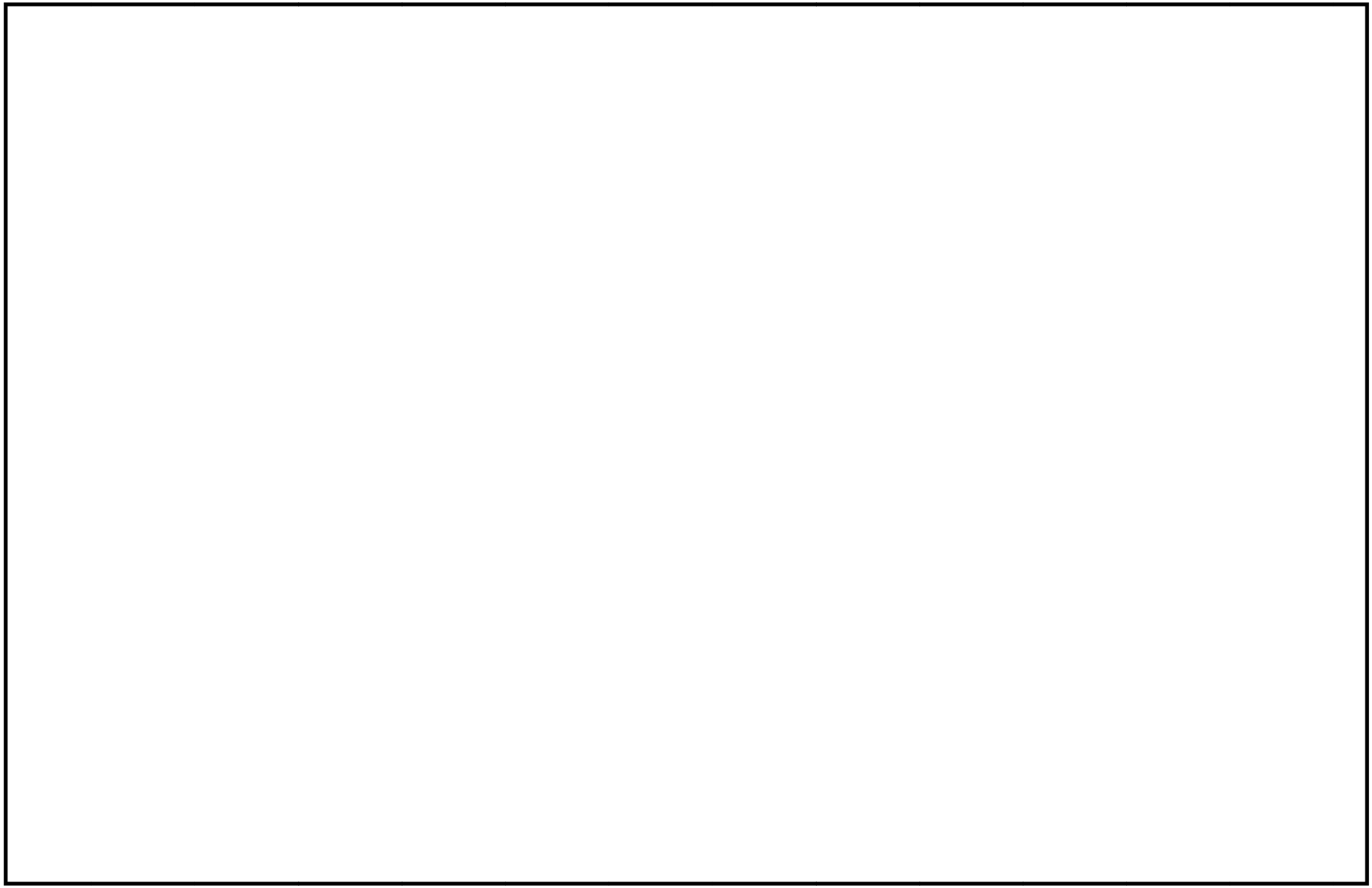


鳥瞰図	PLR-PD-1(DB)(3/6)



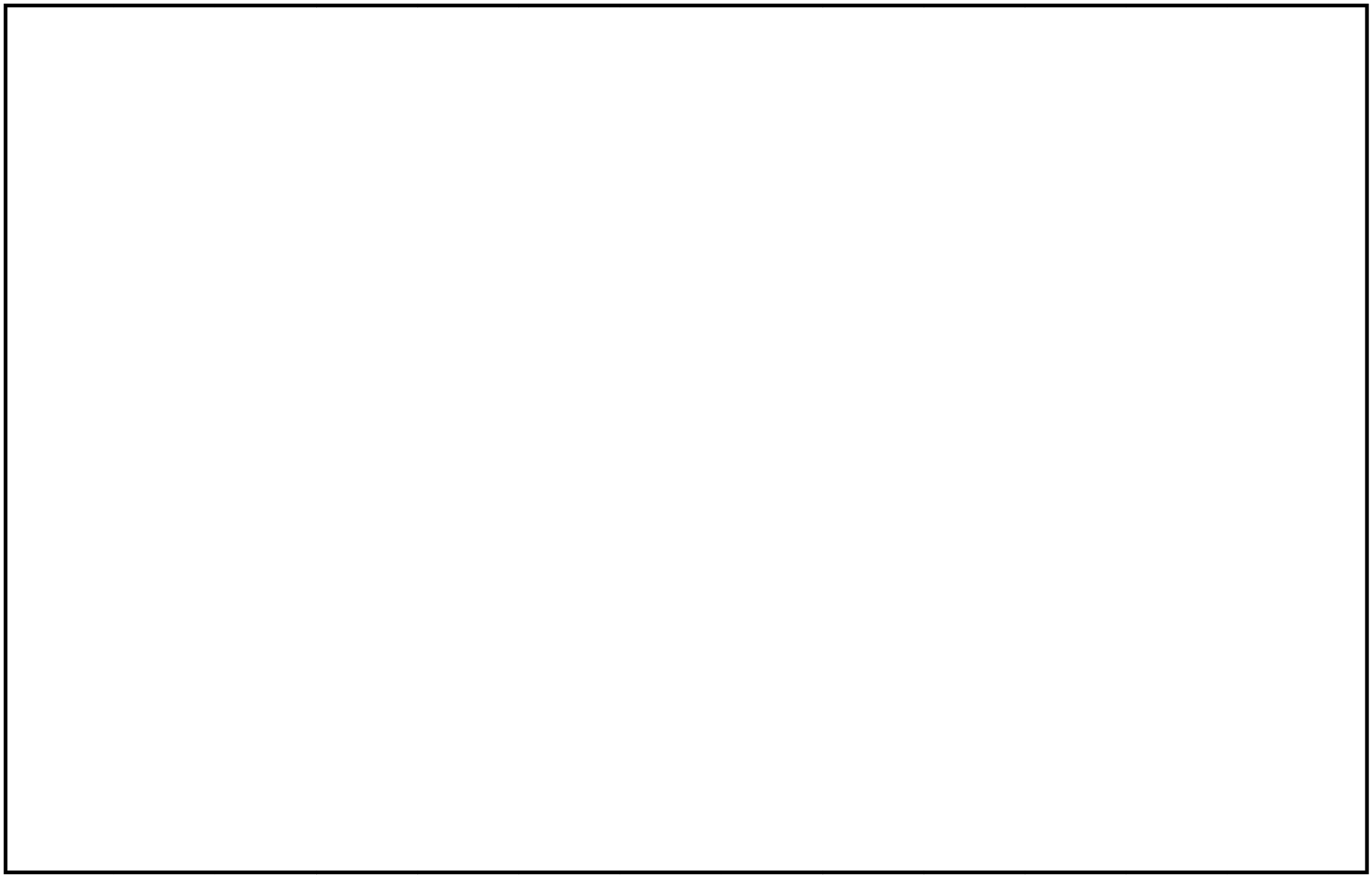
鳥瞰図	PLR-PD-1(DB)(4/6)

鳥瞰図	PLR-PD-1(DB)(5/6)

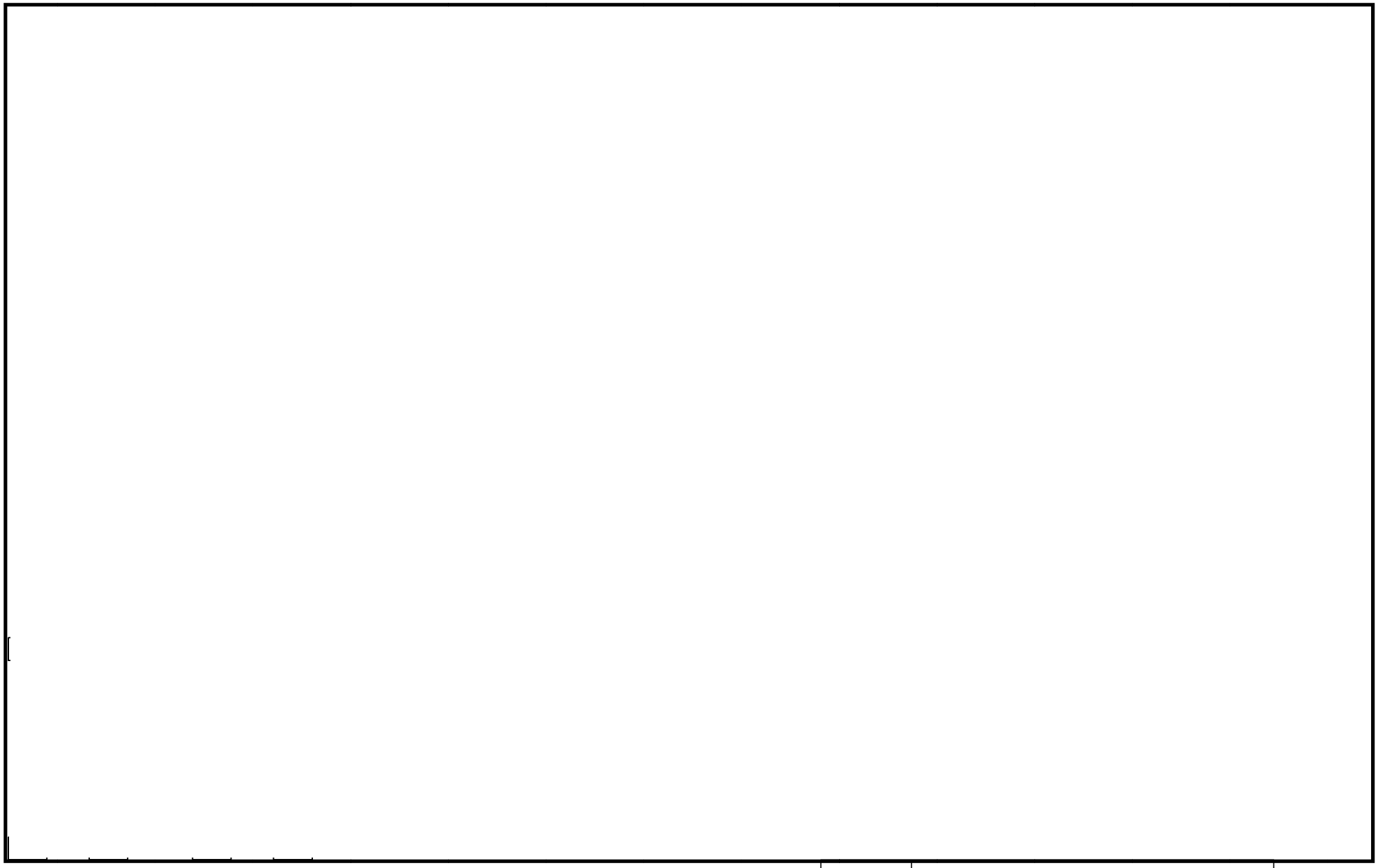


鳥瞰図	PLR-PD-1(DB)(6/6)

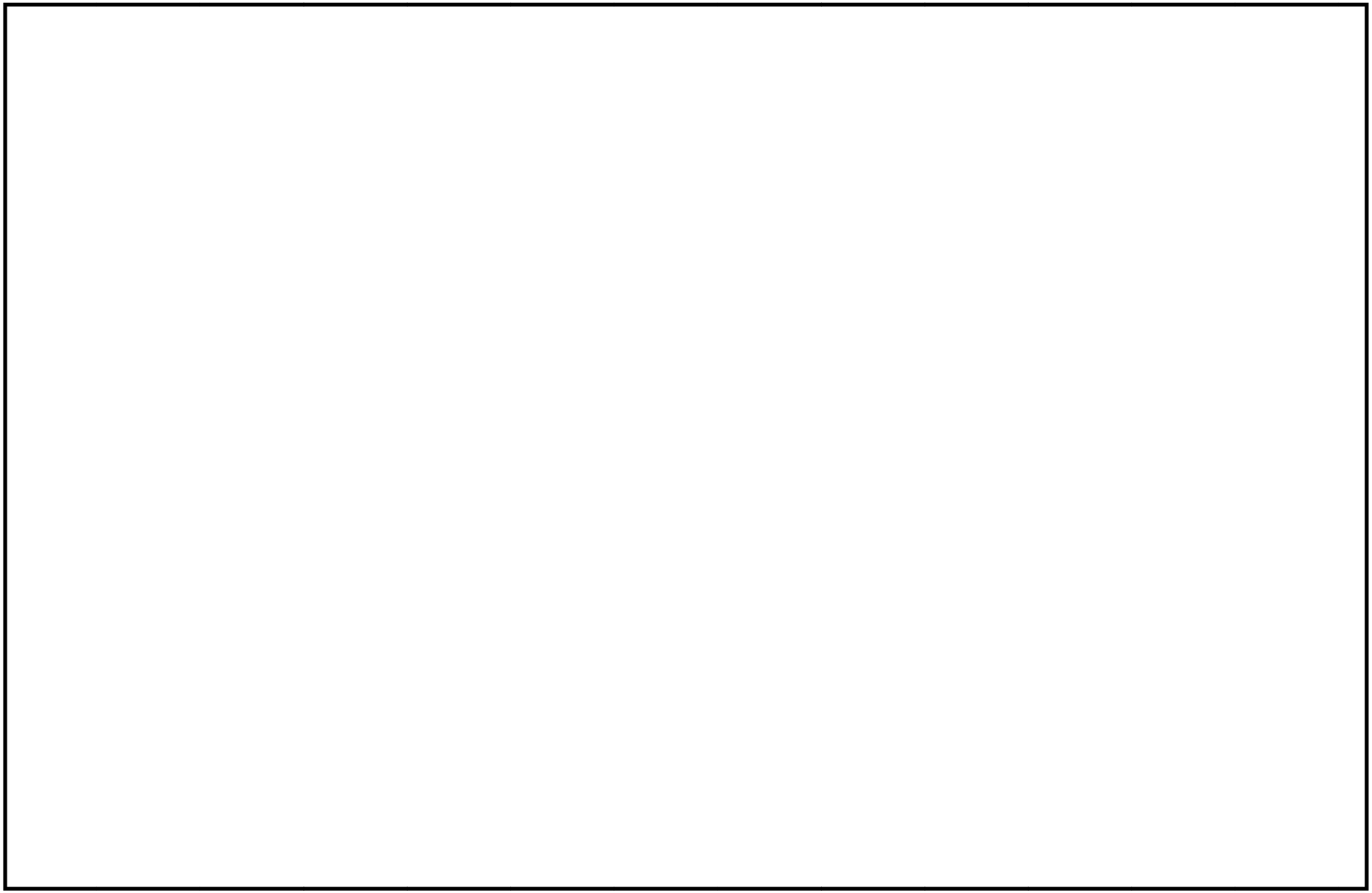
鳥瞰図	PLR-PD-1(SA)(1/6)



鳥瞰図	PLR-PD-1(SA)(2/6)

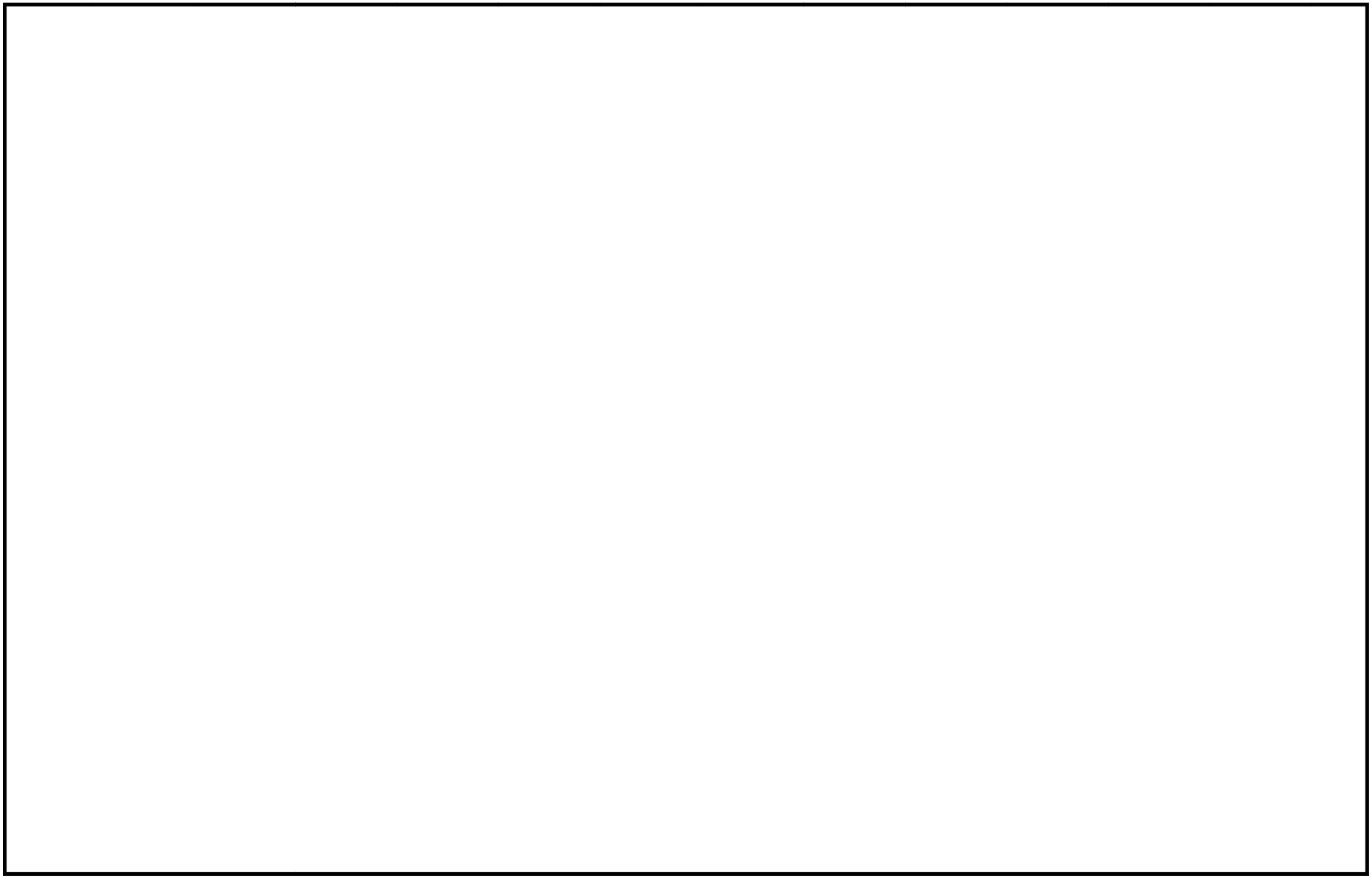


鳥瞰図	PLR-PD-1(SA)(3/6)

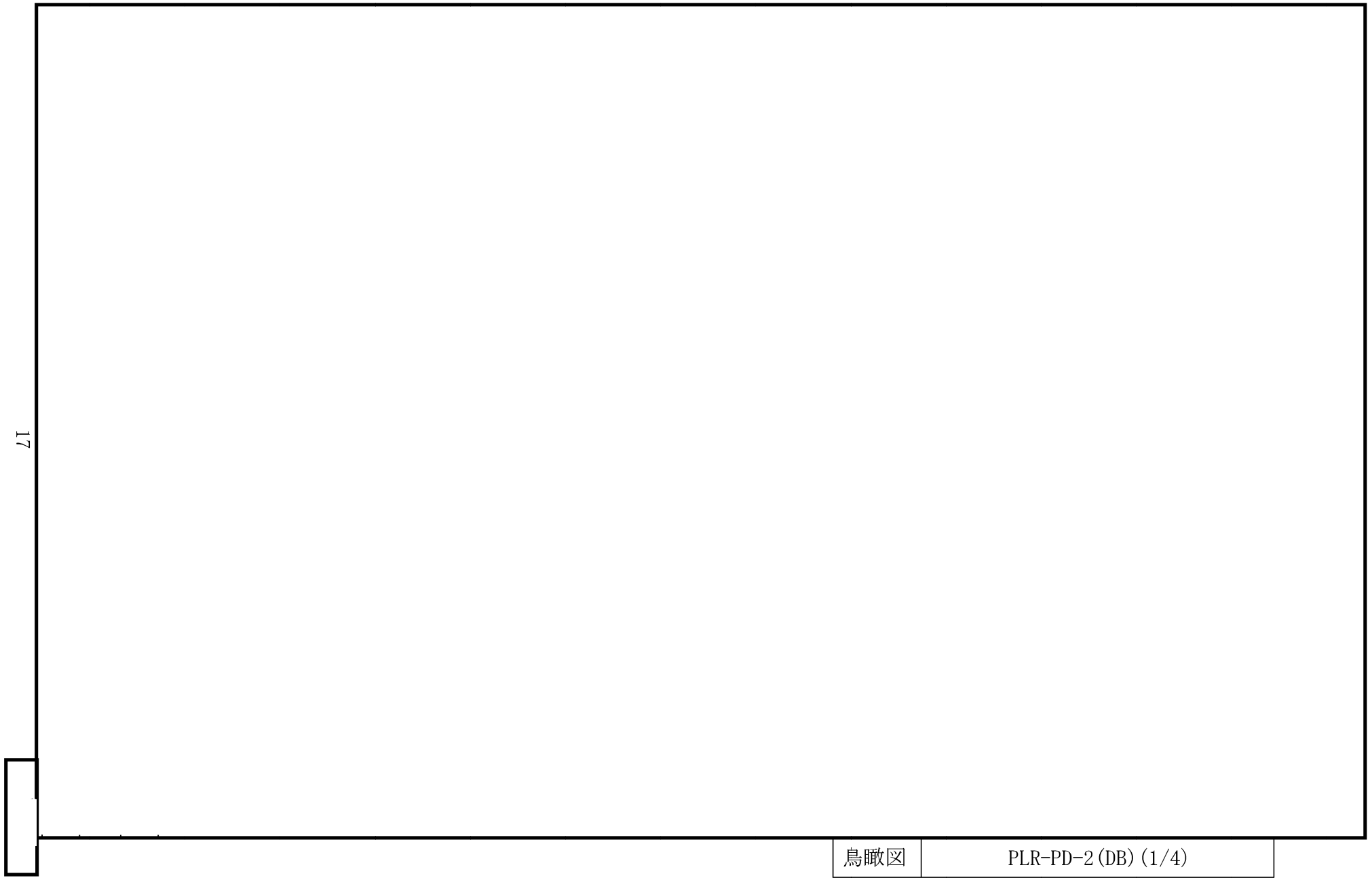


鳥瞰図	PLR-PD-1(SA)(4/6)

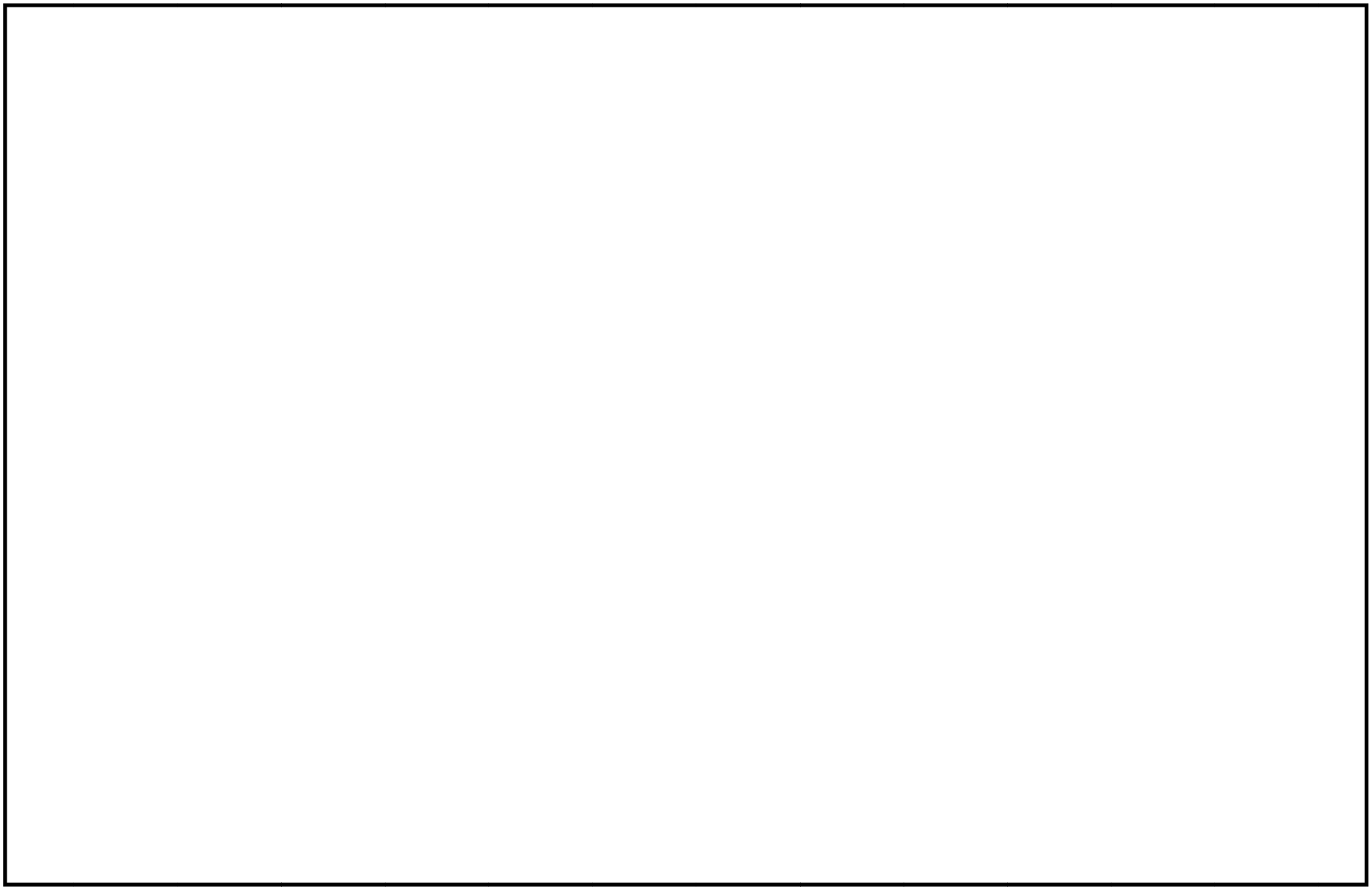
鳥瞰図	PLR-PD-1(SA)(5/6)



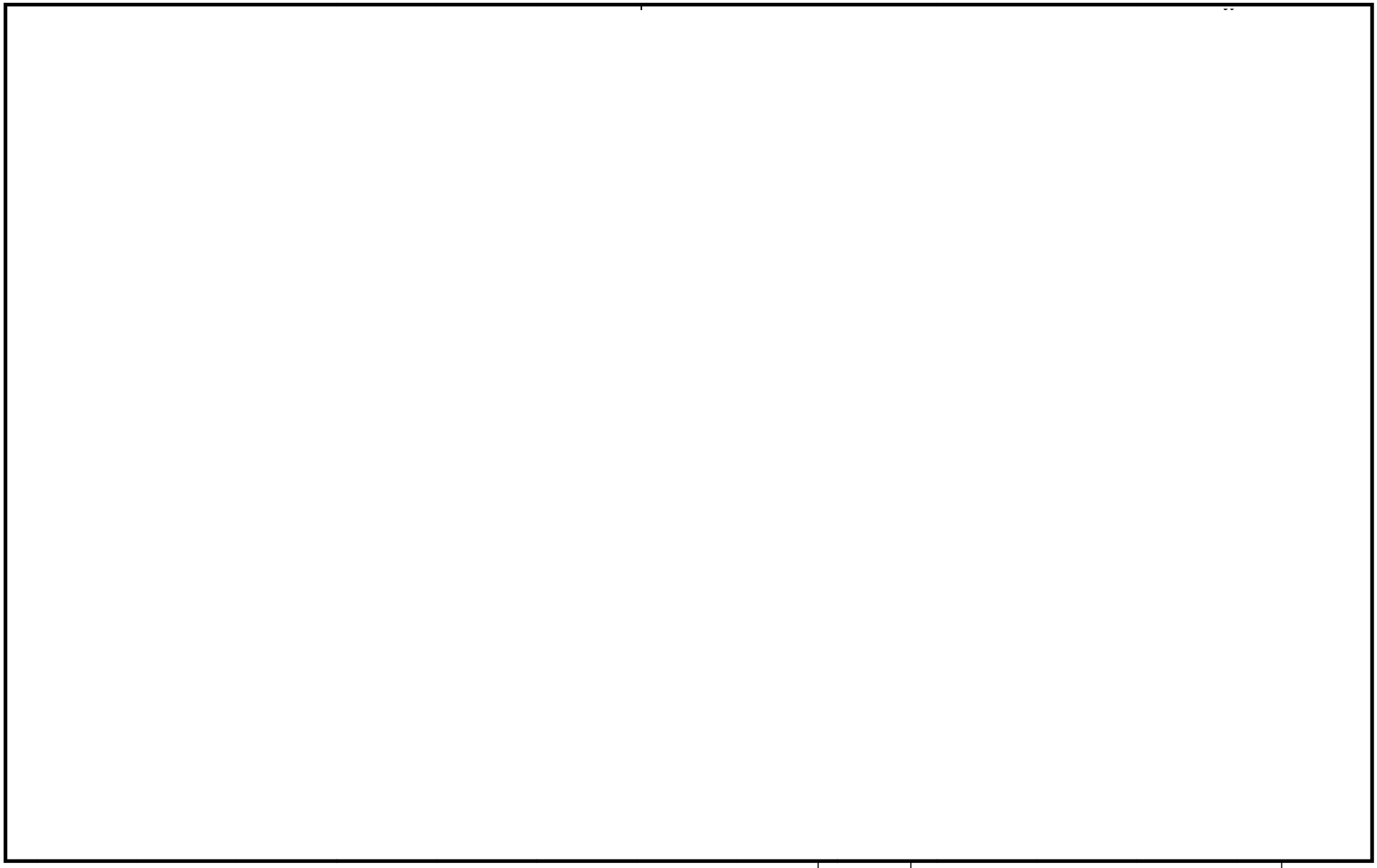
鳥瞰図	PLR-PD-1(SA)(6/6)



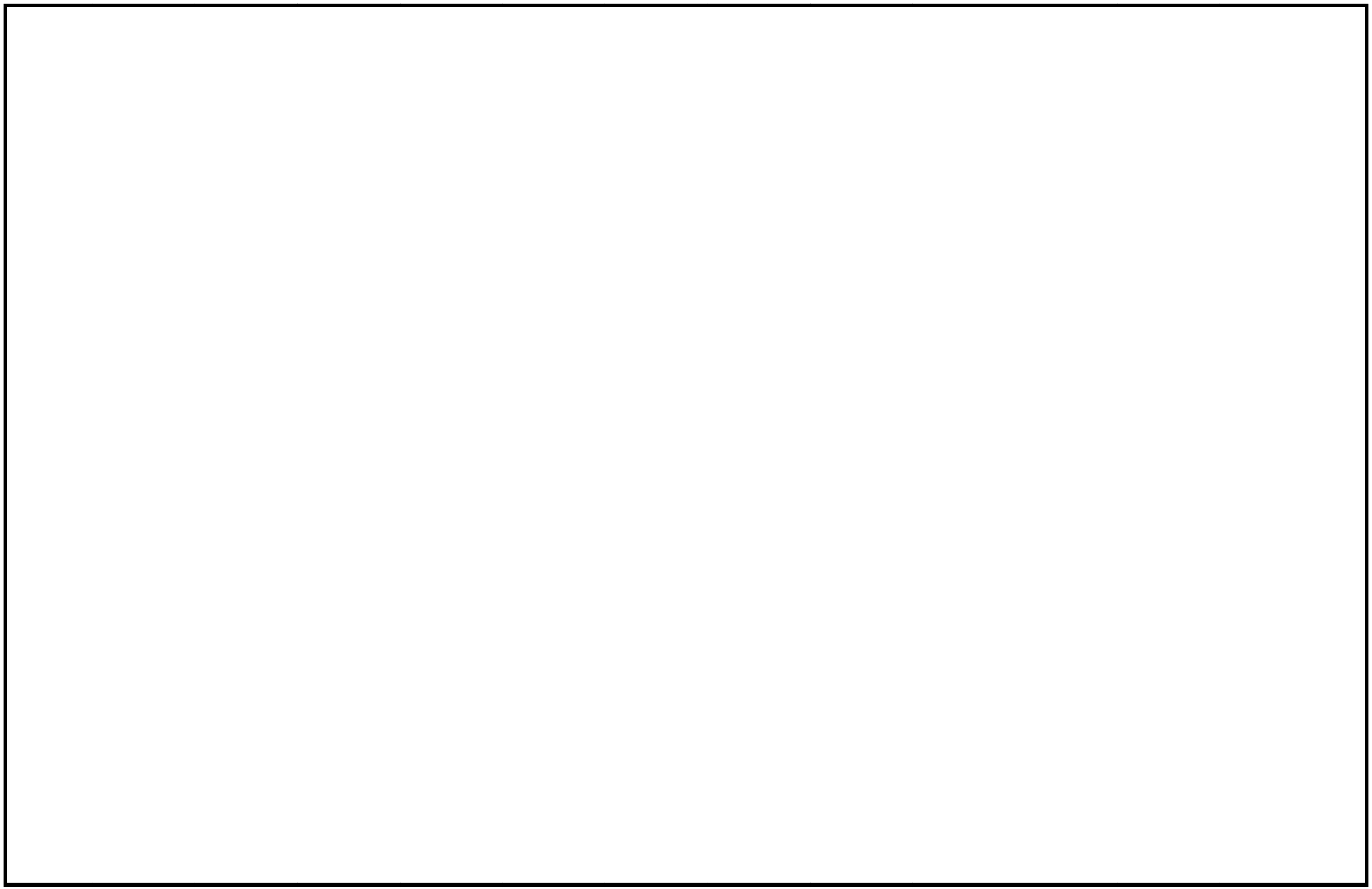
鳥瞰図	PLR-PD-2(DB)(1/4)



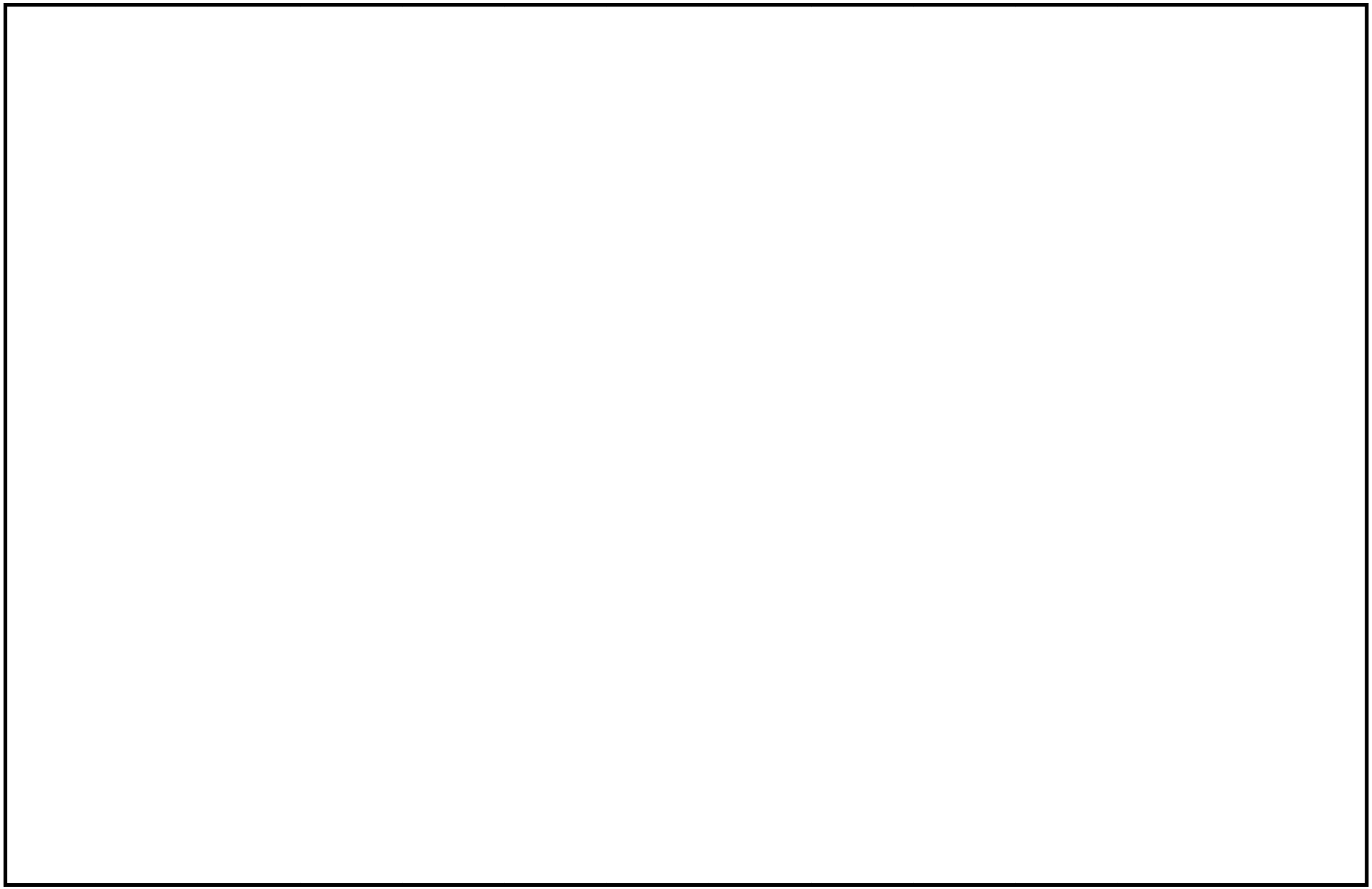
鳥瞰図	PLR-PD-2(DB)(2/4)



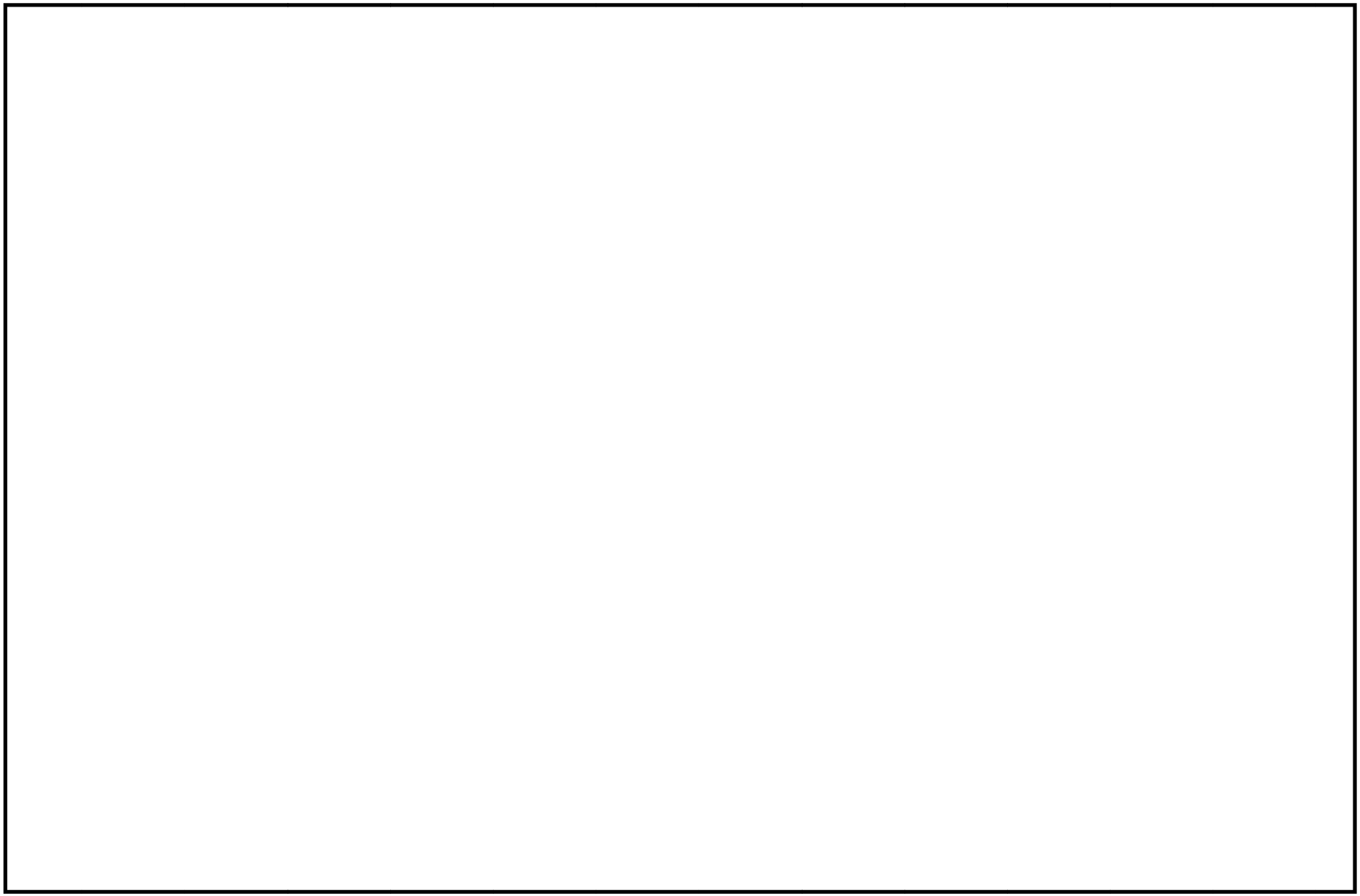
鳥瞰図	PLR-PD-2(DB)(3/4)



鳥瞰図	PLR-PD-2(DB)(4/4)



鳥瞰図	PLR-PD-2(SA)(1/4)



鳥瞰図	PLR-PD-2(SA)(2/4)

鳥瞰図	PLR-PD-2(SA)(3/4)

鳥瞰図	PLR-PD-2(SA)(4/4)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態
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，（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。

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～10	8.62	302	609.6	31.0	[redacted]	S	[redacted]
2	14～16	8.62	302	630.0	40.0	[redacted]	S	[redacted]
3	35～37,41～46	11.38	302	630.0	40.0	[redacted]	S	[redacted]
4	50～55	10.70	302	609.6	39.0	[redacted]	S	[redacted]
5	55～57	10.70	302	673.0	71.4	[redacted]	S	[redacted]
6	58～62N,75～114N 80～124N,94～134N 100～144N	10.70	302	323.9	21.4	[redacted]	S	[redacted]
7	56～81,56～101	10.70	302	420.0	33.8	[redacted]	S	[redacted]

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

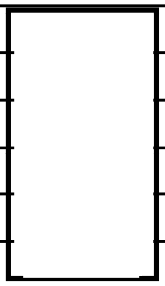
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

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	耐震設計上の重要度分類	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
[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-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)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
[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備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「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，減衰定数は添付書類「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

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
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				
22 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	ＰＬＲ－ＰＤ－１

鳥瞰図	ＰＬＲ－ＰＤ－１

鳥瞰図	ＰＬＲ－ＰＤ－１

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　PLR-PD-2

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
15 次							
16 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

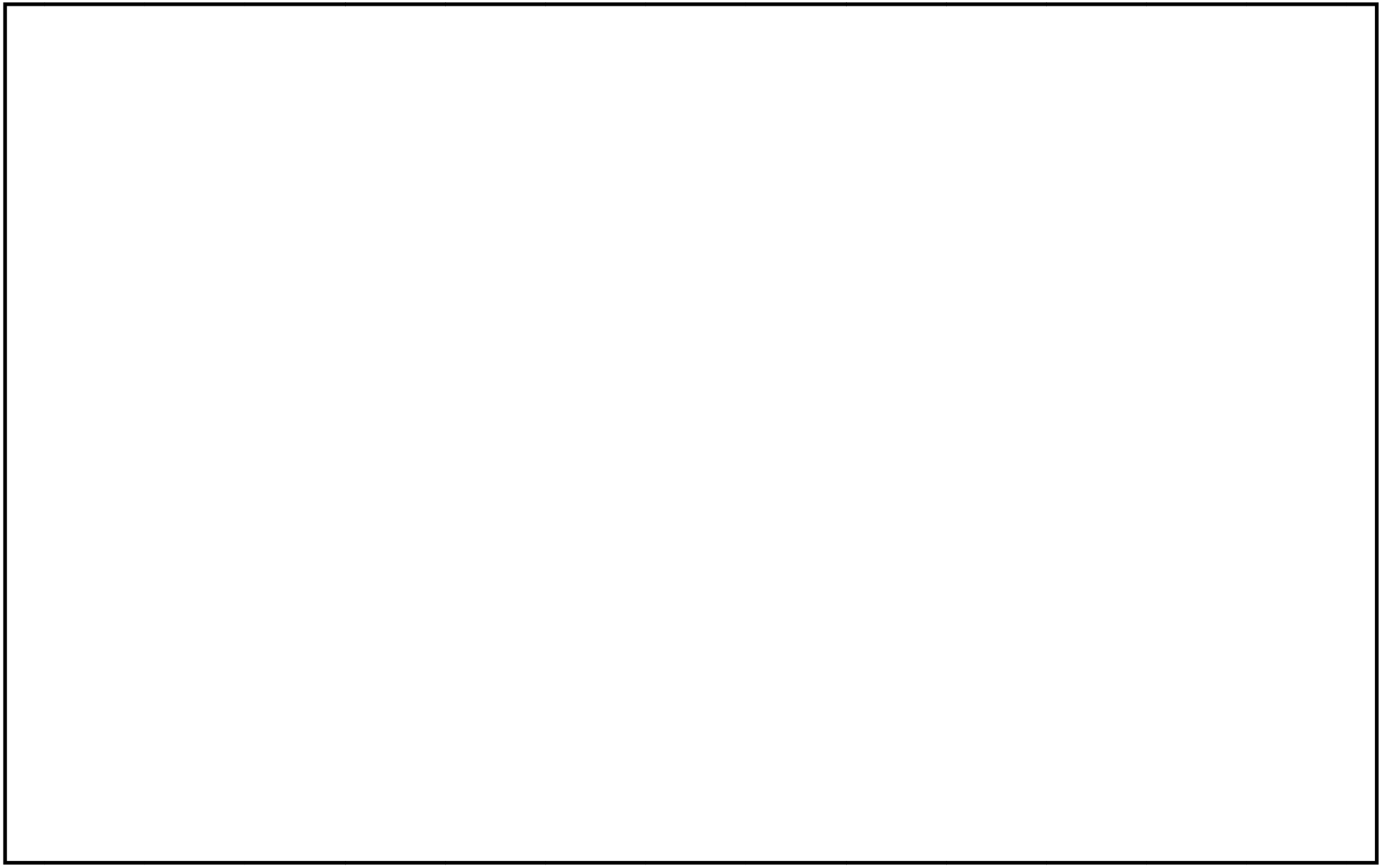
各モードに対応する刺激係数

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				
16 次				

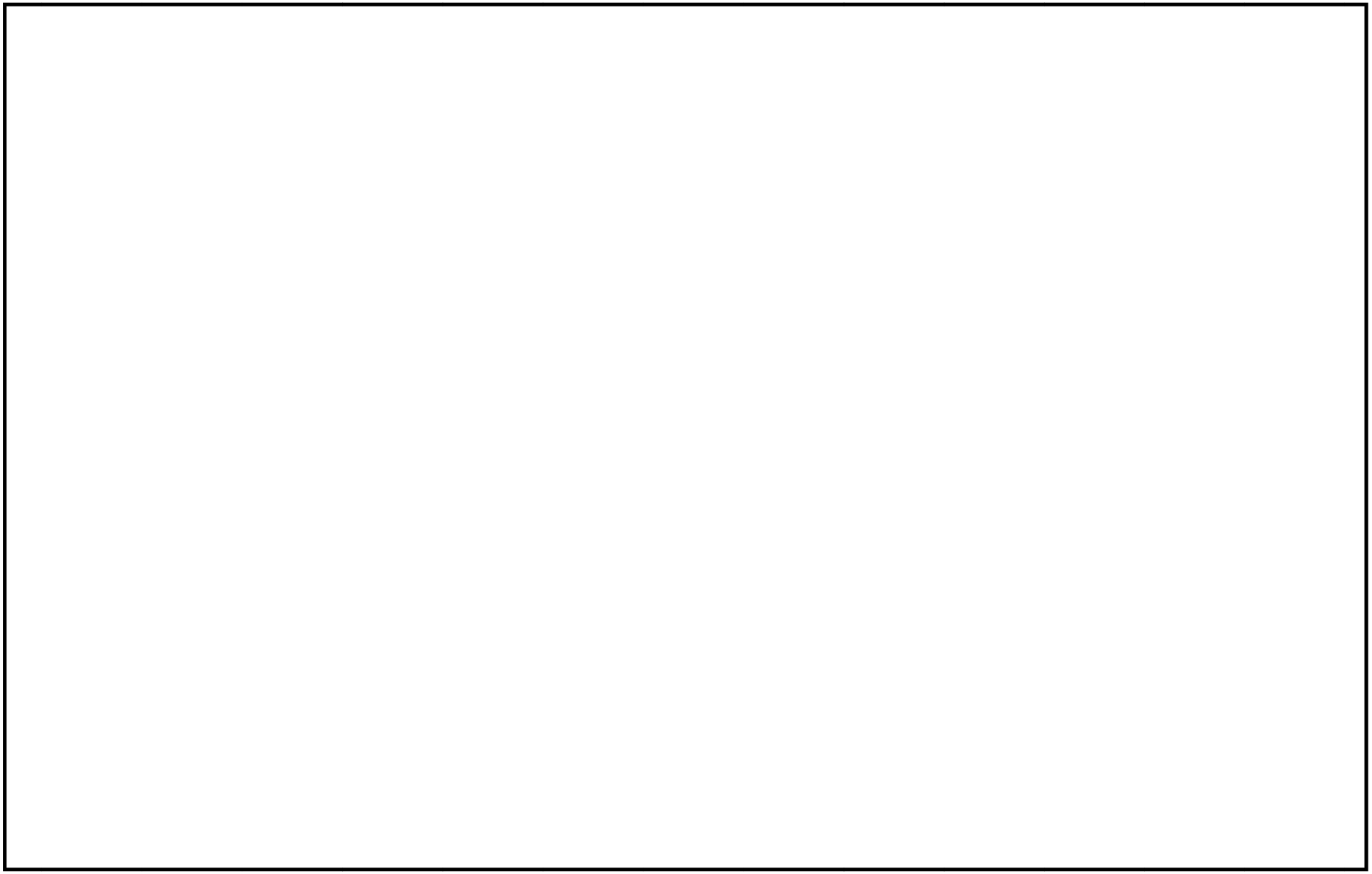
代表的振動モード図

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	ＰＬＲ－ＰＤ－２

鳥瞰図	ＰＬＲ－ＰＤ－２



鳥瞰図	ＰＬＲ－ＰＤ－２

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス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 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y）min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d）S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
PLR-PD-1	III_AS	7	TEE	S_{prm}（S_d）	125	226	－	－	－	－	－
PLR-PD-1	III_AS	16	ELBOW	S_t（S_d）	－	－	52	62	－	－	－
PLR-PD-1	IV_AS	7	TEE	S_{prm}（S_s）	182	252	－	－	－	－	－
PLR-PD-1	IV_AS	16	ELBOW	S_t（S_s）	－	－	95*	83	－	－	－
PLR-PD-2	IV_AS	58	REDUCER	S_n（S_s）	－	－	－	－	718	342	0.1827
PLR-PD-2	IV_AS	58	REDUCER	U＋US_s	－	－	－	－	－	－	0.1827

注記　＊：ねじりによる応力が許容応力状態III_ASのとき0.55S_m，又は許容応力状態IV_ASのとき0.73S_mを超える評価点を示し，次ページに曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態III_{A}Ｓのとき0.55S_m，又は許容応力状態IV_{A}Ｓのとき0.73S_m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 S_t（S_d） S_t（S_d）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	曲げとねじり応力 S_t+S_b（S_d） S_t+S_b（S_s）	許容応力 1.8S_m 2.4S_m
PLR-PD-1	16	－	－	－	－
PLR-PD-1	16	95	83	138	273

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	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-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」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

下表に示すとおり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
—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス１範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	PLR-PD-1	7	125	226	1.80	○	7	182	252	1.38	○	58	671	342	0.50	－	58	0.1462	－
2	RLR-PD-1	35	122	226	1.85	－	35	175	252	1.44	－	58	718	342	0.47	○	58	0.1827	○

注記　＊：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。

Ⅴ-2-5-3-1-1　アキュムレータ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 …… 25
5.5 計算条件 …… 38
5.6 応力の評価 …… 38
6. 評価結果 …… 41
6.1 設計基準対象施設としての評価結果 …… 41
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果 …… 41
7. 引用文献 …… 63

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，アキュムレータ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。

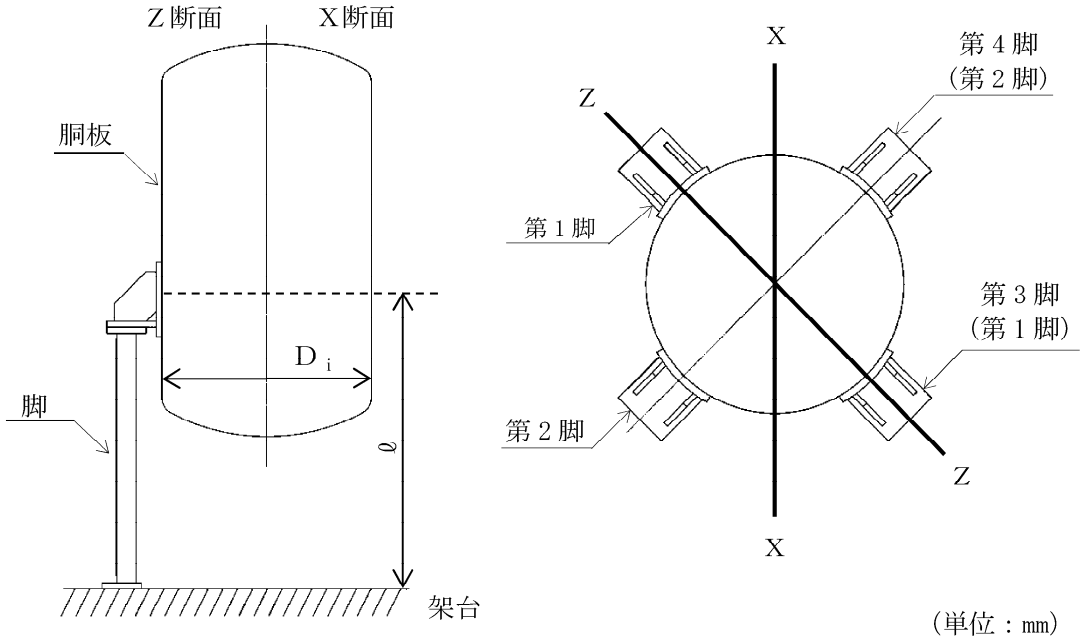
アキュムレータは，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アキュムレータの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1　構造計画

計画の概要		概略構造図	備考
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		・逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ D_i＝550 ℓ＝645
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		・逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ D_i＝400 ℓ＝577

2.2　評価方針

アキュムレータの応力評価は，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」にて示すアキュムレータの部位を踏まえ「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設計用地震力による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。

アキュムレータの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

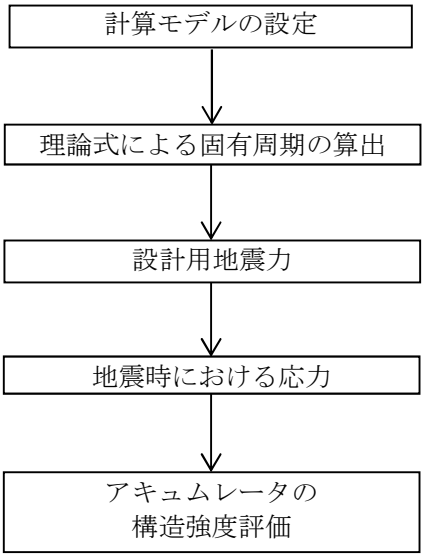


図 2-1　アキュムレータの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　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（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991 追補版（日本電気協会）

(4)　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）

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（f_bを1.5倍した値又はf_b^*を1.5倍した値）	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（f_bを1.5倍した値又はf_b^*を1.5倍した値）	MPa
f_c	脚の許容圧縮応力（f_cを1.5倍した値又はf_c^*を1.5倍した値）	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
f_t	脚の許容引張応力（f_tを1.5倍した値又はf_t*を1.5倍した値）	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F_0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F_0による胴の半径方向局部変位量	mm
Δ_{x1}	水平力F_0による第1脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{x3}	水平力F_0による第2脚上端の水平方向変位量	mm
Δ_{y1}	水平力F_0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F_0による胴の中心軸の傾き角	rad
θ_1	水平力F_0による第1脚の傾き角	rad
θ_1'	水平力F_0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F_0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
$\sigma_{\phi 10}$, $\sigma_{x 10}$	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
$\sigma_{\phi 11}$, $\sigma_{x 11}$	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
$\sigma_{x x 1}$, $\sigma_{x x 2}$	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
$\sigma_{x x 3}$, $\sigma_{x x 4}$	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
$\sigma_{x z 1}$, $\sigma_{x z 2}$	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
$\sigma_{x z 3}$, $\sigma_{x z 4}$	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
$\sigma_{x z 5}$, $\sigma_{x z 6}$	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
$\sigma_{x z 7}$, $\sigma_{x z 8}$	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
$\sigma_{\phi x 1}$, $\sigma_{\phi x 2}$	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
$\sigma_{\phi x 3}$, $\sigma_{\phi x 4}$	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
$\tau_{\ell1}$	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
$\tau_{\ell2}$	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
$\tau_{\ell5}$	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
$\tau_{\ell3}$	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

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

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータは，胴及び脚について評価を実施する。

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ及び逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ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節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

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

転倒モーメントの釣合いより

$$2 \cdot M1 - 2 \cdot M_3 + 2 \cdot R_1 \cdot r_m = F_0 \cdot (\ell_g - \ell) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.2)$$

ただし，

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

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

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

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.4)$$

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

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

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

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。

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

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

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

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

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

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

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

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

第 1 脚と胴の傾き角の釣合いより

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

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

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

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

$$\Delta x_1 + \Delta r_1 - \Delta x_3 + u \cdot \theta_3 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.19)$$

さらに，鉛直方向の釣合いより

$$\Delta y_1 - u \cdot \theta_1 - r_m \cdot \theta_0 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.20)$$

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

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

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

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

（4.1.18）式を変形して

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

（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

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

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。

$$\delta_H = \Delta x_1 + \Delta r_1 + (\ell_g - \ell) \cdot \theta_0 + \frac{(\ell_g - \ell)^3}{3 \cdot E \cdot I} \cdot F_0 + \frac{(\ell_g - \ell)}{G \cdot A_e} \cdot F_0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.1.25)$$

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

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

ここで，胴の断面性能は次式で求める。

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

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

b. 鉛直方向の固有周期

鉛直方向荷重F_V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，

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

$$\cdots\cdots (4.1.35)$$

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。

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

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

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

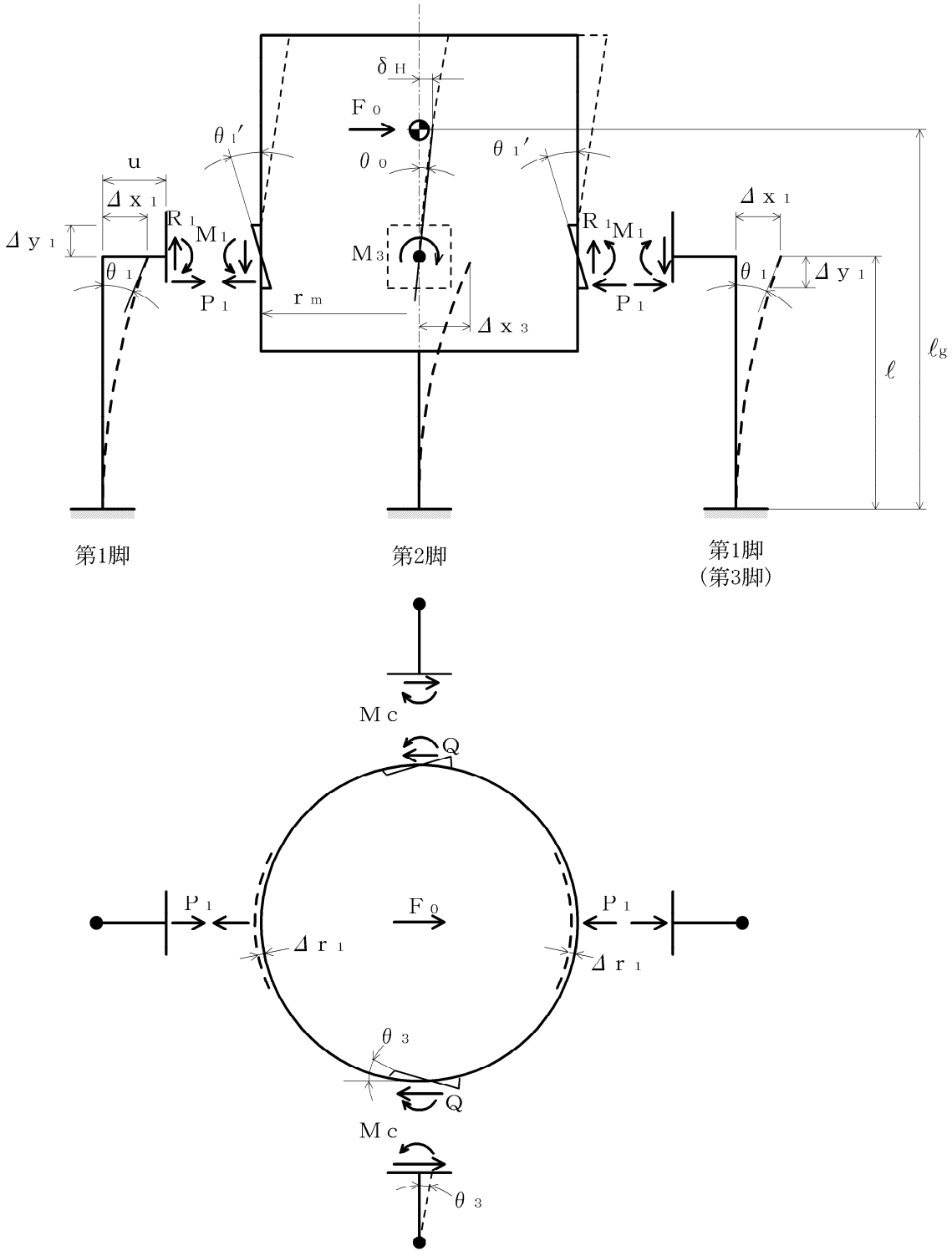


図 4-1　第 1 脚及び第 2 脚とも脚下端が固定されている場合の変形モード

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」及び「6.2 重大事故等対処設備としての評価結果」の機器要目に示す。

4.3　固有周期の計算結果

固有周期の評価結果を，表4-1に示す。計算結果より，剛であることを確認した。

表 4-1　固有周期（ｓ）

	水平方向	鉛直方向
逃がし安全弁自動減圧機能用 アキュムレータ		
逃がし安全弁逃がし弁機能用 アキュムレータ		

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)　アキュムレータは胴を 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

アキュムレータ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，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2　許容応力

アキュムレータの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 及び表 5-4 のとおりとする。

5.2.3　使用材料の許容応力評価条件

アキュムレータ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 5-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-6 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
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	・逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ ・逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ	S	クラス３容器*	$D+P_D+M_D+S_d$*	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：クラス３容器の支持構造物を含む。

表 5-2　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
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	・逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ	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	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_AS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 5-3　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
III_AS	S_yと 0.6・S_u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S_d又は基準地震動S_s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・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
IV_AS	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値		
V_AS （V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。）			基準地震動S_s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・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	

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 5-4　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（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
$Ⅲ_AS$	$1.5 \cdot f_t$
$Ⅳ_AS$	$1.5 \cdot f_t$ *
V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）	

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 5-5　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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SUS304	最高使用温度	171	113	150	413	－
脚	SS400 (厚さ≦16 mm)	周囲環境温度	171	－	201	373	－

表 5-6　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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SUS304	最高使用温度	171	113	150	413	－
脚	SS400 (厚さ≦16 mm)	周囲環境温度	171	－	201	373	－

5.3　設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 5-7～表 5-9 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S_s」による地震力は添付書類「Ⅴ 2 1-7 設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。

表 5-7　逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力（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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
	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
原子炉格納容器 EL. 27.432*	[redacted]		C_H＝0.88	C_V＝0.66	C_H＝1.61	C_V＝1.25

注記　＊：基準床レベルを示す。

表 5-8　逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの設計用地震力（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S_d又は静的震度		基準地震動S_s	
	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
原子炉格納容器 EL. 27.432*	[redacted]		C_H＝0.88	C_V＝0.66	C_H＝1.61	C_V＝1.25

注記　＊：基準床レベルを示す。

表 5-9　逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの設計用地震力（重大事故等対処設備）

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	
	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
原子炉格納容器 EL. 27.432*	[redacted]		－	－	C_H＝1.61	C_V＝1.25

注記　＊：基準床レベルを示す。

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

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

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

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

(2) 運転時質量及び鉛直方向地震による応力

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

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

(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

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

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

また，脚上端の傾き角と胴の局部傾き角は等しいから

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

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

ここで，

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

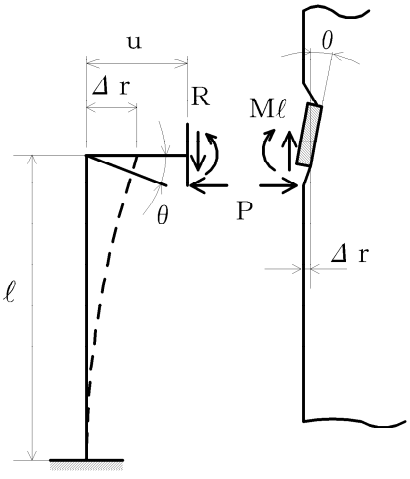


図 5-1 脚下端が固定されている場合の運転時質量による脚及び胴の変形

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，M_ℓを以下のように求める。

$$M_\ell = \left\{ \left(\frac{\ell^3}{12 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \frac{m_0 \cdot g \cdot u \cdot \ell}{4 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right\} \Big/ \left\{ \left(\frac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \frac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \frac{K_r}{r_m \cdot E} \right) \cdot \left(\frac{\ell}{E_s \cdot I_{st}} + \frac{K_\ell}{r_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E} \right) - \left(\frac{\ell^2}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \right)^2 \right\} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.9)$$

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

$$P = \frac{\dfrac{\dfrac{m_0 \cdot g}{4} \cdot u - M_\ell}{2 \cdot E_s \cdot I_{st}} \cdot \ell^2}{\dfrac{\ell^3}{3 \cdot E_s \cdot I_{st}} + \dfrac{\ell}{G_s \cdot A_{sr}} + \dfrac{K_r}{r_m \cdot E}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.10)$$

となる。

鉛直方向曲げモーメントM_ℓ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。

$$r_m = (D_i + t)/2 \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.11)$$

$$\gamma = r_m / t \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.12)$$

$$\beta_1 = C_1 / r_m \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.13)$$

$$\beta_2 = C_2 / r_m \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.14)$$

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

ただし，β≦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。

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

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

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

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

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

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

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

ただし，$\beta \leqq 0.5$

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

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

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

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

(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。

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

(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。

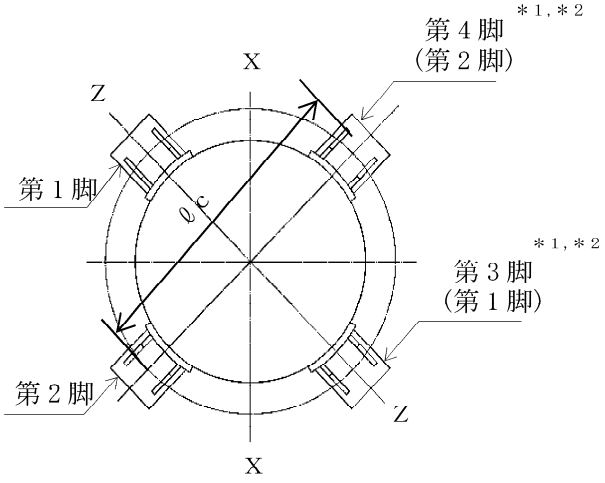


図５－２　水平地震の方向

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。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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

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

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

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

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

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

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

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

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

周方向せん断力Qによるせん断応力は

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

鉛直方向せん断力R_1によるせん断応力は

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

ねじりモーメントM_3により生じる胴のせん断応力は

$$\tau_6=\tau_3/\sqrt{2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.48)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(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。

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

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

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

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。

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

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

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。

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

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

せん断応力は次による。

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

(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】

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

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

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

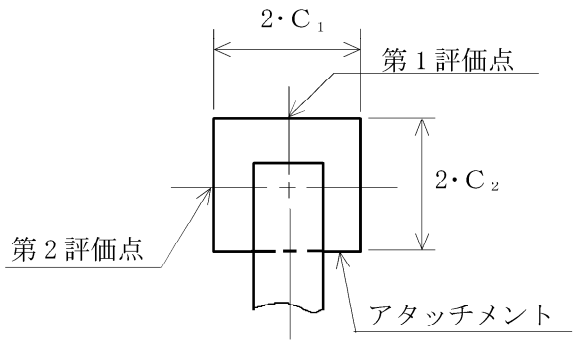


図5－3　胴の評価点

【絶対値和】

(a)　第1脚付け根部

第1評価点については

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

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

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

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z2}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 9} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.73)$$

$$\sigma_{xz2}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x4}+\sigma_{x5}+\sigma_{x61}+\sigma_{x7}+\sigma_{x9} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.74)$$

$$\sigma_{12}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{\phi z2}+\sigma_{xz2})+\sqrt{(\sigma_{\phi z2}-\sigma_{xz2})^2+4\cdot(\tau_{\ell 1}+\tau_{\ell 2}+\tau_{\ell 3})^2}\right\} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.75)$$

(b)　第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z3}=\sigma_{\phi 1}+\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 3}+\sigma_{\phi 4}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.76)$$

$$\sigma_{xz3}=\sigma_{x1}+\sigma_{x2}+\sigma_{x3}+\sigma_{x4}+\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.77)$$

$$\sigma_{13}=\frac{1}{2}\cdot\left\{(\sigma_{\phi z3}+\sigma_{xz3})+\sqrt{(\sigma_{\phi z3}-\sigma_{xz3})^2+4\cdot(\tau_{c1}+\tau_{3})^2}\right\} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.78)$$

第2評価点については

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

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

$$\sigma_{14} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\sigma_{\phi z 4} + \sigma_{x z 4} \right) + \sqrt{\left(\sigma_{\phi z 4} - \sigma_{x z 4} \right)^2 + 4 \cdot \left(\tau_{\ell 1} + \tau_{3} + \tau_{\ell 3} \right)^2} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.81)$$

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

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

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

$$\sigma_{15} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\sigma_{\phi x 1} + \sigma_{x x 1} \right) + \sqrt{\left(\sigma_{\phi x 1} - \sigma_{x x 1} \right)^2 + 4 \cdot \left(\tau_{c 4} + \tau_{6} \right)^2} \right\} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.84)$$

第2評価点については

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

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

$$\sigma_{16} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left(\sigma_{\phi x 2} + \sigma_{x x 2} \right) + \sqrt{\left(\sigma_{\phi x 2} - \sigma_{x x 2} \right)^2 + 4 \cdot \left(\tau_{\ell 1} + \tau_{\ell 5} + \tau_{6} + \tau_{\ell 3} \right)^2} \right\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.87)$$

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。

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

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

$$\sigma_{\phi z5}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62}+\sigma_{\phi 71}+\sigma_{\phi 72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.89)$$

$$\sigma_{xz5}=\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9}+\sigma_{x10}+\sigma_{x11}+\sigma_{x5}+\sigma_{x61}+\sigma_{x62}+\sigma_{x71}+\sigma_{x72} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.90)$$

$$\sigma_{21}=\sigma_{\phi z5}+\sigma_{xz5}+\sqrt{(\sigma_{\phi z5}-\sigma_{xz5})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.91)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z6}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 61}+\sigma_{\phi 62} \quad \cdots\cdots \quad (5.4.1.1.92)$$

$$\sigma_{xz6}=\sigma_{x7}+\sigma_{x9}+\sigma_{x11}+\sigma_{x5}+\sigma_{x61}+\sigma_{x62} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.93)$$

$$\sigma_{22}=\sigma_{\phi z6}+\sigma_{xz6}+\sqrt{(\sigma_{\phi z6}-\sigma_{xz6})^2+4(\tau_{\ell 2}+\tau_{\ell 3})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.94)$$

(b)　第2脚付け根部

第1評価点については

$$\sigma_{\phi z7}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.95)$$

$$\sigma_{xz7}=\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9}+\sigma_{x10}+\sigma_{x11} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.96)$$

$$\sigma_{23}=\sigma_{\phi z7}+\sigma_{xz7}+\sqrt{(\sigma_{\phi z7}-\sigma_{xz7})^2+4(\tau_{c1}+\tau_{3})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.97)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi z8}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 81}+\sigma_{\phi 82} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.98)$$

$$\sigma_{xz8}=\sigma_{x7}+\sigma_{x9}+\sigma_{x11}+\sigma_{x81}+\sigma_{x82} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.99)$$

$$\sigma_{24}=\sigma_{\phi z8}+\sigma_{xz8}+\sqrt{(\sigma_{\phi z8}-\sigma_{xz8})^2+4(\tau_{3}+\tau_{\ell 3})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.1.100)$$

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

$$\sigma_{\phi x3}=\sigma_{\phi 7}+\sigma_{\phi 8}+\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 10}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 101}+\sigma_{\phi 92}+\sigma_{\phi 102} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.101)$$

$$\sigma_{xx3}-\sigma_{x7}+\sigma_{x8}+\sigma_{x9}+\sigma_{x10}+\sigma_{x11}+\sigma_{x5}+\sigma_{x91}+|\sigma_{x101}|+\sigma_{x92}|+\sigma_{x102} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.102)$$

$$\sigma_{25}=\sigma_{\phi x3}+\sigma_{xx3}+\sqrt{(\sigma_{\phi x3}-\sigma_{xx3})^2+4(\tau_{c4}+\tau_{6})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.103)$$

第2評価点については

$$\sigma_{\phi x4}=\sigma_{\phi 9}+\sigma_{\phi 11}+\sigma_{\phi 91}+\sigma_{\phi 92}+\sigma_{\phi 111}+\sigma_{\phi 112} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.104)$$

$$\sigma_{xx4}=\sigma_{x7}+\sigma_{x9}+\sigma_{x11}+\sigma_{x5}+\sigma_{x91}+\sigma_{x92}+\sigma_{x111}+\sigma_{x112} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.105)$$

$$\sigma_{26}=\sigma_{\phi x4}+\sigma_{xx4}+\sqrt{(\sigma_{\phi x4}-\sigma_{xx4})^2+4(\tau_{\ell 5}+\tau_{6}+\tau_{\ell 3})^2} \quad \cdots\cdots (5.4.1.1.106)$$

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。

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

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

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

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

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

(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

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

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

(4) X方向地震による応力

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

$$\sigma_{s9}=\frac{\mathrm{Max}\ (\left|R_1\cdot u-M_1-P_1\cdot \ell\right|,\ \left|R_1\cdot u-M_1\right|)}{\sqrt{2}\cdot Z_{st}} \quad \cdots\cdots (5.4.1.2.13)$$

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

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

(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

$$\sigma_{sz1}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s5}+\sigma_{s6})^2+3\cdot(\tau_{s1}+\tau_{s2}+\tau_{s3})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.16)$$

第2脚については

$$\sigma_{sz2}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s7})^2+3\cdot(\tau_{s1}+\tau_{s2}+\tau_{s4})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.17)$$

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】

$$\sigma_{sx}=\sqrt{(\sigma_{s1}+\sigma_{s2}+\sigma_{s3}+\sigma_{s4}+\sigma_{s8}+\sigma_{s9}+\sigma_{s10})^2+3\cdot(\tau_{s1}+\tau_{s2}+\tau_{s5})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5.4.1.2.18)$$

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。

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

5.5　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】及び【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ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。

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

(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)

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

a.　f_cは次による。

$\lambda \leqq \Lambda$のとき

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

$\lambda > \Lambda$のとき

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

ここで，

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

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

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

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

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

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

(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

6.1.1　逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ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。

6.1.2　逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ

逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ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。

6.2　重大事故等対処設備としての評価結果

6.2.1　逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ

逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ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。

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ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 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s		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			
逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 EL. 27.432 *	[redacted]		C_H=0.88	C_V=0.66	C_H=1.61	C_V=1.25	2.28	171	[redacted]

注記 *：基準床レベルを示す。

1.2 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)	K_C	K_ℓ	K_r
[redacted]	550	12.0	184000 *1	193000 *2	70800 *1	74200 *2	645	689	860	411	141	968

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)
75	90	9.890×10^4	1.880×10^6	2.600×10^5	375.0	1.192×10^3	420.8	666.7	489.0	536.4	426.4	2.347×10^3	3.760×10^4	7.520×10^3

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}
—	—	[redacted]									
—	—										

J_S (mm^4)	h (mm)
1.760×10^4	100

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)
150 *1	413 *1	113 *1	201 *2	373 *2	201 *2	241 *2

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。

1.3 計算数値

1.3.1 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 S_d 又は静的震度					基準地震動 S_s				
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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	—	$\sigma_0=$ 54	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	—	$\sigma_0=$ 54
軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{Xi}=$ 0	$\sigma_{Xb}=$ 1		$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{Xi}=$ 1	$\sigma_{Xb}=$ 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 S_d 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	$\sigma_{\phi 71}=$ 1	—	$\sigma_{11}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	$\sigma_{X8}=$ 0	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X61}=$ 1	$\sigma_{X71}=$ 1	—	
			せん断	—	—			—			—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	—	—	$\sigma_{12}=$ 54
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X61}=$ 1	—	—	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_{f2}=$ 1				
	第二脚側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	—	$\sigma_{13}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	$\sigma_{X8}=$ 0	$\sigma_{X9}=$ 0	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_3=$ 1		$\tau_{c1}=$ 1		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=$ 1	$\sigma_{14}=$ 54
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	—	$\sigma_{X9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{X81}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_3=$ 1				
X方向		第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	$\sigma_{\phi 101}=$ 1	—	$\sigma_{15}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	$\sigma_{X8}=$ 0	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X91}=$ 1	$\sigma_{X101}=$ 1	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_6=$ 1		$\tau_{c4}=$ 1		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	—	$\sigma_{\phi 111}=$ 1	$\sigma_{16}=$ 54
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X91}=$ 1	—	$\sigma_{X111}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_6=$ 1		$\tau_{f5}=$ 1		

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動S_s										
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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	$\sigma_{\phi 71}=$ 1	—	$\sigma_{11}=$ 56
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	—	—	$\sigma_{12}=$ 54
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	—	$\sigma_{13}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=$ 1	$\sigma_{14}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	$\sigma_{\phi 101}=$ 1	—	$\sigma_{15}=$ 56
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	$\sigma_{X8}=$ 1	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X91}=$ 1	$\sigma_{X101}=$ 1	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_6=$ 1		$\tau_{c4}=$ 1		
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	—	$\sigma_{\phi 111}=$ 1	$\sigma_{16}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 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 S_d 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	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=1$	—		$\sigma_{21}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=1$ $\sigma_{X72}=1$	—		
			せん断	—			—					
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	—	—		$\sigma_{22}=3$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	—	—		
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_{f2}=1$					
	第一脚側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	—		$\sigma_{23}=4$
			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	$\tau_{f3}=1$			$\tau_3=1$					
X方向		第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$ $\sigma_{\phi 102}=1$	—		$\sigma_{25}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=1$ $\sigma_{X102}=1$	—		
			せん断	—			$\tau_6=1$		$\tau_{c4}=1$			
		第一評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	—	$\sigma_{\phi 111}=1$ $\sigma_{\phi 112}=2$		$\sigma_{26}=7$
			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	$\tau_{f3}=1$			$\tau_6=1$		$\tau_{f5}=1$			

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動 S_s								
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	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=2$	—	$\sigma_{21}=11$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=1$ $\sigma_{X72}=2$	—	
			せん断	—			—				
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	—	—	$\sigma_{22}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	—	—	
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_{f2}=1$				
	第一脚側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	—	$\sigma_{23}=7$
			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	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=1$ $\sigma_{\phi 82}=5$	$\sigma_{24}=13$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	—	—	—	$\sigma_{X81}=1$ $\sigma_{X82}=2$	
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_3=2$				
X方向		第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$ $\sigma_{\phi 102}=1$	—	$\sigma_{25}=11$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=1$ $\sigma_{X102}=2$	—	
			せん断	—			$\tau_6=1$		$\tau_{c4}=1$		
		第一評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	—	$\sigma_{\phi 111}=1$ $\sigma_{\phi 112}=4$	$\sigma_{26}=12$
			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	$\tau_{f3}=1$			$\tau_6=1$		$\tau_{f5}=1$		

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	$\sigma_{S1}=$ 1	$\sigma_{S2}=$ 1	$\tau_{S1}=$ 0	$\sigma_{S3}=$ 1	$\sigma_{S4}=$ 1	$\tau_{S2}=$ 0	$\sigma_{S5}=$ 2	$\sigma_{S6}=$ 10		$\tau_{S3}=$ 1	$\sigma_{sz1}=$ 14
		第２脚側	$\sigma_{S1}=$ 1	$\sigma_{S2}=$ 1	$\tau_{S1}=$ 0	$\sigma_{S3}=$ 1	$\sigma_{S4}=$ 1	$\tau_{S2}=$ 0	—	$\sigma_{S7}=$ 10		$\tau_{S4}=$ 3	$\sigma_{sz2}=$ 13
	Ｘ方向		$\sigma_{S1}=$ 1	$\sigma_{S2}=$ 1	$\tau_{S1}=$ 0	$\sigma_{S3}=$ 1	$\sigma_{S4}=$ 1	$\tau_{S2}=$ 0	$\sigma_{S8}=$ 2	$\sigma_{S9}=$ 7	$\sigma_{S10}=$ 7	$\tau_{S5}=$ 3	$\sigma_{sx}=$ 18
基準地震動Ｓｓ	Ｚ方向	第１脚側	$\sigma_{S1}=$ 1	$\sigma_{S2}=$ 1	$\tau_{S1}=$ 0	$\sigma_{S3}=$ 1	$\sigma_{S4}=$ 1	$\tau_{S2}=$ 0	$\sigma_{S5}=$ 3	$\sigma_{S6}=$ 17		$\tau_{S3}=$ 1	$\sigma_{sz1}=$ 24
		第２脚側	$\sigma_{S1}=$ 1	$\sigma_{S2}=$ 1	$\tau_{S1}=$ 0	$\sigma_{S3}=$ 1	$\sigma_{S4}=$ 1	$\tau_{S2}=$ 0	—	$\sigma_{S7}=$ 18		$\tau_{S4}=$ 5	$\sigma_{sz2}=$ 23
	Ｘ方向		$\sigma_{S1}=$ 1	$\sigma_{S2}=$ 1	$\tau_{S1}=$ 0	$\sigma_{S3}=$ 1	$\sigma_{S4}=$ 1	$\tau_{S2}=$ 0	$\sigma_{S8}=$ 3	$\sigma_{S9}=$ 12	$\sigma_{S10}=$ 13	$\tau_{S5}=$ 4	$\sigma_{sx}=$ 31

1.4 結　論

1.4.1 固有周期

（単位：s）

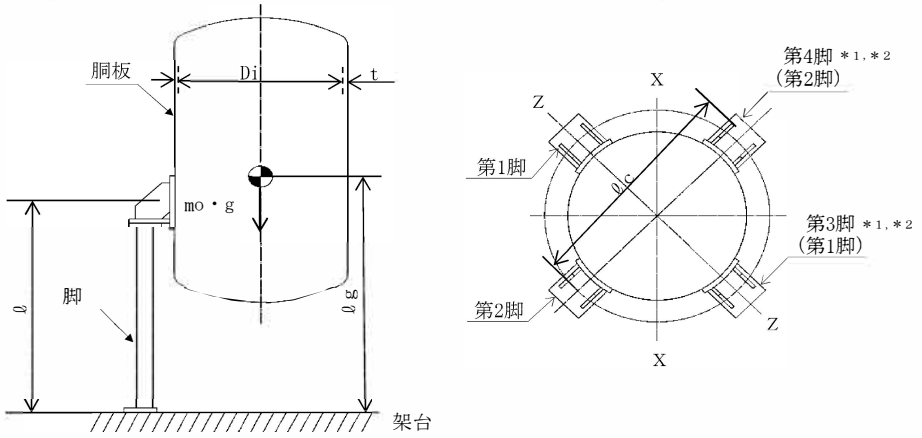
方　　向	固　有　周　期
水　平　方　向	
鉛　直　方　向	

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	許　容　応　力	算　出　応　力	許　容　応　力
胴　　板	SUS304	一次一般膜	σ_0＝　54	S_a＝　150	σ_0＝　54	S_a＝　248
		一　　次	σ_1＝　55	S_a＝　225	σ_1＝　56	S_a＝　372
		一次＋二次	σ_2＝　7	S_a＝　300	σ_2＝　13	S_a＝　300
脚	SS400	組　合　せ	σ_S＝　18	f_t＝　201	σ_S＝　31	f_t＝　241
		圧縮と曲げの組合せ	$\frac{\bullet_{sr}}{f_{br}}+\frac{\bullet_{st}}{f_{bt}}+\frac{\bullet_{sc}}{f_c}\leqq 1$		$\frac{\bullet_{sr}}{f_{br}}+\frac{\bullet_{st}}{f_{bt}}+\frac{\bullet_{sc}}{f_c}\leqq 1$	
		（座屈の評価）	0.09		0.13	

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。

【逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設

2.1 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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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			
逃がし安全弁 逃がし弁機能用 アキュムレータ	S	原子炉格納容器 EL. 27.432 *	[redacted]		C_H=0.88	C_V=0.66	C_H=1.61	C_V=1.25	1.45	171	[redacted]

注記 *：基準床レベルを示す。

2.2 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)	K_C	K_ℓ	K_r
[redacted]	400	12.0	184000 *1	193000 *2	70800 *1	74200 *2	577	534	600	199	83.4	615

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)
50	75	4.506×10^4	7.530×10^5	1.220×10^5	280.0	881.8	307.5	501.2	366.3	396.6	314.1	1.670×10^3	2.010×10^4	4.470×10^3

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}
—	—	[redacted]									
—	—										

J_S (mm^4)	h (mm)
1.169×10^4	75

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)
*1 150	*1 413	*1 113	*2 201	*2 373	*2 201	*2 241

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。

2.3 計算数値

2.3.1 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S_d又は静的震度					基準地震動S_s				
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	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	—	$\sigma_0=$ 25	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	—	$\sigma_0=$ 25
軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X7}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0		$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X7}=$ 1	$\sigma_{X5}=$ 0	
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S_d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	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	$\sigma_{\phi 71}=$ 1	—	$\sigma_{11}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	$\sigma_{X8}=$ 0	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0	$\sigma_{X61}=$ 1	$\sigma_{X71}=$ 0	—	
			せん断	—	—			—			—				
	第一脚側 第二評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	—	—	$\sigma_{12}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X6}=$ 0	$\sigma_{X61}=$ 1	—	—	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 0			$\tau_{f2}=$ 1				
	第二脚側 第一評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	—	$\sigma_{13}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	$\sigma_{X8}=$ 0	$\sigma_{X9}=$ 0	—	—	—	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_3=$ 1		$\tau_{c1}=$ 1		
	第二脚側 第二評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=$ 1	$\sigma_{14}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	—	$\sigma_{X9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{X81}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 0			$\tau_3=$ 1				
X方向	第一評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 0	$\sigma_{\phi 101}=$ 1	—	$\sigma_{15}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	$\sigma_{X8}=$ 0	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0	$\sigma_{X91}=$ 0	$\sigma_{X101}=$ 0	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_6=$ 1		$\tau_{c4}=$ 1		
	第二評価点		周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 111}=$ 1	$\sigma_{16}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 0	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0	$\sigma_{X91}=$ 0	—	$\sigma_{X111}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 0			$\tau_6=$ 1		$\tau_{f5}=$ 1		

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動S_s											
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	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	$\sigma_{\phi 71}=$ 1	—	$\sigma_{11}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	$\sigma_{X8}=$ 1	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0	$\sigma_{X61}=$ 1	$\sigma_{X71}=$ 1	—	
			せん断	—	—			—			—				
		第二評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	—	—	$\sigma_{12}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0	$\sigma_{X61}=$ 1	—	—	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_{f2}=$ 1				
	第一脚側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	—	$\sigma_{13}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=$ 1	$\sigma_{14}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	—	$\sigma_{X9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{X81}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_3=$ 2				
X方向		第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	$\sigma_{\phi 101}=$ 1	—	$\sigma_{15}=$ 27
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	$\sigma_{X8}=$ 1	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0	$\sigma_{X91}=$ 1	$\sigma_{X101}=$ 1	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_6=$ 2		$\tau_{c4}=$ 1		
		第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 25	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	—	$\sigma_{\phi 111}=$ 1	$\sigma_{16}=$ 26
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 13	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 0	$\sigma_{X91}=$ 1	—	$\sigma_{X111}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_6=$ 2		$\tau_{f5}=$ 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 S_d 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	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=1$	—		$\sigma_{21}=3$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=0$ $\sigma_{X72}=1$	—		
			せん断	—			—					
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	—	—		$\sigma_{22}=2$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	—	—		
			せん断	$\tau_{f3}=0$			$\tau_{f2}=1$					
	第一脚側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	—		$\sigma_{23}=4$
			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	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=1$ $\sigma_{\phi 82}=2$		$\sigma_{24}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	—	—	—	$\sigma_{X81}=1$ $\sigma_{X82}=1$		
			せん断	$\tau_{f3}=0$			$\tau_3=1$					
X方向		第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=0$ $\sigma_{\phi 92}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$ $\sigma_{\phi 102}=1$	—		$\sigma_{25}=4$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	$\sigma_{X8}=0$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=0$ $\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=0$ $\sigma_{X102}=1$	—		
			せん断	—			$\tau_6=1$		$\tau_{c4}=1$			
		第一評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=0$ $\sigma_{\phi 92}=1$	—	$\sigma_{\phi 111}=1$ $\sigma_{\phi 112}=2$		$\sigma_{26}=5$
			軸方向	$\sigma_{X7}=0$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=0$ $\sigma_{X92}=1$	—	$\sigma_{X111}=1$ $\sigma_{X112}=1$		
			せん断	$\tau_{f3}=0$			$\tau_6=1$		$\tau_{f5}=1$			

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動S_s							
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	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=1$	—	$\sigma_{21}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=1$ $\sigma_{X72}=1$	—	
			せん断	—			—				
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	—	—	$\sigma_{22}=3$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	—	—	
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_{f2}=1$				
	第一脚側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	—	$\sigma_{23}=6$
			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	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=1$ $\sigma_{\phi 82}=4$	$\sigma_{24}=11$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	—	—	—	$\sigma_{X81}=1$ $\sigma_{X82}=2$	
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_3=2$				
X方向		第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$ $\sigma_{\phi 102}=1$	—	$\sigma_{25}=7$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=1$ $\sigma_{X102}=1$	—	
			せん断	—			$\tau_6=2$		$\tau_{c4}=1$		
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	—	$\sigma_{\phi 111}=1$ $\sigma_{\phi 112}=3$	$\sigma_{26}=9$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=0$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	—	$\sigma_{X111}=1$ $\sigma_{X112}=1$	
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_6=2$		$\tau_{f5}=1$		

2.3.2 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}＝ 1	σ_{S6}＝ 8		τ_{S3}＝ 1	σ_{sz1}＝ 11
		第２脚側	σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	—	σ_{S7}＝ 9		τ_{S4}＝ 2	σ_{sz2}＝ 12
	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}＝ 6	σ_{S10}＝ 7	τ_{S5}＝ 2	σ_{sx}＝ 15
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}＝ 15		τ_{S3}＝ 1	σ_{sz1}＝ 19
		第２脚側	σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	—	σ_{S7}＝ 17		τ_{S4}＝ 4	σ_{sz2}＝ 20
	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}＝ 11	σ_{S10}＝ 12	τ_{S5}＝ 3	σ_{sx}＝ 27

2.4 結 論

2.4.1 固有周期

（単位：s）

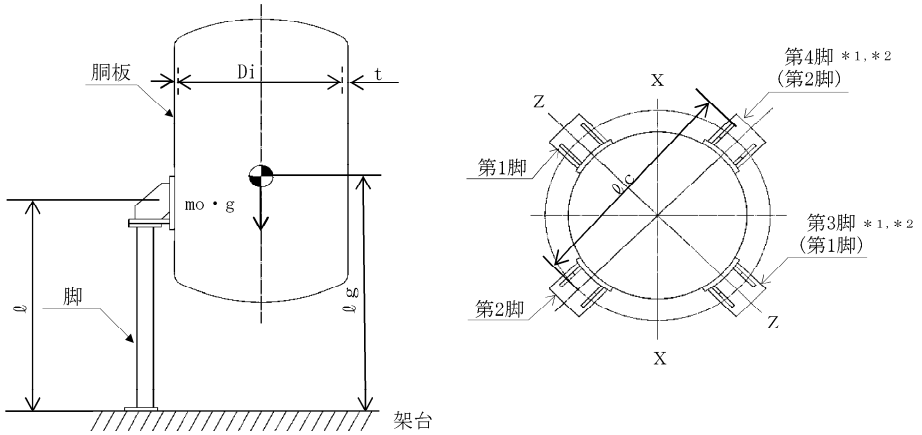
方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

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	SUS304	一次一般膜	σ_0 = 25	S_a = 150	σ_0 = 25	S_a = 248
		一次	σ_1 = 26	S_a = 225	σ_1 = 27	S_a = 372
		一次＋二次	σ_2 = 6	S_a = 300	σ_2 = 11	S_a = 300
脚	SS400	組合せ	σ_S = 15	f_t = 201	σ_S = 27	f_t = 241
		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）	0.08		0.11	

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。

【逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータの耐震性についての計算結果】

3. 重大事故等対処設備

3.1 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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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			
逃がし安全弁 自動減圧機能用 アキュムレータ	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉格納容器 EL. 27.432 *	[redacted]		—	—	C_H=1.61	C_V=1.25	2.28	171	[redacted]

注記 *：基準床レベルを示す。

3.2 機 器 要 目

m_o (kg)	D_i (mm)	t (mm)	E (MPa)	E_S (MPa)	G (MPa)	G_S (MPa)	ℓ (mm)	ℓ_c (mm)	ℓ_g (mm)	K_C	K_ℓ	K_r
[redacted]	550	12.0	*1 184000	*2 193000	*1 70800	*2 74200	645	689	860	411	141	968

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)
75	90	9.890×10^4	1.880×10^6	2.600×10^5	375.0	1.192×10^3	420.8	666.7	489.0	536.4	426.4	2.347×10^3	3.760×10^4	7.520×10^3

*3 K_{11}	*3 K_{12}	*3 K_{21}	*3 K_{22}	$K_{\ell1}$	$K_{\ell2}$	K_{C1}	K_{C2}	$C_{\ell1}$	$C_{\ell2}$	C_{C1}	C_{C2}
—	—	[redacted]									
—	—										

J_S (mm^4)	h (mm)
1.760×10^4	100

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)
*1 150	*1 413	*1 113	*2 201	*2 373	—	*2 241

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。

3.3 計算数値

3.3.1 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S_d又は静的震度					基準地震動S_s				
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	—	—	—	—	—	$\sigma_{\phi 1}$= 54	—	—	—	σ_0= 54
軸方向	—	—	—	—		σ_{X1}= 27	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S_d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	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			せん断	—	—			—			—				
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			せん断	—	—			—			—				
	第二脚側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			せん断	—	—			—			—				
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			せん断	—	—			—			—				
X方向		第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			せん断	—	—			—			—				
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
			せん断	—	—			—			—				

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動S_s											
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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	$\sigma_{\phi 71}=$ 1	—	$\sigma_{11}=$ 56
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 61}=$ 1	—	—	$\sigma_{12}=$ 54
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X61}=$ 1	—	—	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_{f2}=$ 1				
	第一脚側	第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	—	$\sigma_{13}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 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	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=$ 1	$\sigma_{14}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	—	$\sigma_{X9}=$ 0	—	—	—	$\sigma_{X81}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_3=$ 2				
X方向		第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	$\sigma_{\phi 3}=$ 1	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 8}=$ 1	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	$\sigma_{\phi 101}=$ 1	—	$\sigma_{15}=$ 56
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	$\sigma_{X3}=$ 1	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	$\sigma_{X8}=$ 1	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X91}=$ 1	$\sigma_{X101}=$ 1	—	
			せん断	—	—			—			$\tau_6=$ 1		$\tau_{c4}=$ 1		
		第一評価点	周方向	$\sigma_{\phi 1}=$ 54	—	—	$\sigma_{\phi 4}=$ 0	—	—	$\sigma_{\phi 9}=$ 0	—	$\sigma_{\phi 91}=$ 1	—	$\sigma_{\phi 111}=$ 1	$\sigma_{16}=$ 55
			軸方向	$\sigma_{X1}=$ 27	$\sigma_{X2}=$ 1	—	$\sigma_{X4}=$ 0	$\sigma_{X7}=$ 1	—	$\sigma_{X9}=$ 0	$\sigma_{X5}=$ 1	$\sigma_{X91}=$ 1	—	$\sigma_{X111}=$ 1	
			せん断	—	$\tau_{f1}=$ 1			$\tau_{f3}=$ 1			$\tau_6=$ 1		$\tau_{f5}=$ 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S_d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	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				
	第一脚側	第一評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—		—		
		第二評価点	周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—				
X方向	第一評価点		周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—		—		
	第一評価点		周方向	—	—	—	—	—	—	—	—
			軸方向	—	—	—	—	—	—	—	
			せん断	—			—		—		

（単位：MPa）

地震力の種類				基準地震動 S_s								
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	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	$\sigma_{\phi 71}=1$ $\sigma_{\phi 72}=2$	—		$\sigma_{21}=11$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	$\sigma_{X71}=1$ $\sigma_{X72}=2$	—		
			せん断	—			—					
		第二評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 61}=1$ $\sigma_{\phi 62}=1$	—	—		$\sigma_{22}=6$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X61}=1$ $\sigma_{X62}=1$	—	—		
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_{f2}=1$					
	第一脚側	第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	—		$\sigma_{23}=7$
			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	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	—	—	$\sigma_{\phi 81}=1$ $\sigma_{\phi 82}=5$		$\sigma_{24}=13$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	—	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	—	—	—	$\sigma_{X81}=1$ $\sigma_{X82}=2$		
			せん断	$\tau_{f3}=1$			$\tau_3=2$					
X方向		第一評価点	周方向	—	$\sigma_{\phi 8}=1$ $\sigma_{\phi 10}=1$	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	$\sigma_{\phi 101}=1$ $\sigma_{\phi 102}=1$	—		$\sigma_{25}=11$
			軸方向	$\sigma_{X7}=1$	$\sigma_{X8}=1$ $\sigma_{X10}=1$	$\sigma_{X9}=0$ $\sigma_{X11}=0$	$\sigma_{X5}=1$	$\sigma_{X91}=1$ $\sigma_{X92}=1$	$\sigma_{X101}=1$ $\sigma_{X102}=2$	—		
			せん断	—			$\tau_6=1$		$\tau_{c4}=1$			
		第一評価点	周方向	—	—	$\sigma_{\phi 9}=0$ $\sigma_{\phi 11}=0$	—	$\sigma_{\phi 91}=1$ $\sigma_{\phi 92}=1$	—	$\sigma_{\phi 111}=1$ $\sigma_{\phi 112}=4$		$\sigma_{26}=12$
			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	$\tau_{f3}=1$			$\tau_6=1$		$\tau_{f5}=1$			

3.3.2 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	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
		第２脚側	—	—	—	—	—	—	—	—		—	—
	Ｘ方向		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
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}＝ 3	σ_{S6}＝ 17		τ_{S3}＝ 1	σ_{sz1}＝ 24
		第２脚側	σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	—	σ_{S7}＝ 18		τ_{S4}＝ 5	σ_{sz2}＝ 23
	Ｘ方向		σ_{S1}＝ 1	σ_{S2}＝ 1	τ_{S1}＝ 0	σ_{S3}＝ 1	σ_{S4}＝ 1	τ_{S2}＝ 0	σ_{S8}＝ 3	σ_{S9}＝ 12	σ_{S10}＝ 13	τ_{S5}＝ 4	σ_{sx}＝ 31

3.4 結　論

3.4.1 固有周期

（単位：s）

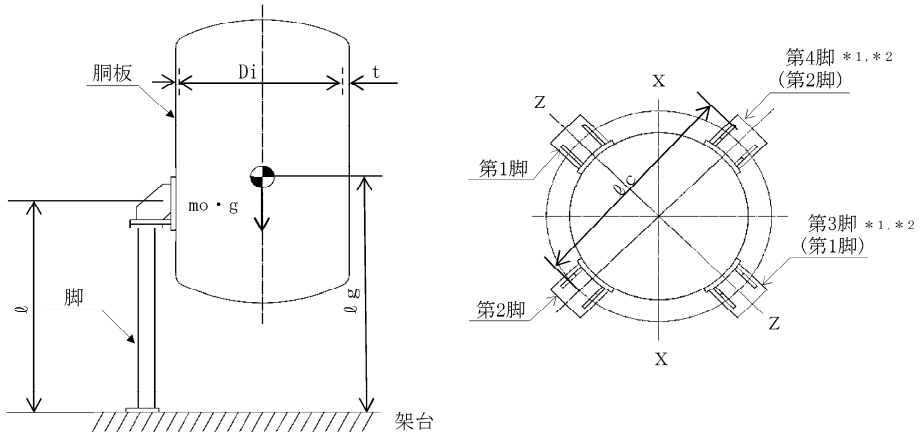
方　　向	固　有　周　期
水　平　方　向	[redacted]
鉛　直　方　向	

3.4.2 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	SUS304	一次一般膜	—	—	σ_0 = 54	S_a = 248
		一　　次	—	—	σ_1 = 56	S_a = 372
		一次＋二次	—	—	σ_2 = 13	S_a = 300
脚	SS400	組　合　せ	—	—	σ_S = 31	f_t = 241
		圧縮と曲げの組合せ	—		$\frac{\sigma_{sr}}{f_{br}} + \frac{\sigma_{st}}{f_{bt}} + \frac{\sigma_{sc}}{f_c} \leq 1$	
		（座屈の評価）	—		0.13	

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.

Ⅴ-2-5-3-1-2　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 ····· 8
3.　計算条件 ····· 107
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 107
3.2　設計条件 ····· 110
3.3　材料及び許容応力 ····· 145
3.4　設計用地震力 ····· 146
4.　解析結果及び評価 ····· 147
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 147
4.2　評価結果 ····· 165
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 165
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 168
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 169
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 170

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」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　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。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全５モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

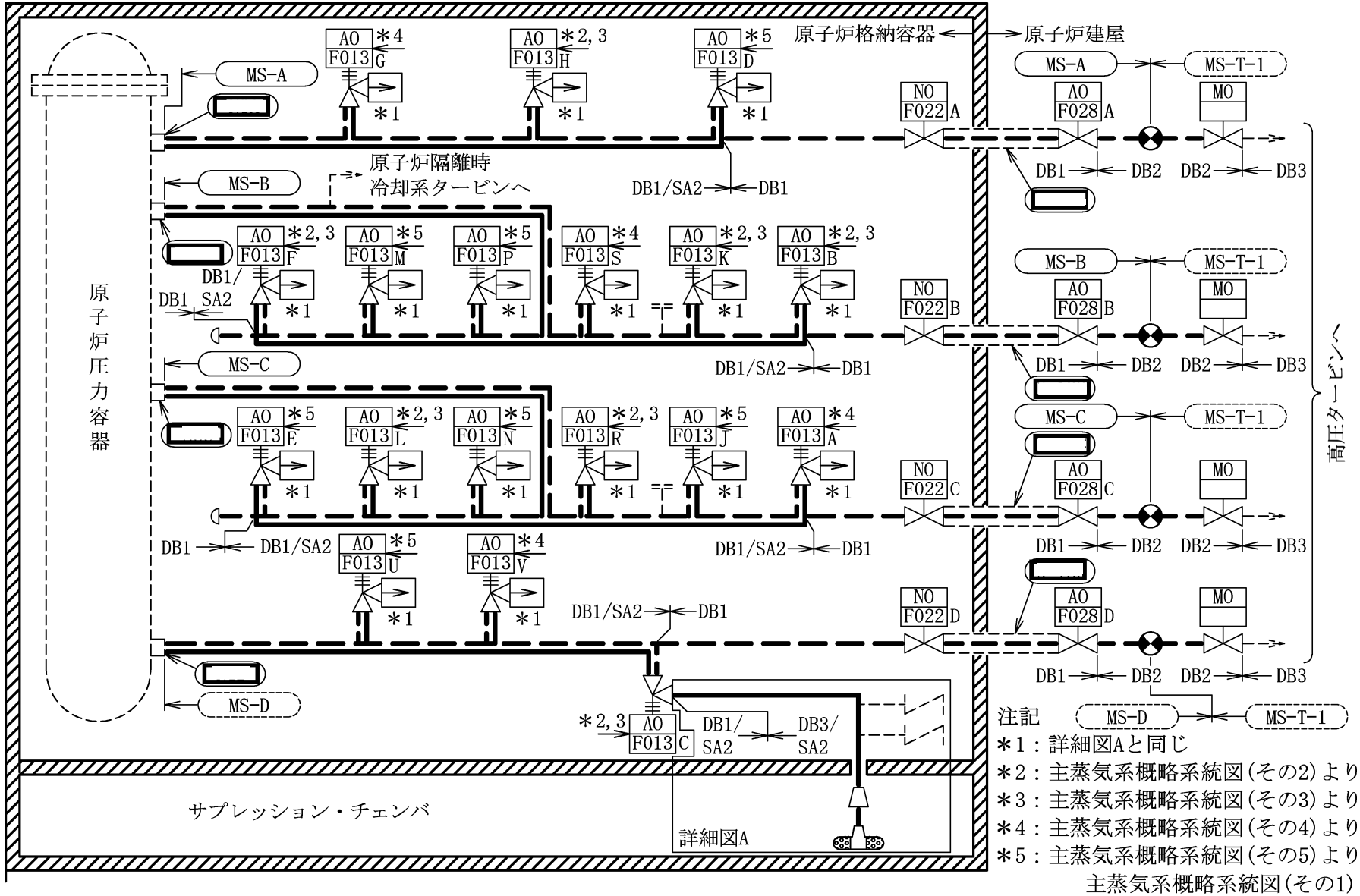
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

概略系統図記号凡例

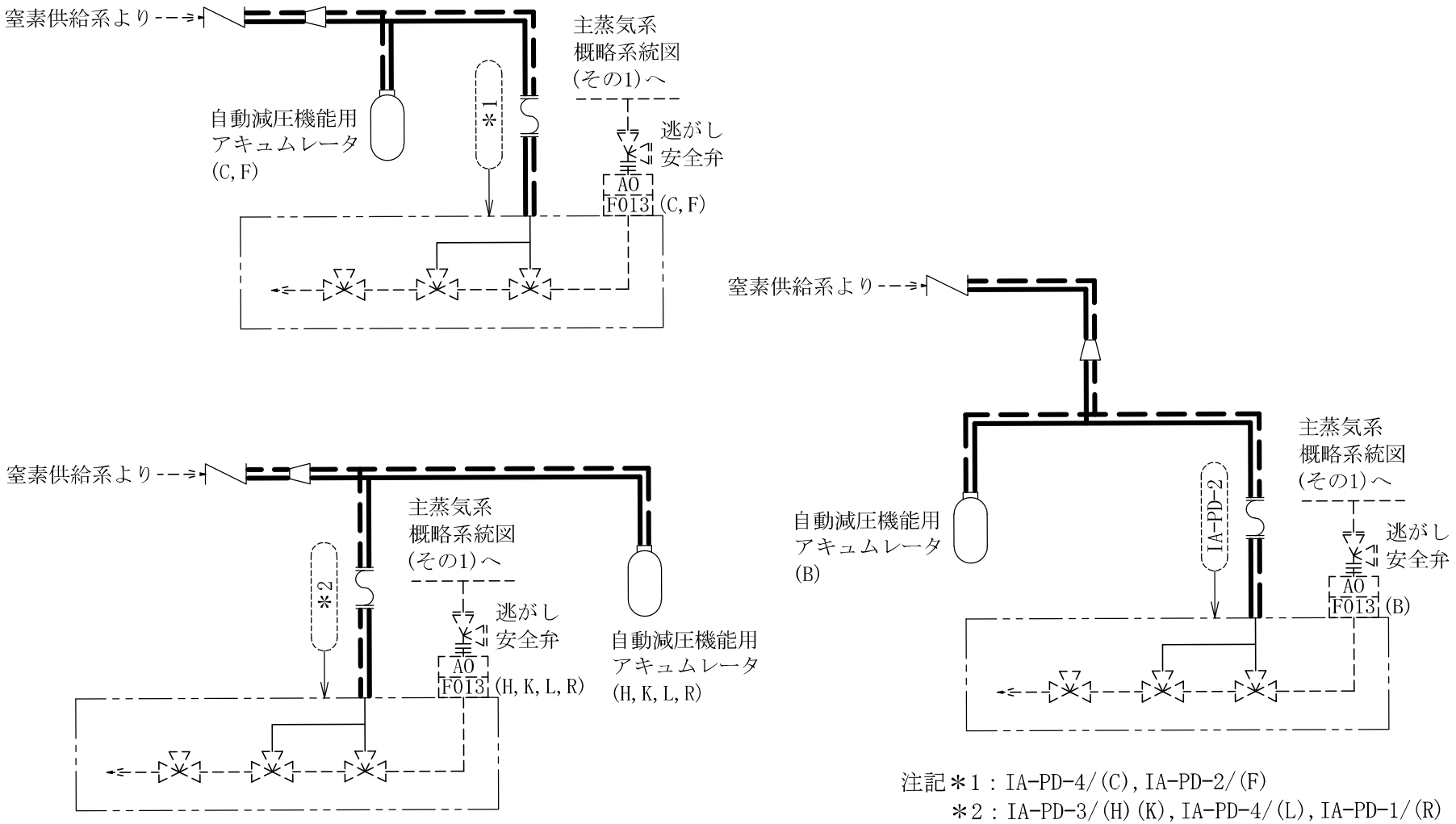
記　　号	内　　容
―――― （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
― ― ― （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
［管クラス］	
DB1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



注記 MS-D → MS-T-1

＊1：詳細図Aと同じ
＊2：主蒸気系概略系統図(その2)より
＊3：主蒸気系概略系統図(その3)より
＊4：主蒸気系概略系統図(その4)より
＊5：主蒸気系概略系統図(その5)より

主蒸気系概略系統図(その1)

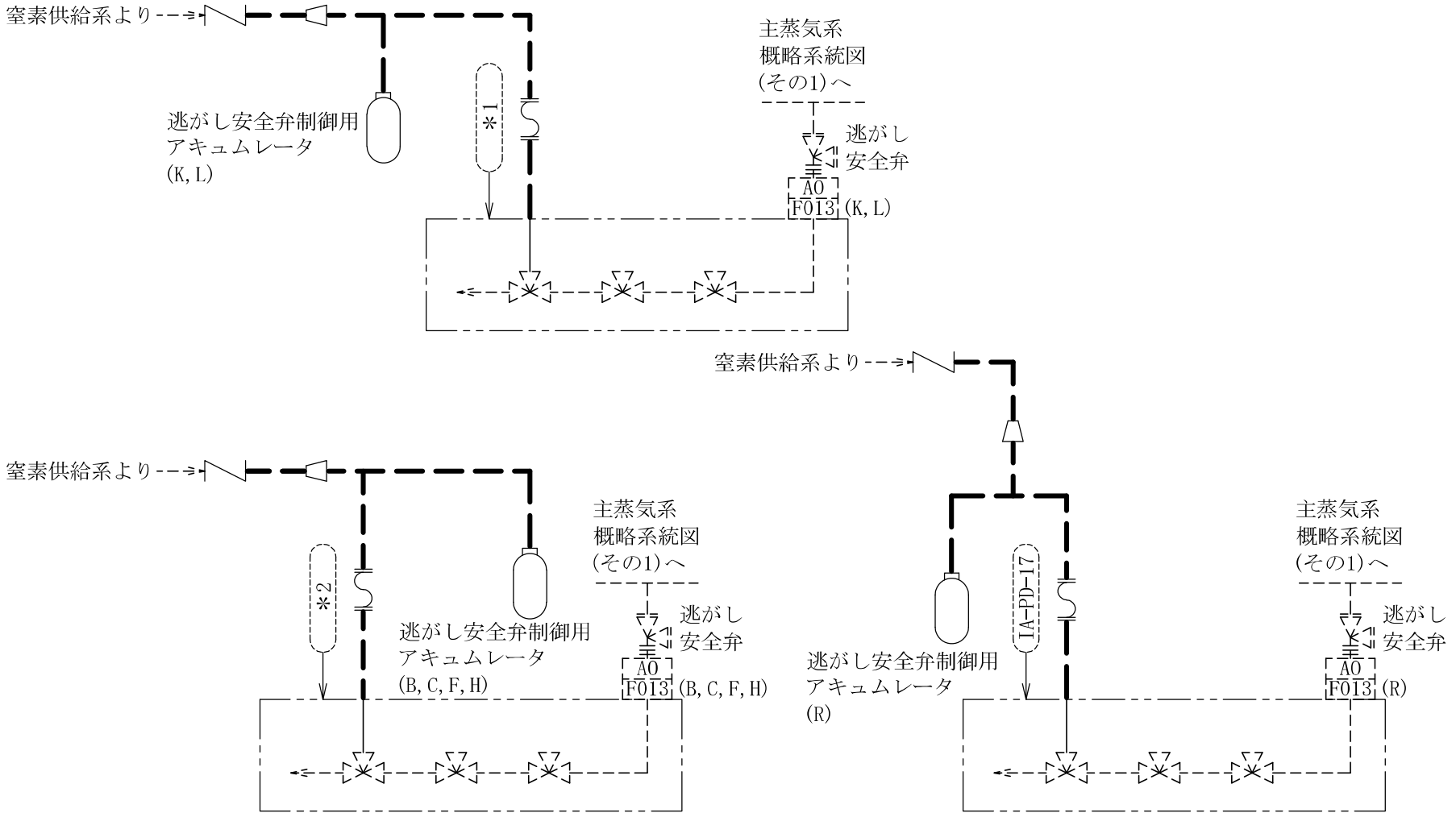


注記＊1：IA-PD-4/(C),IA-PD-2/(F)
＊2：IA-PD-3/(H)(K),IA-PD-4/(L),IA-PD-1/(R)

[注]太破線範囲の管クラス：DB3
太線範囲の管クラス：SA2

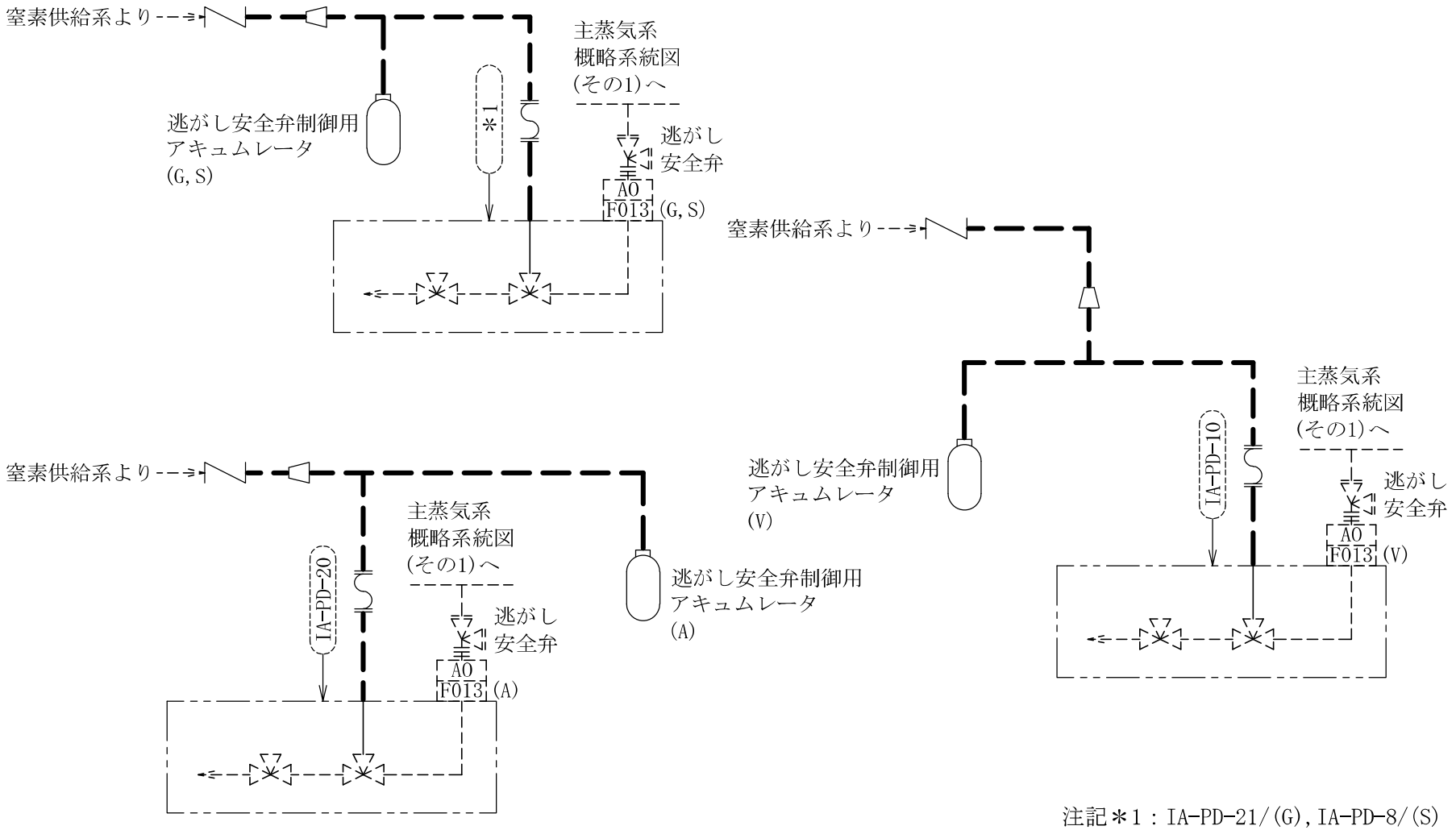
主蒸気系概略系統図(その2)

注記＊1：IA-PD-9/(K),IA-PD-15/(L)
＊2：IA-PD-11/(B),IA-PD-22/(C),IA-PD-5/(F),IA-PD-12/(H)



[注]太破線範囲の管クラス：DB3

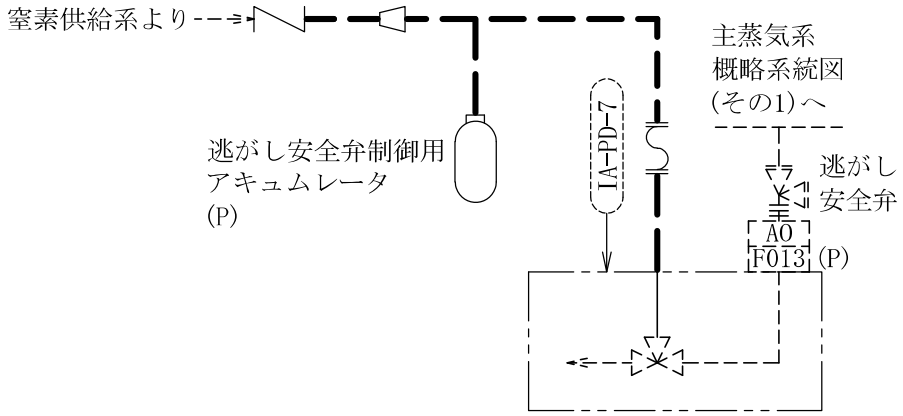
主蒸気系概略系統図(その3)

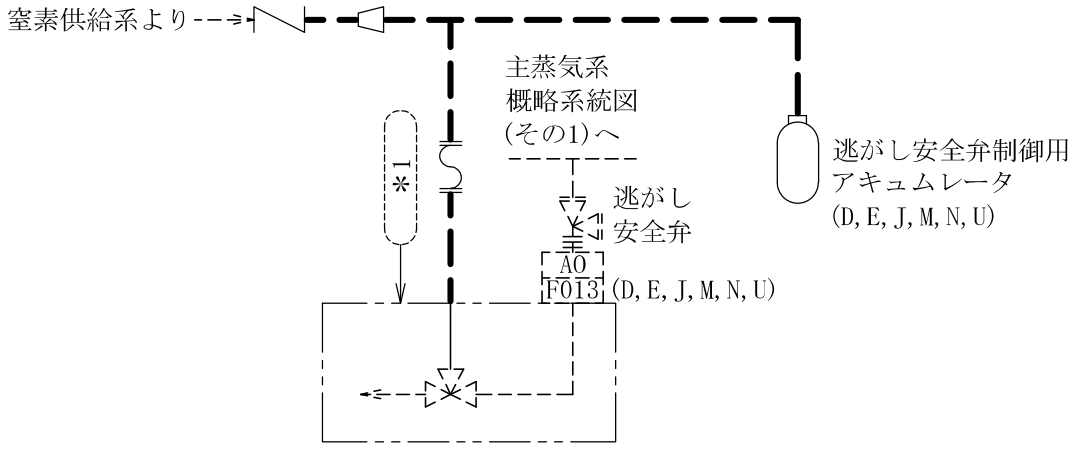


注記＊1：IA-PD-21/(G),IA-PD-8/(S)

[注]太破線範囲の管クラス：DB3

主蒸気系概略系統図(その4)





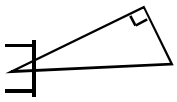
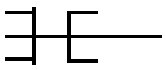
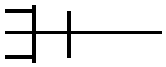
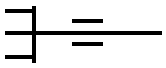
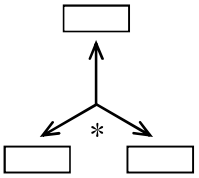
[注]太破線範囲の管クラス：DB3

注記＊1：IA-PD-13/(D),IA-PD-14/(E),IA-PD-18/(J)
IA-PD-6/(M),IA-PD-16/(N),IA-PD-19/(U)

主蒸気系概略系統図(その5)

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
	ガイド
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(㎜) （＊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㎜である。

鳥瞰図	MS-A(DB)(1/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(2/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(3/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(4/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(5/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(6/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(7/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(8/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(9/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(10/11)

鳥瞰図	MS-A(DB)(11/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(1/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(2/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(3/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(4/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(5/11)

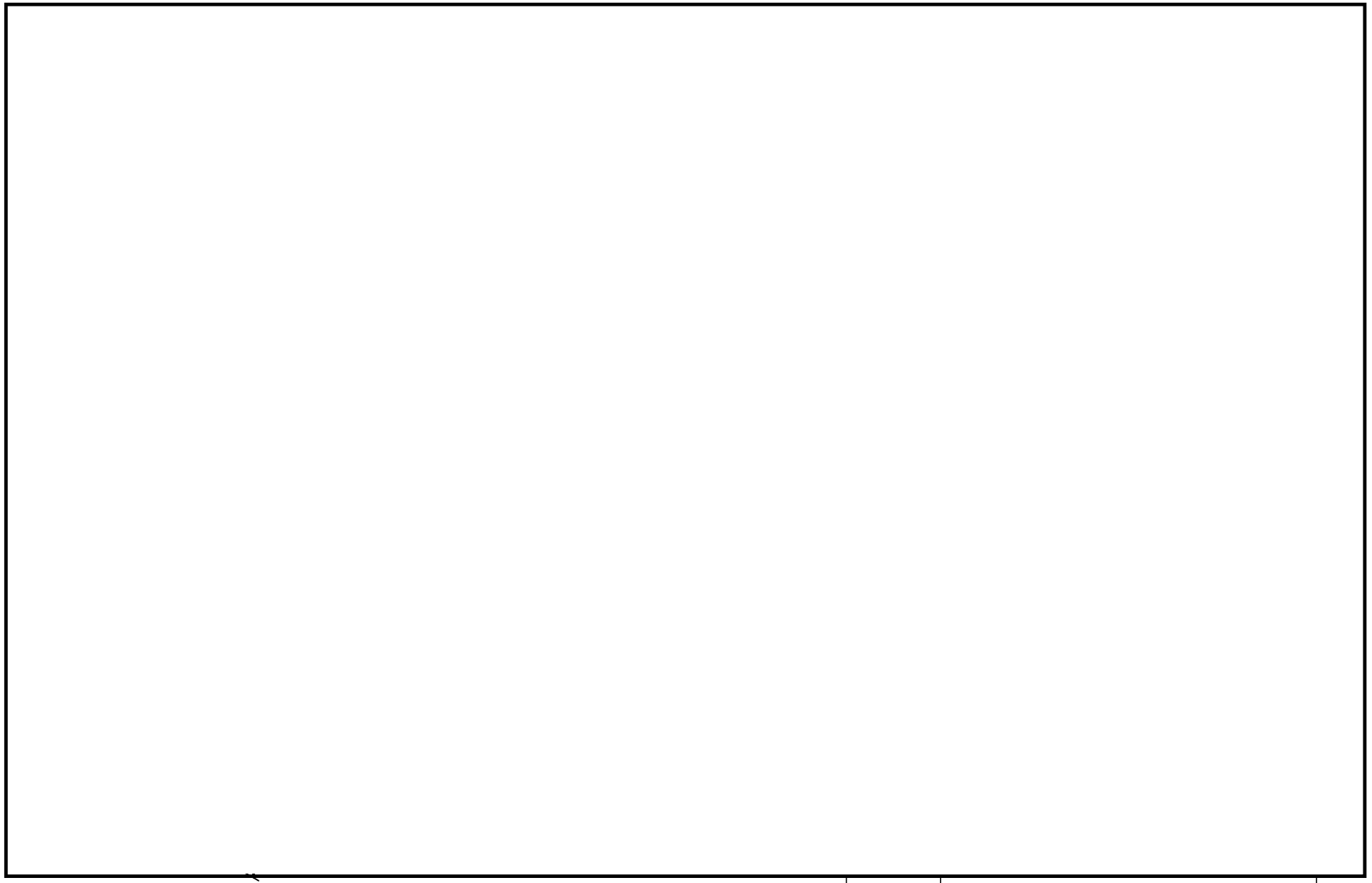
鳥瞰図	MS-A(SA)(6/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(7/11)

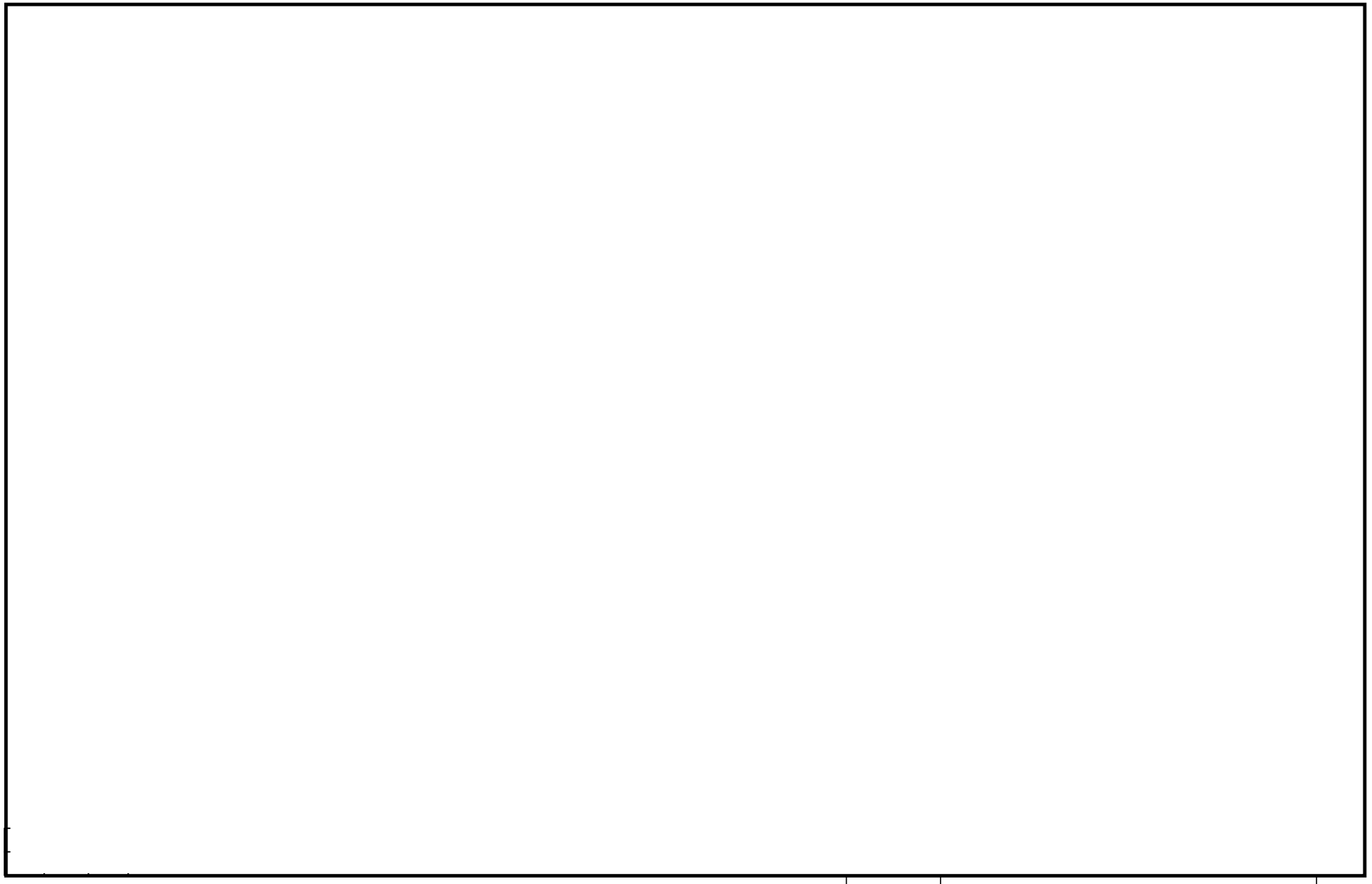
鳥瞰図	MS-A(SA)(8/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(9/11)

鳥瞰図	MS-A(SA)(10/11)

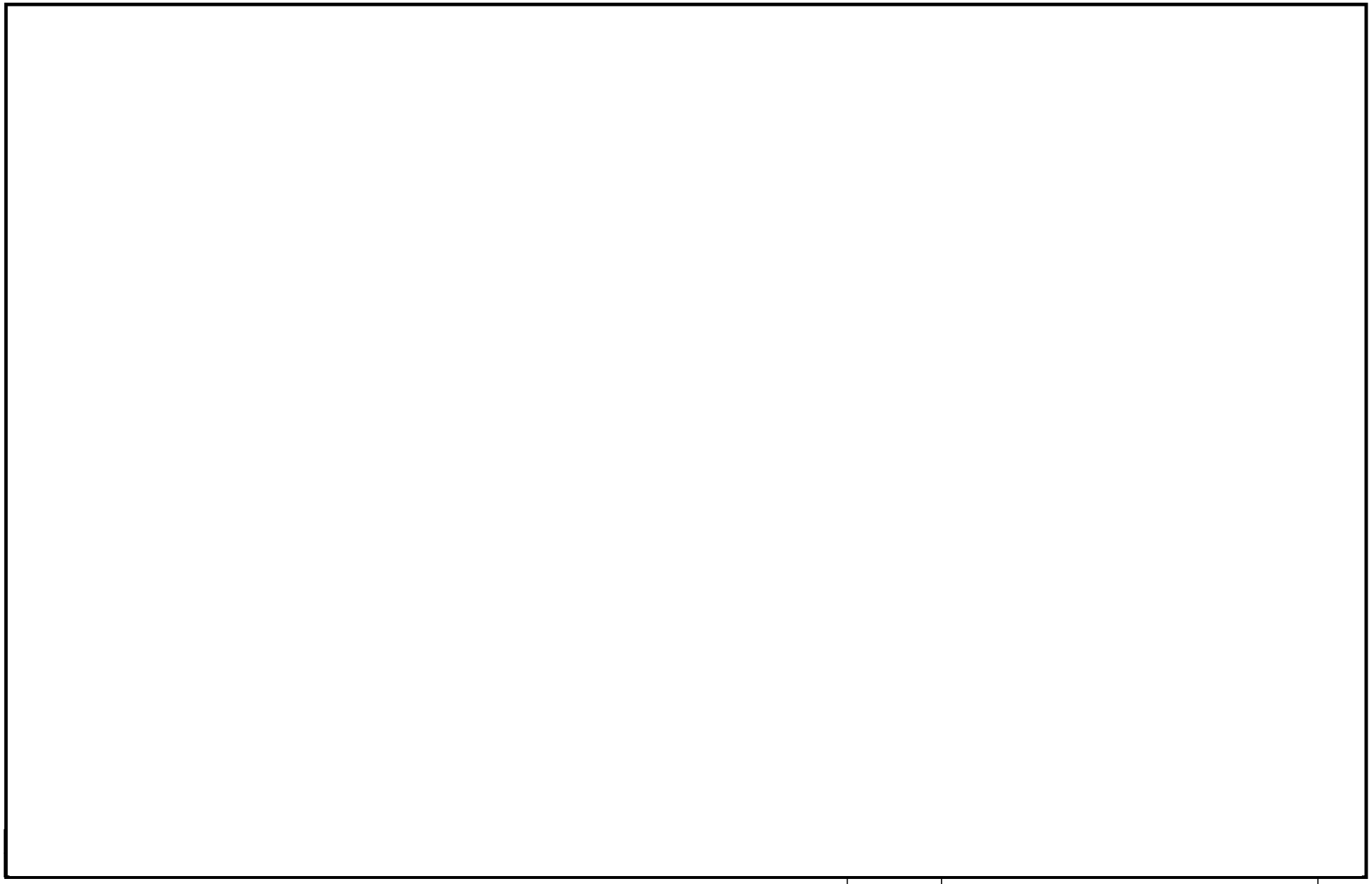


鳥瞰図	MS-A(SA)(11/11)



鳥瞰図	MS-B(DB)(1/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(2/19)



33

Sd
Ss

鳥瞰図	MS-B(DB)(3/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(4/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(5/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(6/19)

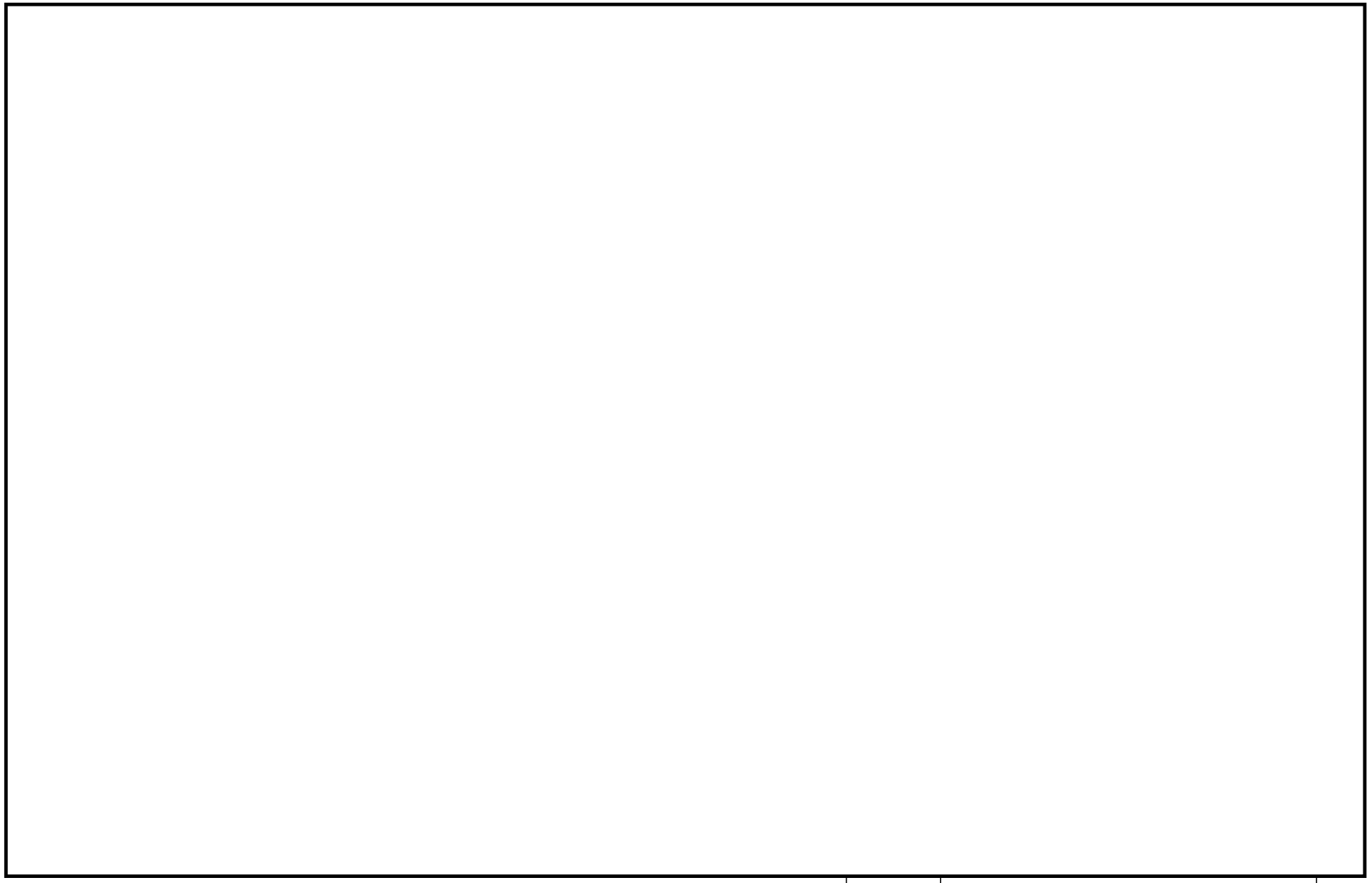
鳥瞰図	MS-B(DB)(7/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(8/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(9/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(10/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(11/19)

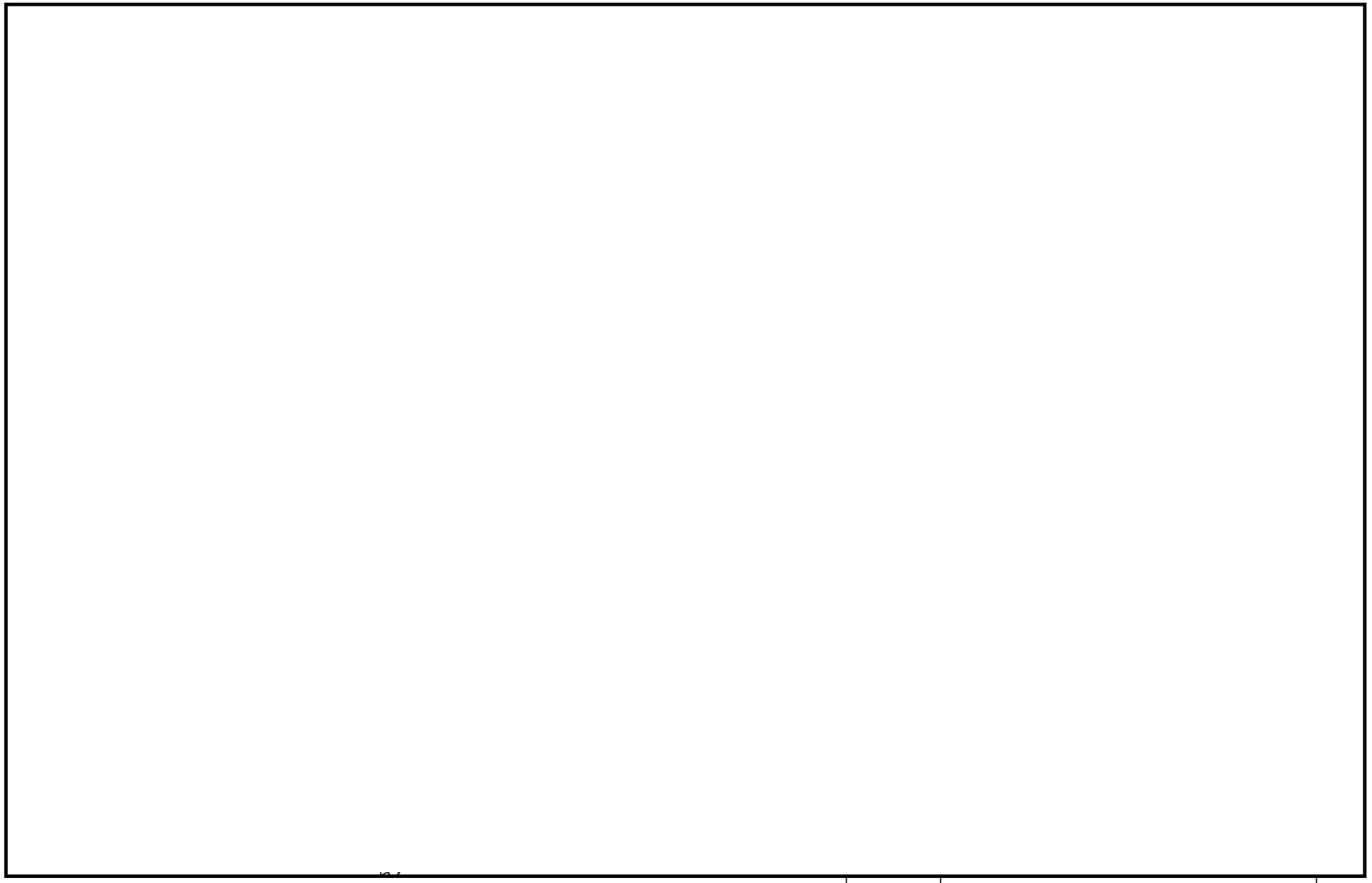


鳥瞰図	MS-B(DB)(12/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(13/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(14/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(15/19)

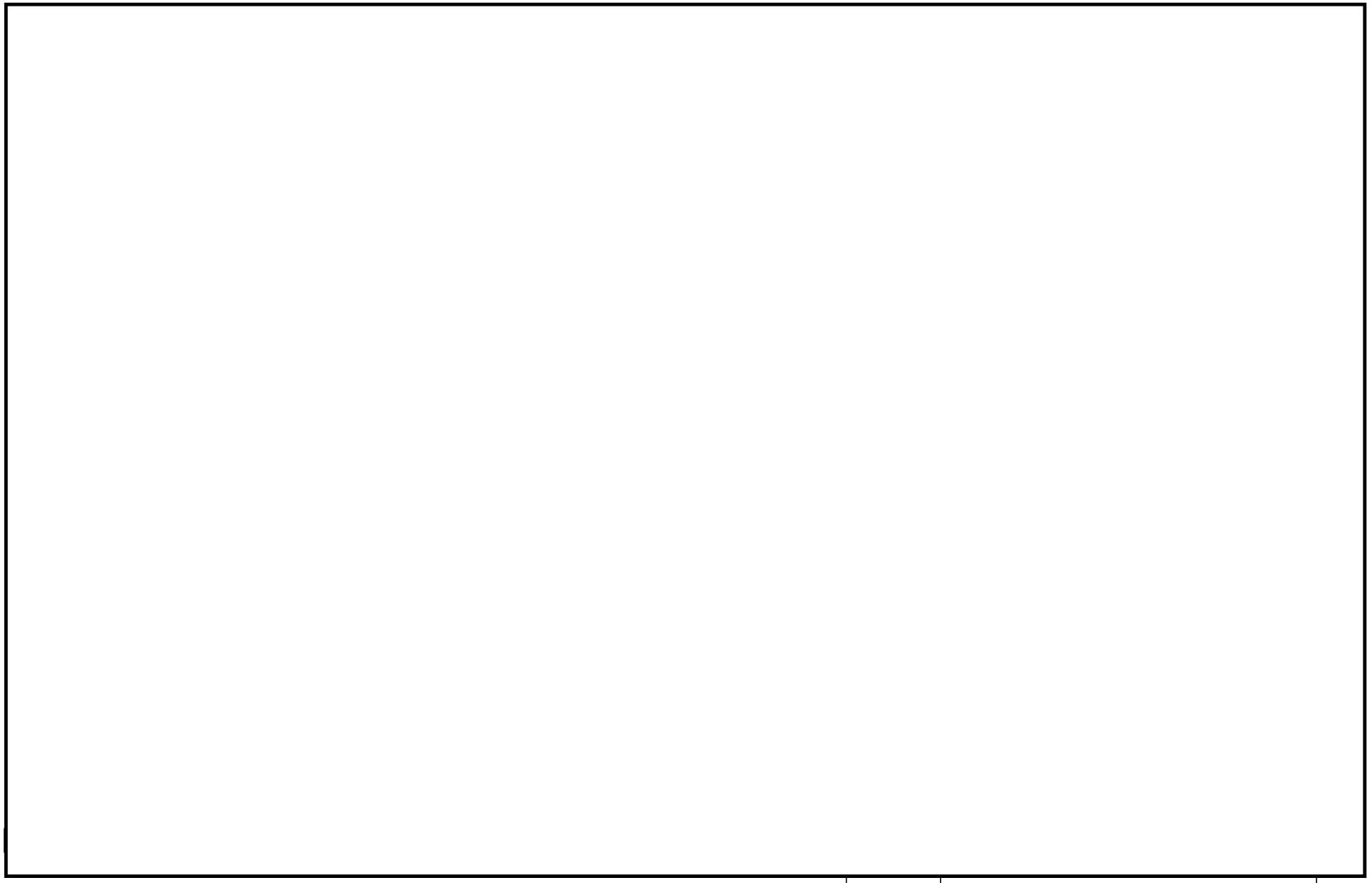


鳥瞰図	MS-B(DB)(16/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(17/19)

鳥瞰図	MS-B(DB)(18/19)

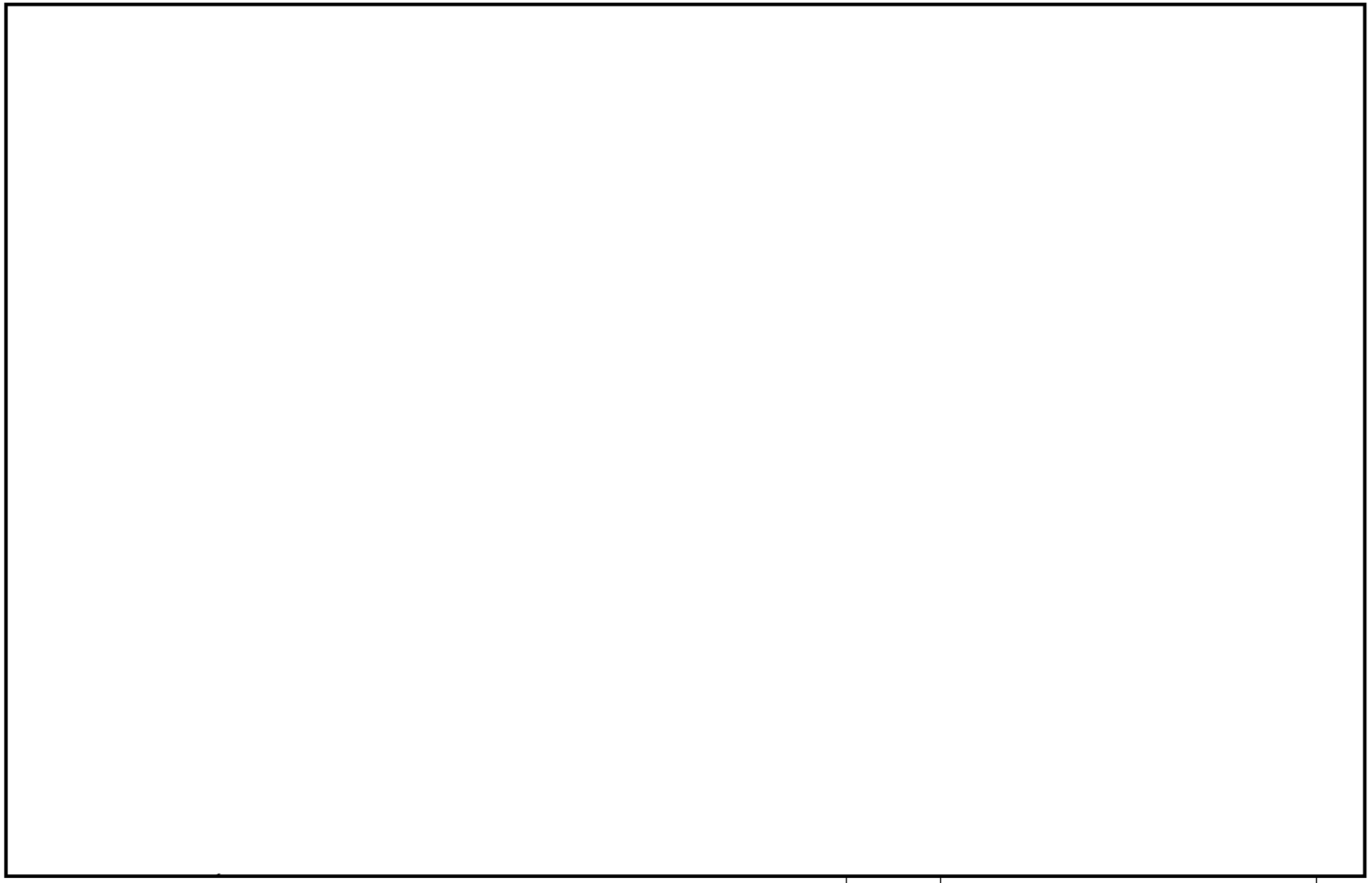
鳥瞰図	MS-B(DB)(19/19)



鳥瞰図	MS-B(SA)(1/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(2/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(3/19)



鳥瞰図	MS-B(SA)(4/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(5/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(6/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(7/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(8/19)

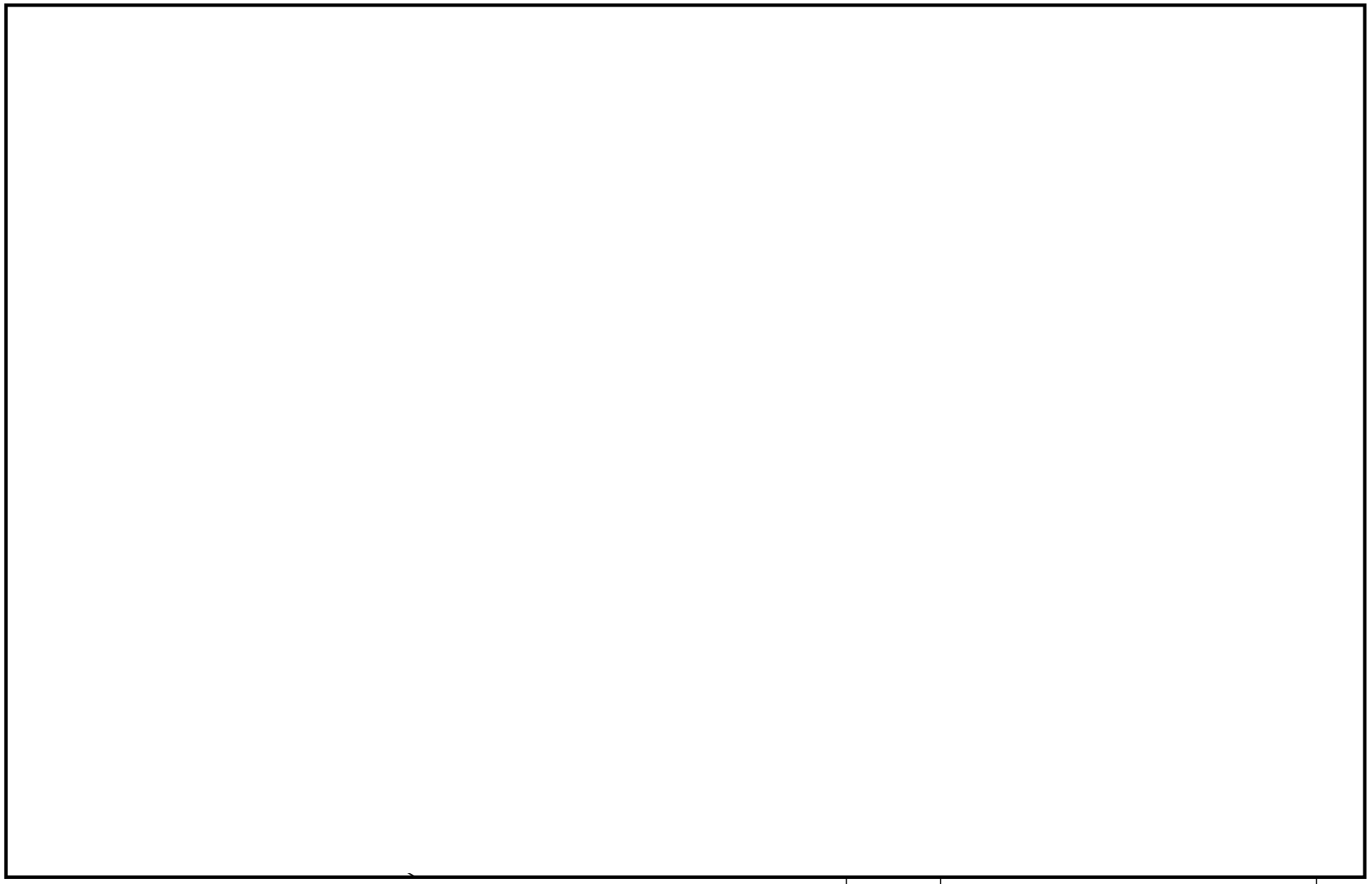
鳥瞰図	MS-B(SA)(9/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(10/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(11/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(12/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(13/19)



鳥瞰図	MS-B(SA)(14/19)

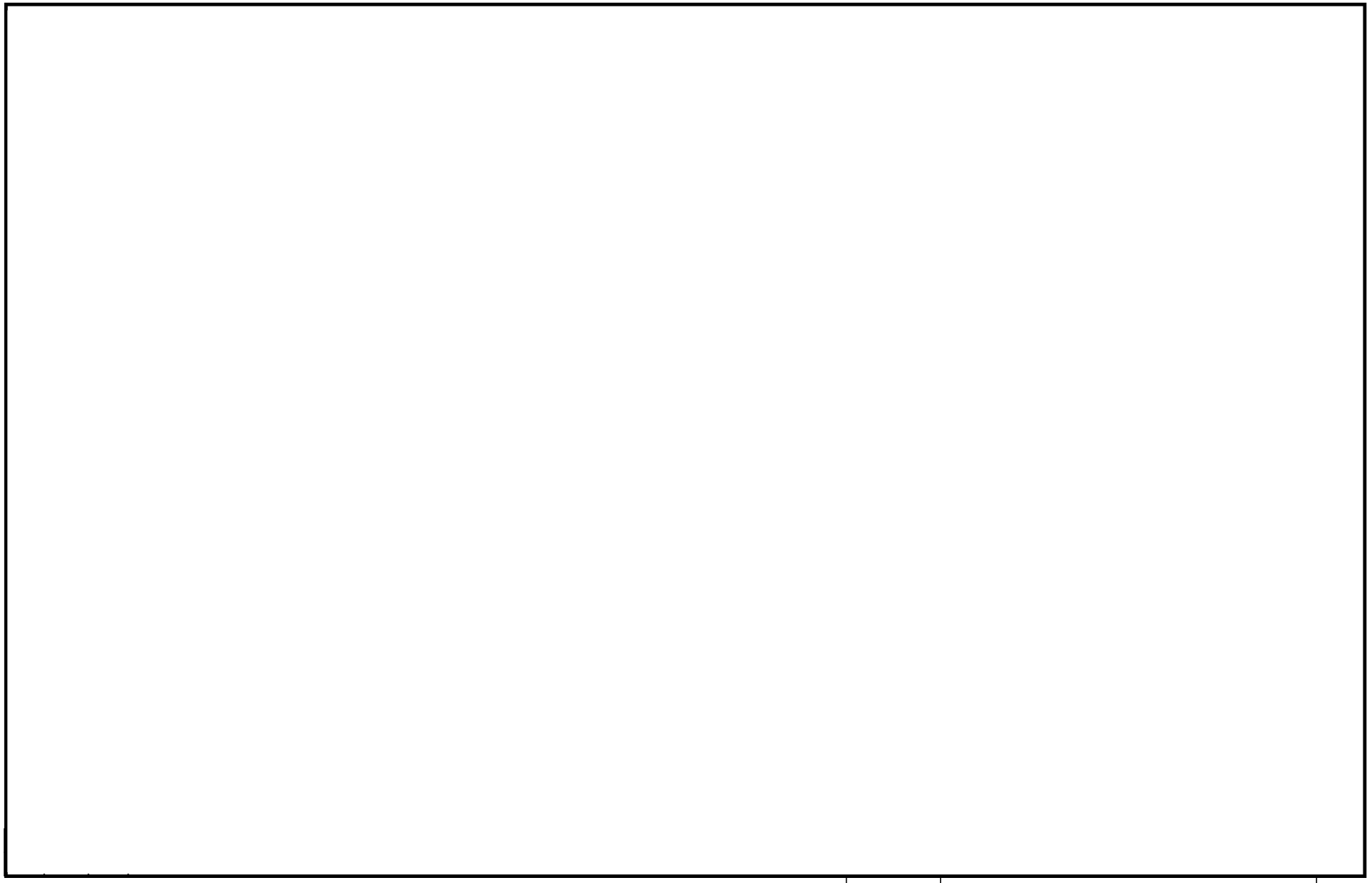
鳥瞰図	MS-B(SA)(15/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(16/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(17/19)

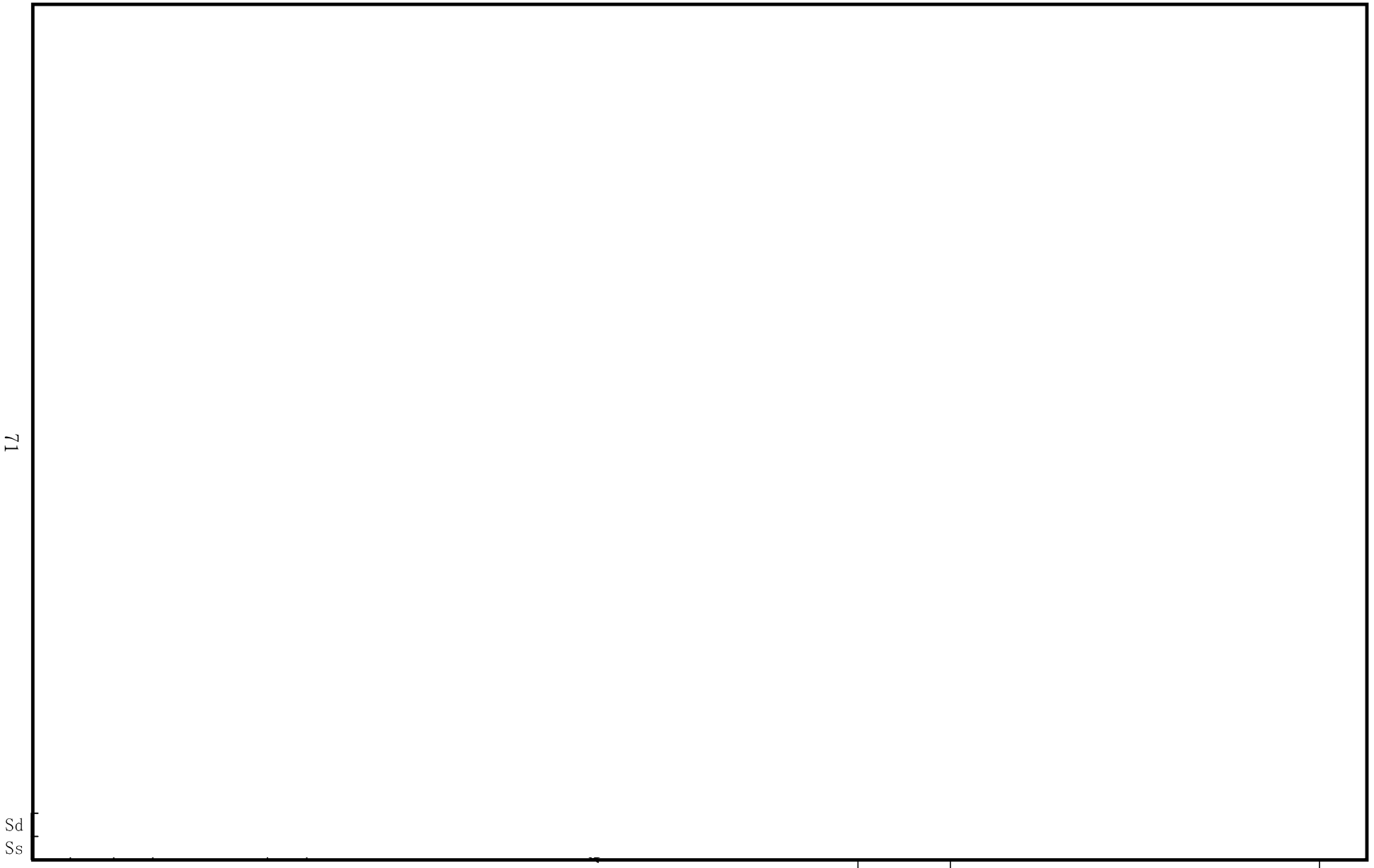
鳥瞰図	MS-B(SA)(18/19)

鳥瞰図	MS-B(SA)(19/19)



鳥瞰図	MS-C(DB)(1/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(2/19)



鳥瞰図	MS-C(DB)(3/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(4/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(5/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(6/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(7/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(8/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(9/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(10/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(11/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(12/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(13/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(14/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(15/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(16/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(17/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(18/19)

鳥瞰図	MS-C(DB)(19/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(1/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(2/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(3/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(4/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(5/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(6/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(7/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(8/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(9/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(10/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(11/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(12/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(13/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(14/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(15/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(16/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(17/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(18/19)

鳥瞰図	MS-C(SA)(19/19)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気系	ＤＢ	—	クラス１管 クラス２管 クラス３管	Ｓ	$\mathrm{I}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	
							$\mathrm{IV}_{\mathrm{L}}(\mathrm{L})+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	
							$\mathrm{I}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	
			ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	$\mathrm{V}_{\mathrm{L}}(\mathrm{L})+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$*6,7	$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$
							$\mathrm{V}_{\mathrm{L}}(\mathrm{LL})+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$*6	
							$\mathrm{V}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	原子炉隔離時冷却系	ＳＡ	常設耐震／防止	重大事故等クラス２管	—	V_L+S_s	V_AS
		高圧代替注水系		常設耐震／防止				
計測制御系統施設	制御用空気設備	非常用窒素供給系		常設耐震／防止				

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉隔離時冷却系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	—	V_L+S_s	V_AS
		高圧代替注水系		常設／緩和				

注記　＊1：ＤＢは設計基準対象施設，ＳＡは重大事故等対処設備を示す。
＊2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。
＊3：運転状態の添字Ｌは荷重，（Ｌ）は荷重が長期間作用している状態，（ＬＬ）は（Ｌ）より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。
＊4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。
＊5：許容応力状態V_ASは許容応力状態$Ⅳ_AS$の許容限界を使用し，許容応力状態$Ⅳ_AS$として評価を実施する。
＊6：プロセス条件に加え，重大事故時の原子炉格納容器バウンダリ条件として，重大事故時の原子炉格納容器限界温度及び圧力を考慮する。
＊7：荷重の組合せV_L（Ｌ）＋S_dはV_L（ＬＬ）＋S_sに包絡されるため，評価を省略する。

3.2　設計条件

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

鳥　瞰　図　MS-A

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～47	8.62	302	660.4	33.6	STPT49	S	
2	48～54	8.62	302	660.4	33.5	STPL46	S	
3	26～8100,21～8200 14～8300	8.62	302	252.3	39.6		S	
4	8100～811,8200～821 8300～831	8.62	302	219.1	23.0		S	
5	811～813F,821～823F 831～833F	8.62	302	219.1	23.0	STPT49	S	
6	55～57A	8.62	302	660.4	33.3	STS49	S	
7	101F～101,201F～201	3.45	302	267.4	15.1	STPT410	S	

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　MS-A

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
8	101～129,201～225 301F～337	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	S	
9	129～135,225～234	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	—	
10	135～139,234～238 337～341	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	—	
11	140～161,239～259 342～363	3.45	302	318.5	17.4	STPT42	—	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　MS-A

質量	対応する評価点
[redacted]	1N～12, 16～19, 23～24, 30～34, 36～44 49～50
	12～16
	19～23
	24～30
	34～36
	44～46
	46～47, 48～49
	50～54
	55～57A
	8100～813F, 8200～823F, 8300～833F

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　MS-A

質量	対応する評価点
[redacted]	813F, 823F, 833F
	101F, 201F, 301F

弁部の寸法

鳥　瞰　図　MS-A

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
47～4701				4701～4702			
4702～4703				4701～48			
54～5401				5401～5402			
5402～5403				5401～55			
813F～814				814～815			
815～816				816～817			
814～101F				823F～824			
824～825				825～826			
826～827				824～201F			
833F～834				834～835			
835～836				836～837			
834～301F							

弁部の質量

鳥　瞰　図　MS-A

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	4702, 5402	[redacted]	4703
	5403		814, 824, 834
	816, 836		817, 827, 837
	826		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-A

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
N1						
6						
** 7 **						
** 8 **						
** 17 **						
18						
** 24 **						
** 24 **						
28						
** 28 **						
** 28 **						
** 32 **						
** 33 **						
45						
4702						
5402						
** 5402 **						
57A						
110						
111						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-A

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
** 114 **						
** 115 **						
124						
** 124 **						
129						
135						
137						
146						
** 147 **						
** 147 **						
147						
151						
153						
165						
209						
210						
211						
214						
221						
** 221 **						
225						
233						
234						
240						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-A

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
** 242 **						
** 242 **						
242						
249						
251						
263						
308						
** 314 **						
** 315 **						
316						
** 322 **						
** 322 **						
326						
327						
334						
337						
348						
** 350 **						
** 350 **						
350						
353						
355						
367						

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　MS-B

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～34,17～78	8.62	302	660.4	33.6	STPT49	S	
2	79～84	8.62	302	660.4	33.5	STPL46	S	
3	56～8100,49～8200 41～8300,21～8400 26～8500,31～8600	8.62	302	252.3	39.6		S	
4	8100～811,8200～821 8300～831,8400～841 8500～851,8600～861	8.62	302	219.1	23.0		S	

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　MS-B

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
5	811～813F,821～823F 831～833F,841～843F 851～853F,861～863F	8.62	302	219.1	23.0	STPT49	S	
6	85～87A	8.62	302	660.4	33.3	STS49	S	
7	101F～123,201～219 301F～322,401F～427 503～528,601F～628	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	S	
8	201F～201,501F～503	3.45	302	267.4	15.1	STPT410	S	

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　MS-B

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
9	123～133,219～227 322～334,427～434 528～536,628～636	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	—	
10	133～142,227～235 334～338,434～442 536～540,636～640	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	—	
11	143～166,236～256 339～360,443～462 541～559,641～661	3.45	302	318.5	17.4	STPT42	—	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　MS-B

質量	対応する評価点
	1N～8, 12～17, 23～24, 35～39, 51～53 58～65, 67～75
	8～12, 47～51
	17～19, 17～35
	19～23
	24～29
	29～33
	33～34
	39～43
	43～47
	53～58
	65～67
	75～77
	77～78, 79～80
	80～84
	85～87A
	8100～813F, 8200～823F, 8300～833F, 8400～843F, 8500～853F 8600～863F

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　MS-B

質量	対応する評価点
[redacted]	813F, 823F, 833F, 843F, 853F, 863F
	101F, 201F, 301F, 401F, 501F, 601F

弁部の寸法

鳥　瞰　図　MS-B

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
78～7801				7801～7802			
7802～7803				7801～79			
84～8401				8401～8402			
8402～8403				8401～85			
813F～814				814～815			
815～816				816～817			
814～101F				823F～824			
824～825				825～826			
826～827				824～201F			
833F～834				834～835			
835～836				836～837			
834～301F				843F～844			
844～845				845～846			
846～847				844～401F			
853F～854				854～855			
855～856				856～857			
854～501F				863F～864			
864～865				865～866			
866～867				864～601F			

弁部の質量

鳥　瞰　図　MS-B

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	7802, 8402		7803, 8403
	814, 824, 834, 844, 854, 864		816, 826, 866
	817, 827, 837, 847, 857, 867		836, 846, 856

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-B

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
N1						
6						
7						
** 15 **						
28						
** 28 **						
** 28 **						
29						
** 36 **						
** 38 **						
** 38 **						
** 52 **						
60						
** 60 **						
** 60 **						
** 63 **						
** 64 **						
76						
7802						
8402						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-B

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
** 8402 **						
87A						
105						
109						
** 110 **						
** 111 **						
116						
** 119 **						
119						
123						
128						
133						
** 148 **						
** 148 **						
148						
149						
156						
158						
170						
207						
** 209 **						
** 210 **						
211						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-B

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
216						
** 216 **						
219						
221						
227						
238						
** 240 **						
** 240 **						
240						
246						
248						
260						
** 310 **						
** 311 **						
312						
313						
318						
** 318 **						
322						
330						
334						
** 342 **						
** 342 **						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-B

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
342						
344						
350						
352						
364						
402						
** 407 **						
** 408 **						
** 409 **						
419						
** 421 **						
427						
431						
434						
** 446 **						
** 446 **						
446						
448						
452						
454						
466						
505						
** 505 **						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-B

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
** 509 **						
** 510 **						
513						
516						
** 522 **						
522						
528						
532						
536						
** 543 **						
** 543 **						
543						
544						
549						
551						
563						
605						
606						
** 606 **						
** 612 **						
** 612 **						
** 622 **						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-B

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
628						
630						
636						
** 644 **						
** 644 **						
644						
645						
651						
653						
665						

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　MS-C

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～28,12～72	8.62	302	660.4	33.6	STPT49	S	
2	73～78	8.62	302	660.4	33.5	STPL46	S	
3	50～8100,43～8200 35～8300,16～8400 20～8500,25～8600	8.62	302	252.3	39.6		S	
4	8100～811,8200～821 8300～831,8400～841 8500～851,8600～861	8.62	302	219.1	23.0		S	

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　MS-C

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
5	811～813F,821～823F 831～833F,841～843F 851～853F,861～863F	8.62	302	219.1	23.0	STPT49	S	
6	79～81A	8.62	302	660.4	33.3	STS49	S	
7	101F～127,201～238 302～309,401F～439 501F～505,601～604 605～627	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	S	
8	201F～201,301F～302 601F～601,604～605	3.45	302	267.4	15.1	STPT410	S	

設計条件

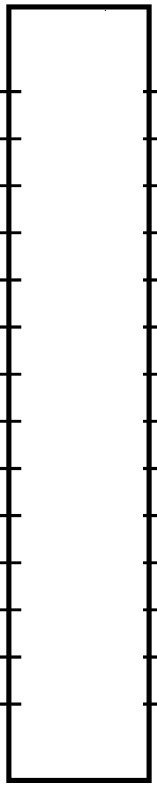
鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥　瞰　図　MS-C

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
9	127～134,309～333 505～534,627～636	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	—	
10	134～137,238～242 333～339,439～444 534～538,636～640	3.45	302	267.4	15.1	STPT42	—	
11	138～160,243～265 340～359,445～464 539～559,641～661	3.45	302	318.5	17.4	STPT42	—	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　MS-C

質量	対応する評価点
	1N～12, 18～19, 29～33, 45～47, 52～59 61～69
	12～14, 12～29
	14～18
	19～23, 41～45
	23～27
	27～28
	33～37
	37～41
	47～52
	59～61
	69～71
	71～72, 73～74
	74～78
	79～81A
	8100～813F, 8200～823F, 8300～833F, 8400～843F, 8500～853F 8600～863F

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　MS-C

質量	対応する評価点
[redacted]	813F, 823F, 833F, 843F, 853F, 863F
[redacted]	101F, 201F, 301F, 401F, 501F, 601F

弁部の寸法

鳥　瞰　図　MS-C

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
72～7201				7201～7202			
7202～7203				7201～73			
78～7801				7801～7802			
7802～7803				7801～79			
813F～814				814～815			
815～816				816～817			
814～101F				823F～824			
824～825				825～826			
826～827				824～201F			
833F～834				834～835			
835～836				836～837			
834～301F				843F～844			
844～845				845～846			
846～847				844～401F			
853F～854				854～855			
855～856				856～857			
854～501F				863F～864			
864～865				865～866			
866～867				864～601F			

弁部の質量

鳥　瞰　図　MS-C

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	7202, 7802	[redacted]	7203
	7803		814, 824, 834, 844, 854, 864
	816, 826, 846, 866		817, 827, 837, 847, 857, 867
	836, 856		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-C

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
N1						
6						
7						
** 10 **						
22						
** 22 **						
** 22 **						
23						
** 30 **						
** 32 **						
** 32 **						
** 46 **						
54						
** 54 **						
** 54 **						
** 57 **						
** 58 **						
70						
7202						
7802						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-C

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
** 7802 **						
81A						
107						
** 109 **						
** 110 **						
** 112 **						
** 121 **						
127						
132						
134						
142						
** 143 **						
** 143 **						
143						
150						
152						
164						
208						
** 209 **						
** 210 **						
213						
223						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-C

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
** 224 **						
** 224 **						
237						
238						
246						
** 248 **						
** 248 **						
248						
255						
257						
269						
** 308 **						
** 309 **						
** 309 **						
312						
320						
326						
331						
333						
341						
** 342 **						
** 342 **						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-C

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
342						
349						
351						
363						
** 405 **						
** 408 **						
** 408 **						
413						
421						
** 427 **						
** 427 **						
438						
439						
450						
** 451 **						
** 451 **						
451						
454						
456						
468						
503						
** 503 **						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-C

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
** 505 **						
** 505 **						
508						
** 520 **						
** 521 **						
** 524 **						
** 524 **						
528						
534						
544						
** 545 **						
** 545 **						
545						
549						
551						
563						
602						
** 602 **						
** 608 **						
609						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MS-C

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
** 610 **						
619						
** 624 **						
** 627 **						
** 627 **						
636						
638						
645						
** 646 **						
** 646 **						
646						
651						
653						
665						

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)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT49	302	138	209	—	—
STPL46	302	135	—	—	—
	302	115	173	—	—
STS49	302	—	209	423	—
STPT410	302	—	182	404	—
STPT42	302	—	182	404	—

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備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「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，減衰定数は添付書類「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(%)
MS-A	ペデスタル		
MS-B	ペデスタル		
MS-C	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 MS-A

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
30次							
31次							
動的震度							
静的震度							

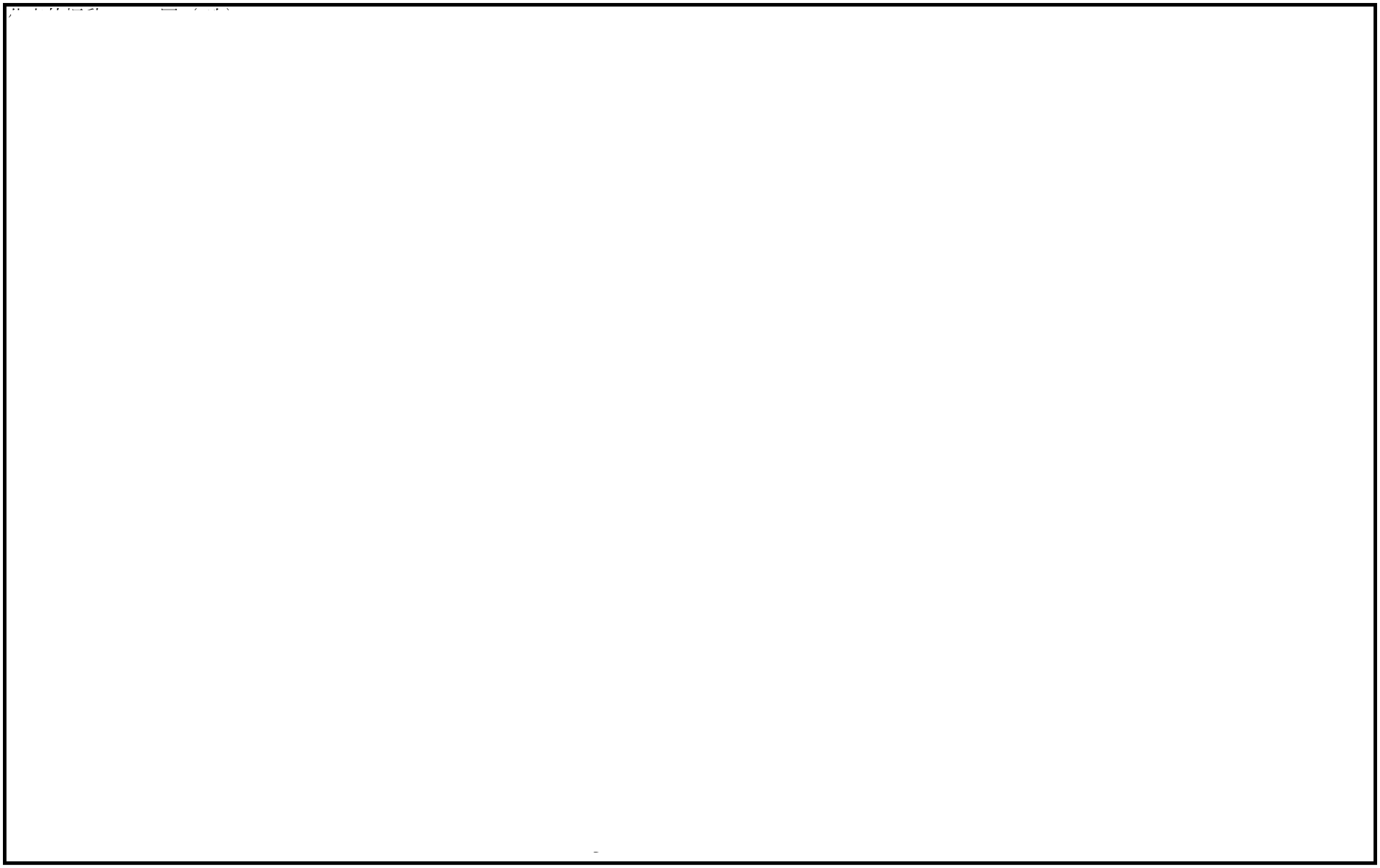
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　MS-A

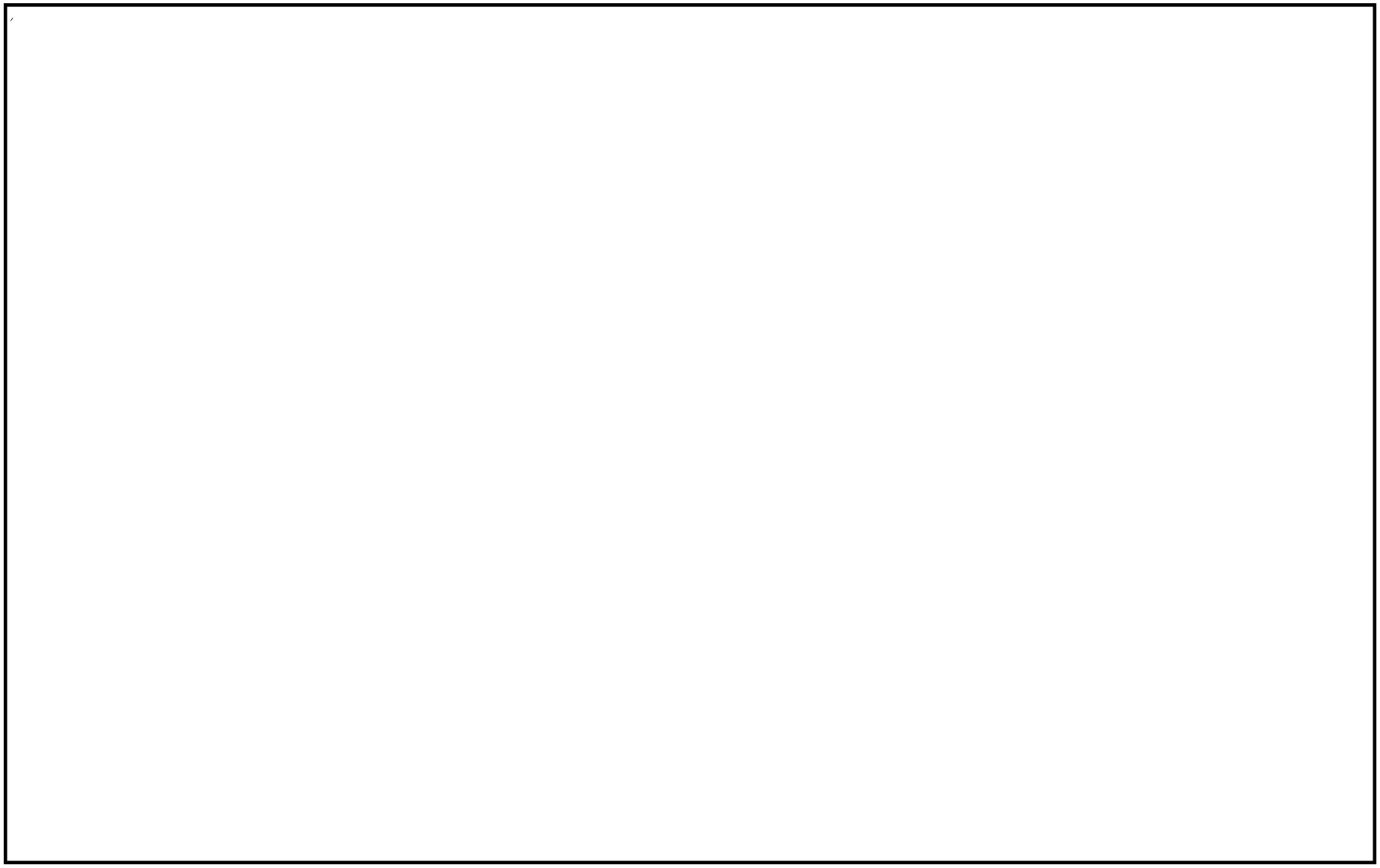
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
30次				
31次				

代表的振動モード図

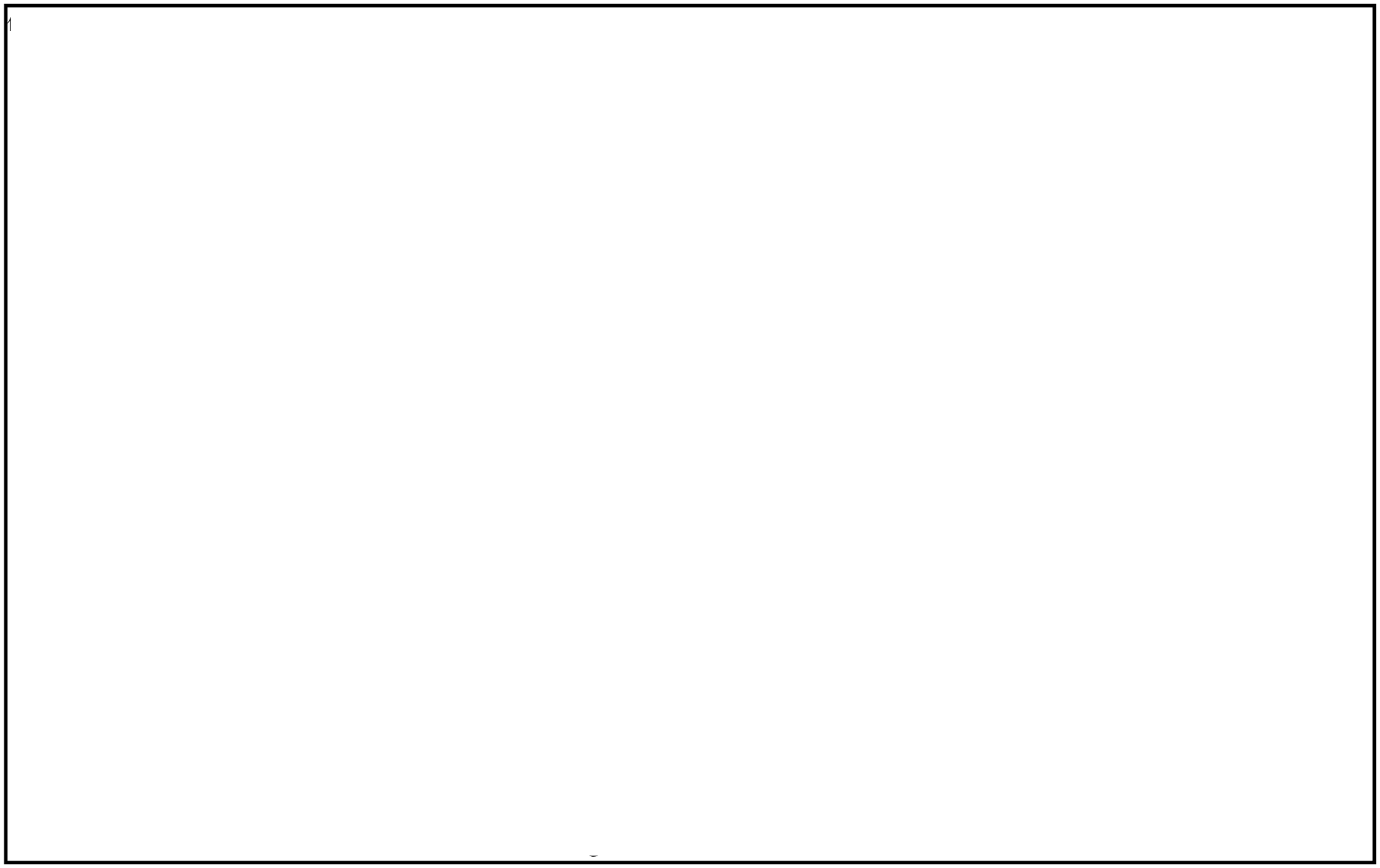
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	MS-A



鳥瞰図	MS-A



鳥瞰図	MS-A

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　MS-B

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
52次							
53次							
動的震度							
静的震度							

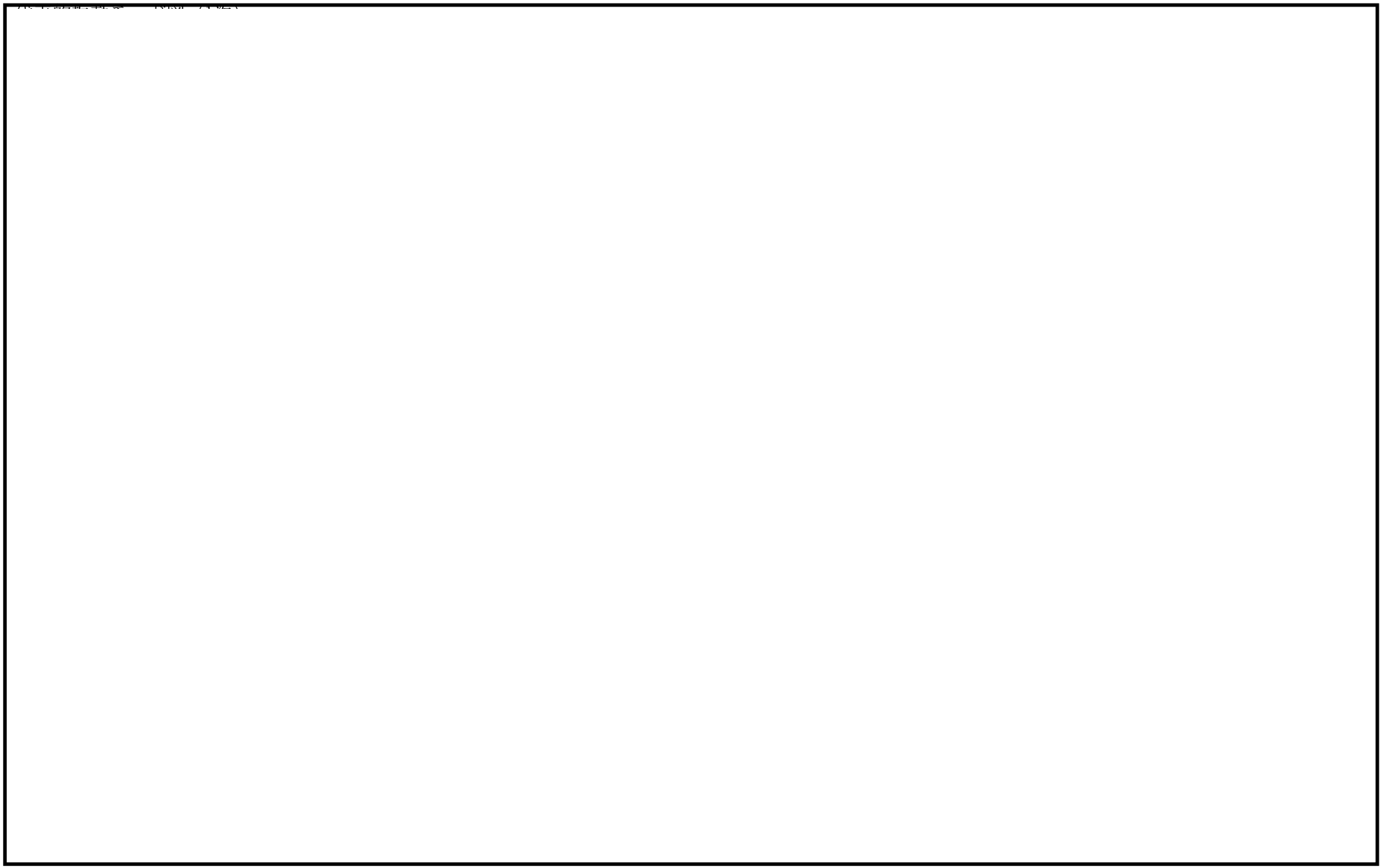
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　MS-B

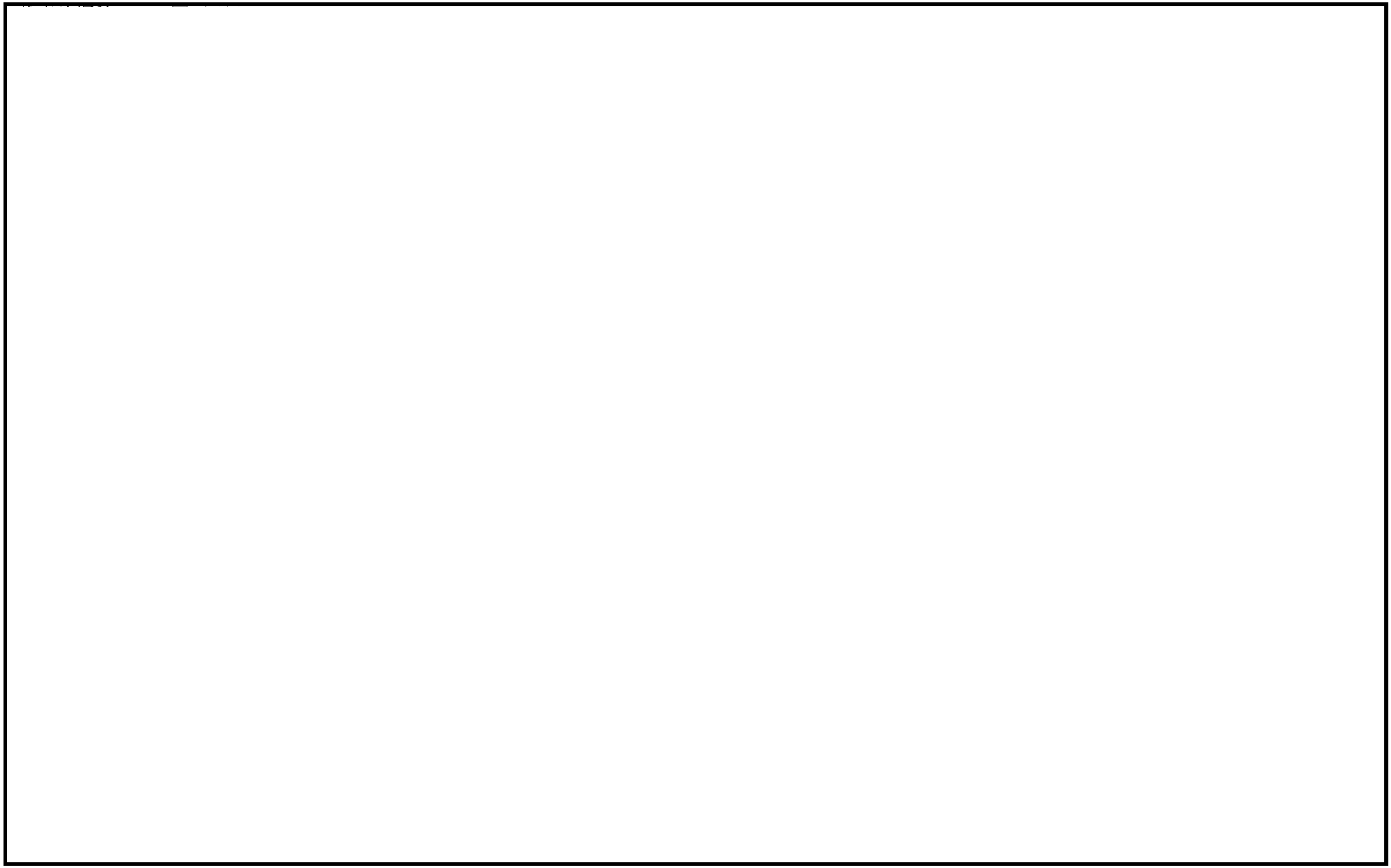
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
52次				
53次				

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	MS-B



鳥瞰図	MS-B

鳥瞰図	MS-B

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　MS-C

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
51次							
52次							
動的震度							
静的震度							

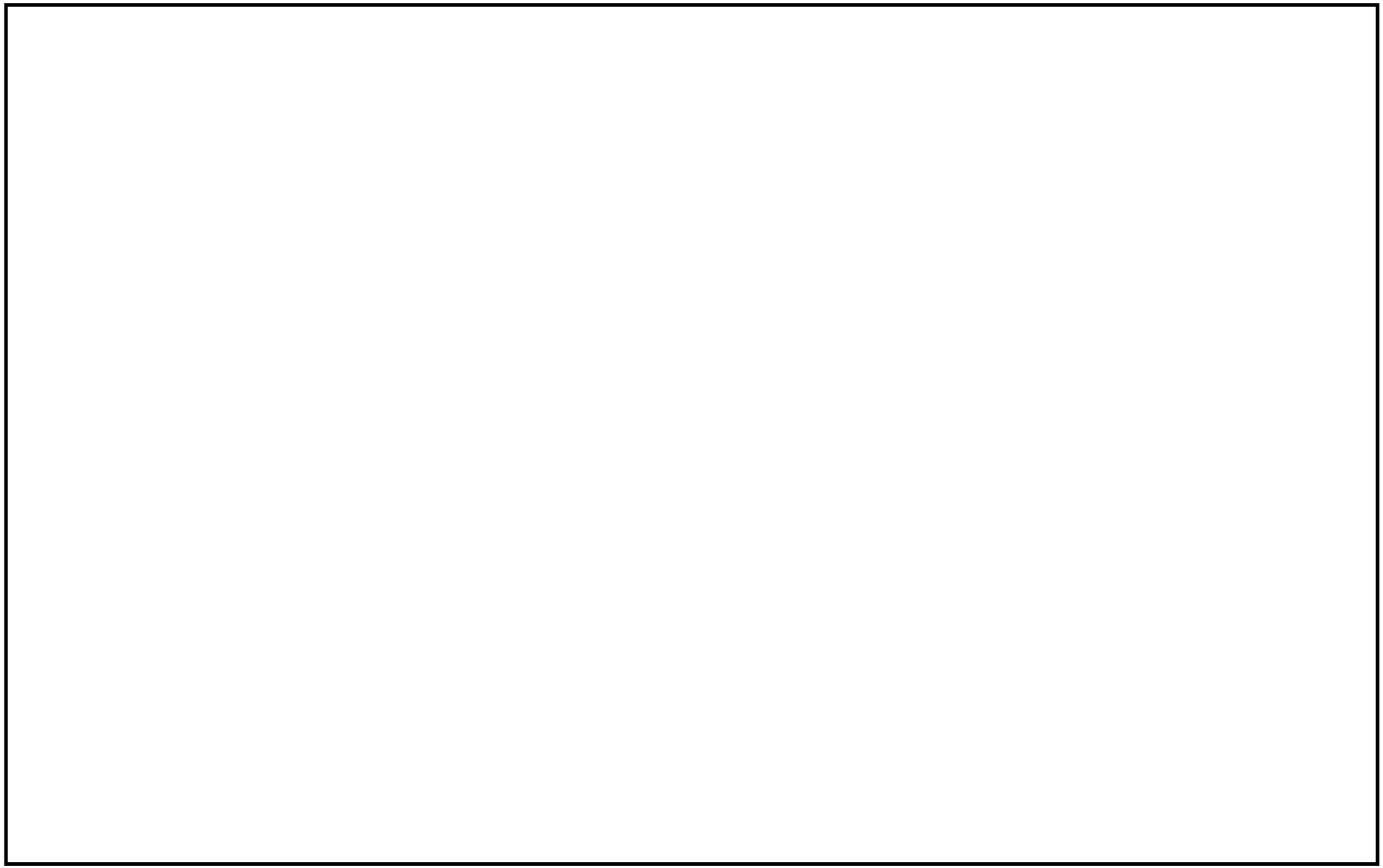
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　MS-C

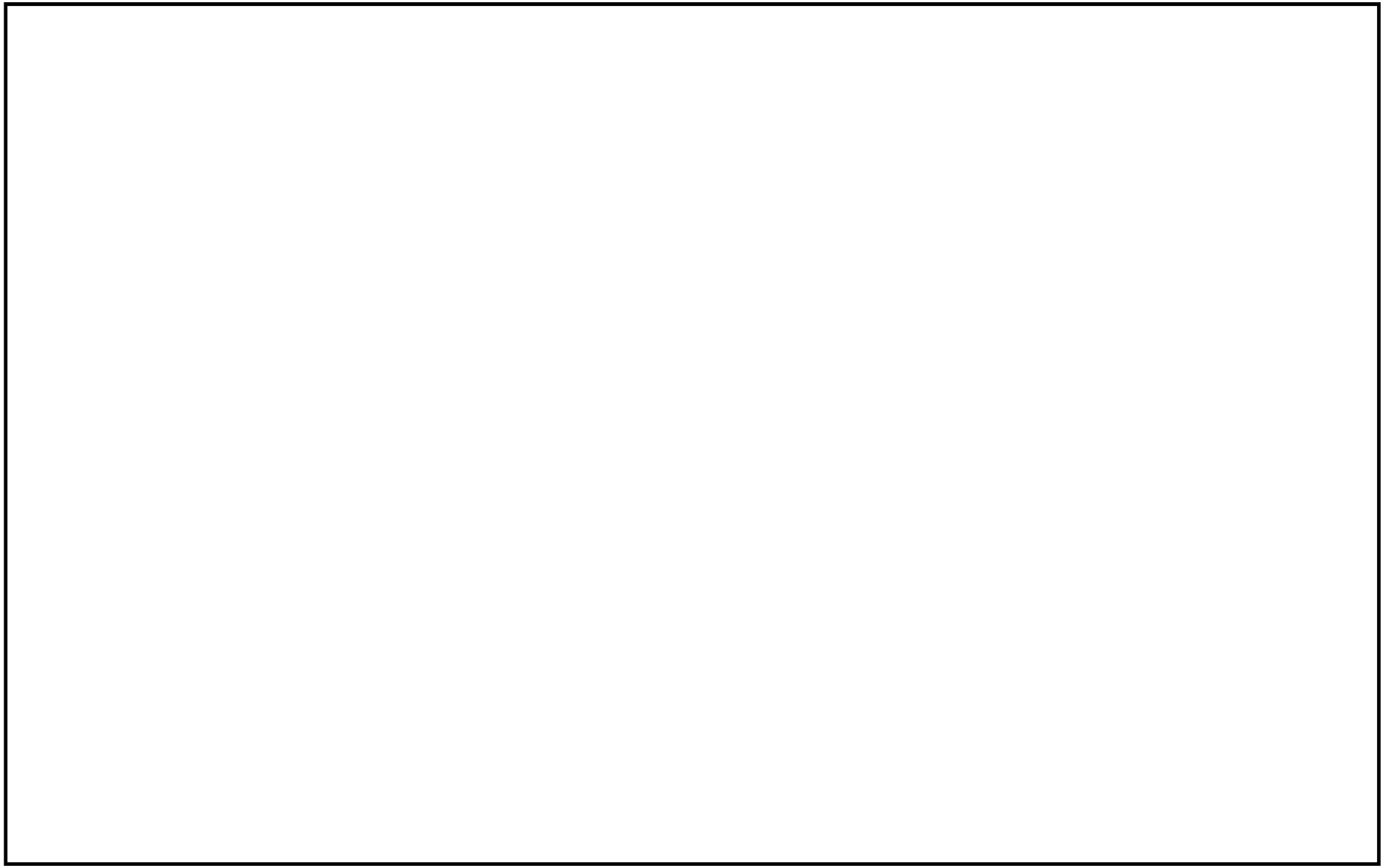
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
51次				
52次				

代表的振動モード図

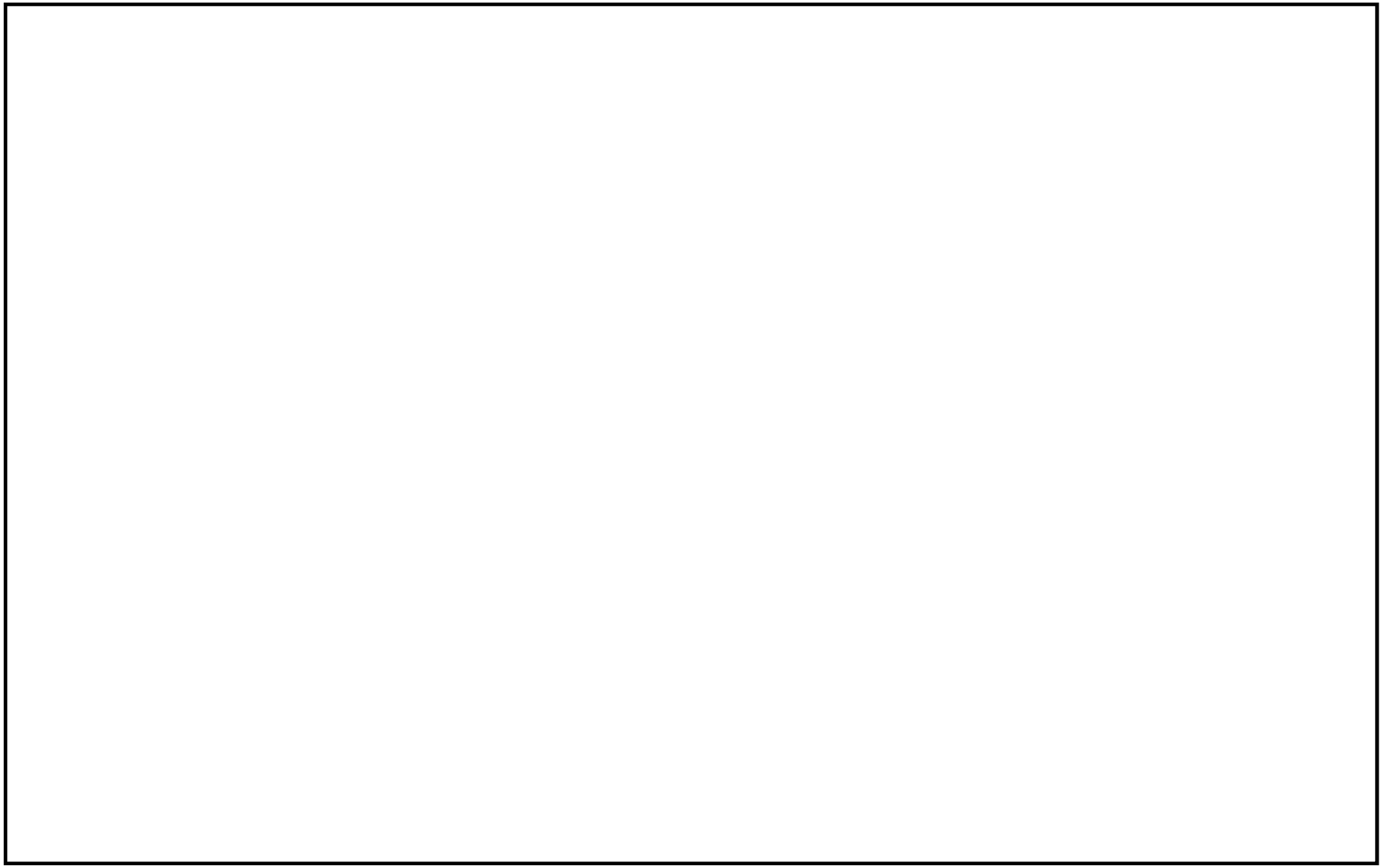
振動モード図は，３次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次ページ以降に示す。



鳥瞰図	MS-C



鳥瞰図	MS-C



鳥瞰図	MS-C

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス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 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y） min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
MS-B	III_AS	49	TEE	S_{prm}（S_d）	223	258	－	－	－	－	－
MS-B	III_AS	49	TEE	S_t（S_d）	－	－	49	63	－	－	－
MS-B	IV_AS	49	TEE	S_{prm}（S_s）	306	345	－	－	－	－	－
MS-B	IV_AS	49	TEE	S_t（S_s）	－	－	72	83	－	－	－
MS-A	IV_AS	21	TEE	S_n（S_s）	－	－	－	－	857	345	0.7218
MS-B	IV_AS	49	TEE	U＋US_s	－	－	－	－	－	－	0.8153

＊ 印はねじりによる応力が許容応力状態III_ASのとき0.55S_m，又は許容応力状態IV_ASのとき0.73S_m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。

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス２以下の管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 $S_{prm}(S_d)$ $S_{prm}(S_s)$	許容応力 Sy^* $0.9S_u$	計算応力 $S_n(S_s)$	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
MS-C	ⅢAS	232	$S_{prm}(S_d)$	121	182	—	—	—
MS-C	ⅣAS	232	$S_{prm}(S_s)$	138	363	—	—	—
MS-A	ⅣAS	301F	$S_n(S_s)$	—	—	151	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。

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_s）	許容応力 $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
MS-C	V_AS	451	S_{prm}（S_s）	175	363	—	—	—
MS-C	V_AS	451	S_n（S_s）	—	—	255	364	—

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNM-MS-464	メカニカルスナッバ	SMS-16	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		175.0	240.0
SNO-MS-P035	オイルスナッバ	SN-25			243.0	375.0
RO-MS-P036	ロッドレストレイント	RTS-16			264.0	288.0
SH-MS-HC1-1,2	スプリングハンガ	VS-L4			63.9	72.9
CH-MS-434	コンスタントハンガ	CHS-59			15.1	215.7

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			
GD-MS-GD1	ガイド	ラグ	[redacted]	302	195.0	566.0	0	0	0	230.0	組合せ	62	136
RE-MS-649	レストレイント	パイプバンド	SM400B	302	113.0	0	31.5	－	－	－	圧縮	62	115
AN-MS-220	アンカ	ラグ	[redacted]	302	207.0	329.0	1040.0	459.0	303.0	191.0	組合せ	82	237

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり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/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		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-F022A	主蒸気隔離弁	α（Ｓｓ）	6.4	5.6	10.0	6.2	－	－
B22-F022B	主蒸気隔離弁	α（Ｓｓ）	7.4	5.6	10.0	6.2	－	－
B22-F022C	主蒸気隔離弁	α（Ｓｓ）	7.4	5.4	10.0	6.2	－	－
B22-F013K	主蒸気逃がし安全弁	α（Ｓｓ） β（Ｓｓ）	6.8	1.8	9.6	6.1	－	－
B22-F013E	主蒸気逃がし安全弁	α（Ｓｓ） β（Ｓｓ）	6.1	2.4	9.6	6.1	－	－
B22-F013H	主蒸気逃がし安全弁	α（Ｓｓ） β（Ｓｓ）	6.8	1.6	9.6	6.1	－	－
B22-F013R	主蒸気逃がし安全弁	α（Ｓｓ） β（Ｓｓ）	4.8	2.4	9.6	6.1	－	－

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス１範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III_AS					許容応力状態 IV_AS												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	MS-A	21	203	258	1.27	－	21	292	345	1.18	－	21	857	345	0.40	○	21	0.7218	－
2	MS-B	49	223	258	1.15	○	49	306	345	1.12	○	49	811	345	0.42	－	49	0.8153	○
3	MS-C	16	206	258	1.25	－	50	278	345	1.24	－	50	757	345	0.45	－	50	0.6906	－
4	MS-D	24	177	258	1.45	－	24	235	345	1.46	－	24	676	345	0.51	－	24	0.5298	－

注記 ＊：III_ASの一次＋二次応力の許容値はIV_ASと同様であることから，地震荷重が大きいIV_ASの一次＋二次応力裕度最小を代表とする。
IV_ASの計算応力は，V_ASとIV_ASの大きい方を記載している。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III_AS					許容応力状態 IV_AS												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	MS-A	335	101	182	1.80	－	301F	121	363	3.00	－	301F	151	364	2.41	○	－	－	－
2	MS-B	318	117	182	1.55	－	318	134	363	2.70	－	201F	140	364	2.60	－	－	－	－
3	MS-C	232	121	182	1.50	○	232	138	363	2.63	○	307	146	364	2.49	－	－	－	－
4	MS-D	301F	84	182	2.16	－	301F	115	363	3.15	－	301F	151	364	2.41	○	－	－	－
5	MS-T-1	302	67	209	3.11	－	302	76	380	5.00	－	302	137	418	3.05	－	－	－	－
6	MS-A	－	－	－	－	－	350	118	363	3.07	－	350	121	364	3.00	－	－	－	－
7	MS-B	－	－	－	－	－	130	135	363	2.68	－	360	165	364	2.20	－	－	－	－
8	MS-C	－	－	－	－	－	451	175	363	2.07	○	451	255	364	1.42	○	－	－	－
9	MS-D	－	－	－	－	－	133	155	363	2.34	－	133	204	364	1.78	－	－	－	－

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
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 44

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」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　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とおりである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全３モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

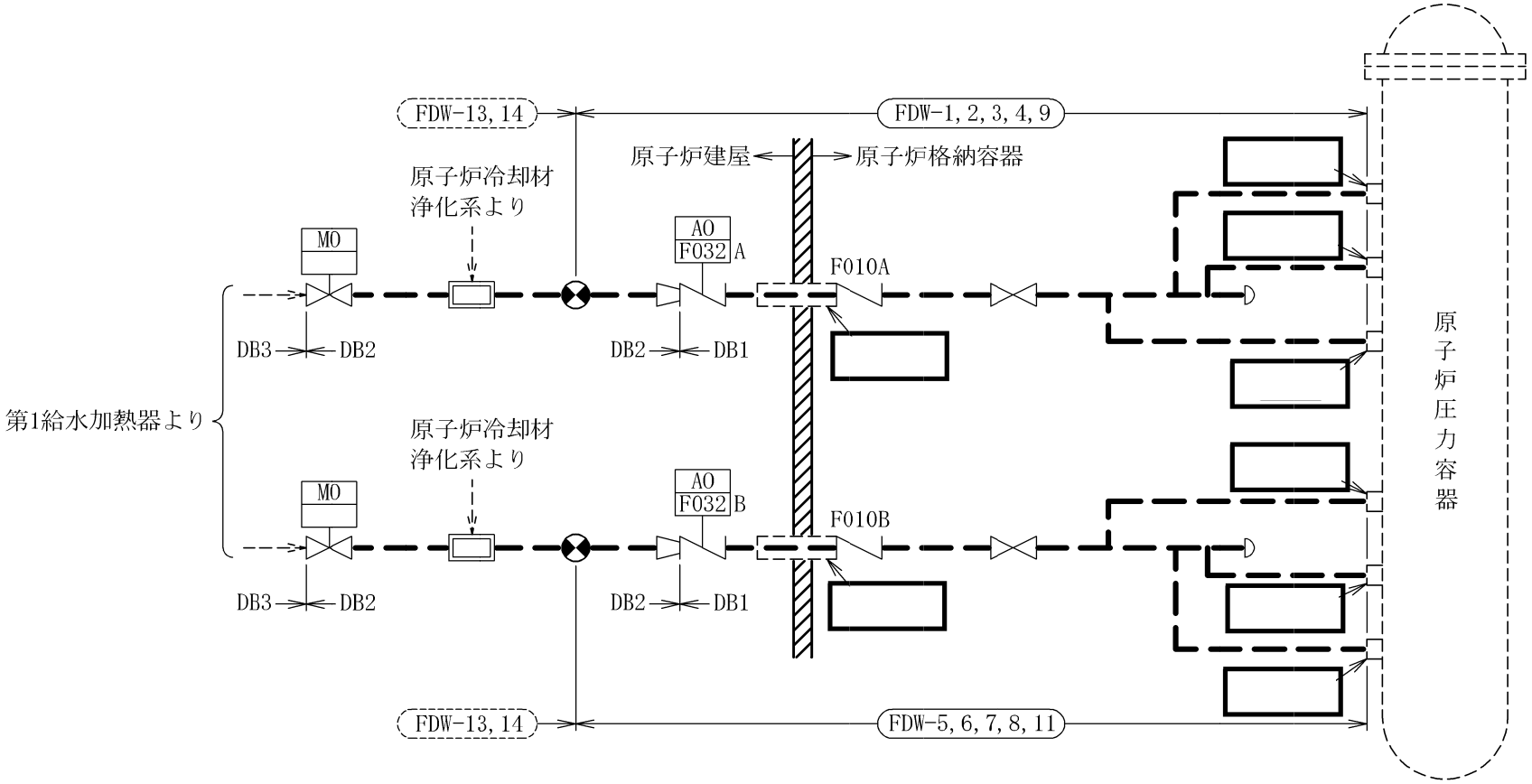
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

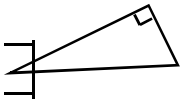
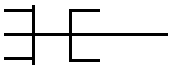
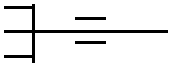
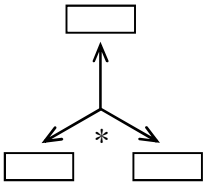
記　　号	内　　容
━━━━━ （太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（重大事故等対処設備）
━ ━ ━ （太破線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管（設計基準対象施設）
―――― （細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - - - - - （破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって系統の概略を示すために表記する管
○○-○-○○	鳥瞰図番号（鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する範囲）
○○-○-○○	鳥瞰図番号（評価結果のみ記載する範囲）
⊗	アンカ
[管クラス]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

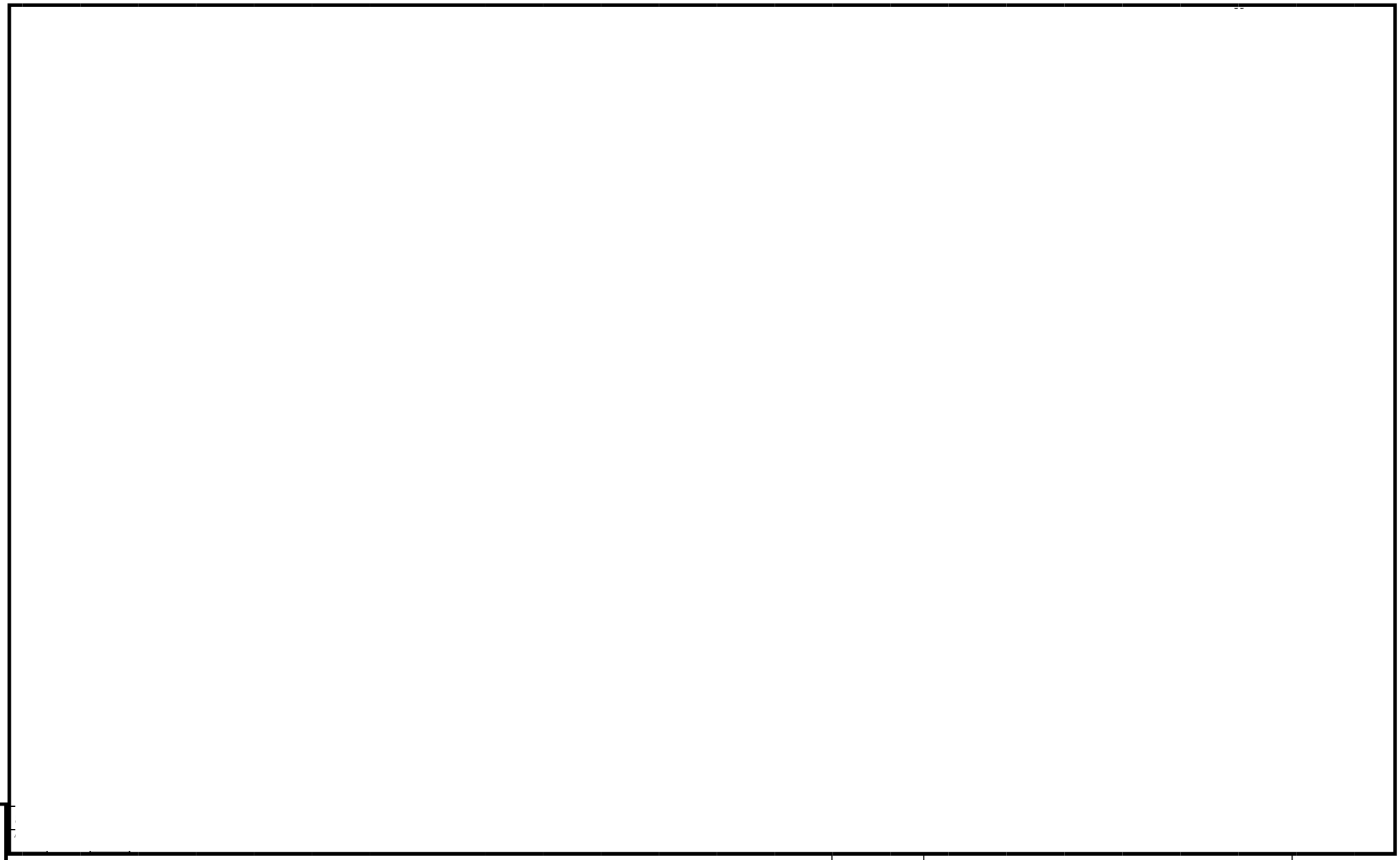

FDW-13,14
FDW-1,2,3,4,9
原子炉建屋
原子炉格納容器
原子炉冷却材
浄化系より
MO
AO
F032 A
F010A
DB3
DB2
DB2
DB1
第1給水加熱器より
原子炉冷却材
浄化系より
MO
AO
F032 B
F010B
DB3
DB2
DB2
DB1
FDW-13,14
FDW-5,6,7,8,11
原子炉圧力容器

復水給水系概略系統図

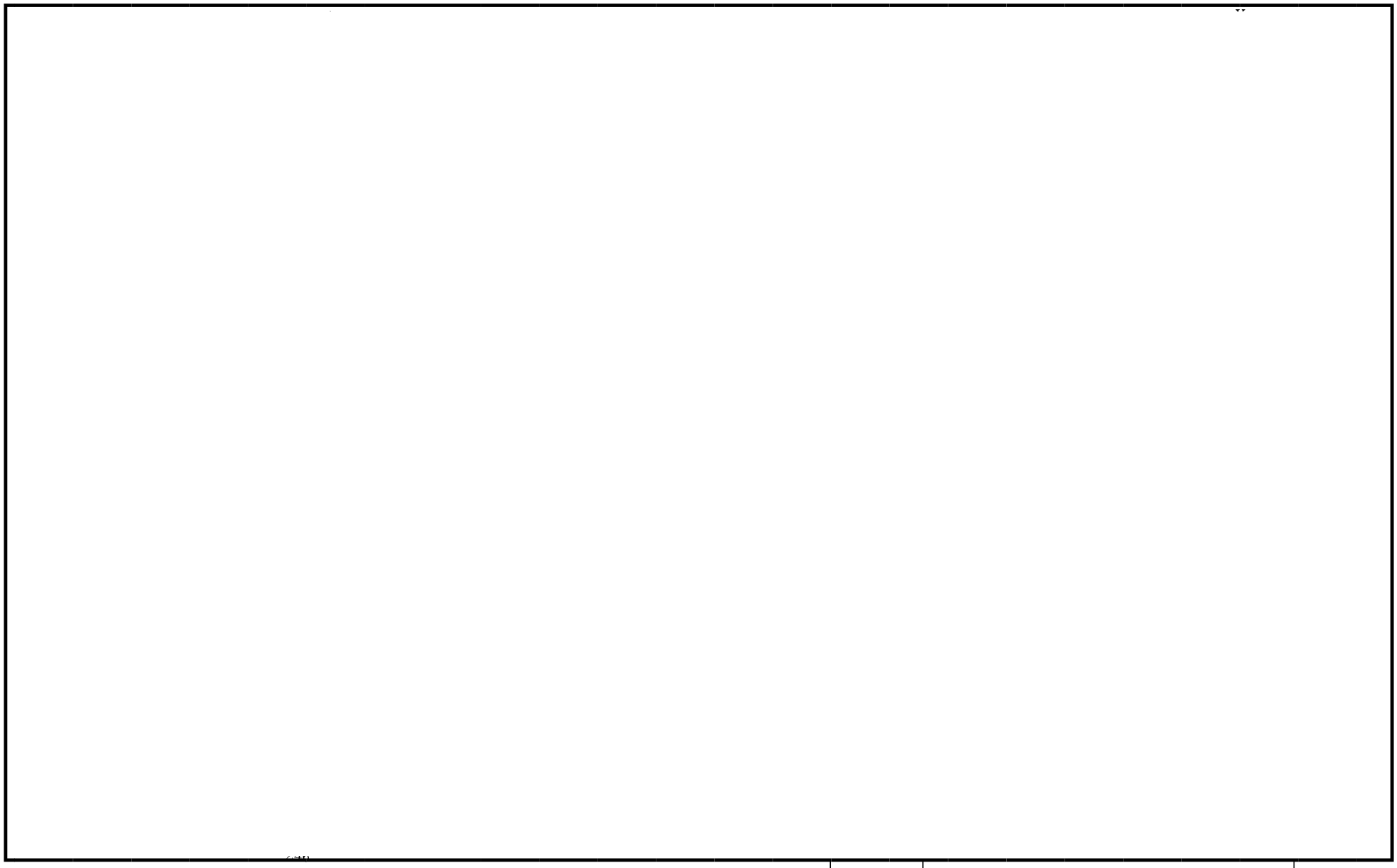
2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

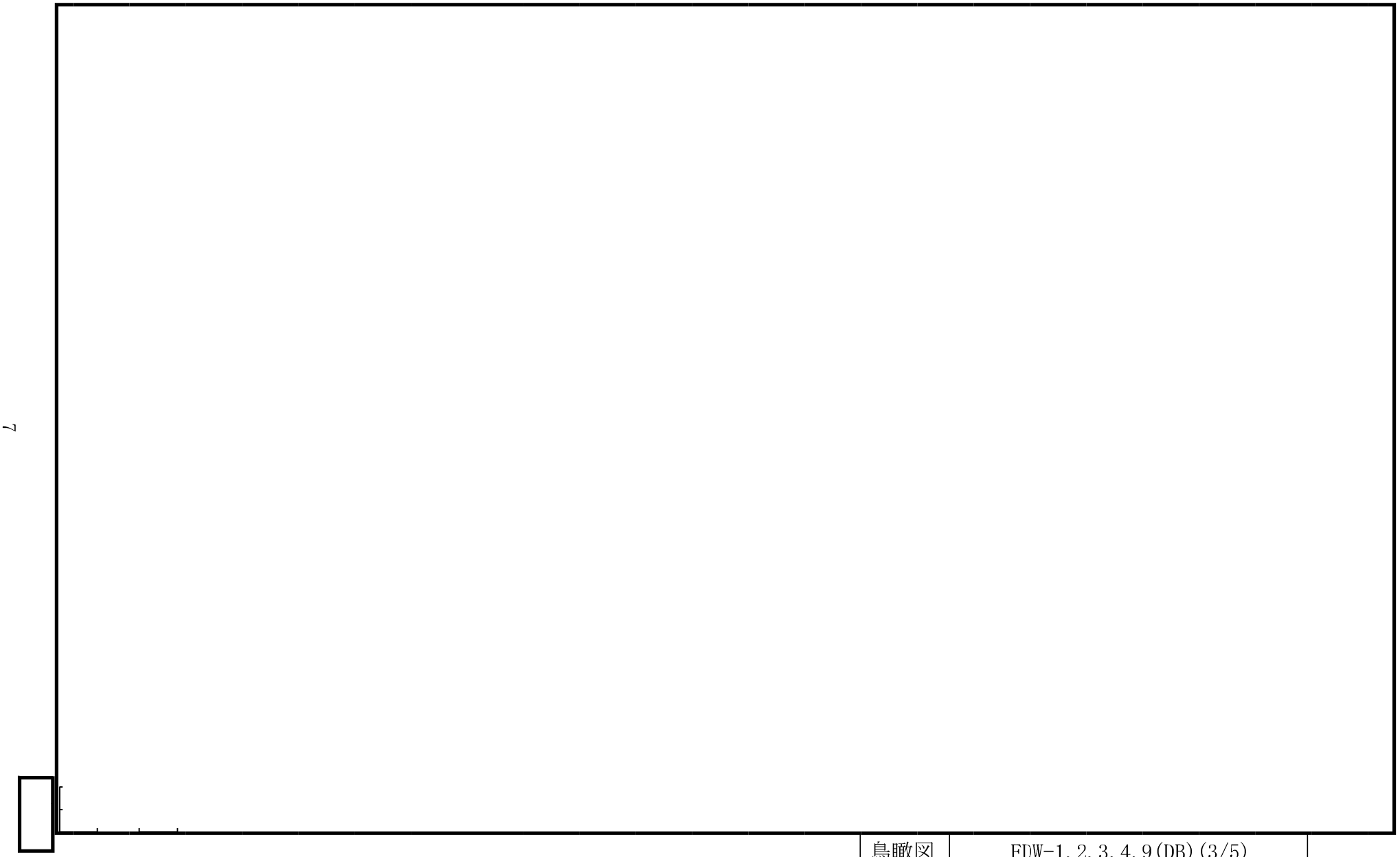
記　　号	内　　容
━━━━（太線）	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 （重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」，設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。）
――――（細線）	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他計算書記載範囲の管
- - - - - -（破線）	工事計画記載範囲外の管又は工事計画記載範囲の管のうち，他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
●	質　　点
⊗	ア　ン　カ
	レストレイント （本図は斜め拘束の場合の全体座標系における拘束方向成分を示す。スナッバについても同様とする。）
	スナッバ
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



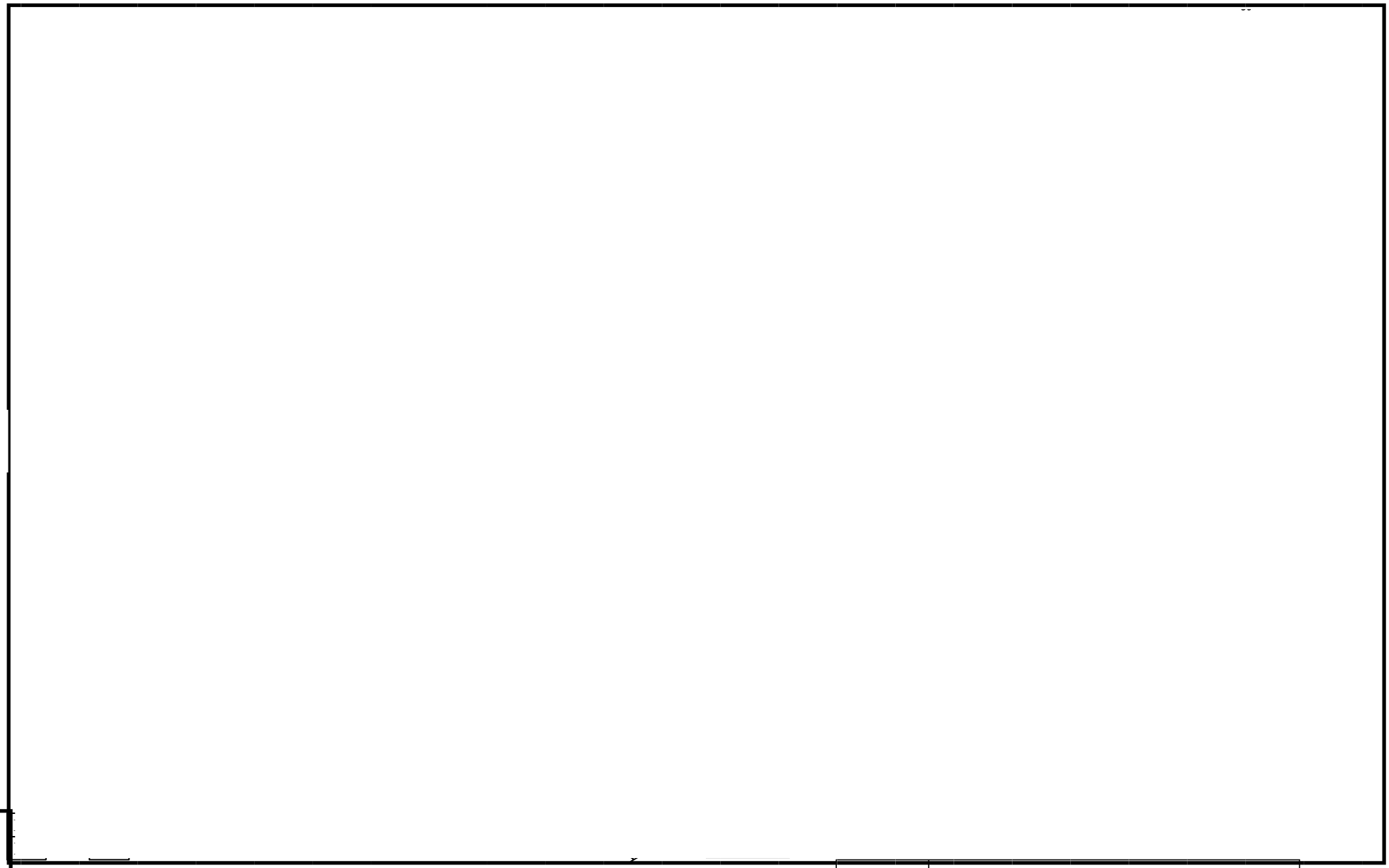
鳥瞰図	FDW-1,2,3,4,9(DB)(1/5)



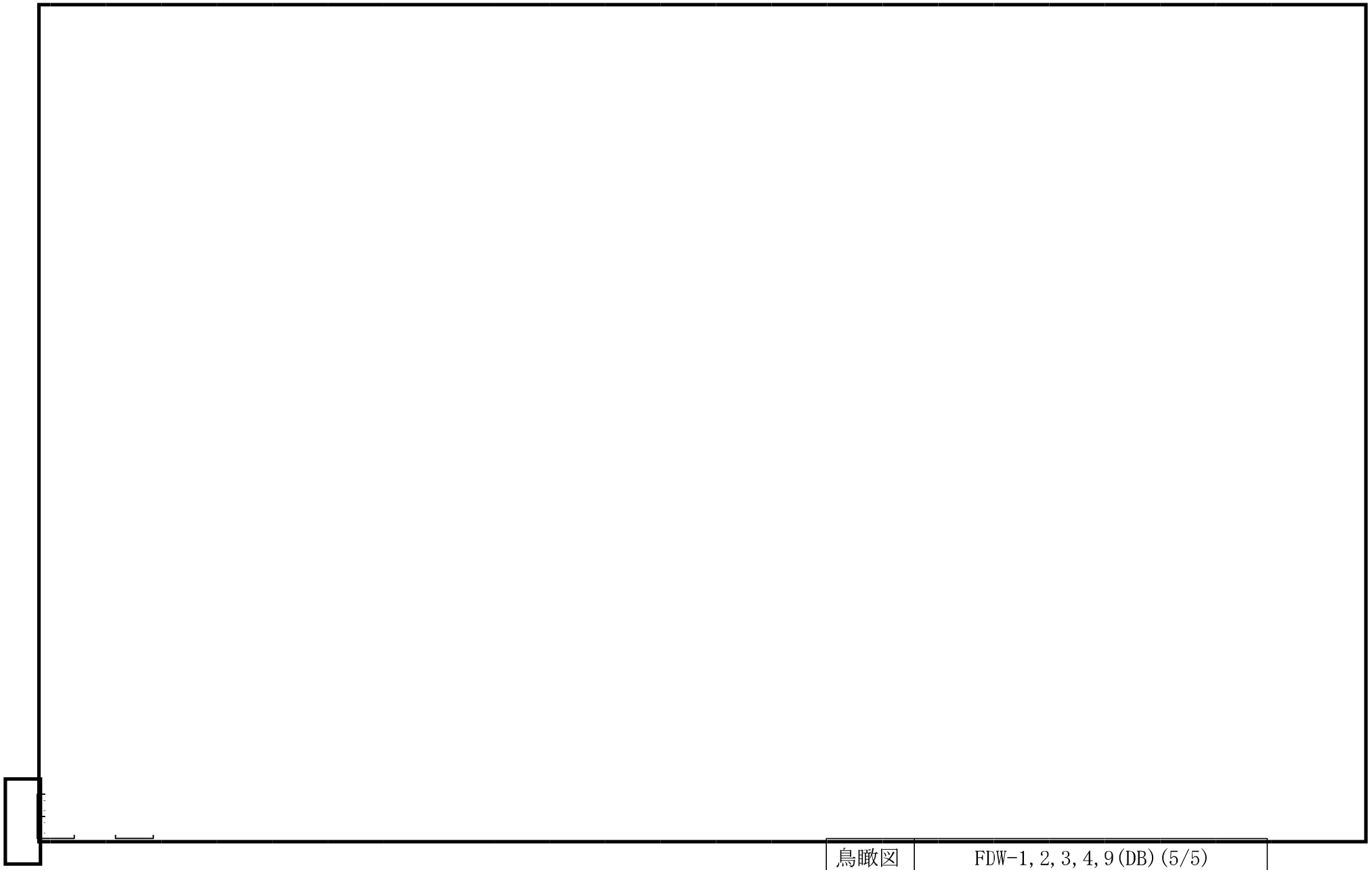
鳥瞰図	FDW-1,2,3,4,9(DB)(2/5)



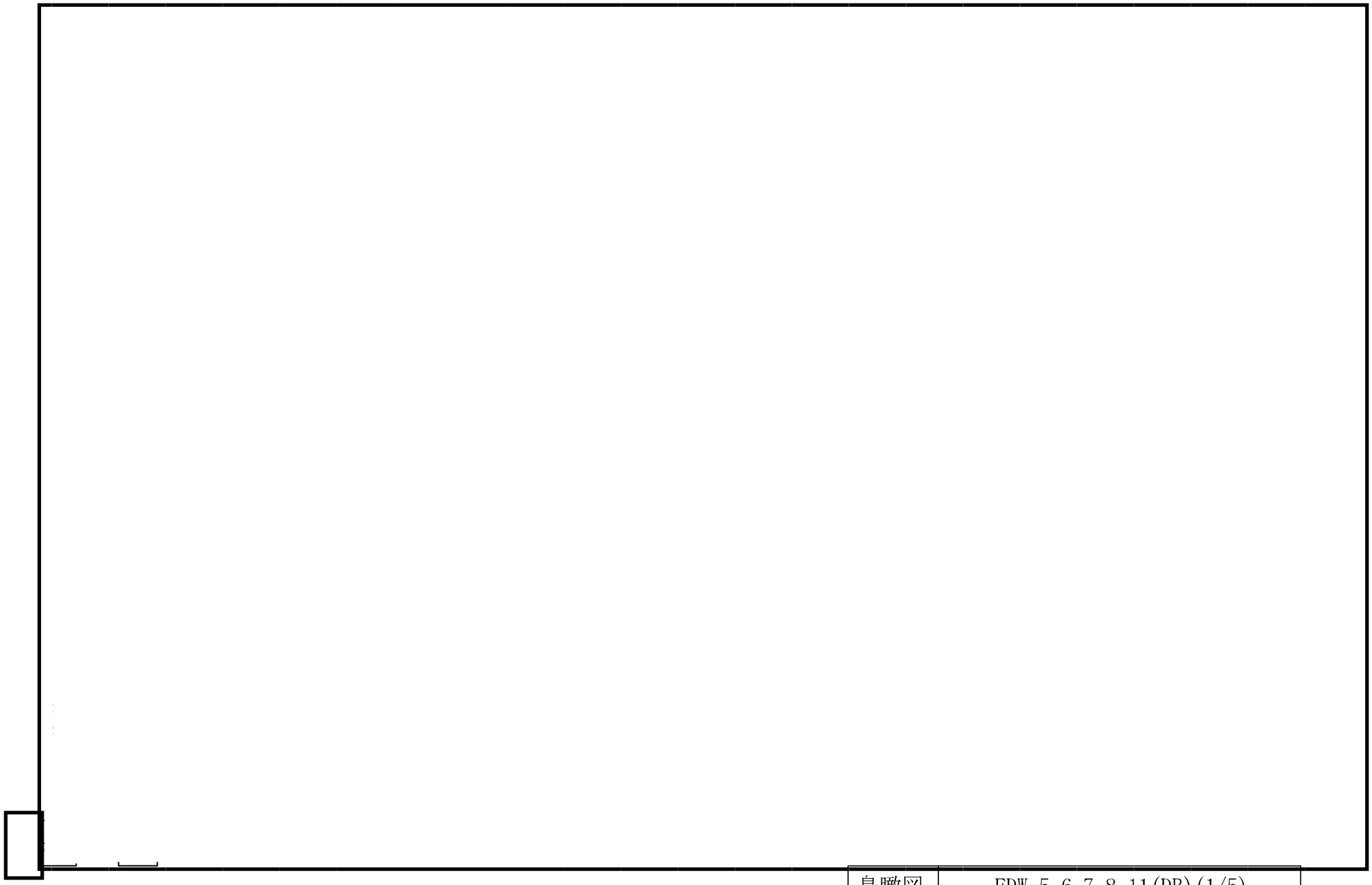
鳥瞰図	FDW-1,2,3,4,9(DB)(3/5)



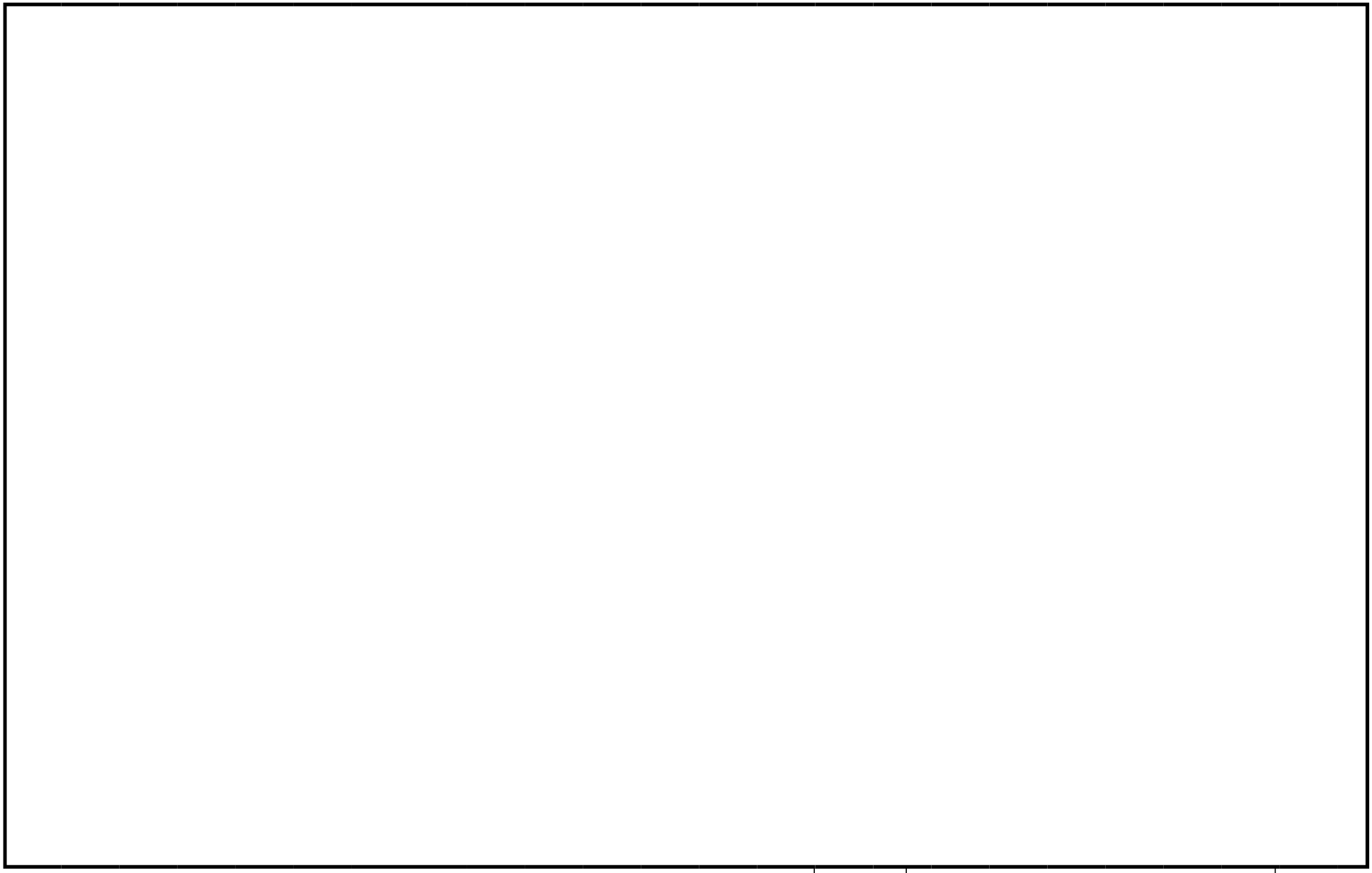
鳥瞰図	FDW-1,2,3,4,9(DB)(4/5)



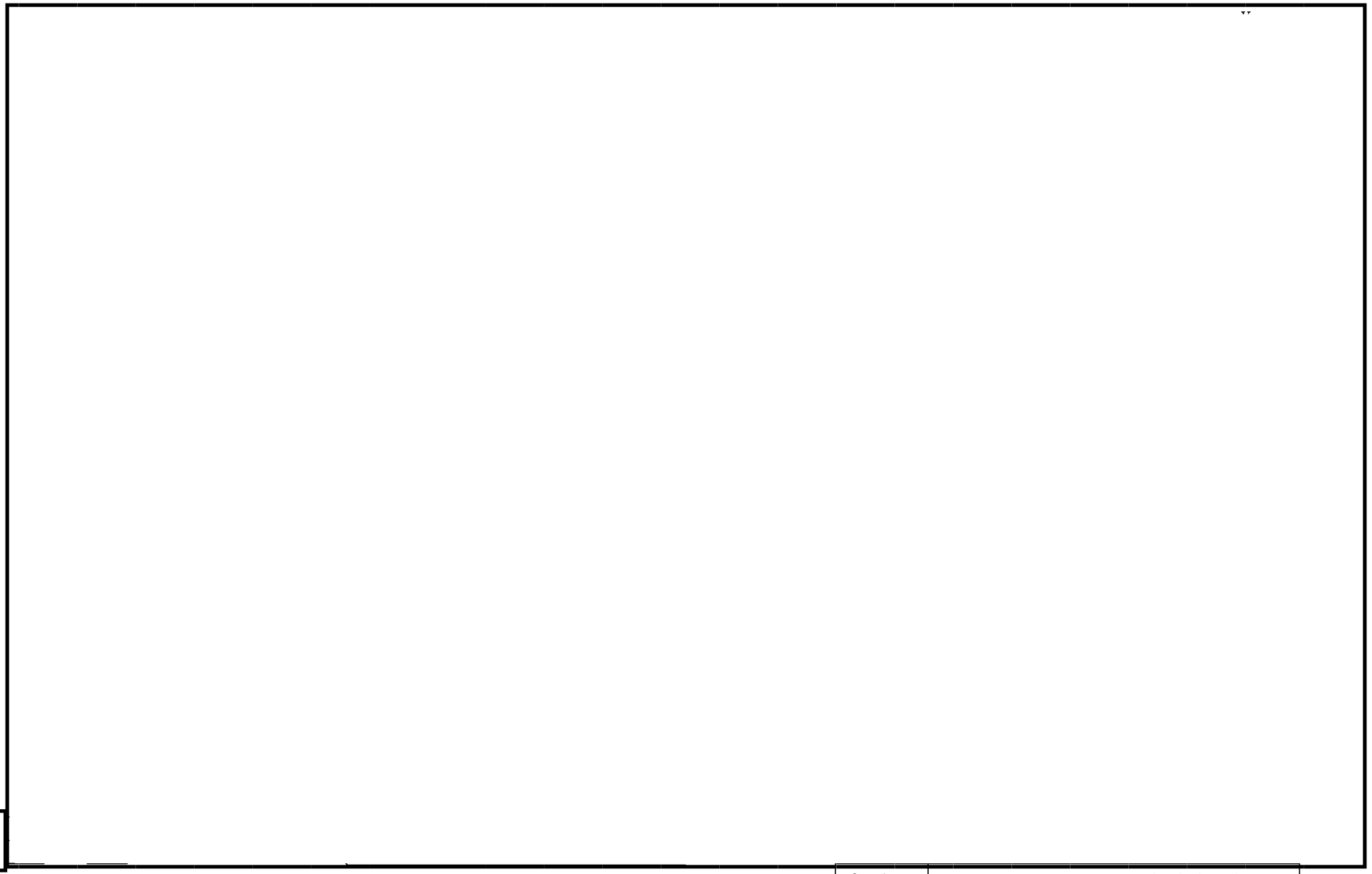
鳥瞰図	FDW-1,2,3,4,9(DB)(5/5)



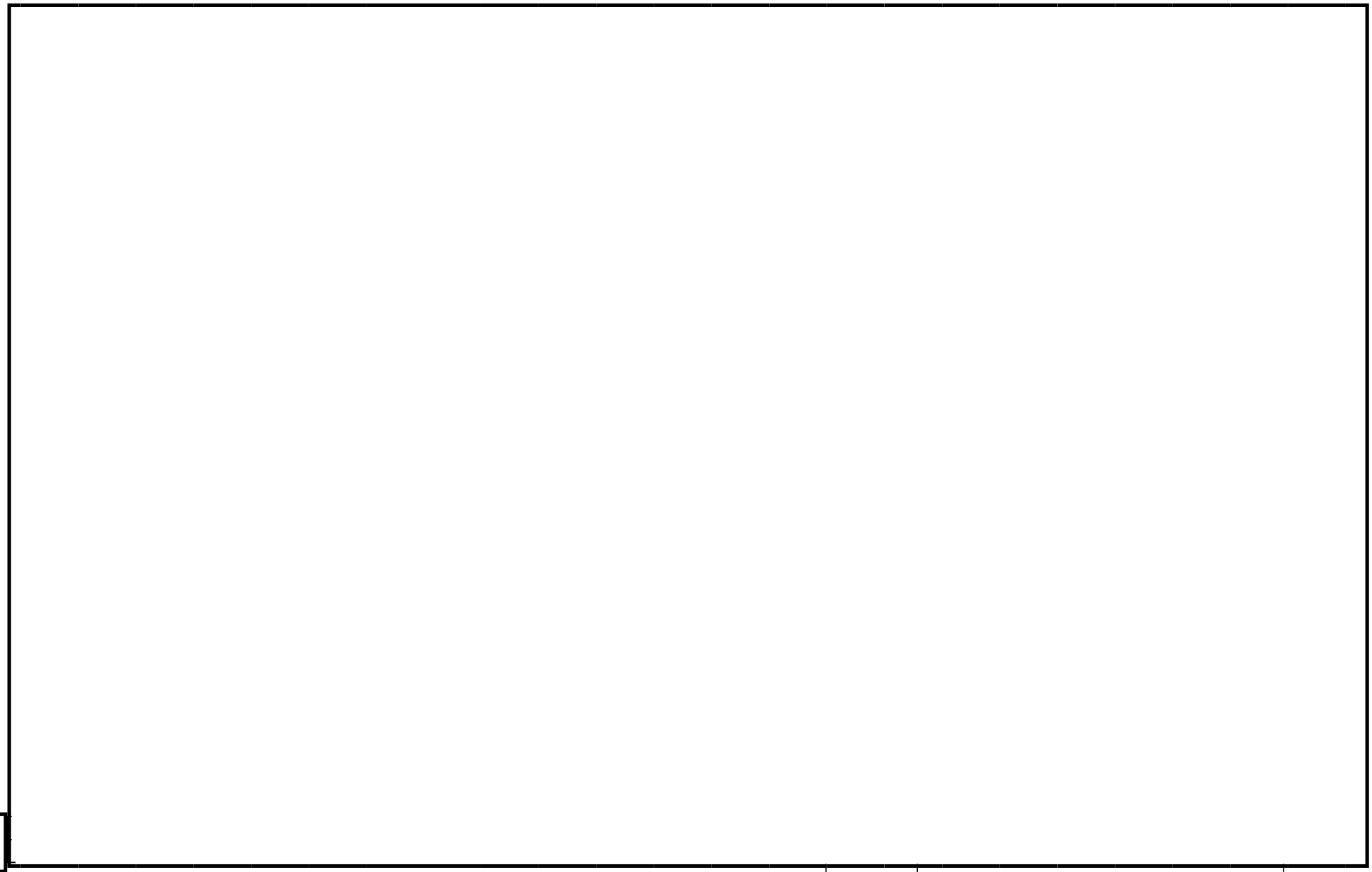
鳥瞰図	FDW-5,6,7,8,11(DB)(1/5)



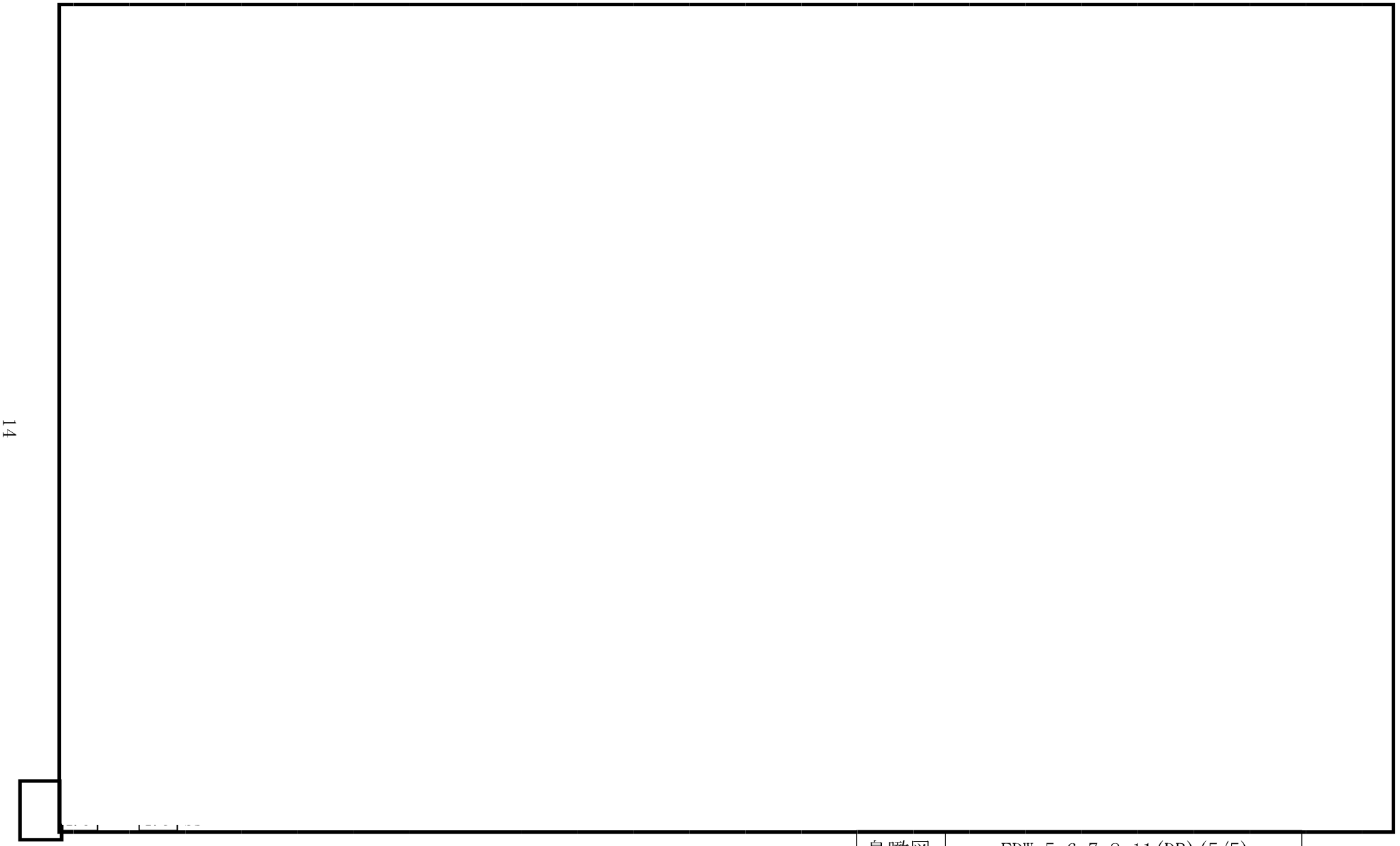
鳥瞰図	FDW-5,6,7,8,11(DB)(2/5)



鳥瞰図	FDW-5,6,7,8,11(DB)(3/5)



鳥瞰図	FDW-5,6,7,8,11(DB)(4/5)



鳥瞰図	FDW-5,6,7,8,11(DB)(5/5)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態
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_AS
							II_L+S_d	
							I_L+S_s	IV_AS
							II_L+S_s	
							$IV_L(L)+S_d$*5	

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：クラス１管においてのみ考慮する。

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	耐震設計上の重要度分類	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		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	[redacted]			10～11	[redacted]		
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	耐震設計上の重要度分類	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		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
[redacted]	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)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
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備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「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，減衰定数は添付書類「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

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
10 次							
11 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

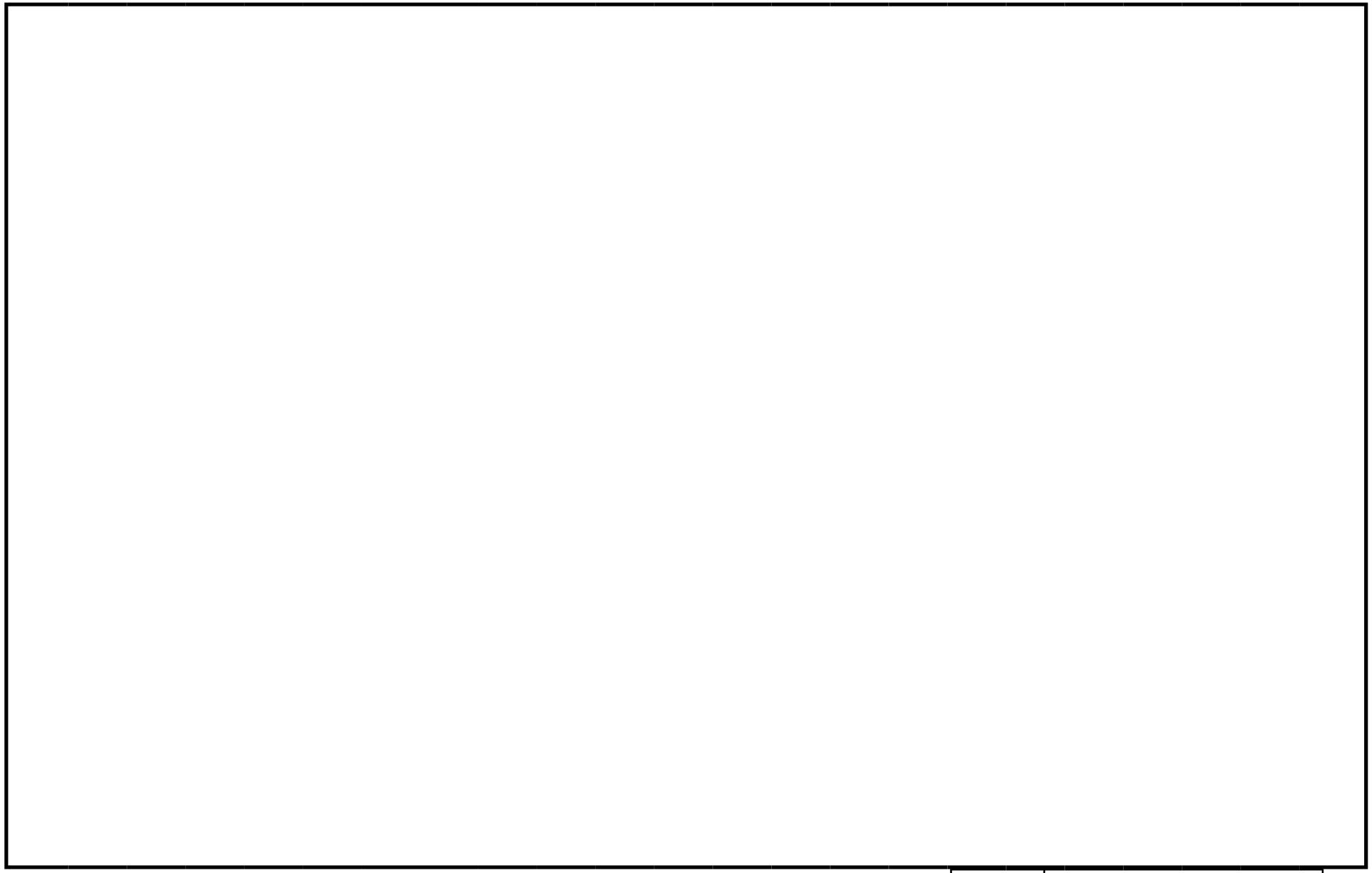
各モードに対応する刺激係数

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				
11 次				

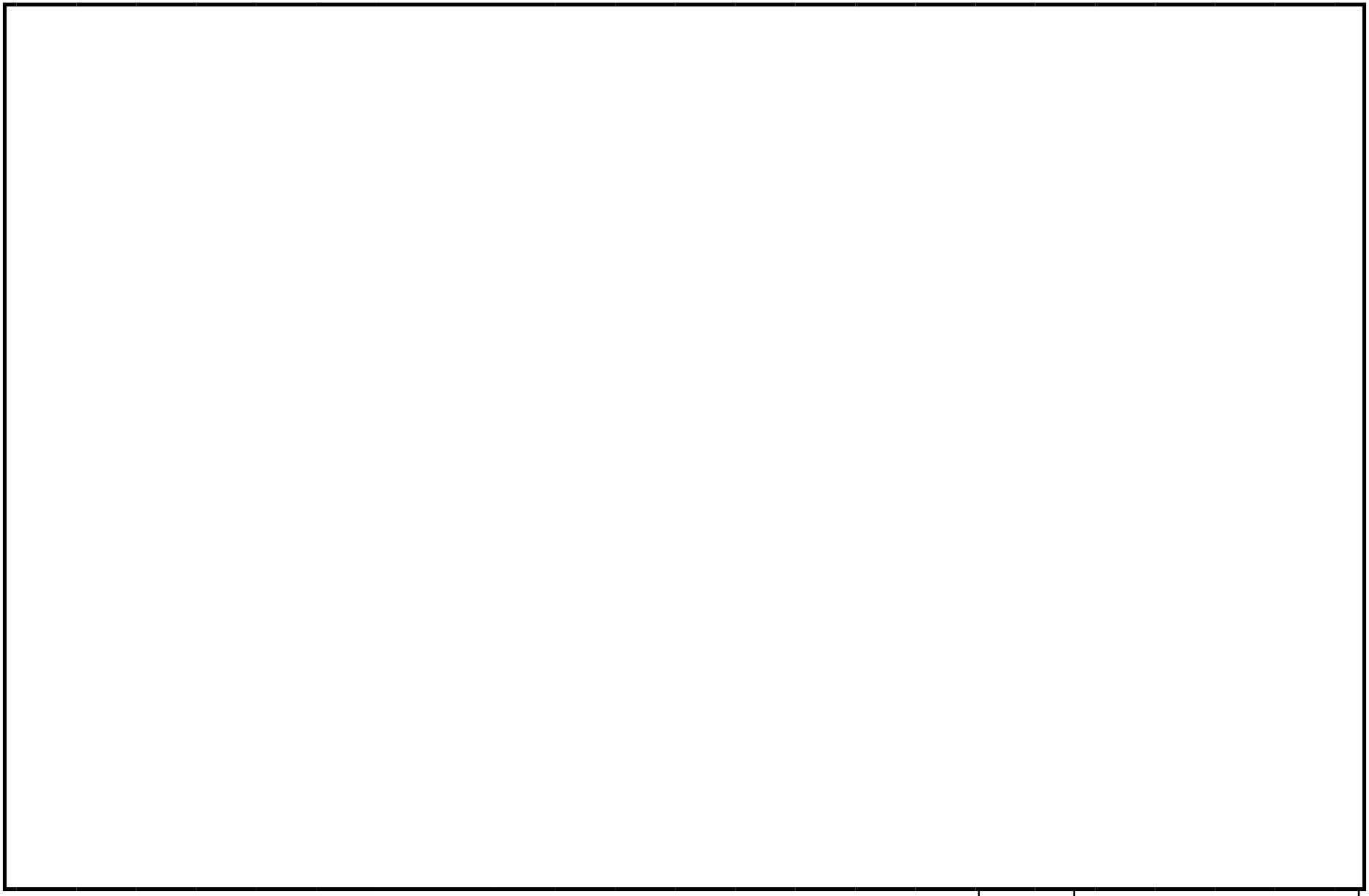
代表的振動モード図

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	FDW-1,2,3,4,9

鳥瞰図	FDW-1,2,3,4,9



鳥瞰図	FDW-1,2,3,4,9

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

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
10 次							
11 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

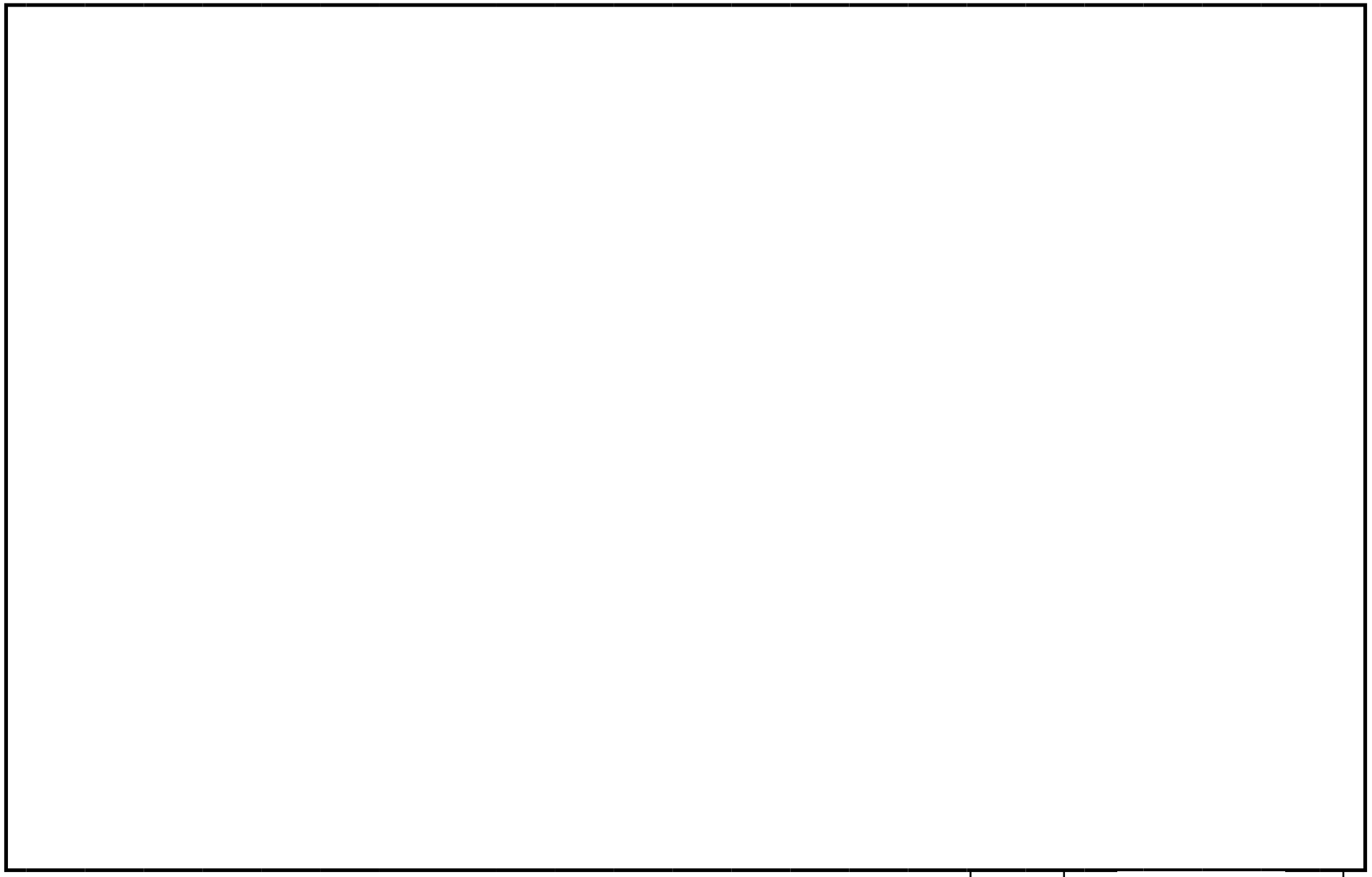
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　FDW-5,6,7,8,11

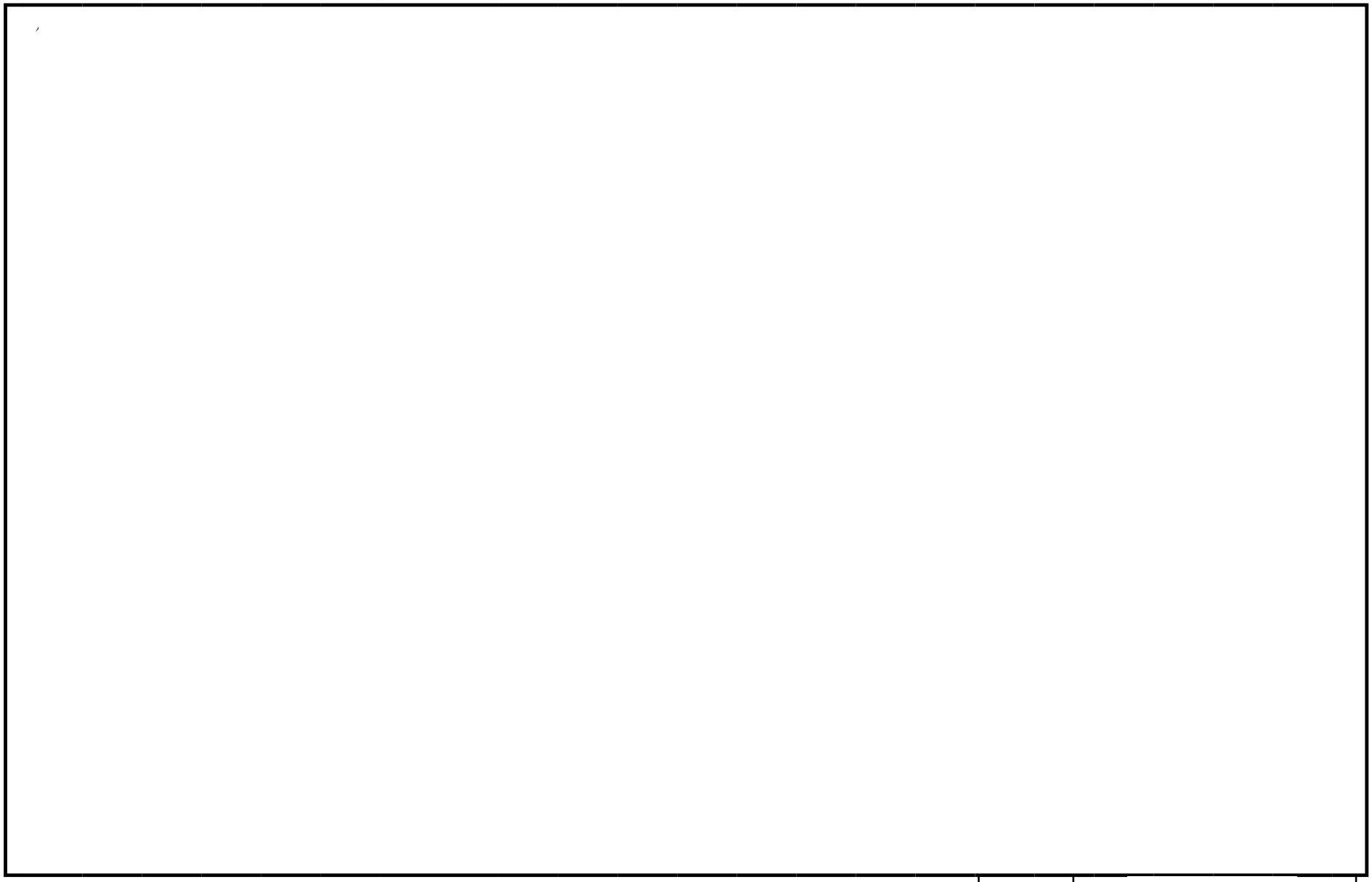
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
10 次				
11 次				

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	FDW-5, 6, 7, 8, 11



鳥瞰図	FDW-5, 6, 7, 8, 11

鳥瞰図	FDW-5,6,7,8,11

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス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 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y） min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
FDW-5, 6, 7, 8, 11	ⅢAS	26	TEE	S_{prm}（S_d）	119	274	—	—	—	—	—
FDW-5, 6, 7, 8, 11	ⅢAS	48	ELBOW	S_t（S_d）	—	—	59	75	—	—	—
FDW-5, 6, 7, 8, 11	ⅣAS	26	TEE	S_{prm}（S_s）	164	364	—	—	—	—	—
FDW-5, 6, 7, 8, 11	ⅣAS	48	ELBOW	S_t（S_s）	—	—	98	100	—	—	—
FDW-5, 6, 7, 8, 11	ⅣAS	26	TEE	S_n（S_s）	—	—	—	—	422	366	0.2229
FDW-5, 6, 7, 8, 11	ⅣAS	26	TEE	U＋US_s	—	—	—	—	—	—	0.2229

クラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態 (供用状態)	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)		一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
				計算応力 S_{prm} (S_d) S_{prm} (S_s)	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n (S_s)	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
FDW-1,2,3,4,9	ⅢAS	1A	S_{prm} (S_d)	73	182	—	—	—
FDW-1,2,3,4,9	ⅣAS	1A	S_{prm} (S_s)	97	363	—	—	—
FDW-1,2,3,4,9	ⅣAS	1A	S_n (S_s)	—	—	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，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	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-2-1-12-1配管及び支持構造物の耐震設計について」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

下表に示すとおり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（S_s）	4.8	3.2	6.0	6.0	—	—

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス１管範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III_AS					許容応力状態 IV_AS												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FDW-1,2,3,4,9	61	121	310	2.56	－	26	155	364	2.34	－	26	392	366	0.93	－	26	0.2135	－
2	FDW-5,6,7,8,11	26	119	274	2.30	○	26	164	364	2.21	○	26	422	366	0.86	○	26	0.2229	○

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２管範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III_AS					許容応力状態 IV_AS												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	FDW-1,2,3,4,9	1A	73	182	2.49	○	1A	97	363	3.74	○	1A	143	364	2.54	○	－	－	－
2	FDW-5,6,7,8,11	1A	70	182	2.60	－	1A	93	363	3.90	－	1A	136	364	2.67	－	－	－	－
3	FDW-13,14	228	64	201	3.14	－	228	72	363	5.04	－	225	128	458	3.57	－	－	－	－

Ⅴ-2-5-3-3-1　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 ····· 5
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 ····· 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 ····· 31
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 31
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 32
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 33
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 34

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」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　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。

評価結果の記載方法は以下に示す通りである。

(1)　管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全２０モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2)　支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3)　弁

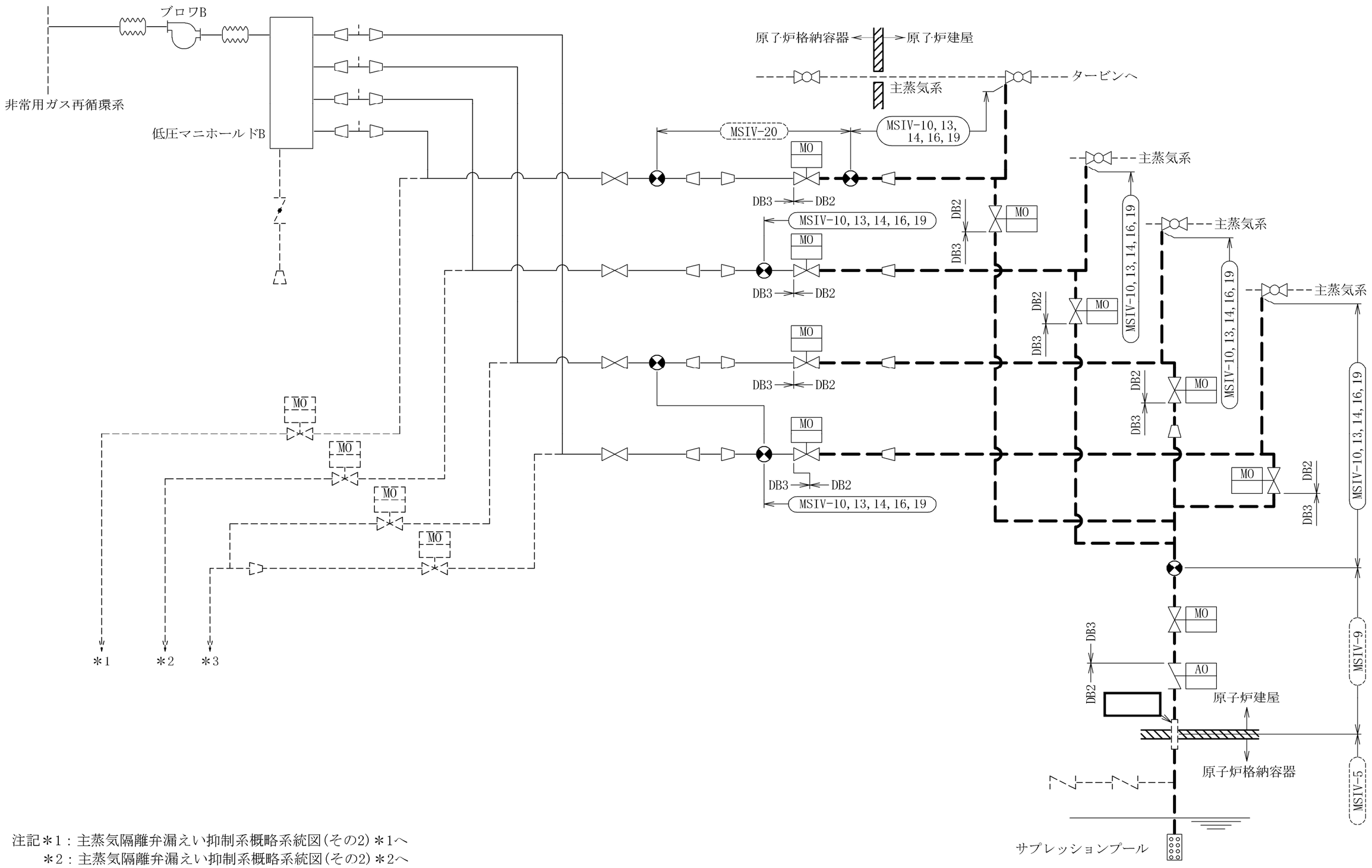
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

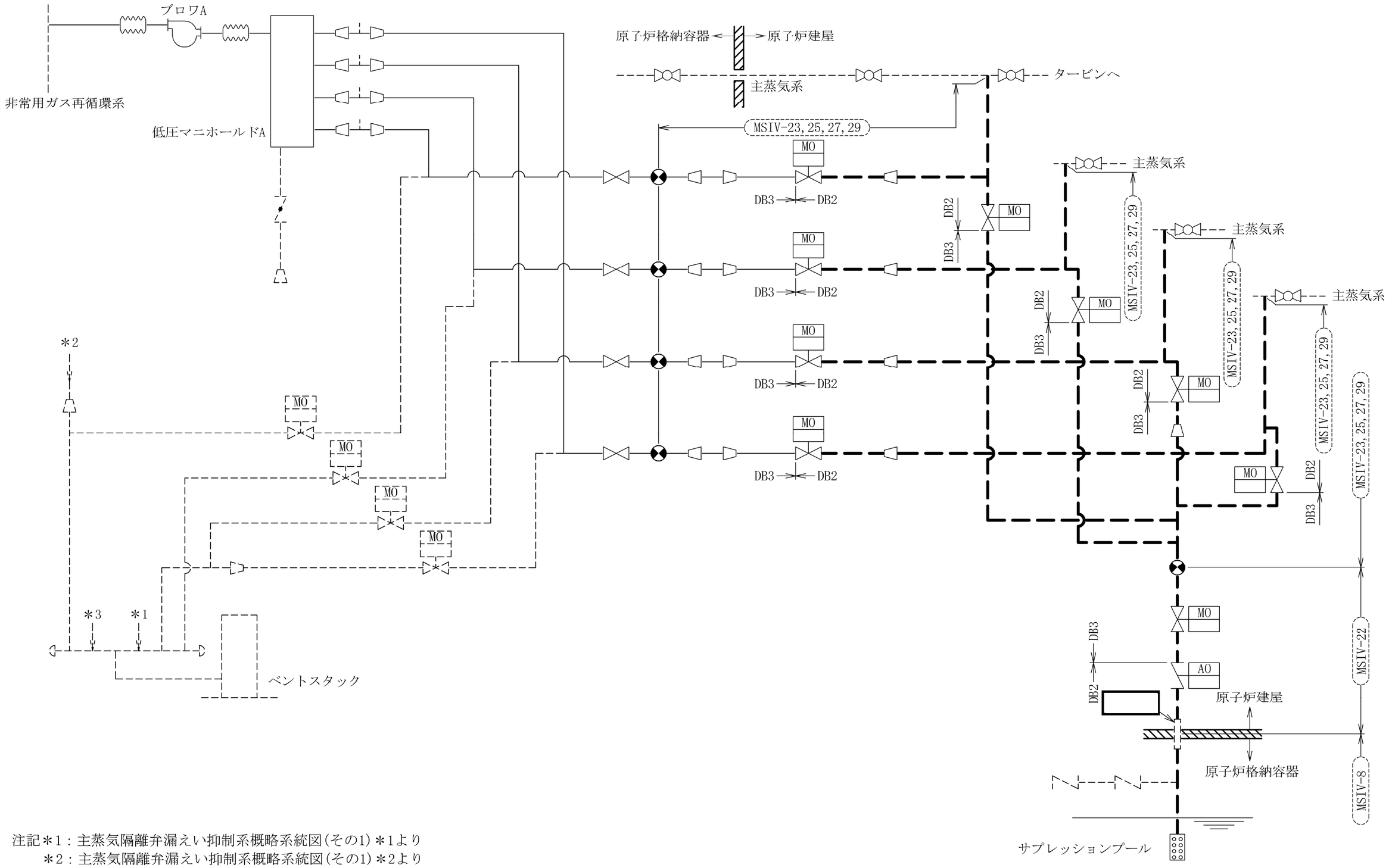
概略系統図記号凡例

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



注記＊1：主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その2)＊1へ
＊2：主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その2)＊2へ
＊3：主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その2)＊3へ

主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その1)

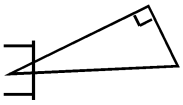
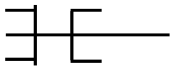
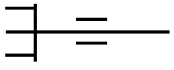
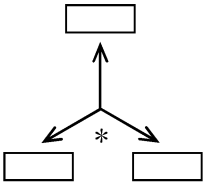


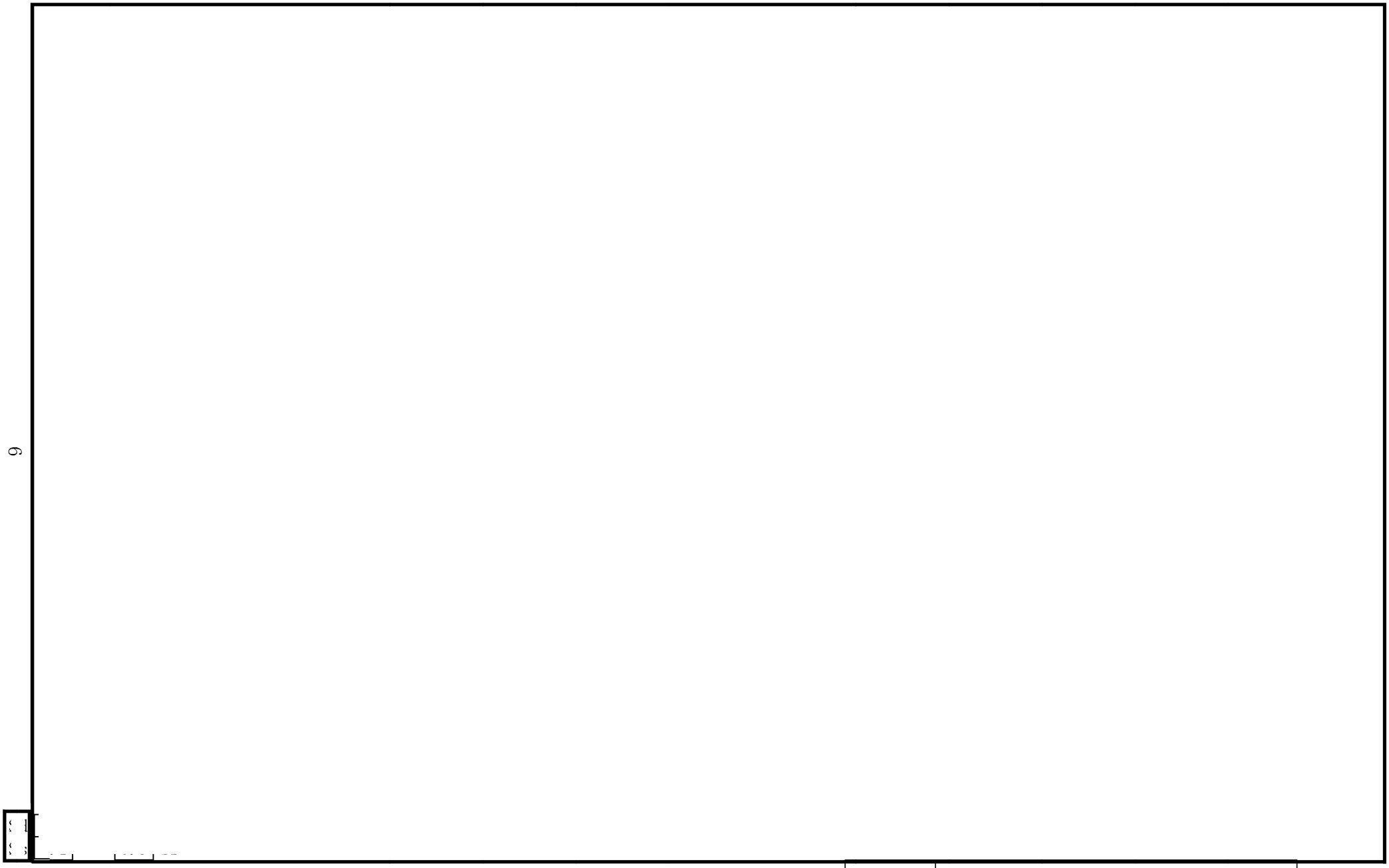
注記＊1：主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その1)＊1より
＊2：主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その1)＊2より
＊3：主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その1)＊3より

主蒸気隔離弁漏えい抑制系概略系統図(その2)

2.2　鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━（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	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(1/9)

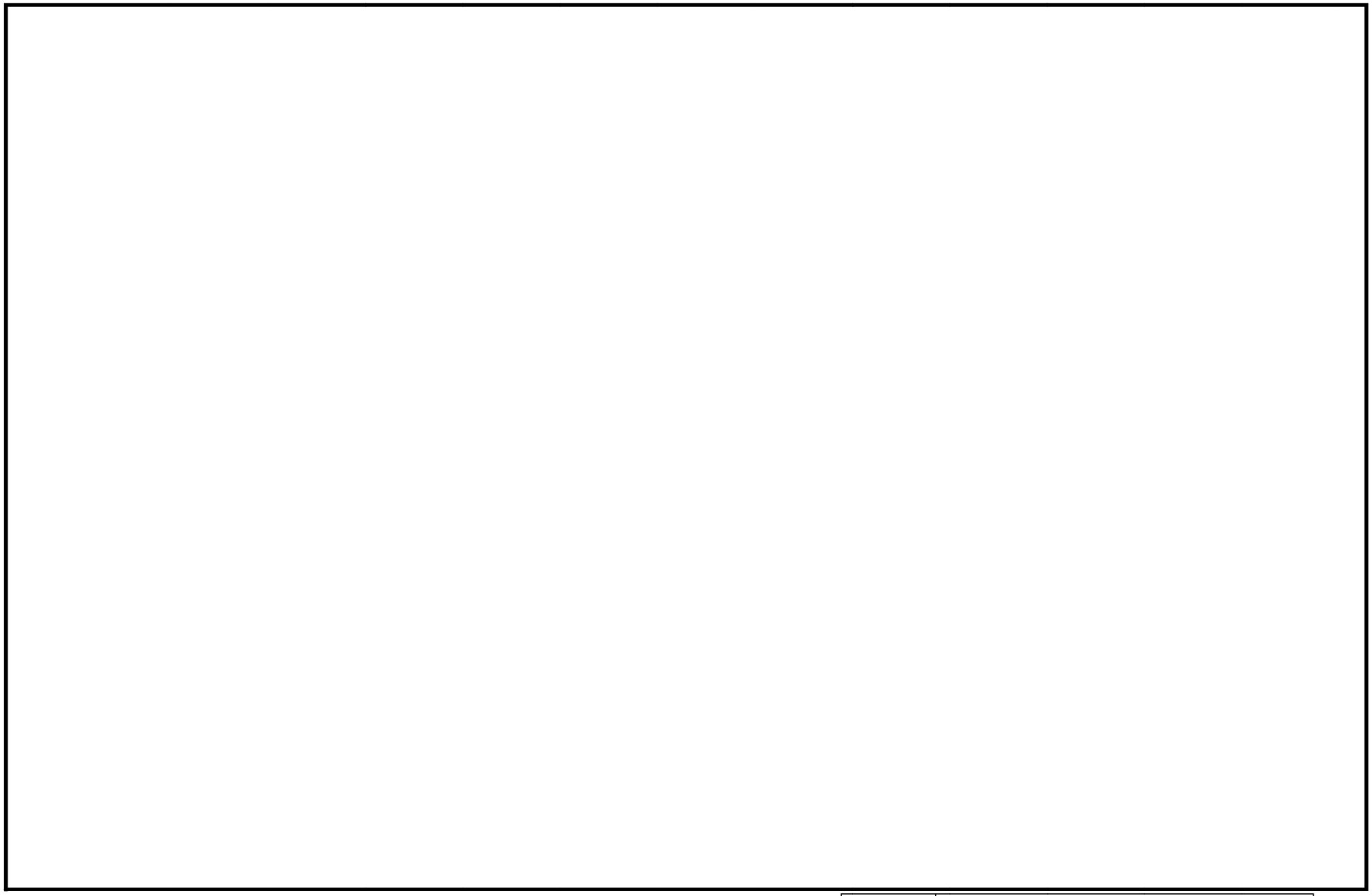
鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(2/9)

鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(3/9)

鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(4/9)

鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(5/9)

鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(6/9)



鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(7/9)

鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(8/9)

鳥瞰図	MSIV-10,13,14,16,19(DB)(9/9)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	原子炉冷却材の循環設備	主蒸気隔離弁漏えい抑制系	ＤＢ	—	クラス２管 クラス３管	Ｓ	$\mathrm{I}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$	
							$\mathrm{I}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$
							$\mathrm{II}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$	

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。

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 MSIV-10,13,14,16,19

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N～2W,163W～164N 261W～262N,361W～362N	8.62	302				S	
2	2W～16W,14～53W 107W～112W,110～163W 204W～209W,207～261W 304W～308W,306～361W	8.62	302				S	
3	17W～24W,113W～117W 210W～224A,309W～320W	8.62	302				S	
4	25W～26,29～36S 118W～119A,321W～322A	8.62	302				S	

鳥　瞰　図　MSIV-10,13,14,16,19

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
5	27～28,54W～69 71Z～106W,74Z～203W 77Z～303W	8.62	302				S	
6	36S～34A	8.62	302				S	
7	70～86S	8.62	302				S	
8	86S～95A	8.62	302				S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　MSIV-10,13,14,16,19

質量	対応する評価点
[redacted]	1N～16W,14～53W,107W～112W,110～164N,204W～209W 207～262N,304W～308W,306～362N
	17W～24W,70～95A,113W～117W,210W～224A,309W～320W
	25W～26,27～28,29～34A,54W～69,71Z～106W 118W～119A,74Z～203W,77Z～303W,321W～322A

弁部の寸法

鳥　瞰　図　MSIV-10,13,14,16,19

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
24W～2401				2401～2402			
2402～2403				2403～2404			
2401～25W				53W～5301			
5301～5302				5302～5303			
5303～5304				5301～54W			
106W～1061				1061～1062			
1062～1063				1063～1064			
1061～107W				117W～1171			
1171～1172				1172～1173			
1173～1174				1171～118W			
203W～2031				2031～2032			
2032～2033				2033～2034			
2031～204W				303W～3031			
3031～3032				3032～3033			
3033～3034				3031～304W			
320W～3201				3201～3202			
3202～3203				3203～3204			
3201～321W							

弁部の質量

鳥　瞰　図　MSIV-10,13,14,16,19

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
[redacted]	24W,25W,117W,118W,320W,321W	[redacted]	2401,1171,3201
	2402,1172,3202		2404,1174,3204
	53W,54W,106W,107W,203W,204W		303W,304W
	5301,1061,2031,3031		5302,1062,2032,3032
	5304,1064,2034,3034		

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MSIV-10,13,14,16,19

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						
4001						
1701						
21						
2401						
2403						
2403						
2403						
2701						
2701						
34A						
52						
52						
5304						
5304						
60						
7101						
72						
73						
75						
75						
7701						
7701						
80						
83						
83						
95A						
101						
101						
1051						
1051						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　MSIV-10,13,14,16,19

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
1061						
1063						
1063						
1071						
1071						
1171						
1173						
1173						
119A						
1601						
164N						
2031						
2034						
2034						
213						
216						
224A						
2581						
262N						
3031						
3034						
3034						
310						
311						
316						
316						
3203						
3203						
322A						
3581						
362N						

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)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
STPT49	302	—	209	423	—
STPT42	302	—	182	404	—

3.4　設計用地震力

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

なお，設備評価用床応答曲線は添付書類「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，減衰定数は添付書類「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(%)
MSIV-10,13,14,16,19	原子炉建屋		

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MSIV-10,13,14,16,19

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1 次							
2 次							
3 次							
4 次							
5 次							
6 次							
7 次							
8 次							
36 次							
37 次							
動 的 震 度							
静 的 震 度							

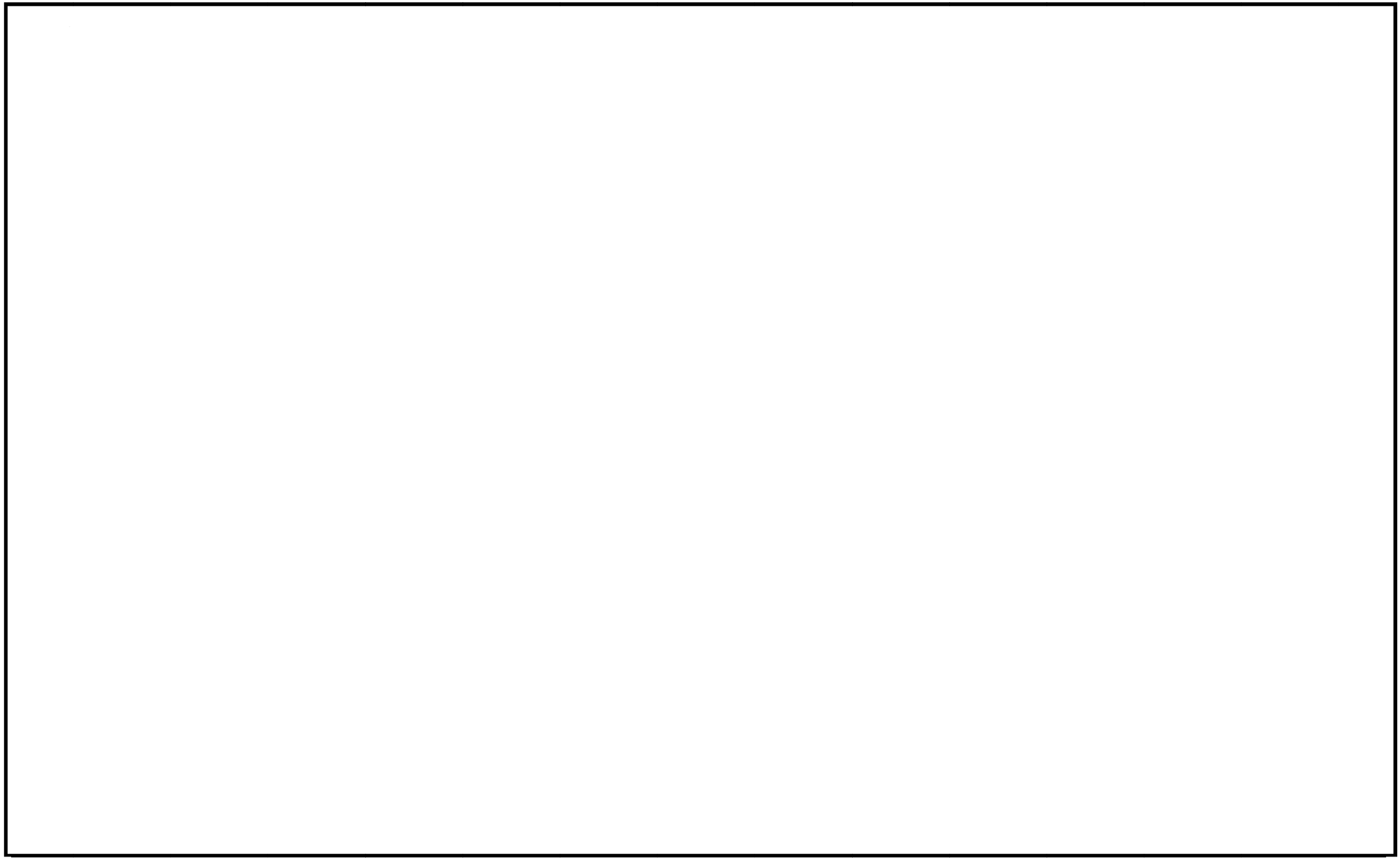
各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　MSIV-10,13,14,16,19

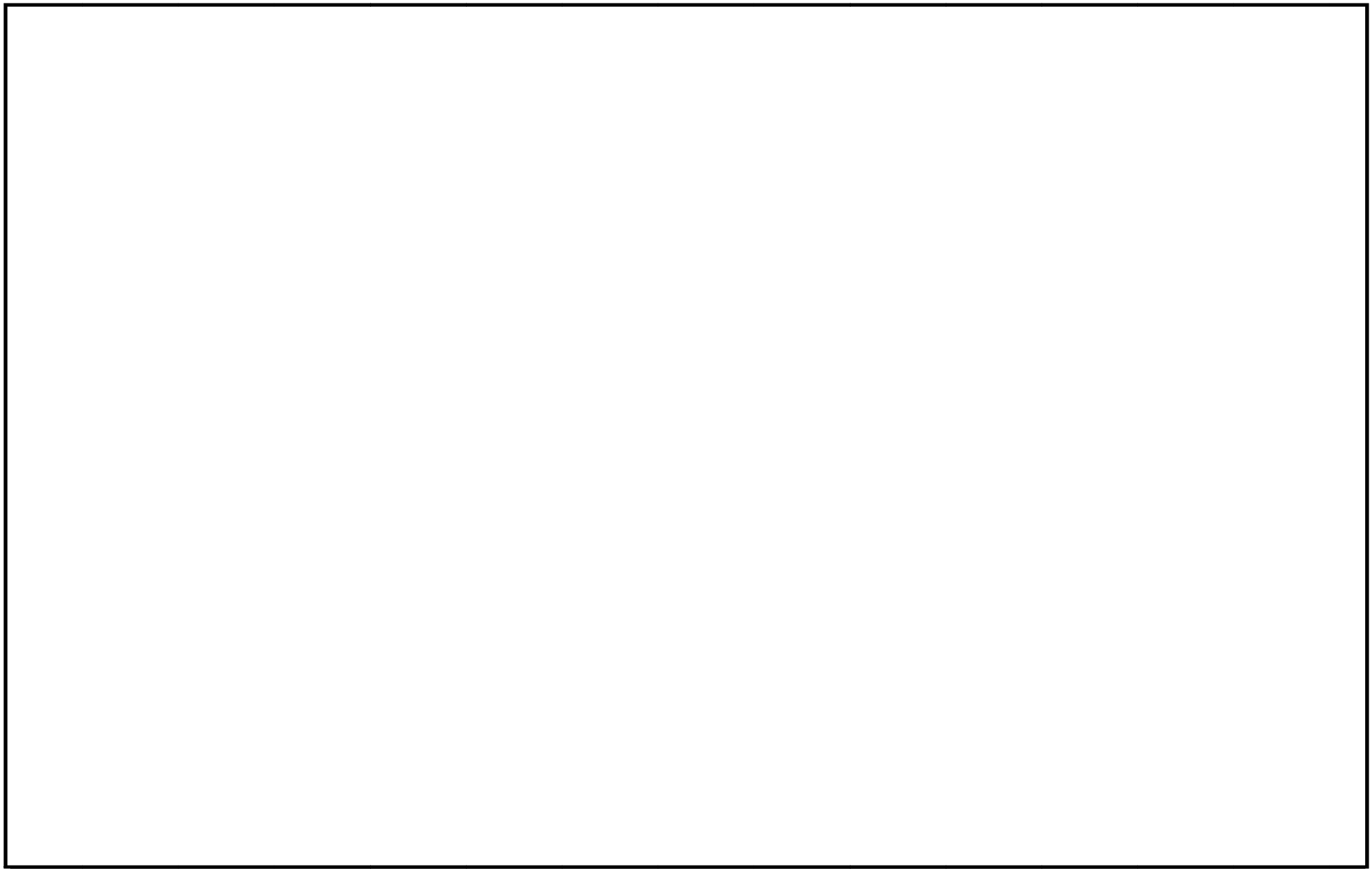
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1 次				
2 次				
3 次				
4 次				
5 次				
6 次				
7 次				
8 次				
36 次				
37 次				

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	MSIV-10, 13, 14, 16, 19



鳥瞰図	MSIV-10, 13, 14, 16, 19

鳥瞰図	MSIV-10, 13, 14, 16, 19

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス２以下の管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	最大応力区分	一次応力評価（MPa）		一次＋二次応力評価（MPa）		疲労評価
				計算応力 S_{prm}（S_d）S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
MSIV-10,13,14,16,19	ⅢAS	320W	S_{prm}（S_d）	113	182	—	—	—
MSIV-10,13,14,16,19	ⅣAS	320W	S_{prm}（S_s）	146	363	—	—	—
MSIV-10,13,14,16,19	ⅣAS	19	S_n（S_s）	—	—	301	364	—

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNO-MSIV-R062	オイルスナッバ	SN-3	「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		4.9	45.0
RH-MSIV-R034	リジットハンガ	ロッド			1.4	5.0

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	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-MSIV-33	アンカ	ラグ	SM41A	302	7.6	4.2	1.7	1.7	0.6	2.3	組合せ	39	51
RE-MSIV-117	レストレイント	パイプバンド	SM400B STK400	302	0	11.9	0	-	-	—	圧縮	27	94

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり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
－	－	－	－	－	－	－	－	－

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	MSIV-10	320W	113	182	1.61	○	320W	146	363	2.48	○	19	301	364	1.20	○	－	－	－
2	MSIV-1	2	101	231	2.28	－	2	132	366	2.77	－	2	134	462	3.44	－	－	－	－
3	MSIV-2	3	90	231	2.56	－	3	97	366	3.77	－	3	38	462	12.15	－	－	－	－
4	MSIV-3	2	55	231	4.20	－	14	65	366	5.63	－	38	60	462	7.70	－	－	－	－
5	MSIV-4	2	54	231	4.27	－	2	57	366	6.42	－	39	94	462	4.91	－	－	－	－
6	MSIV-5	2	93	182	1.95	－	2	135	363	2.68	－	2	234	364	1.55	－	－	－	－
7	MSIV-8	24	79	182	2.30	－	24	112	363	3.24	－	11	218	364	1.66	－	－	－	－
8	MSIV-9	1401	49	182	3.71	－	1401	66	363	5.50	－	13	116	364	3.13	－	－	－	－
9	MSIV-11	53	49	182	3.71	－	53	72	363	5.04	－	53	111	364	3.27	－	－	－	－
10	MSIV-14	164	106	182	1.71	－	770	142	363	2.55	－	770	265	364	1.37	－	－	－	－
11	MSIV-12	8091	29	182	6.27	－	8091	42	363	8.64	－	813	69	388	5.62	－	－	－	－
12	MSIV-15	7250	26	182	7.00	－	7252	36	363	10.08	－	7252	66	388	5.87	－	－	－	－
13	MSIV-17	5000	27	182	6.74	－	5000	40	363	9.07	－	6700	70	364	5.20	－	－	－	－
14	MSIV-20	350	95	182	1.91	－	350	134	363	2.70	－	350	192	364	1.89	－	－	－	－
15	MSIV-21	3626	25	182	7.28	－	3626	33	363	11.00	－	3626	39	364	9.33	－	－	－	－
16	MSIV-22	214	87	182	2.09	－	214	116	363	3.12	－	208	148	364	2.45	－	－	－	－
17	MSIV-23	78	89	182	2.04	－	78	114	363	3.18	－	644	158	364	2.30	－	－	－	－
18	MSIV-24	160	47	194	4.12	－	160	68	363	5.33	－	160	96	388	4.04	－	－	－	－
19	MSIV-33	3677	38	194	5.10	－	3677	53	363	6.84	－	3677	66	388	5.87	－	－	－	－
20	MSIV-34	3077	48	194	4.04	－	3077	65	363	5.58	－	3077	83	388	4.67	－	－	－	－

Ⅴ-2-5-4-1-1　残留熱除去系熱交換器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 ····· 11
3. 評価部位 ····· 12
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 12
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 12
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 18
4.4 固有周期 ····· 21
4.5 設計用地震力 ····· 24
4.6 計算方法 ····· 25
4.7 計算条件 ····· 41
4.8 応力の評価 ····· 41
5. 評価結果 ····· 43
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 43
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 43
6. 引用文献 ····· 43

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の設計方針に基づき，残留熱除去系熱交換器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。

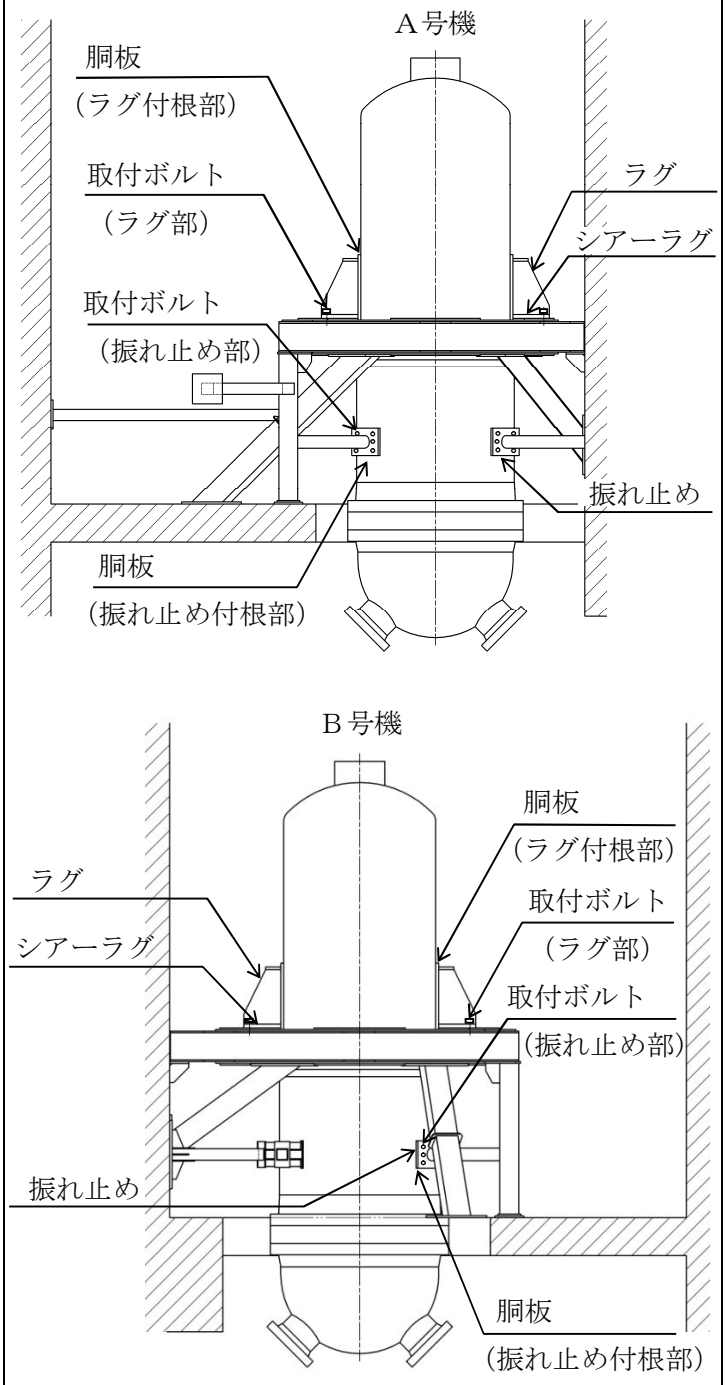
残留熱除去系熱交換器は，設計基準対象施設においてはＳクラス施設に，重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下，設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系熱交換器の構造計画を表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個のラグで支持し，ラグをそれぞれ架台に取付ボルトで取り付ける。	水室，管板，胴を有するラグ支持たて置円筒形容器	

2.2　評価方針

残留熱除去系熱交換器の応力評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「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」にて示す残留熱除去系熱交換器の部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期及び荷重に基づく設計用地震力による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。

残留熱除去系熱交換器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

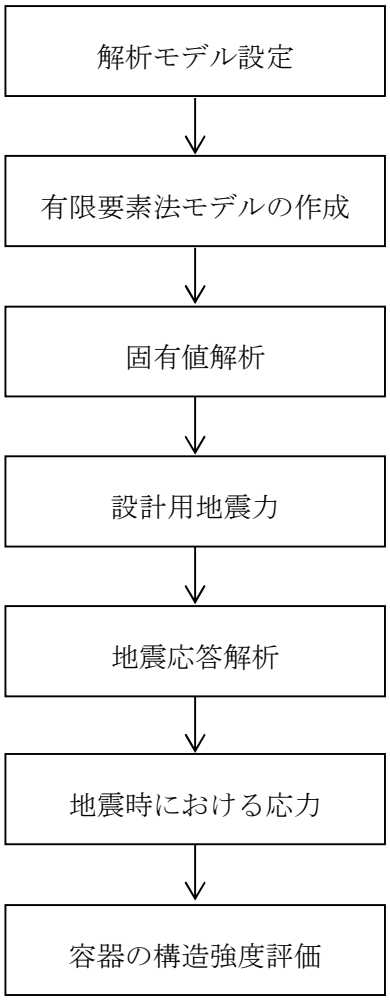


図 2-1　残留熱除去系熱交換器の耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１－1987（日本電気協会）

(2)　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（日本電気協会）

(3)　原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１－1991　追補版（日本電気協会）

(4)　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。））ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005/2007（日本機械学会）（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_{Lb}	取付ボルト（ラグ部及び振れ止め部）の軸断面積	mm^2
A_{Tb}	取付ボルト（振れ止め部）の軸断面積	mm^2
A_{Ls1}	鉛直方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
A_{Ls2}	円周方向荷重に対するラグのせん断断面積	mm^2
A_{Ts}	鉛直方向荷重に対する振れ止めのせん断断面積	mm^2
A_T	半径方向荷重に対する振れ止めの断面積	mm^2
A_S	せん断方向荷重に対するシアーラグの断面積	mm^2
a_L	ラグの半径方向端面から胴板までの距離	mm
a_T	振れ止めの円周方向の幅	mm
b_L	ラグの半径方向端面から取付ボルト中心までの距離	mm
C_{L1}	ラグの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_{L2}	ラグの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_{T1}	振れ止めの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の周方向）	mm
C_{T2}	振れ止めの胴付根部のアタッチメントの幅の2分の1（胴の軸方向）	mm
C_{Lcj}，C_{Tcj}	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）	－
$C_{L\ell j}$	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）	－
c_L	ラグの据付くシアーラグ端面から取付ボルト中心までの距離	mm
D_i	胴の内径	mm
d_T	振れ止め中心から取付ボルト中心までの距離	mm
F	設計・建設規格　SSB-3121.1又はSSB-3131に定める値	MPa
F^*	F値を求める際において，設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_V	鉛直方向地震力による荷重	N
F_{L01}	運転時質量によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{L01V}	鉛直方向地震力によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{L11}	水平方向地震力によりラグの取付ボルトに作用する鉛直方向荷重	N
F_{Trg}	運転時質量により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{TrV}	鉛直方向地震力により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{TrH}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に半径方向に作用する荷重	N
F_{Tsr}	振れ止めの引張方向に作用する荷重	N
$F_{Ts\ell}$	振れ止めのせん断方向に作用する荷重	N
F_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに作用するせん断方向の荷重	N
f_{Ssb}	シアーラグの許容せん断応力（f_Sを1.5倍した値又はf_S^*を1.5倍した値）	MPa

記　号	記　号　の　説　明	単　位
f_{Tsb}	振れ止めの取付ボルトの許容せん断応力（f_Sを 1.5 倍した値又は f_S^* を 1.5 倍した値）	MPa
f_{Lt}	ラグの許容引張応力（f_Sを1.5倍した値又はf_S^*を1.5倍した値）	MPa
f_{Tt}	振れ止めの許容引張応力（f_Sを1.5倍した値又はf_S^* を1.5倍した値）	MPa
f_{Lto}	引張力のみを受けるラグの取付ボルトの許容引張応力（f_Sを1.5倍した値又はf_S^* を1.5倍した値）	MPa
f_{Tto}	引張力のみを受ける振れ止めの取付ボルトの許容引張応力（f_Sを1.5倍した値又はf_S^*を1.5倍した値）	MPa
f_{Tts}	引張力とせん断力を同時に受ける振れ止めの取付ボルトの許容引張応力	MPa
g	重力加速度（＝9.80665）	m/s^2
I_L	ラグ部の胴の断面二次モーメント	mm^4
I_T	振れ止め部の胴の断面二次モーメント	mm^4
k_{Lcj}，$k_{L\ell j}$，k_{Tcj}	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（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
K_{1Nj}，K_{1Mj}	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータの膜応力及び曲げ応力に対する補正係数（j＝1：周方向応力，j＝2：軸方向応力）	－
M_{LH}	水平方向地震力によるラグ部の胴の曲げモーメント	N･mm
M_{TH}	水平方向地震力による振れ止め部の胴の曲げモーメント	N･mm
M_{L1}	水平方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N･mm
M_{L3}	水平方向地震力によるラグ付根部のねじりモーメント	N･mm
M_{T3}	水平方向地震力による振れ止め付根部のねじりモーメント	N･mm
M_{Lc}	水平方向地震力によるラグ付根部の周方向モーメント	N･mm
M_{Tc}	水平方向地震力による振れ止め付根部の周方向モーメント	N･mm
$M_{L\ell}$	運転時質量によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N･mm
$M_{L\ell V}$	鉛直方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向モーメント	N･mm
M_{Ts}	振れ止めに作用する曲げモーメント	N･mm
M_{Tb}	振れ止めの取付ボルトの締結部に作用する曲げモーメント	N･mm
m_0	容器の運転時質量	kg
M_x	胴に生じる軸方向の曲げモーメント	N
M_ϕ	胴に生じる周方向の曲げモーメント	N
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
n_L	ラグ1個当たりの取付ボルトの本数	－
n_T	振れ止め1個当たりの取付ボルトの本数	－

記　号	記　号　の　説　明	単　位
P	半径方向荷重	N
P_r	最高使用圧力	MPa
P_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに作用する軸方向の荷重	N
Q_L	水平方向地震力によるラグ付根部の周方向荷重	N
Q_T	水平方向地震力による振れ止め付根部の周方向荷重	N
Q_S	シアーラグに作用するせん断方向荷重	N
R_L	運転時質量によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
R_{L1}	水平方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
R_{LV}	鉛直方向地震力によるラグ付根部の鉛直方向荷重	N
r_{mL}	ラグ部の胴の平均半径	mm
r_{mT}	振れ止め部の胴の平均半径	mm
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_L	ラグ部の胴の厚さ	mm
t_T	振れ止め部の胴の厚さ	mm
Z_{Lsp}	ラグのねじり断面係数	mm^3
$Z_{Ls\ell}$	ラグの半径方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{Lst}	ラグの周方向軸に対する断面係数	mm^3
Z_{Ts}	振れ止めの鉛直方向軸に対する断面係数	mm^3
β，β_{L1}，β_{L2}，β_{Lc}，$\beta_{L\ell}$，β_{T1}，β_{T2}，β_{Tc}，β_N，β_M	引用文献(2)によるアタッチメントパラメータ	－
γ_L，γ_T	引用文献(2)によるシェルパラメータ	－
π	円周率	－
σ_{L0}	胴のラグ付根部の一次一般膜応力最大値	MPa
σ_{T0}	胴の振れ止め付根部の一次一般膜応力最大値	MPa
$\sigma_{L0\phi}$	胴のラグ付根部の周方向一次一般膜応力	MPa
$\sigma_{T0\phi}$	胴の振れ止め付根部の周方向一次一般膜応力	MPa
σ_{L0x}	胴のラグ付根部の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_{T0x}	胴の振れ止め付根部の軸方向一次一般膜応力	MPa
σ_{L1}	胴のラグ付根部の一次応力の最大値	MPa
σ_{T1}	胴の振れ止め付根部の一次応力の最大値	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
σ_{L11}，σ_{L12}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の組合せ一次応力	MPa
σ_{T11}，σ_{T12}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の組合せ一次応力	MPa
σ_{L2}	胴のラグ付根部の一次応力＋二次応力の最大値	MPa
σ_{T2}	胴の振れ止め付根部の一次応力＋二次応力の最大値	MPa
σ_{L21}，σ_{L22}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の組合せ一次応力＋二次応力の変動値	MPa
σ_{T21}，σ_{T22}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の組合せ一次応力＋二次応力の変動値	MPa
σ_{Lb}	ラグ部の取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{Tb}	振れ止め部の取付ボルトに生じる引張応力の最大値	MPa
σ_{Ls}	ラグの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{Ts}	振れ止めの組合せ応力の最大値	MPa
σ_{Ls1}	運転時質量によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{Ts1}，σ_{Ts2}	振れ止めの引張応力及び曲げ応力	MPa
σ_{Ls2}	水平方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{Ls7}	鉛直方向地震力によるラグの曲げ応力	MPa
σ_{Lxe1}，σ_{Lxe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の軸方向一次応力の和	MPa
σ_{Txe1}，σ_{Txe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の軸方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{L\phi e1}$，$\sigma_{L\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の周方向一次応力の和	MPa
$\sigma_{T\phi e1}$，$\sigma_{T\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の周方向一次応力の和	MPa
σ_{L2xe1}，σ_{L2xe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
σ_{T2xe1}，σ_{T2xe2}	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の軸方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi e1}$，$\sigma_{L2\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴のラグ付根部の周方向一次応力＋二次応力	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
$\sigma_{T2\phi e1}$, $\sigma_{T2\phi e2}$	水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の胴の振れ止め付根部の周方向一次応力＋二次応力	MPa
$\sigma_{L\phi 1}$, σ_{Lx1}	内圧による胴のラグ付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{T\phi 1}$, σ_{Tx1}	内圧による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{\phi 2}$	静水頭に作用する鉛直方向地震力による胴の周方向応力	MPa
σ_{Lx2}	運転時質量による胴のラグ付根部及び軸方向応力	MPa
σ_{Tx2}	運転時質量による胴の振れ止め付根部及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{L\phi 3}$, σ_{Lx3}	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ラグ付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
$\sigma_{T\phi rg}$, σ_{Txrg}	運転時質量により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向応力	MPa
σ_{Lx4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴のラグ付根部の軸方向応力	MPa
σ_{Tx4}	水平方向地震力が作用した場合の転倒モーメントによる胴の振れ止め付根部の軸方向応力	MPa
$\sigma_{L\phi 5}$, σ_{Lx5}	水平方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi 5}$, σ_{L2x5}	水平方向地震力が作用した場合の鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{L\phi 7}$, σ_{Lx7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi 7}$, σ_{L2x7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T\phi 7}$, σ_{Tx7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi 7}$, σ_{T2x7}	水平方向地震力が作用した場合の周方向モーメントによる胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T\phi rH}$, σ_{TxrH}	水平方向地震力が作用した場合の半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi rH}$, σ_{T2xrH}	水平方向地震力が作用した場合の半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
σ_{Lx11}	鉛直方向地震力によるラグ付根部の胴断面に生じる引張応力	MPa
σ_{Tx11}	鉛直方向地震力による振れ止め付根部の胴断面に生じる引張応力	MPa

記　　号	記　　号　　の　　説　　明	単　位
$\sigma_{L\phi 12}$, σ_{Lx12}	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{T\phi rV}$, σ_{TxrV}	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向一次応力	MPa
$\sigma_{L2\phi 12}$, σ_{L2x12}	鉛直方向地震力により生じる鉛直方向モーメントによる胴のラグ付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
$\sigma_{T2\phi rV}$, σ_{T2xrV}	鉛直方向地震力により生じる半径方向荷重による胴の振れ止め付根部の周方向及び軸方向二次応力	MPa
τ_{L3}	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{T3}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に生じるねじりモーメントによるせん断応力	MPa
τ_{Tb}	振れ止めの取付ボルトに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{S}	シアーラグに生じるせん断応力の最大値	MPa
τ_{Lc1}	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じる周方向せん断応力	MPa
τ_{Tc1}	水平方向地震力により胴の振れ止め付根部に生じる周方向せん断応力	MPa
$\tau_{L\ell 1}$	運転時質量により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{L\ell 2}$	水平方向地震力により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
$\tau_{L\ell 6}$	鉛直方向地震力により胴のラグ付根部に生じる軸方向せん断応力	MPa
τ_{Ls1}	運転時質量によるラグのせん断応力	MPa
τ_{Ts1}	運転時質量と地震力による振れ止めのせん断応力	MPa
τ_{Ls2}	水平方向地震力によるラグのせん断応力	MPa
τ_{Ls7}	鉛直方向地震力によるラグのせん断応力	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
	胴板の厚さ	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

残留熱除去系熱交換器の耐震評価は，「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，胴板（ラグ付根部及び振れ止め付根部），ラグ，振れ止め，取付ボルト（ラグ部及び振れ止め部），シアーラグについて実施する。残留熱除去系熱交換器の耐震評価部位については，表2-1の概略構造図に示す。

なお，残留熱除去系熱交換器はＡ号機とＢ号機で架台の形状が異なるため，Ａ号機とＢ号機それぞれについて耐震評価を実施する。

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ラグの中心を基準にして[redacted]部分に分け，各部分の全質量が，それぞれの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個別に作用するものとし，原則として，応力評価において組合せるものとする。なお，取付ボルトにおいては，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 個のラグで支持され，ラグはそれぞれ架台に取付ボルトで取り付いている。また，容器の胴は4 個の振れ止めで横揺れを押さえられており，振れ止めはそれぞれ振れ止めサポートに取付ボルトで取り付いている。

(4)　水平方向は，胴をはりと考え，変形モードは胴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)　胴板とラグ及び振れ止めとの取付部において胴板の局部変形を考慮する。

(6)　ラグは，胴の半径方向にスライド可能とし，半径方向の荷重は受けもたないものとする。また，円周方向の荷重に対しては，取付ボルト間の中心を軸とする回転方向に自由度を有しているものとする。

(7)　振れ止めは，胴の鉛直方向にスライド可能とし，鉛直方向の荷重は受けもたないものとする。

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

残留熱除去系熱交換器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

残留熱除去系熱交換器の許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表4-3及び表4-4のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系熱交換器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	耐震設計上の耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系熱交換器	S	クラス２容器*	$D+P_D+M_D+S_d$*	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

注記　＊：クラス２容器の支持構造物を含む。

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
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系熱交換器	常設耐震／防止常設／緩和	重大事故等*2クラス２容器	$D+P_D+M_D+S_s$*3	IV_AS
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	V_AS（V_ASとしてIV_AS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（クラス２，３容器））

<table>
<tr><td rowspan="2">許容応力状態</td><td colspan="4">許容限界 *1</td></tr>
<tr><td>一次一般膜応力</td><td>一次膜応力＋
一次曲げ応力</td><td>一次＋
二次応力</td><td>一次＋二次＋
ピーク応力</td></tr>
<tr><td>ⅢAS</td><td>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。</td><td>左欄の1.5倍の値</td><td colspan="2" rowspan="2">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，疲労解析は不要 *2</td></tr>
<tr><td>ⅣAS</td><td rowspan="2">0.6・Su</td><td rowspan="2">左欄の1.5倍の値</td></tr>
<tr><td>VAS
（VASとして，ⅣASの許容限界を用いる。）</td><td colspan="2">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，疲労解析は不要 *2</td></tr>
</table>

注記　＊1：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。

＊2：2・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（クラス２，３支持構造物））

許容応力状態	許容限界*1，*2 （ラグ及び振れ止め）	許容限界*1，*2 （取付ボルト）		許容限界*1，*2 （シアーラグ）
	一次応力	一次応力		一次応力
	組合せ	引張り	せん断	せん断
$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_s$
$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$ （$\mathrm{V}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$として，$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SB410	最高使用温度	249	－	180	391	－
ラグ	SM400A (40 mm＜厚さ≦75 mm)	最高使用温度	249	－	160	373	－
振れ止め	SM400A (16 mm＜厚さ≦40 mm)	最高使用温度	249	－	173	373	－
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	－	764	906	－
シアーラグ	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	－	211	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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
胴板	SB410	最高使用温度	249	－	180	391	－
ラグ	SM400A (40 mm＜厚さ≦75 mm)	最高使用温度	249	－	160	373	－
振れ止め	SM400A (16 mm＜厚さ≦40 mm)	最高使用温度	249	－	173	373	－
取付ボルト	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	－	685	847	－
シアーラグ	[redacted]	周囲環境温度	[redacted]	－	194	373	－

4.3　解析モデル及び諸元

残留熱除去系熱交換器の解析モデルを図4-1～図4-2に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を表4-7に示す。

(1)　熱交換器本体及び架台をはり要素でモデル化する。なお，架台の形状が異なることから，Ａ号機とＢ号機それぞれをモデル化する。

(2)　熱交換器本体を□質点系振動モデルとして考える。

(3)　拘束条件は，壁面及び床面と架台の取合い部を完全拘束とし，ラグ及び振れ止めは一方向にスライド可能とする。

(4)　解析コードは，「ＳＡＰ－Ⅳ」を使用し，固有値及び荷重を求める。

なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-3　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＳＡＰ－Ⅳ」に示す。

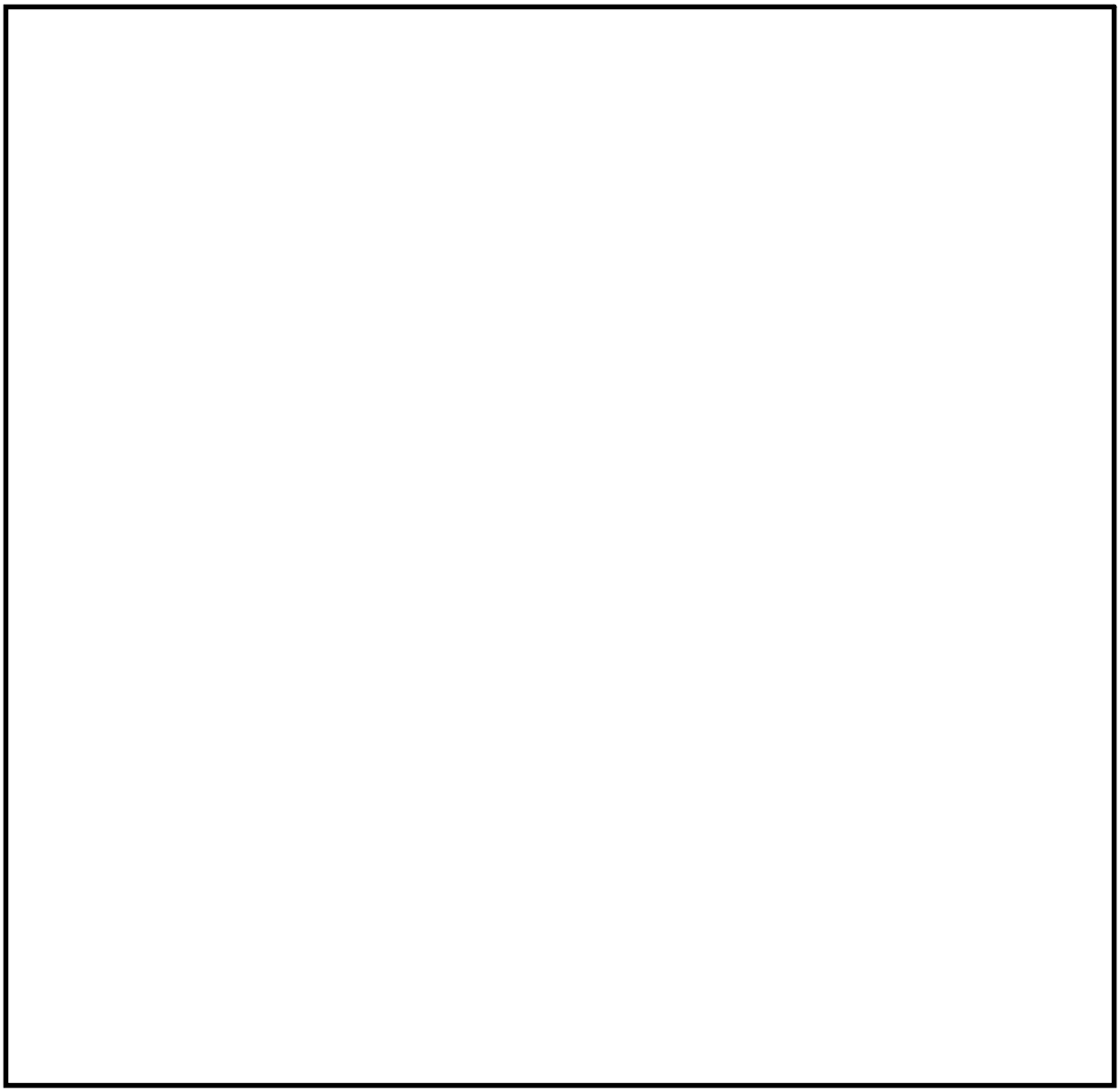


図4-1　解析モデル（Ａ号機）

NT2 補③ Ⅴ-2-5-4-1-1 R0

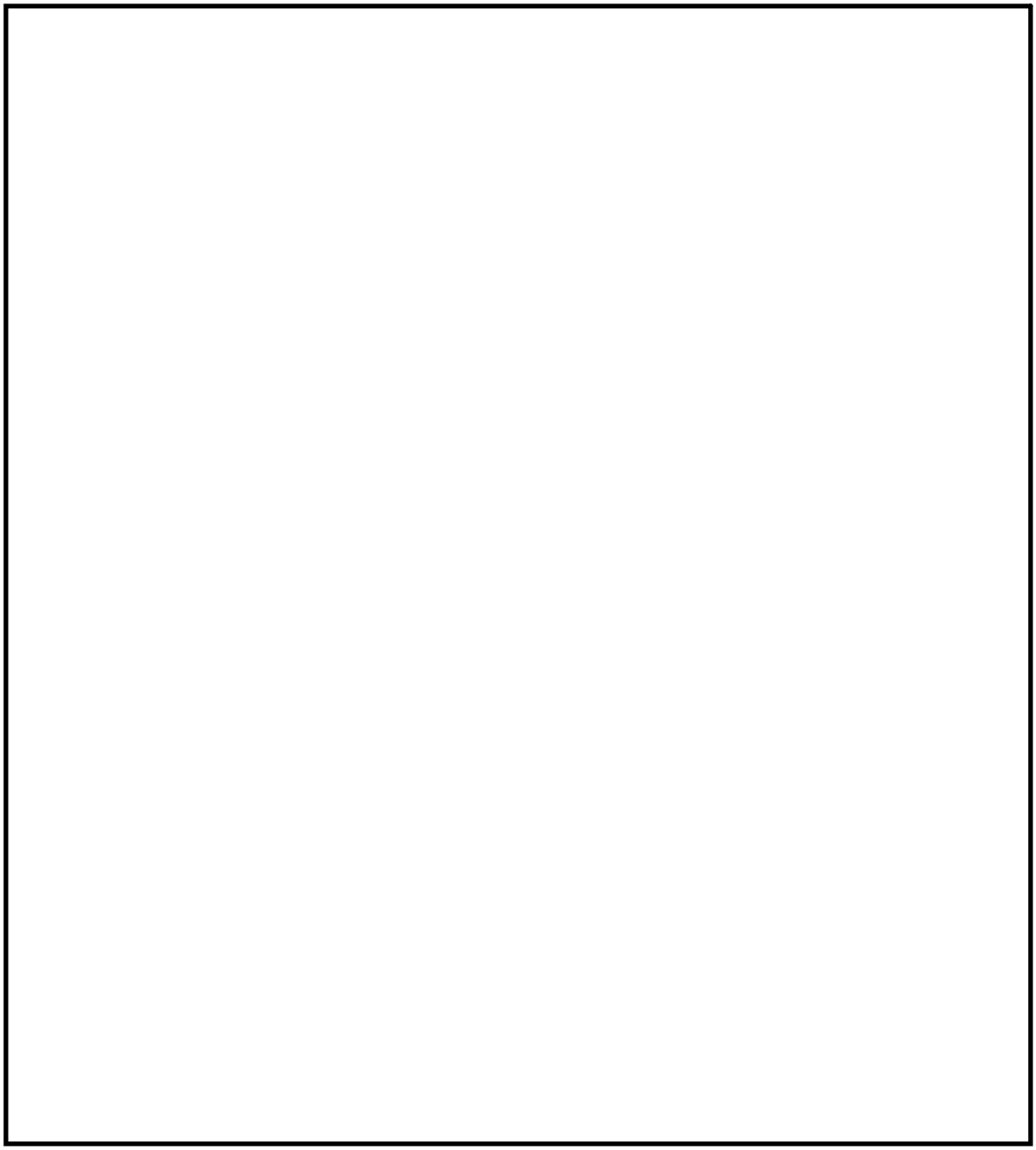


図4-2　解析モデル（B 号機）

表4-7　機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	－	－	
質量	m_0	kg	
温度条件 （最高使用温度又は雰囲気温度）	T	℃	
縦弾性係数	E	MPa	
ポアソン比	ν	－	
要素数	－	個	
節点数	－	個	

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表4-8及び表4-9に，振動モード図を図4-3及び図4-4に示す。

表 4-8　固有値解析結果（A号機）

モード	固有周期 （ s ）	卓越方向	刺激係数		
			ＥW方向	ＮＳ方向	鉛直方向
1 次					
2 次					
3 次					
4 次					
5 次					
6 次					

表 4-9　固有値解析結果（B号機）

モード	固有周期 （ s ）	卓越方向	刺激係数		
			ＥW方向	ＮＳ方向	鉛直方向
1 次					
2 次					
3 次					
4 次					
5 次					
6 次					
7 次					

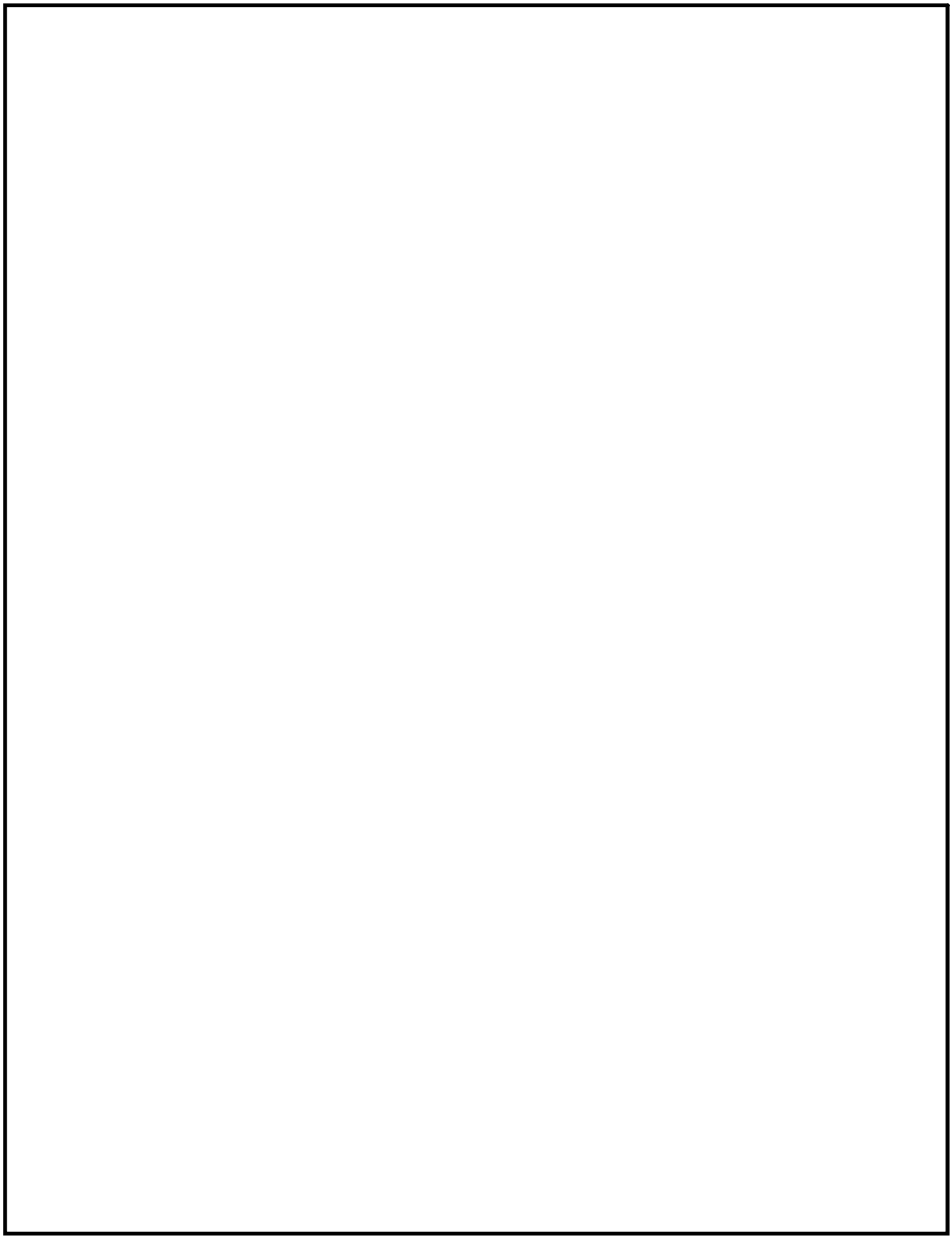


図4-3　振動モード（A号機）

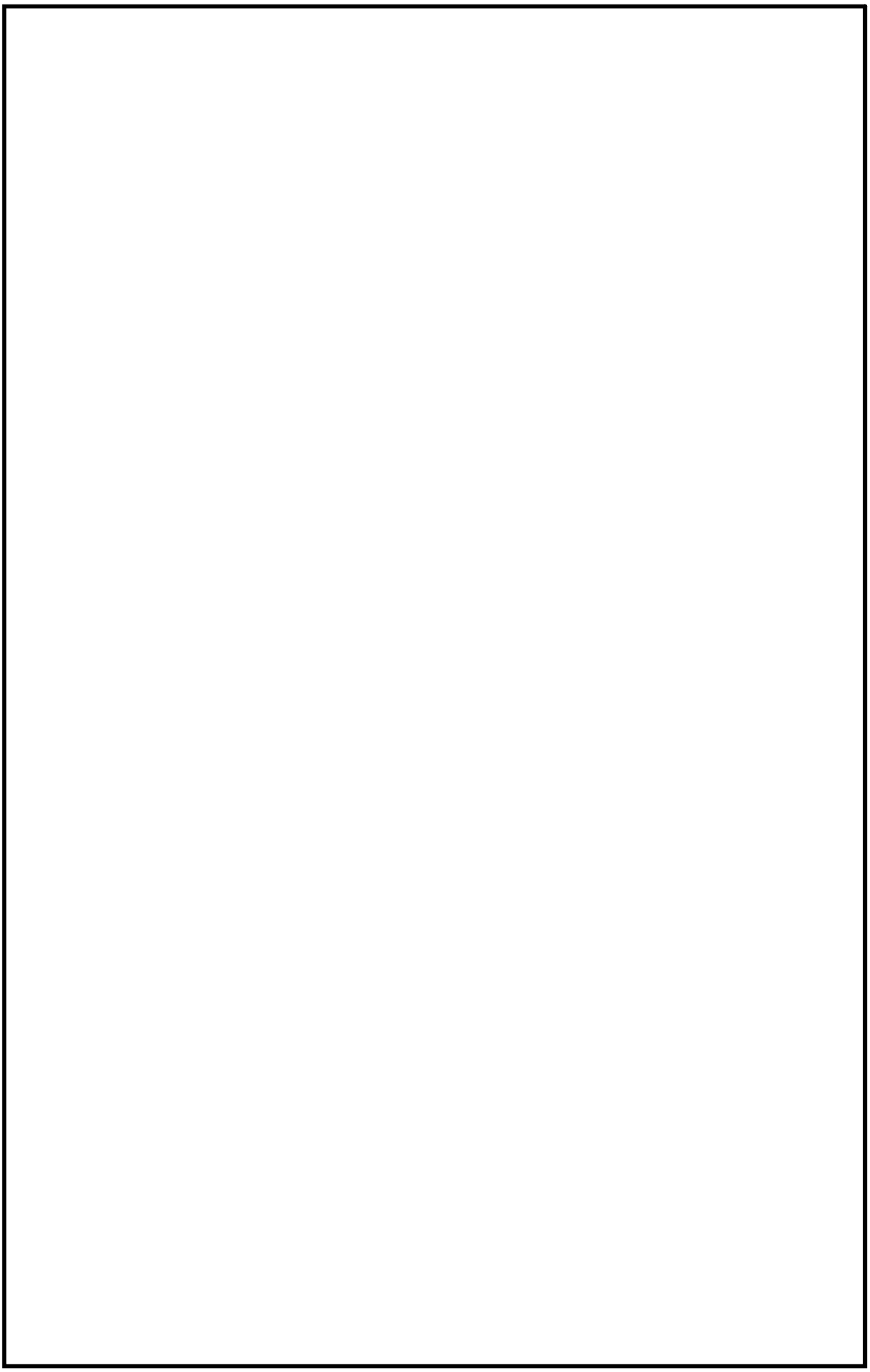


図4-4　振動モード（B 号機）

4.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動Ｓ$_d$又は静的震度」及び「基準地震動Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「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。

評価に用いる設計用地震力を表4-10及び表4-11に示す。

表 4-10　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Ｓ$_d$又は静的震度		基準地震動Ｓ$_s$		減衰定数(%)	
	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	水平方向	鉛直方向
原子炉建屋 EL. 2.0 *1	0.198（Ａ号機）	0.066（Ａ号機）	C_H＝0.63 又は＊2	C_V＝0.50 又は＊2	C_H＝0.73 又は＊3	C_V＝0.64 又は＊3	1.0*4	1.0*4
	0.196（Ｂ号機）	0.069（Ｂ号機）						

注記　＊1:基準床レベルを示す。

＊2:弾性設計用地震動Ｓ$_d$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊3:基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊4：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4-11　設計用地震力（重大事故等対処設備）

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$_s$		減衰定数(%)	
	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	水平方向	鉛直方向
原子炉建屋 EL. 2.0 *1	0.198（Ａ号機）	0.066（Ａ号機）	－	－	C_H＝0.73 又は＊2	C_V＝0.64 又は＊2	1.0*3	1.0*3
	0.196（Ｂ号機）	0.069（Ｂ号機）						

注記　＊1:基準床レベルを示す。

＊2:基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊3:溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

応力計算は，ＳＲＳＳ法を用いて行い，水平震度については，ＥＷ方向及びＮＳ方向の場合に分けて組合せるものとする。

4.6.1.1　胴板（ラグ付根部）の応力

(1)　内圧による応力

$$\sigma_{L\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_L)}{2\cdot t_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.2)$$

$$\sigma_{Lx1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_L)}{4\cdot t_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.3)$$

(2)　運転時質量による応力

$$\sigma_{Lx2}=\frac{m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t_L)\cdot t_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.4)$$

(3)　鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

鉛直方向地震力による荷重F_vは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Lx11}=\frac{|F_V|}{\pi\cdot(D_i+t_L)\cdot t_L} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.5)$$

(4)　運転時質量による胴のラグ付根部の応力

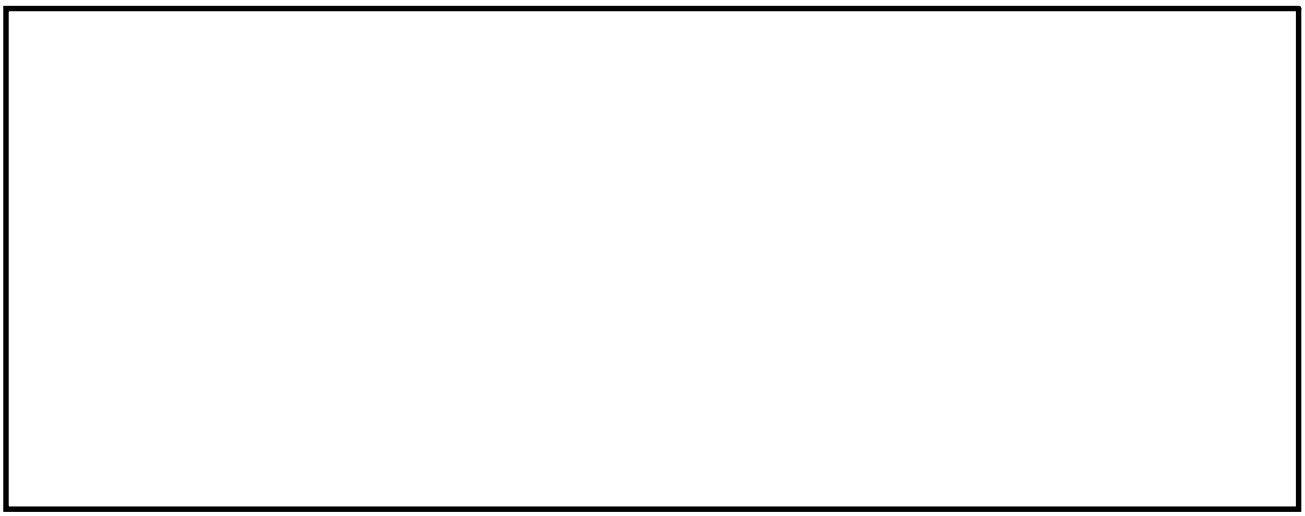


図4-9　鉛直荷重により胴及びラグに作用するモーメントと力

運転時質量による鉛直方向モーメント$M_{L\ell}$及び反力R_Lは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

鉛直方向曲げモーメント$M_{L\ell}$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_L及びアタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$は，以下のように定義する。

$$\gamma_L = r_{mL} / t_L \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.6)$$

$$\beta_{L1} = C_{L1} / r_{mL} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.7)$$

$$\beta_{L2} = C_{L2} / r_{mL} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.8)$$

$$\beta_{L\ell} = \sqrt[3]{\beta_{L1} \cdot \beta_{L2}^{\,2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.9)$$

ただし，$\beta_{L\ell} \leqq 0.5$

シェルパラメータγ_L及びアタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$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。

$$\sigma_{L\phi 3} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{L\ell} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot t_L \cdot \beta_{L\ell}} \right) \cdot C_{L\ell 1} \quad (4.6.1.1.10)$$

$$\sigma_{Lx3} = \left\{ \frac{N_x}{M_{L\ell} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot t_L \cdot \beta_{L\ell}} \right) \cdot C_{L\ell 2} \quad (4.6.1.1.11)$$

反力R_Lによるせん断応力

$$\tau_{L\ell_1} = \frac{|R_L|}{4 \cdot C_{L2} \cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.12)$$

(5)　鉛直方向地震力による胴のラグ付根部の応力

鉛直方向地震力による鉛直方向モーメント$M_{L\ell V}$は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

鉛直方向地震力による鉛直方向曲げモーメント$M_{L\ell V}$により生じる周方向応力及び軸方向応力はシェルパラメータγ_L及びアタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$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。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 12} = \left\{ \frac{N_\phi}{M_{L\ell V} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell V}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 1} \quad (4.6.1.1.13)$$

$$\sigma_{Lx12} = \left\{ \frac{N_x}{M_{L\ell V} / (r_{mL}^{\,2} \cdot \beta)} \right\}^* \cdot \left(\frac{|M_{L\ell V}|}{r_{mL}^{\,2} \cdot \beta_{L\ell} \cdot t_L} \right) \cdot C_{L\ell 2} \quad (4.6.1.1.14)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi12}=\left\{\frac{M_{\phi}}{M_{L\ell V}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L\ell V}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_L^{2}}\right) \quad (4.6.1.1.15)$$

$$\sigma_{L2x12}=\left\{\frac{M_{x}}{M_{L\ell V}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L\ell V}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_L^{2}}\right) \quad (4.6.1.1.16)$$

ここで，アタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$は，次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は更に$k_{L\ell}$を乗じた値とする。

$$\beta_{L\ell}=\sqrt[3]{\beta_{L1}\cdot\beta_{L2}^{2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.17)$$

鉛直方向地震力による反力R_{LV}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用し，反力R_{LV}によるせん断応力は，次式で表される。

$$\tau_{L\ell 6}=\frac{|R_{LV}|}{4\cdot C_{L2}\cdot t_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.18)$$

(6)　水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{Lx4}=\frac{M_{LH}\cdot(D_i+2\cdot t_L)}{2\cdot I_L} \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.19)$$

水平方向地震力による曲げモーメントM_{LH}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

ここで，胴の断面二次モーメントI_Lは次のように求める。

$$I_L=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t_L)^{3}\cdot t_L \quad \cdots\cdots (4.6.1.1.20)$$

(7)　水平方向地震力による胴のラグ付根部に作用する荷重及びモーメント

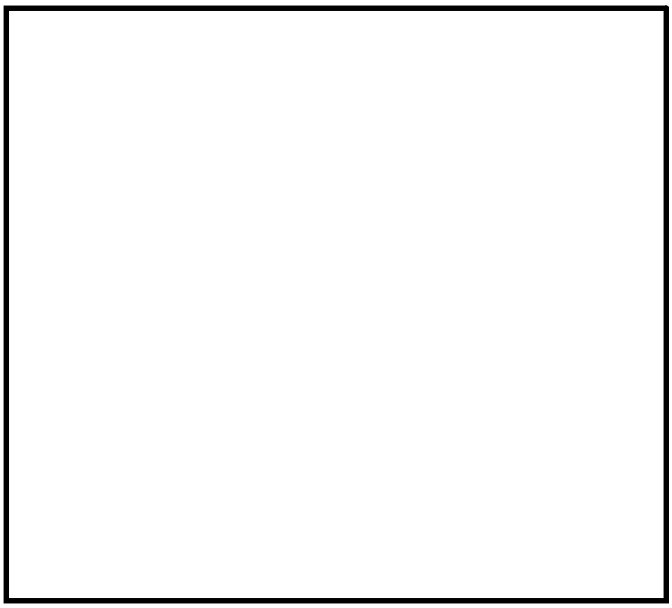


図4-10　ラグに作用する周方向曲げモーメント及びねじりモーメントと力

水平方向地震力による鉛直方向曲げモーメントの最大値M_{L1}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

鉛直方向モーメントM_{L1}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，（4.6.1.1.10）式の$\sigma_{L\phi 3}$及び（4.6.1.1.11）式のσ_{Lx3}と同様にして次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 5}=\left\{\frac{N_{\phi}}{M_{L1}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{L1}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{L\ell 1}\quad(4.6.1.1.21)$$

$$\sigma_{Lx5}=\left\{\frac{N_{x}}{M_{L1}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{L1}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{L\ell 2}\quad(4.6.1.1.22)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi 5}=\left\{\frac{M_{\phi}}{M_{L1}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L1}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\quad\cdots\quad(4.6.1.1.23)$$

$$\sigma_{L2x5}=\left\{\frac{M_{x}}{M_{L1}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{L1}|}{r_{mL}\cdot\beta_{L\ell}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\quad\cdots\quad(4.6.1.1.24)$$

ここで，アタッチメントパラメータ$\beta_{L\ell}$は次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は，更に$k_{L\ell}$を乗じた値とする。

$$\beta_{L\ell}=\sqrt[3]{\beta_{L1}\cdot\beta_{L2}{}^{2}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(4.6.1.1.25)$$

水平方向地震による周方向曲げモーメントの最大値M_{Lc}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

周方向曲げモーメントM_{Lc}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{L\phi 7}=\left\{\frac{N_{\phi}}{M_{Lc}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{Lc}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{Lc1} \quad (4.6.1.1.26)$$

$$\sigma_{Lx7}=\left\{\frac{N_{x}}{M_{Lc}/(r_{mL}{}^{2}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{|M_{Lc}|}{r_{mL}{}^{2}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}}\right)\cdot C_{Lc2} \quad (4.6.1.1.27)$$

二次応力

$$\sigma_{L2\phi 7}=\left\{\frac{M_{\phi}}{M_{Lc}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Lc}|}{r_{mL}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\cdot \quad (4.6.1.1.28)$$

$$\sigma_{L2x7}=\left\{\frac{M_{x}}{M_{Lc}/(r_{mL}\cdot\beta)}\right\}^{*}\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Lc}|}{r_{mL}\cdot\beta_{Lc}\cdot t_{L}{}^{2}}\right)\cdot \quad (4.6.1.1.29)$$

ここで，アタッチメントパラメータβ_{Lc}は次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は更にk_{Lc}を乗じた値とする。

$$\beta_{Lc}=\sqrt[3]{\beta_{L1}{}^{2}\cdot\beta_{L2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.30)$$

水平方向地震による周方向せん断力の最大値Q_{L}，鉛直方向せん断力の最大値R_{L1}及びねじりモーメントの最大値M_{L3}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

周方向せん断力Q_{L}によるせん断応力

$$\tau_{Lc1}=\frac{|Q_{L}|}{4\cdot C_{L1}\cdot t_{L}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.31)$$

鉛直方向せん断力R_{L1}によるせん断応力

$$\tau_{L\ell 2}=\frac{|R_{L1}|}{4\cdot C_{L2}\cdot t_{L}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.32)$$

ねじりモーメントM_{L3}により生じる胴のせん断応力

$$\tau_{L3}=\frac{|M_{L3}|}{2\cdot\pi\cdot C_{L1}{}^{2}\cdot t_{L}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.33)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって算出される胴のラグ付根部に生じる応力は，以下により組み合わされる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_{L0}=\max\left[\sigma_{L0\phi},\ \sigma_{L0x}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.34)$$

$$\sigma_{L0\phi}=\sigma_{L\phi1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.35)$$

$$\sigma_{L0x}=\sigma_{Lx1}+\sigma_{Lx2}+\sqrt{\sigma_{Lx11}^{2}+\sigma_{Lx4}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.36)$$

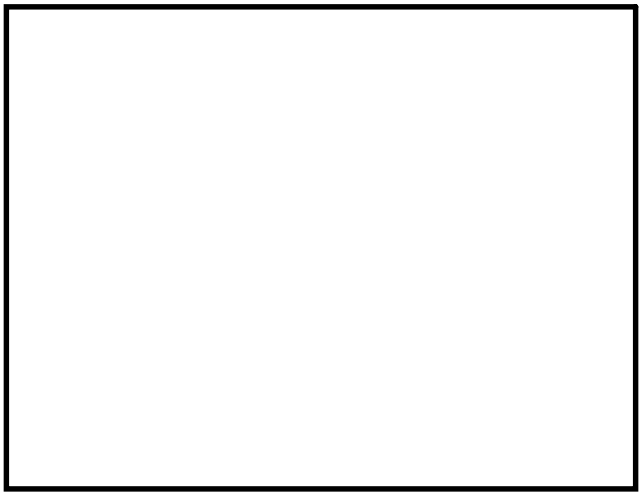


図4-11　　胴（ラグ付根部）の評価点

b. 一次応力

$$\sigma_{L1}=\mathrm{Max}(\sigma_{L11},\ \sigma_{L12}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.37)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力は，次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{L\phi e1}=\sigma_{L\phi1}+\sigma_{L\phi3}+\sqrt{\sigma_{L\phi5}^{2}+\sigma_{L\phi12}^{2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.38)$$

$$\sigma_{Lxe1}=\sigma_{Lx1}+\sigma_{Lx2}+\sigma_{Lx3}+\sqrt{\left(\sigma_{Lx4}+\sigma_{Lx5}\right)^{2}+\left(\sigma_{Lx11}+\sigma_{Lx12}\right)^{2}} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.39)$$

$$\sigma_{L11}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{L\phi e1}+\sigma_{Lxe1}+\sqrt{\left(\sigma_{L\phi e1}-\sigma_{Lxe1}\right)^{2}+4\cdot\left(\tau_{Lc1}+\tau_{L3}\right)^{2}}\right\} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.40)$$

第2評価点

$$\sigma_{L\phi e2}=\sigma_{L\phi 1}+\sigma_{L\phi 7} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.41)$$

$$\sigma_{Lxe2}=\sigma_{Lx1}+\sigma_{Lx2}+\sqrt{\left(\sigma_{Lx4}+\sigma_{Lx7}\right)^2+\sigma_{Lx11}{}^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.1.42)$$

$$\sigma_{L12}=\frac{1}{2}\cdot\left\{\sigma_{L\phi e2}+\sigma_{Lxe2}+\sqrt{\left(\sigma_{L\phi e2}-\sigma_{Lxe2}\right)^2+4\cdot\left[\tau_{L\ell 1}+\sqrt{\left(\tau_{L\ell 2}+\tau_{L3}\right)^2+\tau_{L\ell 6}{}^2}\right]^2}\right\} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.43)$$

c. 胴の一次＋二次応力の変動値

$$\sigma_{L2}=\mathrm{Max}\left(\sigma_{L21},\ \sigma_{L22}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.44)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる
一次＋二次応力の変動値は，次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{L2\phi e1}=\sqrt{\left(\sigma_{L\phi 5}+\sigma_{L2\phi 5}\right)^2+\left(\sigma_{L\phi 12}+\sigma_{L2\phi 12}\right)^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.1.45)$$

$$\sigma_{L2xe1}=\sqrt{\left(\sigma_{Lx4}+\sigma_{Lx5}+\sigma_{L2x5}\right)^2+\left(\sigma_{Lx11}+\sigma_{Lx12}+\sigma_{L2x12}\right)^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.1.46)$$

$$\sigma_{L21}=\sigma_{L2\phi e1}+\sigma_{L2xe1}+\sqrt{\left(\sigma_{L2\phi e1}-\sigma_{L2xe1}\right)^2+4\cdot\left(\tau_{Lc1}+\tau_{L3}\right)^2} \quad \cdots \quad (4.6.1.1.47)$$

第2評価点

$$\sigma_{L2\phi e2}=\sigma_{L\phi 7}+\sigma_{L2\phi 7} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.48)$$

$$\sigma_{L2xe2}=\sqrt{\left(\sigma_{Lx4}+\sigma_{Lx7}+\sigma_{L2x7}\right)^2+\sigma_{Lx11}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.49)$$

$$\sigma_{L22}=\sigma_{L2\phi e2}+\sigma_{L2xe2}+\sqrt{\left(\sigma_{L2\phi e2}-\sigma_{L2xe2}\right)^2+4\cdot\left[\sqrt{\tau_{L\ell 6}{}^2+\left(\tau_{L\ell 2}+\tau_{L3}\right)^2}\right]^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.1.50)$$

4.6.1.2　胴板（振れ止め付根部）の応力

(1)　内圧による応力

$$\sigma_{T\phi 1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_T)}{2\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.1)$$

$$\sigma_{\phi 2}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.2)$$

$$\sigma_{Tx1}=\frac{P_r\cdot(D_i+1.2\cdot t_T)}{4\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.3)$$

(2)　運転時質量による応力

$$\sigma_{Tx2}=\frac{m_0\cdot g}{\pi\cdot(D_i+t_T)\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.4)$$

(3)　鉛直方向地震力により胴断面に生じる引張応力

鉛直方向地震力による荷重F_Vは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Tx11}=\frac{|F_V|}{\pi\cdot(D_i+t_T)\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.5)$$

(4)　運転時質量による胴の振れ止め付根部の応力

振れ止めは，鉛直方向にスライド可能であるため，振れ止め付根部に運転時質量による鉛直方向モーメント及び反力は，生じないものとする。

図4-12　胴及び振れ止めに作用するモーメントと力

運転時質量により半径方向に働く荷重F_{Trg}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

半径方向に働く荷重F_{Tr}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_T及びアタッチメントパラメータβ_Nは，K_{1N}を用いて以下のように定義する。

$$\gamma_T = r_{mT} / t_T \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.6)$$

$$\beta_{T1} = C_{T1} / r_{mT} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.7)$$

$$\beta_{T2} = C_{T2} / r_{mT} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.8)$$

$$\beta_N = \left\{1 - 1/3 \cdot \left(\beta_{T1}/\beta_{T2} - 1\right)\left(1 - K_{1N}\right)\right\} \cdot \sqrt{\beta_{T1} \cdot \beta_{T2}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.9)$$

シェルパラメータγ_T及びアタッチメントパラメータβ_N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。

$$\sigma_{T\phi rg} = \left\{\frac{N_\phi}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trg}|}{r_{mT} \cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.10)$$

$$\sigma_{Txrg} = \left\{\frac{N_x}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{Trg}|}{r_{mT} \cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.11)$$

(5) 鉛直方向地震力による胴の振れ止め付根部の応力

振れ止めは鉛直方向にスライド可能であるため，振れ止め付根部に鉛直方向地震力による鉛直方向モーメント及び反力は，生じないものとする。

鉛直方向地震力により半径方向に働く荷重F_{TrV}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

半径方向に働く荷重F_{TrV}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，次のようにして求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi rV} = \left\{\frac{N_\phi}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{TrV}|}{r_{mT} \cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.12)$$

$$\sigma_{TxrV} = \left\{\frac{N_x}{P / r_{mT}}\right\}^* \cdot \left(\frac{|F_{TrV}|}{r_{mT} \cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.13)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi rV} = \left\{\frac{M_\phi}{P}\right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |F_{TrV}|}{t_T^2}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.14)$$

$$\sigma_{T2xrV} = \left\{\frac{M_x}{P}\right\}^* \cdot \left(\frac{6 \cdot |F_{TrV}|}{t_T^2}\right) \quad \cdots\cdots (4.6.1.2.15)$$

ここで，アタッチメントパラメータβ_Mは，次式で表される。

$$\beta_M=\left\{1-1/3\cdot\left(\beta_{T1}/\beta_{T2}-1\right)\left(1-K_{1M}\right)\right\}\cdot\sqrt{\beta_{T1}\cdot\beta_{T2}} \quad (4.6.1.2.16)$$

(6) 水平方向地震による胴の曲げ応力

$$\sigma_{Tx4}=\frac{M_{TH}\cdot(D_i+2\cdot t_T)}{2\cdot I_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.17)$$

水平方向地震による曲げモーメントM_{TH}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

ここで，胴の断面二次モーメントI_Tは，次のように求める。

$$I_T=\frac{\pi}{8}\cdot(D_i+t_T)^3\cdot t_T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.18)$$

(7) 水平方向地震力による胴の振れ止め付根部に作用する荷重及びモーメント

振れ止めは，鉛直方向にスライド可能であるため，振れ止め付根部に水平方向地震による鉛直方向曲げモーメント及び鉛直方向せん断力は生じないものとする。

水平方向地震による周方向曲げモーメントの最大値M_{Tc}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

周方向曲げモーメントM_{Tc}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，次式で求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi7}=\left\{\frac{N_\phi}{M_{Tc}/(r_{mT}^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{|M_{Tc}|}{r_{mT}^2\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T}\right)\cdot C_{Tc1} \quad (4.6.1.2.19)$$

$$\sigma_{Tx7}=\left\{\frac{N_x}{M_{Tc}/(r_{mT}^2\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{|M_{Tc}|}{r_{mT}^2\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T}\right)\cdot C_{Tc2} \quad (4.6.1.2.20)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi7}=\left\{\frac{M_\phi}{M_{Tc}/(r_{mT}\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Tc}|}{r_{mT}\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T^2}\right) \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.21)$$

$$\sigma_{T2x7}=\left\{\frac{M_x}{M_{Tc}/(r_{mT}\cdot\beta)}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|M_{Tc}|}{r_{mT}\cdot\beta_{Tc}\cdot t_T^2}\right) \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.22)$$

ここで，アタッチメントパラメータβ_{Tc}は次式で表される。ただし，二次応力を求める場合は，更にk_{Tc}を乗じた値とする。

$$\beta_{Tc}=\sqrt[3]{\beta_{T1}^2\cdot\beta_{T2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.23)$$

水平方向地震による周方向せん断力の最大値Q_T，ねじりモーメントの最大値M_{T3}及び半径方向に働く荷重F_{TrH}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

周方向せん断力Q_Tによるせん断応力

$$\tau_{Tc1}=\frac{|Q_T|}{4\cdot C_{T1}\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.24)$$

ねじりモーメントM_{T3}により生じる胴のせん断応力

$$\tau_{T3}=\frac{|M_{T3}|}{2\cdot \pi \cdot C_{T1}{}^2\cdot t_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.25)$$

半径方向に働く荷重F_{TrH}により生じる胴の周方向応力及び軸方向応力は，(4.6.1.2.12) 式～ (4.6.1.2.15) 式と同様にして次のようにして求める。

一次応力

$$\sigma_{T\phi rH}=\left\{\frac{N_\phi}{P/r_{mT}}\right\}^*\cdot\left(\frac{|F_{TrH}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.26)$$

$$\sigma_{TxrH}=\left\{\frac{N_x}{P/r_{mT}}\right\}^*\cdot\left(\frac{|F_{TrH}|}{r_{mT}\cdot t_T}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.27)$$

二次応力

$$\sigma_{T2\phi rH}=\left\{\frac{M_\phi}{P}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|F_{TrH}|}{t_T{}^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.28)$$

$$\sigma_{T2xrH}=\left\{\frac{M_x}{P}\right\}^*\cdot\left(\frac{6\cdot|F_{TrH}|}{t_T{}^2}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.29)$$

(8) 組合せ応力

(1)～(7)によって算出される胴の振れ止め付根部に生じる応力は，以下により組み合わされる。

a. 一次一般膜応力

$$\sigma_{T0}=\max\left[\sigma_{T0\phi},\ \sigma_{T0x}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.30)$$

$$\sigma_{T0\phi}=\sigma_{T\phi_1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.31)$$

$$\sigma_{T0x}=\sigma_{Tx1}+\sigma_{Tx2}+\sqrt{\sigma_{Tx11}{}^2+\sigma_{Tx4}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.32)$$

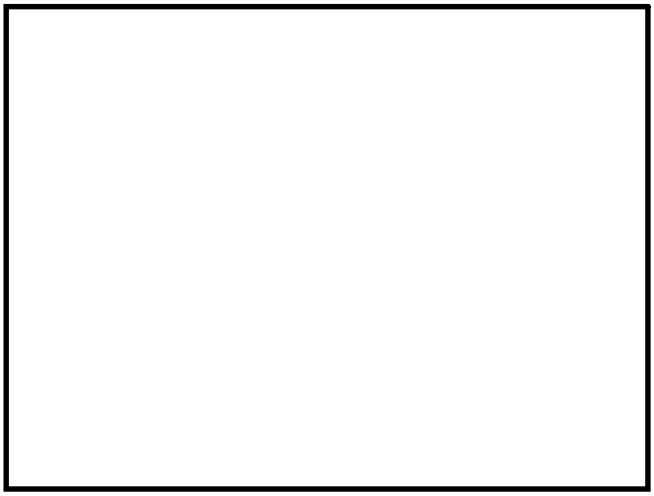


図4-13　　胴（振れ止め付根部）の評価点

b.　一次応力

$$\sigma_{T1}=\mathrm{Max}(\sigma_{T11},\ \sigma_{T12}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.33)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の一次応力は，次式で求める。

第1評価点

$$\sigma_{T\phi e1}= \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.34)$$

$$\sigma_{Txe1}= \quad \cdots \quad (4.6.1.2.35)$$

$$\sigma_{T11}=\frac{1}{2}\cdot\{\sigma_{T\phi e1}+\sigma_{Txe1} \quad \cdots \quad (4.6.1.2.36)$$
$$+\sqrt{(\sigma_{T\phi e1}-\sigma_{Txe1})^2+4\cdot(\tau_{Tc1}+\tau_{T3})^2}\}$$

第2評価点

$$\sigma_{T\phi e2}= \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.37)$$

$$\sigma_{Txe2}= \quad (4.6.1.2.38)$$

$$\sigma_{T12}=\frac{1}{2}\cdot\{\sigma_{T\phi e2}+\sigma_{Txe2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.39)$$
$$+\sqrt{(\sigma_{T\phi e2}-\sigma_{Txe2})^2+4\cdot\tau_{T3}{}^2}\}$$

c. 胴の一次＋二次応力の変動値

$$\sigma_{T2}=\mathrm{Max}(\sigma_{T21},\ \sigma_{T22}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.40)$$

水平方向地震力及び鉛直方向地震力が作用した場合の地震のみによる一次＋二次応力の変動値は，次式で求める。

イ. 振れ止めの付根部

第1評価点

$$\sigma_{T2\phi e1}=$$ [redacted] $$\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.41)$$

$$\sigma_{T2xe1}=$$ [redacted] $$\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.42)$$

$$\sigma_{T21}=\sigma_{T2\phi e1}+\sigma_{T2xe1}+\sqrt{(\sigma_{T2\phi e1}-\sigma_{T2xe1})^2+4\cdot(\tau_{Tc1}+\tau_{T3})^2} \quad \cdots\cdots \quad (4.6.1.2.43)$$

第2評価点

$$\sigma_{T2\phi e2}=$$ [redacted] $$\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.44)$$

$$\sigma_{T2xe2}=$$ [redacted] $$(4.6.1.2.45)$$

$$\sigma_{T22}=\sigma_{T2\phi e2}+\sigma_{T2xe2}+\sqrt{(\sigma_{T2\phi e2}-\sigma_{T2xe2})^2+4\cdot\tau_{T3}{}^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.2.46)$$

4.6.1.3　ラグの応力

(1)　運転時質量による応力

$$\sigma_{Ls1}=\frac{|M_{L\ell}|}{Z_{Lst}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.1)$$

$$\tau_{Ls1}=\frac{|R_L|}{A_{Ls1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.2)$$

(2)　鉛直方向地震力による応力

$$\sigma_{Ls7}=\frac{|M_{L\ell V}|}{Z_{Lst}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.3)$$

$$\tau_{Ls7}=\frac{|R_{LV}|}{A_{Ls1}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.4)$$

(3)　水平方向地震力による応力

$$\sigma_{Ls2}=\frac{|M_{L1}|}{Z_{Lst}}+\frac{|M_{Lc}|}{Z_{Ls\ell}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.5)$$

$$\tau_{Ls2}=\frac{|R_{L1}|}{A_{Ls1}}+\frac{|M_{L3}|}{Z_{Lsp}}+\frac{|Q_L|}{A_{Ls2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.6)$$

(4)　組合せ応力

ラグの最大応力は，次式で求める。

$$\sigma_{Ls}=\sqrt{\left(\sigma_{Ls1}+\sqrt{{\sigma_{Ls2}}^2+{\sigma_{Ls7}}^2}\right)^2+3\cdot\left(\tau_{Ls1}+\sqrt{{\tau_{Ls2}}^2+{\tau_{Ls7}}^2}\right)^2} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.3.7)$$

4.6.1.4　振れ止めの応力

(1)　運転時質量と地震力による応力

運転時質量と地震力により半径方向に働く荷重F_{Tsr}，鉛直方向に働く荷重$F_{TS\ell}$及び曲げモーメントM_{TS}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

$$\sigma_{Ts1}=\frac{F_{Tsr}}{A_T} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.1)$$

$$\tau_{Ts1}=\frac{F_{Ts\ell}}{A_{Ts}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.2)$$

$$\sigma_{Ts2}=\frac{M_{Ts}}{Z_{Ts}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.3)$$

(2)　組合せ応力

振れ止めの最大応力は次式で求める。

$$\sigma_{Ts}=\boxed{} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4.6.1.4.4)$$

4.6.1.5　取付ボルト（ラグ部）の応力

R_L，R_{L1}，R_{LV} 及び $M_{L\ell}$，M_{L1}，$M_{L\ell V}$ は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

F_{L01} [redacted] ……（4.6.1.5.1）

F_{L11} [redacted] ……（4.6.1.5.2）

F_{L01V} [redacted] ……（4.6.1.5.3）

$$\sigma_{Lb}=\frac{F_{L01}+\sqrt{{F_{L11}}^2+{F_{L01V}}^2}}{n_L \cdot A_{Lb}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.5.4)$$

4.6.1.6　取付ボルト（振れ止め部）の応力

運転時質量と地震力により軸方向に作用する荷重P_{Tb}，締結部の曲げモーメントM_{Tb}及びせん断方向に作用する荷重F_{Tb}は，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

σ_{Tb} [redacted] ……（4.6.1.6.1）

$$\tau_{Tb}=\frac{F_{Tb}}{n_T \cdot A_{Tb}} \quad \cdots\cdots (4.6.1.6.2)$$

4.6.1.7　シアーラグの応力

シアーラグには，せん断応力のみ発生するものとする。

Q_Sは，図4-1及び図4-2に示す解析モデルについて解析コード「ＳＡＰ－Ⅳ」により得られる値を使用する。

$$\tau_S=\frac{Q_S}{A_S} \quad \cdots\cdots (4.6.1.7.1)$$

[redacted]

図4-14　シアーラグに作用する力

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【残留熱除去系熱交換器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　胴の応力評価

4.6.1.1項及び4.6.1.2項で求めた組合せ応力が胴の最高使用温度における許容応力S_a以下であること。ただし，S_aは4.2.2項　表4-3による。

4.8.2　ラグ及び振れ止めの応力評価

4.6.1.3項で求めたラグ及び4.6.1.4項で求めた振れ止めの組合せ応力が許容応力f_t以下であること。

ただし，f_tは下表による。

	弾性設計用地震動S_d又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動S_sによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.3　取付ボルトの応力評価

4.6.1.5項及び4.6.1.6項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_b 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。

$$f_{ts}=\mathrm{Min}[1.4\cdot f_{to}-1.6\cdot \tau_b,\ f_{to}] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \qquad (4.8.3.1)$$

せん断応力 τ_b はせん断力のみを受ける取付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 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s 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}	$\frac{F}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5\cdot\sqrt{3}}\cdot 1.5$

4.8.4　シアーラグの応力評価

4.6.1.7項で求めたシアーラグのせん断応力が許容せん断応力 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 S_d 又は静的震度による荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
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

残留熱除去系熱交換器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。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系熱交換器の重大事故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) Bijlaard, P.P.: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, The Welding Journal, 34(12), Research Supplement, 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.

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設　残留熱除去系熱交換器A号機

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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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			
残留熱除去系熱交換器 A号機	S	原子炉建屋 EL. 2.0 *1			C_H=0.63 又は*2	C_V=0.50 又は*2	C_H=0.73 又は*3	C_V=0.64 又は*3	3.45	249	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：弾性設計用地震動S_dに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

1.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	D_i (mm)	t_L (mm)	t_T (mm)	C_{L1} (mm)	C_{L2} (mm)	C_{T1} (mm)	C_{T2} (mm)	A_{Ls1} (mm^2)	A_{Ls2} (mm^2)	A_{Ts} (mm^2)	A_T (mm^2)	A_S (mm^2)	Z_{Lsp} (mm^3)	Z_{Ls_l} (mm^3)

Z_{Lst} (mm^3)	Z_{Ts} (mm^3)	k_{L_l1}	k_{L_l2}	k_{Lc1}	k_{Lc2}	k_{Tc1}	k_{Tc2}	C_{L_l1}	C_{L_l2}	C_{Lc1}	C_{Lc2}	C_{Tc1}	C_{Tc2}	n_L	n_T

a_L (mm)	b_L (mm)	c_L (mm)	a_T (mm)	d_T (mm)	A_{Lb} (mm^2)	A_{Tb} (mm^2)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（ラグ） (MPa)	S_u（ラグ） (MPa)	F（ラグ） (MPa)	F*（ラグ） (MPa)
180*1	391*1	－	160*1	373*1	160	192

S_y（振れ止め） (MPa)	S_u（振れ止め） (MPa)	F（振れ止め） (MPa)	F*（振れ止め） (MPa)	S_y（取付ボルト）*2 (MPa)	S_u（取付ボルト）*2 (MPa)	F（取付ボルト）*2 (MPa)	F*（取付ボルト）*2 (MPa)	S_y（シアーラグ） (MPa)	S_u（シアーラグ） (MPa)	F（シアーラグ） (MPa)	F*（シアーラグ） (MPa)
173*1	373*1	173	207	764*3	906*3	634	634	211*3	394*3	211	253

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：ラグ部と振れ止め部は同一値

*3：周囲環境温度で算出

1.3 計 算 数 値（A号機）

1.3.1 胴板（ラグ付根部）に生じる応力

(1) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 4	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 4	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動S_s）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動S_s	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 4	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 4	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	$\sigma_{L\phi3}$= 5	−	$\sigma_{L\phi5}$= 7	−	−	$\sigma_{L\phi12}$= 7	σ_{L11}= 108
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 4	−	σ_{Lx11}= 4	σ_{Lx12}= 4	
			せん断	−	−	−		τ_{LC1}= 4	τ_{L3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi7}$= 1	−	−	σ_{L12}= 95
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	−	σ_{Lx4}= 4	−	σ_{Lx7}= 1	σ_{Lx11}= 4	−	
			せん断	−	−	τ_{L_t1}= 4		τ_{L_t2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_t6}= 5		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	$\sigma_{L\phi3}$= 5	−	$\sigma_{L\phi5}$= 8	−	−	$\sigma_{L\phi12}$= 7	σ_{L11}= 108
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 5	−	σ_{Lx11}= 4	σ_{Lx12}= 4	
			せん断	−	−	−		τ_{LC1}= 4	τ_{L3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi7}$= 1	−	−	σ_{L12}= 95
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	−	σ_{Lx4}= 4	−	σ_{Lx7}= 1	σ_{Lx11}= 4	−	
			せん断	−	−	τ_{L_t1}= 4		τ_{L_t2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_t6}= 5		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	$\sigma_{L\phi3}$= 5	−	$\sigma_{L\phi5}$= 8	−	−	$\sigma_{L\phi12}$= 9	σ_{L11}= 110
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 5	−	σ_{Lx11}= 4	σ_{Lx12}= 5	
			せん断	−	−	−		τ_{LC1}= 4	τ_{L3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi7}$= 1	−	−	σ_{L12}= 96
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	−	σ_{Lx4}= 4	−	σ_{Lx7}= 1	σ_{Lx11}= 4	−	
			せん断	−	−	τ_{L_t1}= 4		τ_{L_t2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_t6}= 6		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	$\sigma_{L\phi3}$= 5	−	$\sigma_{L\phi5}$= 9	−	−	$\sigma_{L\phi12}$= 9	σ_{L11}= 110
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 5	−	σ_{Lx11}= 4	σ_{Lx12}= 5	
			せん断	−	−	−		τ_{LC1}= 4	τ_{L3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	−	−	−	−	−	$\sigma_{L\phi7}$= 1	−	−	σ_{L12}= 96
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	−	σ_{Lx2}= 4	−	σ_{Lx4}= 4	−	σ_{Lx7}= 1	σ_{Lx11}= 4	−	
			せん断	−	−	τ_{L_t1}= 4		τ_{L_t2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_t6}= 6		

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi 12}$＝ 9	－	$\sigma_{L\phi 5}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi 5}$＝ 10	－	σ_{L21}＝ 70
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	σ_{Lx12}＝ 4 σ_{L2x12}＝ 17	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 4 σ_{L2x5}＝ 17	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 4		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi 7}$＝ 3	σ_{L22}＝ 20
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 1 σ_{L2x7}＝ 1	
			せん断	τ_{Lt6}＝ 5		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lt2}＝ 2		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi 12}$＝ 9	－	$\sigma_{L\phi 5}$＝ 8 $\sigma_{L2\phi 5}$＝ 10	－	σ_{L21}＝ 73
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	σ_{Lx12}＝ 4 σ_{L2x12}＝ 17	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 5 σ_{L2x5}＝ 18	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 4		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi 7}$＝ 4	σ_{L22}＝ 22
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 1 σ_{L2x7}＝ 2	
			せん断	τ_{Lt6}＝ 5		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lt2}＝ 2		

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}$＝ 9 $\sigma_{L2\phi 12}$＝ 12	－	$\sigma_{L\phi 5}$＝ 8 $\sigma_{L2\phi 5}$＝ 10	－	σ_{L21}＝ 81
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	σ_{Lx12}＝ 5 σ_{L2x12}＝ 21	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 5 σ_{L2x5}＝ 18	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 4		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi 7}$＝ 3	σ_{L22}＝ 23
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 1 σ_{L2x7}＝ 1	
			せん断	τ_{Lt6}＝ 6		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lt2}＝ 2		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}$＝ 9 $\sigma_{L2\phi 12}$＝ 12	－	$\sigma_{L\phi 5}$＝ 9 $\sigma_{L2\phi 5}$＝ 11	－	σ_{L21}＝ 84
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	σ_{Lx12}＝ 5 σ_{L2x12}＝ 21	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 5 σ_{L2x5}＝ 20	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 4		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi 7}$＝ 4	σ_{L22}＝ 25
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 4	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 1 σ_{L2x7}＝ 2	
			せん断	τ_{Lt6}＝ 6		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lt2}＝ 2		

1.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	－	－	－	－	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	－	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{Tx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	－	－	－	－	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	－	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{Tx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	－	－	－	－	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	－	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{Tx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	－	－	－	－	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	－	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{Tx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 13	−	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T11}= 78
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13	−	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{Tc1}= 0	τ_{T3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 13	$\sigma_{T\phi 7}$= 1	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T12}= 78
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13	σ_{Tx7}= 1	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{T3}= 0			−		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 14	−	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T11}= 79
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 14	−	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{Tc1}= 1	τ_{T3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 14	$\sigma_{T\phi 7}$= 1	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T12}= 80
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 14	σ_{Tx7}= 1	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{T3}= 0			−		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 14	−	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T11}= 79
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13	−	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{Tc1}= 0	τ_{T3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 14	$\sigma_{T\phi 7}$= 1	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T12}= 79
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13	σ_{Tx7}= 1	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{T3}= 0			−		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 15	−	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T11}= 80
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15	−	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{Tc1}= 1	τ_{T3}= 0		−		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	−	−	$\sigma_{T\phi rg}$= 0	−	$\sigma_{T\phi rH}$= 15	$\sigma_{T\phi 7}$= 1	−	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T12}= 81
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	−	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 0	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15	σ_{Tx7}= 1	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1	
			せん断断	−	−	−		τ_{T3}= 0			−		

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 13 $\sigma_{T2\phi rH}$= 35	－	σ_{T21}= 97
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13 σ_{T2xrH}= 33	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0		τ_{Tc1}= 0	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 13 $\sigma_{T2\phi rH}$= 35	$\sigma_{T\phi 7}$= 1 $\sigma_{T2\phi 7}$= 3	σ_{T22}= 101
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13 σ_{T2xrH}= 33	σ_{Tx7}= 1 σ_{T2x7}= 2	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			
	N S 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 14 $\sigma_{T2\phi rH}$= 38	－	σ_{T21}= 106
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 14 σ_{T2xrH}= 36	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0		τ_{Tc1}= 1	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 14 $\sigma_{T2\phi rH}$= 38	$\sigma_{T\phi 7}$= 1 $\sigma_{T2\phi 7}$= 4	σ_{T22}= 111
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 14 σ_{T2xrH}= 36	σ_{Tx7}= 1 σ_{T2x7}= 2	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	E W 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 14 $\sigma_{T2\phi rH}$= 36	－	σ_{T21}= 101
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13 σ_{T2xrH}= 34	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0		τ_{Tc1}= 0	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 14 $\sigma_{T2\phi rH}$= 36	$\sigma_{T\phi 7}$= 1 $\sigma_{T2\phi 7}$= 3	σ_{T22}= 106
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 13 σ_{T2xrH}= 34	σ_{Tx7}= 1 σ_{T2x7}= 2	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			
	N S 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 15 $\sigma_{T2\phi rH}$= 41	－	σ_{T21}= 113
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15 σ_{T2xrH}= 39	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0		τ_{Tc1}= 1	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 15 $\sigma_{T2\phi rH}$= 41	$\sigma_{T\phi 7}$= 1 $\sigma_{T2\phi 7}$= 4	σ_{T22}= 119
			軸方向	σ_{Tx11}= 3	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 2	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15 σ_{T2xrH}= 39	σ_{Tx7}= 1 σ_{T2x7}= 2	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			

1.3.3 ラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 4	τ_{LS2}= 7	σ_{LS7}= 4	τ_{LS7}= 7	σ_{LS}= 27
	N S 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 4	τ_{LS2}= 8	σ_{LS7}= 4	τ_{LS7}= 7	σ_{LS}= 28
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 4	τ_{LS2}= 8	σ_{LS7}= 4	τ_{LS7}= 9	σ_{LS}= 30
	N S 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 5	τ_{LS2}= 9	σ_{LS7}= 4	τ_{LS7}= 9	σ_{LS}= 30

1.3.4 振れ止めに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{TS1}= 11	τ_{TS1}= 1	σ_{TS2}= 2	σ_{TS}= 12
	N S 方向	σ_{TS1}= 12	τ_{TS1}= 1	σ_{TS2}= 2	σ_{TS}= 13
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{TS1}= 11	τ_{TS1}= 1	σ_{TS2}= 2	σ_{TS}= 13
	N S 方向	σ_{TS1}= 12	τ_{TS1}= 1	σ_{TS2}= 2	σ_{TS}= 14

1.3.5 取付ボルト（ラグ部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{Lb}= 355	－
	N S 方向	σ_{Lb}= 358	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Lb}= 401	－
	N S 方向	σ_{Lb}= 405	－

1.3.6 取付ボルト（振れ止め部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{Tb}= 60	τ_{Tb}= 1
	N S 方向	σ_{Tb}= 66	τ_{Tb}= 2
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Tb}= 62	τ_{Tb}= 2
	N S 方向	σ_{Tb}= 71	τ_{Tb}= 2

1.3.7 シアーラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	τ_s= 12
	N S 方向	－	τ_s= 13
基準地震動S_s	E W 方向	－	τ_s= 13
	N S 方向	－	τ_s= 14

1.4. 結　論（A号機）

1.4.1 固有周期

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		

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Ss	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板（ラグ付根部）	SB410	一次一般膜	σ_{L0}= 93	S_a= 180	σ_{L0}= 93	S_a= 234
		一次	σ_{L1}= 108	S_a= 270	σ_{L1}= 110	S_a= 351
		一次＋二次	σ_{L2}= 73	S_a= 360	σ_{L2}= 84	S_a= 360
胴板（振れ止め付根部）	SB410	一次一般膜	σ_{T0}= 65	S_a= 180	σ_{T0}= 65	S_a= 234
		一次	σ_{T1}= 80	S_a= 270	σ_{T1}= 81	S_a= 351
		一次＋二次	σ_{T2}= 111	S_a= 360	σ_{T2}= 119	S_a= 360
ラグ	SM400A	組合せ	σ_{Ls}= 28	f_{Lt}= 160	σ_{Ls}= 30	f_{Lt}= 192
振れ止め	SM400A	組合せ	σ_{Ts}= 13	f_{Tt}= 173	σ_{Ts}= 14	f_{Tt}= 207
取付ボルト（ラグ部）	SCM435	引張り	σ_{Lb}= 358	f_{Lto}= 475	σ_{Lb}= 405	f_{Lto}= 475
取付ボルト（振れ止め部）	SCM435	引張り	σ_{Tb}= 66	f_{Tts}= 475*	σ_{Tb}= 71	f_{Tts}= 475*
		せん断	τ_{Tb}= 2	f_{Tsb}= 366	τ_{Tb}= 2	f_{Tsb}= 366
シアーラグ	SM400A	せん断	τ_{S}= 13	f_{Ssb}= 121	τ_{S}= 14	f_{Ssb}= 146

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{Tts}=Min[1.4・f_{Tto}−1.6・τ_{Tb}, f_{Tto}]より算出

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設　残留熱除去系熱交換器Ｂ号機

2.1 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			
残留熱除去系熱交換器 Ｂ号機	S	原子炉建屋 EL. 2.0 *1			C_H=0.63 又は*2	C_V=0.50 又は*2	C_H=0.73 又は*3	C_V=0.64 又は*3	3.45	249	

注記 *1：基準床レベルを示す。

*2：弾性設計用地震動S_dに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

*3：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

2.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	D_i (mm)	t_L (mm)	t_T (mm)	C_{L1} (mm)	C_{L2} (mm)	C_{T1} (mm)	C_{T2} (mm)	A_{Ls1} (mm^2)	A_{Ls2} (mm^2)	A_{Ts} (mm^2)	A_T (mm^2)	A_S (mm^2)	Z_{Lsp} (mm^3)	Z_{Lsl} (mm^3)

Z_{Lst} (mm^3)	Z_{Ts} (mm^3)	k_{L_l1}	k_{L_l2}	k_{Lc1}	k_{Lc2}	k_{Tc1}	k_{Tc2}	C_{L_l1}	C_{L_l2}	C_{Lc1}	C_{Lc2}	C_{Tc1}	C_{Tc2}	n_L	n_T

a_L (mm)	b_L (mm)	c_L (mm)	a_T (mm)	d_T (mm)	A_{Lb} (mm^2)	A_{Tb} (mm^2)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（ラグ） (MPa)	S_u（ラグ） (MPa)	F（ラグ） (MPa)	F*（ラグ） (MPa)
180*1	391*1	－	160*1	373*1	160	192

S_y（振れ止め） (MPa)	S_u（振れ止め） (MPa)	F（振れ止め） (MPa)	F*（振れ止め） (MPa)	S_y（取付ボルト）*2 (MPa)	S_u（取付ボルト）*2 (MPa)	F（取付ボルト）*2 (MPa)	F*（取付ボルト）*2 (MPa)	S_y（シアーラグ） (MPa)	S_u（シアーラグ） (MPa)	F（シアーラグ） (MPa)	F*（シアーラグ） (MPa)
173*1	373*1	173	207	764*3	906*3	634	634	211*3	394*3	211	253

注記 *1：最高使用温度で算出

*2：ラグ部と振れ止め部は同一値

*3：周囲環境温度で算出

2.3 計 算 数 値（B号機）

2.3.1 胴板（ラグ付根部）に生じる応力

(1) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動S_s）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動S_s	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$= 93	－	－	－	－	σ_{L0}= 93
		軸方向	σ_{Lx1}= 47	－	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx11}= 3	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	$\sigma_{L\phi3}$= 5	—	$\sigma_{L\phi5}$= 6	—	—	$\sigma_{L\phi12}$= 6	σ_{L11}= 106
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 4	—	σ_{Lx11}= 3	σ_{Lx12}= 4	
			せん断	—	—	—		τ_{LC1}= 3	τ_{L3}= 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi7}$= 1	—	—	σ_{L12}= 95
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	—	σ_{Lx4}= 4	—	σ_{Lx7}= 2	σ_{Lx11}= 3	—	
			せん断	—	—	τ_{L_l1}= 4		τ_{L_l2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_l6}= 4		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	$\sigma_{L\phi3}$= 5	—	$\sigma_{L\phi5}$= 7	—	—	$\sigma_{L\phi12}$= 6	σ_{L11}= 107
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 4	—	σ_{Lx11}= 3	σ_{Lx12}= 4	
			せん断	—	—	—		τ_{LC1}= 4	τ_{L3}= 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi7}$= 1	—	—	σ_{L12}= 95
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	—	σ_{Lx4}= 4	—	σ_{Lx7}= 2	σ_{Lx11}= 3	—	
			せん断	—	—	τ_{L_l1}= 4		(mm²) τ_{L_l2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_l6}= 4		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	E W 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	$\sigma_{L\phi3}$= 5	—	$\sigma_{L\phi5}$= 7	—	—	$\sigma_{L\phi12}$= 7	σ_{L11}= 108
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 4	—	σ_{Lx11}= 3	σ_{Lx12}= 4	
			せん断	—	—	—		τ_{LC1}= 4	τ_{L3}= 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi7}$= 1	—	—	σ_{L12}= 96
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	—	σ_{Lx4}= 4	—	σ_{Lx7}= 3	σ_{Lx11}= 3	—	
			せん断	—	—	τ_{L_l1}= 4		τ_{L_l2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_l6}= 5		
	N S 方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	$\sigma_{L\phi3}$= 5	—	$\sigma_{L\phi5}$= 7	—	—	$\sigma_{L\phi12}$= 7	σ_{L11}= 108
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	σ_{Lx3}= 3	σ_{Lx4}= 4	σ_{Lx5}= 4	—	σ_{Lx11}= 3	σ_{Lx12}= 4	
			せん断	—	—	—		τ_{LC1}= 4	τ_{L3}= 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi1}$= 93	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi7}$= 1	—	—	σ_{L12}= 96
			軸方向	σ_{Lx1}= 47	—	σ_{Lx2}= 4	—	σ_{Lx4}= 4	—	σ_{Lx7}= 2	σ_{Lx11}= 3	—	
			せん断	—	—	τ_{L_l1}= 4		τ_{L_l2}= 2	τ_{L3}= 0		τ_{L_l6}= 5		

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi12}$＝ 6 $\sigma_{L2\phi12}$＝ 8	－	$\sigma_{L\phi5}$＝ 6 $\sigma_{L2\phi5}$＝ 8	－	σ_{L21}＝ 58
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	σ_{Lx12}＝ 4 σ_{L2x12}＝ 13	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 4 σ_{L2x5}＝ 14	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 3		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi7}$＝ 8	σ_{L22}＝ 24
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 2 σ_{L2x7}＝ 3	
			せん断	τ_{Lf6}＝ 4		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lf2}＝ 2		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi12}$＝ 6 $\sigma_{L2\phi12}$＝ 8	－	$\sigma_{L\phi5}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi5}$＝ 9	－	σ_{L21}＝ 62
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	σ_{Lx12}＝ 4 σ_{L2x12}＝ 13	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 4 σ_{L2x5}＝ 16	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 4		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi7}$＝ 7	σ_{L22}＝ 24
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 2 σ_{L2x7}＝ 3	
			せん断	τ_{Lf6}＝ 4		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lf2}＝ 2		

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi12}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi12}$＝ 9	－	$\sigma_{L\phi5}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi5}$＝ 9	－	σ_{L21}＝ 67
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	σ_{Lx12}＝ 4 σ_{L2x12}＝ 17	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 4 σ_{L2x5}＝ 15	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 4		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi7}$＝ 9	σ_{L22}＝ 29
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 3 σ_{L2x7}＝ 4	
			せん断	τ_{Lf6}＝ 5		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lf2}＝ 2		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi12}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi12}$＝ 9	－	$\sigma_{L\phi5}$＝ 7 $\sigma_{L2\phi5}$＝ 10	－	σ_{L21}＝ 71
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	σ_{Lx12}＝ 4 σ_{L2x12}＝ 17	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx5}＝ 4 σ_{L2x5}＝ 17	－	
			せん断	－		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lc1}＝ 4		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi7}$＝ 1 $\sigma_{L2\phi7}$＝ 8	σ_{L22}＝ 28
			軸方向	σ_{Lx11}＝ 3	－	σ_{Lx4}＝ 4	－	σ_{Lx7}＝ 2 σ_{L2x7}＝ 4	
			せん断	τ_{Lf6}＝ 5		τ_{L3}＝ 0	τ_{Lf2}＝ 2		

2.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	—	—	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 3	σ_{Tx11}= 2	
		せん断	—	—	—	—	—	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	—	—	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 3	σ_{Tx11}= 2	
		せん断	—	—	—	—	—	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	—	—	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{Tx11}= 2	
		せん断	—	—	—	—	—	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	—	—	σ_{T0}= 65
		軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{Tx11}= 2	
		せん断	—	—	—	—	—	

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 14	—	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T11}=$ 80
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 3	$\sigma_{TxrH}=$ 14	—	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		$\tau_{Tc1}=$ 3	$\tau_{T3}=$ 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 14	$\sigma_{T\phi 7}=$ 3	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T12}=$ 82
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 3	$\sigma_{TxrH}=$ 14	$\sigma_{Tx7}=$ 6	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		$\tau_{T3}=$ 0			—		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 16	—	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T11}=$ 81
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 3	$\sigma_{TxrH}=$ 16	—	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		$\tau_{Tc1}=$ 3	$\tau_{T3}=$ 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 16	$\sigma_{T\phi 7}=$ 3	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T12}=$ 84
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 3	$\sigma_{TxrH}=$ 16	$\sigma_{Tx7}=$ 5	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		(mm^2)	$\tau_{T3}=$ 0		—		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 15	—	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T11}=$ 81
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 15	—	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		$\tau_{Tc1}=$ 3	$\tau_{T3}=$ 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 15	$\sigma_{T\phi 7}=$ 4	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T12}=$ 84
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 15	$\sigma_{Tx7}=$ 6	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		$\tau_{T3}=$ 0			—		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 17	—	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T11}=$ 82
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 16	—	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		$\tau_{Tc1}=$ 3	$\tau_{T3}=$ 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}=$ 1	—	$\sigma_{T\phi rH}=$ 17	$\sigma_{T\phi 7}=$ 4	—	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T12}=$ 85
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	—	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 1	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 16	$\sigma_{Tx7}=$ 6	$\sigma_{Tx11}=$ 2	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	—	—	—		$\tau_{T3}=$ 0			—		

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 14 $\sigma_{T2\phi rH}$= 38	－	σ_{T21}= 110
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 3	σ_{TxrH}= 14 σ_{T2xrH}= 36	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0	τ_{Tc1}= 3		
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 14 $\sigma_{T2\phi rH}$= 38	$\sigma_{T\phi 7}$= 3 $\sigma_{T2\phi 7}$= 26	σ_{T22}= 161
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 3	σ_{TxrH}= 14 σ_{T2xrH}= 36	σ_{Tx7}= 6 σ_{T2x7}= 14	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			
	N S 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 16 $\sigma_{T2\phi rH}$= 42	－	σ_{T21}= 121
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 3	σ_{TxrH}= 16 σ_{T2xrH}= 41	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0	τ_{Tc1}= 3		
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 16 $\sigma_{T2\phi rH}$= ㎡)	$\sigma_{T\phi 7}$= 3 $\sigma_{T2\phi 7}$= 24	σ_{T22}= 169
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 3	σ_{TxrH}= 16 σ_{T2xrH}= 41	σ_{Tx7}= 5 σ_{T2x7}= 13	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	E W 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 15 $\sigma_{T2\phi rH}$= 40	－	σ_{T21}= 117
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15 σ_{T2xrH}= 38	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0	τ_{Tc1}= 3		
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 15 $\sigma_{T2\phi rH}$= 40	$\sigma_{T\phi 7}$= 4 $\sigma_{T2\phi 7}$= 31	σ_{T22}= 177
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15 σ_{T2xrH}= 38	σ_{Tx7}= 6 σ_{T2x7}= 16	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			
	N S 方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 17 $\sigma_{T2\phi rH}$= 45	－	σ_{T21}= 129
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 16 σ_{T2xrH}= 43	－	
			せん断	－		τ_{T3}= 0	τ_{Tc1}= 3		
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$= 1 $\sigma_{T2\phi rV}$= 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$= 17 $\sigma_{T2\phi rH}$= 45	$\sigma_{T\phi 7}$= 4 $\sigma_{T2\phi 7}$= 28	σ_{T22}= 185
			軸方向	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1 σ_{T2xrV}= 3	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 16 σ_{T2xrH}= 43	σ_{Tx7}= 6 σ_{T2x7}= 15	
			せん断	－		τ_{T3}= 0			

2.3.3 ラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 4	τ_{LS2}= 6	σ_{LS7}= 3	τ_{LS7}= 6	σ_{LS}= 23
	N S 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 4	τ_{LS2}= 7	σ_{LS7}= 3	τ_{LS7}= 6	σ_{LS}= 24
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 4	τ_{LS2}= 7	σ_{LS7}= 4	τ_{LS7}= 7	σ_{LS}= 26
	N S 方向	σ_{LS1}= 3	τ_{LS1}= 5	σ_{LS2}= 4	τ_{LS2}= 8	σ_{LS7}= 4	τ_{LS7}= 7	σ_{LS}= 26

2.3.4 振れ止めに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{TS1}= 12	τ_{TS1}= 21	σ_{TS2}= 12	σ_{TS}= 43
	N S 方向	σ_{TS1}= 13	τ_{TS1}= 20	σ_{TS2}= 11	σ_{TS}= 41
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{TS1}= 12	τ_{TS1}= 25	σ_{TS2}= 14	σ_{TS}= 50
	N S 方向	σ_{TS1}= 14	τ_{TS1}= 23	σ_{TS2}= 13	σ_{TS}= 48

2.3.5 取付ボルト（ラグ部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{Lb}= 311	－
	N S 方向	σ_{Lb}= 315	－
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{Lb}= 348	－
	N S 方向	σ_{Lb}= 352	－

2.3.6 取付ボルト（振れ止め部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	σ_{Tb}= 183	τ_{Tb}= 30
	N S 方向	σ_{Tb}= 178	τ_{Tb}= 28
基準地震動Ss	E W 方向	σ_{Tb}= 210	τ_{Tb}= 35
	N S 方向	σ_{Tb}= 204	τ_{Tb}= 33

2.3.7 シアーラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	τ_s= 11
	N S 方向	－	τ_s= 12
基準地震動Ss	E W 方向	－	τ_s= 11
	N S 方向	－	τ_s= 12

2.4 結　論（B号機）

2.4.1 固有周期

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		
6次		

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Ss	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板（ラグ付根部）	SB410	一次一般膜	σ_{L0}= 93	S_a= 180	σ_{L0}= 93	S_a= 234
		一次	σ_{L1}= 107	S_a= 270	σ_{L1}= 108	S_a= 351
		一次＋二次	σ_{L2}= 62	S_a= 360	σ_{L2}= 71	S_a= 360
胴板（振れ止め付根部）	SB410	一次一般膜	σ_{T0}= 65	S_a= 180	σ_{T0}= 65	S_a= 234
		一次	σ_{T1}= 84	S_a= 270	σ_{T1}= 85	S_a= 351
		一次＋二次	σ_{T2}= 169	S_a= 360	σ_{T2}= 185	S_a= 360
ラグ	SM400A	組合せ	σ_{Ls}= 24	f_{Lt}= 160	σ_{Ls}= 26	f_{Lt}= 192
振れ止め	SM400A	組合せ	σ_{Ts}= 43	f_{Tt}= 173	σ_{Ts}= 50	f_{Tt}= 207
取付ボルト（ラグ部）	SCM435	引張り	σ_{Lb}= 315	f_{Lto}= 475	σ_{Lb}= 352	f_{Lto}= 475
取付ボルト（振れ止め部）	SCM435	引張り	σ_{Tb}= 183	f_{Tts}= 475*	σ_{Tb}= 210	f_{Tts}= 475*
		せん断	τ_{Tb}= 30	f_{Tsb}= 366	τ_{Tb}= 35	f_{Tsb}= 366
シアーラグ	SM400A	せん断	τ_{S}= 12	f_{Ssb}= 121	τ_{S}= 12	f_{Ssb}= 146

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{Tts}=Min[1.4・f_{Tto}−1.6・τ_{Tb}, f_{Tto}]より算出

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

3. 重大事故等対処設備　残留熱除去系熱交換器A号機

3.1 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S_d又は静的震度		基準地震動S_s		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			
残留熱除去系熱交換器 A号機	常設耐震／防止 常設／緩和	原子炉建屋 EL. 2.0 *1			－	－	C_H＝0.73 又は＊2	C_V＝0.64 又は＊2	3.45	249	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

3.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	D_i (mm)	t_L (mm)	t_T (mm)	C_{L1} (mm)	C_{L2} (mm)	C_{T1} (mm)	C_{T2} (mm)	A_{Ls1} (mm^2)	A_{Ls2} (mm^2)	A_{Ts} (mm^2)	A_T (mm^2)	A_S (mm^2)	Z_{Lsp} (mm^3)	Z_{Ls_l} (mm^3)

Z_{Lst} (mm^3)	Z_{Ts} (mm^3)	k_{L_l1}	k_{L_l2}	k_{Lc1}	k_{Lc2}	k_{Tc1}	k_{Tc2}	C_{L_l1}	C_{L_l2}	C_{Lc1}	C_{Lc2}	C_{Tc1}	C_{Tc2}	n_L	n_T

a_L (mm)	b_L (mm)	c_L (mm)	a_T (mm)	d_T (mm)	A_{Lb} (mm^2)	A_{Tb} (mm^2)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（ラグ） (MPa)	S_u（ラグ） (MPa)	F（ラグ） (MPa)	F*（ラグ） (MPa)
180 *1	391 *1	－	160 *1	373 *1	－	192

S_y（振れ止め） (MPa)	S_u（振れ止め） (MPa)	F（振れ止め） (MPa)	F*（振れ止め） (MPa)	S_y（取付ボルト）*2 (MPa)	S_u（取付ボルト）*2 (MPa)	F（取付ボルト）*2 (MPa)	F*（取付ボルト）*2 (MPa)	S_y（シアーラグ） (MPa)	S_u（シアーラグ） (MPa)	F（シアーラグ） (MPa)	F*（シアーラグ） (MPa)
173 *1	373 *1	－	207	685 *3	847 *3	－	592	194 *3	373 *3	－	232

注記 ＊1：最高使用温度で算出

＊2：ラグ部と振れ止め部は同一値

＊3：周囲環境温度で算出

3.3 計 算 数 値（A号機）

3.3.1 胴板（ラグ付根部）に生じる応力

(1) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝ 93	－	－	－	－	σ_{L0}＝ 93
		軸方向	σ_{Lx1}＝ 47	－	σ_{Lx2}＝ 4	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx11}＝ 4	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝ 93	－	－	－	－	σ_{L0}＝ 93
		軸方向	σ_{Lx1}＝ 47	－	σ_{Lx2}＝ 4	σ_{Lx4}＝ 5	σ_{Lx11}＝ 4	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	－	－	$\sigma_{L\phi 3}=$ 5	－	$\sigma_{L\phi 5}=$ 8	－	－	$\sigma_{L\phi 12}=$ 9	$\sigma_{L11}=$ 110
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	－	$\sigma_{Lx2}=$ 4	$\sigma_{Lx3}=$ 3	$\sigma_{Lx4}=$ 4	$\sigma_{Lx5}=$ 5	－	$\sigma_{Lx11}=$ 4	$\sigma_{Lx12}=$ 5	
			せん断	－	－	－		$\tau_{LC1}=$ 4	$\tau_{L3}=$ 0		－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	－	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$ 1	－	－	$\sigma_{L12}=$ 96
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	－	$\sigma_{Lx2}=$ 4	－	$\sigma_{Lx4}=$ 4	－	$\sigma_{Lx7}=$ 1	$\sigma_{Lx11}=$ 4	－	
			せん断	－	－	$\tau_{L1}=$ 4		$\tau_{L2}=$ 2	$\tau_{L3}=$ 0		$\tau_{L6}=$ 6		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	－	－	$\sigma_{L\phi 3}=$ 5	－	$\sigma_{L\phi 5}=$ 9	－	－	$\sigma_{L\phi 12}=$ 9	$\sigma_{L11}=$ 110
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	－	$\sigma_{Lx2}=$ 4	$\sigma_{Lx3}=$ 3	$\sigma_{Lx4}=$ 4	$\sigma_{Lx5}=$ 5	－	$\sigma_{Lx11}=$ 4	$\sigma_{Lx12}=$ 5	
			せん断	－	－	－		$\tau_{LC1}=$ 4	$\tau_{L3}=$ 0		－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	－	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=$ 1	－	－	$\sigma_{L12}=$ 96
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	－	$\sigma_{Lx2}=$ 4	－	$\sigma_{Lx4}=$ 4	－	$\sigma_{Lx7}=$ 1	$\sigma_{Lx11}=$ 4	－	
			せん断	－	－	$\tau_{L1}=$ 4		$\tau_{L2}=$ 2	$\tau_{L3}=$ 0		$\tau_{L6}=$ 6		

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=9$　$\sigma_{L2\phi 12}=12$	－	$\sigma_{L\phi 5}=8$　$\sigma_{L2\phi 5}=10$	－	$\sigma_{L21}=81$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=4$	$\sigma_{Lx12}=5$　$\sigma_{L2x12}=21$	$\sigma_{Lx4}=4$	$\sigma_{Lx5}=5$　$\sigma_{L2x5}=18$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lc1}=4$	
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=1$　$\sigma_{L2\phi 7}=3$	$\sigma_{L22}=23$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=4$	－	$\sigma_{Lx4}=4$	－	$\sigma_{Lx7}=1$　$\sigma_{L2x7}=1$	
			せん断	$\tau_{Lf6}=6$		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lf2}=2$	
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=9$　$\sigma_{L2\phi 12}=12$	－	$\sigma_{L\phi 5}=9$　$\sigma_{L2\phi 5}=11$	－	$\sigma_{L21}=84$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=4$	$\sigma_{Lx12}=5$　$\sigma_{L2x12}=21$	$\sigma_{Lx4}=4$	$\sigma_{Lx5}=5$　$\sigma_{L2x5}=20$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lc1}=4$	
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=1$　$\sigma_{L2\phi 7}=4$	$\sigma_{L22}=25$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=4$	－	$\sigma_{Lx4}=4$	－	$\sigma_{Lx7}=1$　$\sigma_{L2x7}=2$	
			せん断	$\tau_{Lf6}=6$		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lf2}=2$	

3.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝ 65	－	－	－	－	σ_{T0}＝ 65
		軸方向	σ_{Tx1}＝ 33	－	σ_{Tx2}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{Tx11}＝ 3	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝ 65	－	－	－	－	σ_{T0}＝ 65
		軸方向	σ_{Tx1}＝ 33	－	σ_{Tx2}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{Tx11}＝ 3	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$ 0	－	$\sigma_{T\phi rH}=$ 14	－	－	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T11}=$ 79
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	－	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 0	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 13	－	$\sigma_{Tx11}=$ 3	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	－	－	－		$\tau_{Tc1}=$ 0	$\tau_{T3}=$ 0		－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$ 0	－	$\sigma_{T\phi rH}=$ 14	$\sigma_{T\phi 7}=$ 1	－	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T12}=$ 79
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	－	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 0	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 13	$\sigma_{Tx7}=$ 1	$\sigma_{Tx11}=$ 3	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	－	－	－		$\tau_{T3}=$ 0			－		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$ 0	－	$\sigma_{T\phi rH}=$ 15	－	－	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T11}=$ 80
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	－	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 0	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 15	－	$\sigma_{Tx11}=$ 3	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	－	－	－		$\tau_{Tc1}=$ 1	$\tau_{T3}=$ 0		－		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}=$ 65	－	－	$\sigma_{T\phi rg}=$ 0	－	$\sigma_{T\phi rH}=$ 15	$\sigma_{T\phi 7}=$ 1	－	$\sigma_{T\phi rV}=$ 1	$\sigma_{T12}=$ 81
			軸方向	$\sigma_{Tx1}=$ 33	－	$\sigma_{Tx2}=$ 3	$\sigma_{Txrg}=$ 0	$\sigma_{Tx4}=$ 4	$\sigma_{TxrH}=$ 15	$\sigma_{Tx7}=$ 1	$\sigma_{Tx11}=$ 3	$\sigma_{TxrV}=$ 1	
			せん断	－	－	－		$\tau_{T3}=$ 0			－		

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1　$\sigma_{T2\phi rV}$＝ 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 14　$\sigma_{T2\phi rH}$＝ 36	－	σ_{T21}＝ 101
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 3	σ_{TxrV}＝ 1　σ_{T2xrV}＝ 2	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 13　σ_{T2xrH}＝ 34	－	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0		τ_{Tc1}＝ 0	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1　$\sigma_{T2\phi rV}$＝ 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 14　$\sigma_{T2\phi rH}$＝ 36	$\sigma_{T\phi 7}$＝ 1　$\sigma_{T2\phi 7}$＝ 3	σ_{T22}＝ 106
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 3	σ_{TxrV}＝ 1　σ_{T2xrV}＝ 2	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 13　σ_{T2xrH}＝ 34	σ_{Tx7}＝ 1　σ_{T2x7}＝ 2	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1　$\sigma_{T2\phi rV}$＝ 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 15　$\sigma_{T2\phi rH}$＝ 41	－	σ_{T21}＝ 113
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 3	σ_{TxrV}＝ 1　σ_{T2xrV}＝ 2	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 15　σ_{T2xrH}＝ 39	－	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0		τ_{Tc1}＝ 1	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1　$\sigma_{T2\phi rV}$＝ 2	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 15　$\sigma_{T2\phi rH}$＝ 41	$\sigma_{T\phi 7}$＝ 1　$\sigma_{T2\phi 7}$＝ 4	σ_{T22}＝ 119
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 3	σ_{TxrV}＝ 1　σ_{T2xrV}＝ 2	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 15　σ_{T2xrH}＝ 39	σ_{Tx7}＝ 1　σ_{T2x7}＝ 2	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0			

3.3.3 ラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－	－	－	－	－	－
	N S 方向	－	－	－	－	－	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{LS1}＝ 3	τ_{LS1}＝ 5	σ_{LS2}＝ 4	τ_{LS2}＝ 8	σ_{LS7}＝ 4	τ_{LS7}＝ 9	σ_{LS}＝ 30
	N S 方向	σ_{LS1}＝ 3	τ_{LS1}＝ 5	σ_{LS2}＝ 5	τ_{LS2}＝ 9	σ_{LS7}＝ 4	τ_{LS7}＝ 9	σ_{LS}＝ 30

3.3.4 振れ止めに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－	－	－
	N S 方向	－	－	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{TS1}＝ 11	τ_{TS1}＝ 1	σ_{TS2}＝ 2	σ_{TS}＝ 13
	N S 方向	σ_{TS1}＝ 12	τ_{TS1}＝ 1	σ_{TS2}＝ 2	σ_{TS}＝ 14

3.3.5 取付ボルト（ラグ部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Lb}＝ 401	－
	N S 方向	σ_{Lb}＝ 405	－

3.3.6 取付ボルト（振れ止め部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Tb}＝ 62	τ_{Tb}＝ 2
	N S 方向	σ_{Tb}＝ 71	τ_{Tb}＝ 2

3.3.7 シアーラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	－	τ_s＝ 13
	N S 方向	－	τ_s＝ 14

3.4. 結　論（A号機）

3.4.1 固有周期

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		

3.4.2 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Ss	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板（ラグ付根部）	SB410	一次一般膜	－	－	σ_{L0}＝ 93	S_a＝ 234
		一次	－	－	σ_{L1}＝ 110	S_a＝ 351
		一次＋二次	－	－	σ_{L2}＝ 84	S_a＝ 360
胴板（振れ止め付根部）	SB410	一次一般膜	－	－	σ_{T0}＝ 65	S_a＝ 234
		一次	－	－	σ_{T1}＝ 81	S_a＝ 351
		一次＋二次	－	－	σ_{T2}＝ 119	S_a＝ 360
ラグ	SM400A	組合せ	－	－	σ_{Ls}＝ 30	f_{Lt}＝ 192
振れ止め	SM400A	組合せ	－	－	σ_{Ts}＝ 14	f_{Tt}＝ 207
取付ボルト（ラグ部）	SCM435	引張り	－	－	σ_{Lb}＝ 405	f_{Lto}＝ 444
取付ボルト（振れ止め部）	SCM435	引張り	－	－	σ_{Tb}＝ 71	f_{Tts}＝ 444*
		せん断	－	－	τ_{Tb}＝ 2	f_{Tsb}＝ 341
シアーラグ	SM400A	せん断	－	－	τ_S＝ 14	f_{Ssb}＝ 133

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{Tts}＝Min[1.4・f_{Tto}－1.6・τ_{Tb}, f_{Tto}]より算出

【残留熱除去系熱交換器の耐震性についての計算結果】

4. 重大事故等対処設備　残留熱除去系熱交換器Ｂ号機

4.1 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			
残留熱除去系熱交換器 Ｂ号機	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建屋 EL. 2.0 ***1**			－	－	C_H＝0.73 又は＊2	C_V＝0.64 又は＊2	3.45	249	

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：基準地震動Ｓｓに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

4.2 機 器 要 目

m_0 (kg)	D_i (mm)	t_L (mm)	t_T (mm)	C_{L1} (mm)	C_{L2} (mm)	C_{T1} (mm)	C_{T2} (mm)	A_{Ls1} (mm^2)	A_{Ls2} (mm^2)	A_{Ts} (mm^2)	A_T (mm^2)	A_S (mm^2)	Z_{Lsp} (mm^3)	Z_{Ls_l} (mm^3)

Z_{Lst} (mm^3)	Z_{Ts} (mm^3)	k_{L_l1}	k_{L_l2}	k_{Lc1}	k_{Lc2}	k_{Tc1}	k_{Tc2}	C_{L_l1}	C_{L_l2}	C_{Lc1}	C_{Lc2}	C_{Tc1}	C_{Tc2}	n_L	n_T

a_L (mm)	b_L (mm)	c_L (mm)	a_T (mm)	d_T (mm)	A_{Lb} (mm^2)	A_{Tb} (mm^2)

S_y（胴板） (MPa)	S_u（胴板） (MPa)	S（胴板） (MPa)	S_y（ラグ） (MPa)	S_u（ラグ） (MPa)	F（ラグ） (MPa)	F*（ラグ） (MPa)
180 ＊1	391 ＊1	－	160 ＊1	373 ＊1	－	192

S_y（振れ止め） (MPa)	S_u（振れ止め） (MPa)	F（振れ止め） (MPa)	F*（振れ止め） (MPa)	S_y（取付ボルト）＊2 (MPa)	S_u（取付ボルト）＊2 (MPa)	F（取付ボルト）＊2 (MPa)	F*（取付ボルト）＊2 (MPa)	S_y（シアーラグ） (MPa)	S_u（シアーラグ） (MPa)	F（シアーラグ） (MPa)	F*（シアーラグ） (MPa)
173 ＊1	373 ＊1	－	207	685 ＊3	847 ＊3	－	592	194 ＊3	373 ＊3	－	232

注記 ＊1：最高使用温度で算出

＊2：ラグ部と振れ止め部は同一値

＊3：周囲環境温度で算出

4.3 計 算 数 値（B号機）

4.3.1 胴板（ラグ付根部）に生じる応力

(1) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動S_s）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動S_s	EW方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝ 93	－	－	－	－	σ_{L0}＝ 93
		軸方向	σ_{Lx1}＝ 47	－	σ_{Lx2}＝ 4	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx11}＝ 3	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	$\sigma_{L\phi 1}$＝ 93	－	－	－	－	σ_{L0}＝ 93
		軸方向	σ_{Lx1}＝ 47	－	σ_{Lx2}＝ 4	σ_{Lx4}＝ 4	σ_{Lx11}＝ 3	
		せん断	－	－	－	－	－	

(3) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		

(4) 胴板（ラグ付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		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	転倒モーメントによる応力	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	鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	—	—	$\sigma_{L\phi 3}=$ 5	—	$\sigma_{L\phi 5}=$ 7	—	—	$\sigma_{L\phi 12}=$ 7	$\sigma_{L11}=$ 108
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	—	$\sigma_{Lx2}=$ 4	$\sigma_{Lx3}=$ 3	$\sigma_{Lx4}=$ 4	$\sigma_{Lx5}=$ 4	—	$\sigma_{Lx11}=$ 3	$\sigma_{Lx12}=$ 4	
			せん断	—	—	—		$\tau_{LC1}=$ 4	$\tau_{L3}=$ 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7}=$ 1	—	—	$\sigma_{L12}=$ 96
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	—	$\sigma_{Lx2}=$ 4	—	$\sigma_{Lx4}=$ 4	—	$\sigma_{Lx7}=$ 3	$\sigma_{Lx11}=$ 3	—	
			せん断	—	—	$\tau_{L1}=$ 4		$\tau_{L2}=$ 2	$\tau_{L3}=$ 0		$\tau_{L6}=$ 5		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	—	—	$\sigma_{L\phi 3}=$ 5	—	$\sigma_{L\phi 5}=$ 7	—	—	$\sigma_{L\phi 12}=$ 7	$\sigma_{L11}=$ 108
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	—	$\sigma_{Lx2}=$ 4	$\sigma_{Lx3}=$ 3	$\sigma_{Lx4}=$ 4	$\sigma_{Lx5}=$ 4	—	$\sigma_{Lx11}=$ 3	$\sigma_{Lx12}=$ 4	
			せん断	—	—	—		$\tau_{LC1}=$ 4	$\tau_{L3}=$ 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{L\phi 1}=$ 93	—	—	—	—	—	$\sigma_{L\phi 7}=$ 1	—	—	$\sigma_{L12}=$ 96
			軸方向	$\sigma_{Lx1}=$ 47	—	$\sigma_{Lx2}=$ 4	—	$\sigma_{Lx4}=$ 4	—	$\sigma_{Lx7}=$ 2	$\sigma_{Lx11}=$ 3	—	
			せん断	—	—	$\tau_{L1}=$ 4		$\tau_{L2}=$ 2	$\tau_{L3}=$ 0		$\tau_{L6}=$ 5		

(5) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			

(6) 胴板（ラグ付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	鉛直方向モーメントによる応力	転倒モーメントによる応力	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	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=7$　$\sigma_{L2\phi 12}=9$	－	$\sigma_{L\phi 5}=7$　$\sigma_{L2\phi 5}=9$	－	$\sigma_{L21}=67$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=3$	$\sigma_{Lx12}=4$　$\sigma_{L2x12}=17$	$\sigma_{Lx4}=4$	$\sigma_{Lx5}=4$　$\sigma_{L2x5}=15$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lc1}=4$	
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=1$　$\sigma_{L2\phi 7}=9$	$\sigma_{L22}=29$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=3$	－	$\sigma_{Lx4}=4$	－	$\sigma_{Lx7}=3$　$\sigma_{L2x7}=4$	
			せん断	$\tau_{Lf6}=5$		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lf2}=2$	
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{L\phi 12}=7$　$\sigma_{L2\phi 12}=9$	－	$\sigma_{L\phi 5}=7$　$\sigma_{L2\phi 5}=10$	－	$\sigma_{L21}=71$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=3$	$\sigma_{Lx12}=4$　$\sigma_{L2x12}=17$	$\sigma_{Lx4}=4$	$\sigma_{Lx5}=4$　$\sigma_{L2x5}=17$	－	
			せん断	－		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lc1}=4$	
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	$\sigma_{L\phi 7}=1$　$\sigma_{L2\phi 7}=8$	$\sigma_{L22}=28$
			軸方向	$\sigma_{Lx11}=3$	－	$\sigma_{Lx4}=4$	－	$\sigma_{Lx7}=2$　$\sigma_{L2x7}=4$	
			せん断	$\tau_{Lf6}=5$		$\tau_{L3}=0$		$\tau_{Lf2}=2$	

4.3.2 胴板（振れ止め付根部）に生じる応力

(1) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	
	NS方向	周方向	－	－	－	－	－	－
		軸方向	－	－	－	－	－	
		せん断	－	－	－	－	－	

(2) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次一般膜応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力	水平方向地震による応力	鉛直方向地震による応力	組合せ一次一般膜応力
					自重による応力	転倒モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	
基準地震動Ｓｓ	EW方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝ 65	—	—	—	—	σ_{T0}＝ 65
		軸方向	σ_{Tx1}＝ 33	—	σ_{Tx2}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{Tx11}＝ 2	
		せん断	—	—	—	—	—	
	NS方向	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$＝ 65	—	—	—	—	σ_{T0}＝ 65
		軸方向	σ_{Tx1}＝ 33	—	σ_{Tx2}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{Tx11}＝ 2	
		せん断	—	—	—	—	—	

(3) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	－	－	－	－	
			せん断	－	－	－		－			－		

(4) 胴板（振れ止め付根部）に生じる一次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	静水頭又は内圧による応力	静水頭又は内圧による応力（鉛直方向地震時）	運転時質量による応力		水平方向地震による応力			鉛直方向地震による応力		組合せ一次応力
						自重による応力	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	周方向モーメントによる応力	鉛直方向荷重による応力	半径方向荷重による応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}$= 1	—	$\sigma_{T\phi rH}$= 15	—	—	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T11}= 81
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 1	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15	—	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1	
			せん断	—	—	—		τ_{Tc1}= 3	τ_{T3}= 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}$= 1	—	$\sigma_{T\phi rH}$= 15	$\sigma_{T\phi 7}$= 4	—	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T12}= 84
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 1	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 15	σ_{Tx7}= 6	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1	
			せん断	—	—	—		τ_{T3}= 0			—		
	NS方向	第1評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}$= 1	—	$\sigma_{T\phi rH}$= 17	—	—	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T11}= 82
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 1	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 16	—	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1	
			せん断	—	—	—		τ_{Tc1}= 3	τ_{T3}= 0		—		
		第2評価点	周方向	$\sigma_{T\phi 1}$= 65	—	—	$\sigma_{T\phi rg}$= 1	—	$\sigma_{T\phi rH}$= 17	$\sigma_{T\phi 7}$= 4	—	$\sigma_{T\phi rV}$= 1	σ_{T12}= 85
			軸方向	σ_{Tx1}= 33	—	σ_{Tx2}= 3	σ_{Txrg}= 1	σ_{Tx4}= 4	σ_{TxrH}= 16	σ_{Tx7}= 6	σ_{Tx11}= 2	σ_{TxrV}= 1	
			せん断	—	—	—		τ_{T3}= 0			—		

(5) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（弾性設計用地震動S_d又は静的震度）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	EW方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			
		第2評価点	周方向	－	－	－	－	－	－
			軸方向	－	－	－	－	－	
			せん断	－		－			

(6) 胴板（振れ止め付根部）に生じる地震動のみによる一次＋二次応力（基準地震動Ｓｓ）

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	評価点	応力	鉛直方向地震による応力		水平方向地震による応力			組合せ一次＋二次応力（変動値）
				鉛直方向荷重による応力	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	周方向モーメントによる応力	
基準地震動Ss	EW方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1 $\sigma_{T2\phi rV}$＝ 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 15 $\sigma_{T2\phi rH}$＝ 40	－	σ_{T21}＝ 117
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 2	σ_{TxrV}＝ 1 σ_{T2xrV}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 15 σ_{T2xrH}＝ 38	－	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0		τ_{Tc1}＝ 3	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1 $\sigma_{T2\phi rV}$＝ 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 15 $\sigma_{T2\phi rH}$＝ 40	$\sigma_{T\phi 7}$＝ 4 $\sigma_{T2\phi 7}$＝ 31	σ_{T22}＝ 177
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 2	σ_{TxrV}＝ 1 σ_{T2xrV}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 15 σ_{T2xrH}＝ 38	σ_{Tx7}＝ 6 σ_{T2x7}＝ 16	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0			
	NS方向	第1評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1 $\sigma_{T2\phi rV}$＝ 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 17 $\sigma_{T2\phi rH}$＝ 45	－	σ_{T21}＝ 129
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 2	σ_{TxrV}＝ 1 σ_{T2xrV}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 16 σ_{T2xrH}＝ 43	－	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0		τ_{Tc1}＝ 3	
		第2評価点	周方向	－	$\sigma_{T\phi rV}$＝ 1 $\sigma_{T2\phi rV}$＝ 3	－	$\sigma_{T\phi rH}$＝ 17 $\sigma_{T2\phi rH}$＝ 45	$\sigma_{T\phi 7}$＝ 4 $\sigma_{T2\phi 7}$＝ 28	σ_{T22}＝ 185
			軸方向	σ_{Tx11}＝ 2	σ_{TxrV}＝ 1 σ_{T2xrV}＝ 3	σ_{Tx4}＝ 4	σ_{TxrH}＝ 16 σ_{T2xrH}＝ 43	σ_{Tx7}＝ 6 σ_{T2x7}＝ 15	
			せん断	－		τ_{T3}＝ 0			

4.3.3 ラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量による応力		水平方向地震による応力		鉛直方向地震による応力		組合せ応力
		曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－	－	－	－	－	－
	N S 方向	－	－	－	－	－	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{LS1}＝ 3	τ_{LS1}＝ 5	σ_{LS2}＝ 4	τ_{LS2}＝ 7	σ_{LS7}＝ 4	τ_{LS7}＝ 7	σ_{LS}＝ 26
	N S 方向	σ_{LS1}＝ 3	τ_{LS1}＝ 5	σ_{LS2}＝ 4	τ_{LS2}＝ 8	σ_{LS7}＝ 4	τ_{LS7}＝ 7	σ_{LS}＝ 26

4.3.4 振れ止めに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	運転時質量と地震による応力			組合せ応力
		引張り	せん断	曲げ	
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－	－	－
	N S 方向	－	－	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{TS1}＝ 12	τ_{TS1}＝ 25	σ_{TS2}＝ 14	σ_{TS}＝ 50
	N S 方向	σ_{TS1}＝ 14	τ_{TS1}＝ 23	σ_{TS2}＝ 13	σ_{TS}＝ 48

4.3.5 取付ボルト（ラグ部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Lb}＝ 348	－
	N S 方向	σ_{Lb}＝ 352	－

4.3.6 取付ボルト（振れ止め部）に生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	σ_{Tb}＝ 210	τ_{Tb}＝ 35
	N S 方向	σ_{Tb}＝ 204	τ_{Tb}＝ 33

4.3.7 シアーラグに生じる応力

（単位：MPa）

地震の種類	地震の方向	引張応力	せん断応力
弾性設計用地震動S_d又は静的震度	E W 方向	－	－
	N S 方向	－	－
基準地震動S_s	E W 方向	－	τ_s＝ 11
	N S 方向	－	τ_s＝ 12

4.4. 結　論（B号機）

4.4.1 固有周期

モード	固有周期（s）	卓越方向
1次		
2次		
3次		
4次		
5次		
6次		

4.4.2 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Ss	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板（ラグ付根部）	SB410	一次一般膜	－	－	σ_{L0}＝ 93	S_a＝ 234
		一次	－	－	σ_{L1}＝ 108	S_a＝ 351
		一次＋二次	－	－	σ_{L2}＝ 71	S_a＝ 360
胴板（振れ止め付根部）	SB410	一次一般膜	－	－	σ_{T0}＝ 65	S_a＝ 234
		一次	－	－	σ_{T1}＝ 85	S_a＝ 351
		一次＋二次	－	－	σ_{T2}＝ 185	S_a＝ 360
ラグ	SM400A	組合せ	－	－	σ_{Ls}＝ 26	f_{Lt}＝ 192
振れ止め	SM400A	組合せ	－	－	σ_{Ts}＝ 50	f_{Tt}＝ 207
取付ボルト（ラグ部）	SCM435	引張り	－	－	σ_{Lb}＝ 352	f_{Lto}＝ 444
取付ボルト（振れ止め部）	SCM435	引張り	－	－	σ_{Tb}＝ 211	f_{Tto}＝ 444*
		せん断	－	－	τ_{Tb}＝ 35	f_{Tsb}＝ 341
シアーラグ	SM400A	せん断	－	－	τ_{S}＝ 12	f_{Ssb}＝ 133

すべて許容応力以下である。

注記　＊：f_{Tts}＝Min[1.4・f_{Tto}－1.6・τ_{Tb}, f_{Tto}]より算出

Ⅴ-2-5-4-1-2　残留熱除去系ポンプ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. 固有値解析及び構造強度評価 ····· 3
3.1 固有値解析及び構造強度評価方法 ····· 3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 3
3.3 解析モデル及び諸元 ····· 9
3.4 固有周期 ····· 9
3.5 設計用地震力 ····· 10
4. 機能維持評価 ····· 11
4.1 動的機能維持評価方法 ····· 11
5. 評価結果 ····· 12
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 12
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 12

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，残留熱除去系ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度及び動的機能を有していることを説明するものである。

残留熱除去系ポンプは，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及び動的機能維持評価を示す。

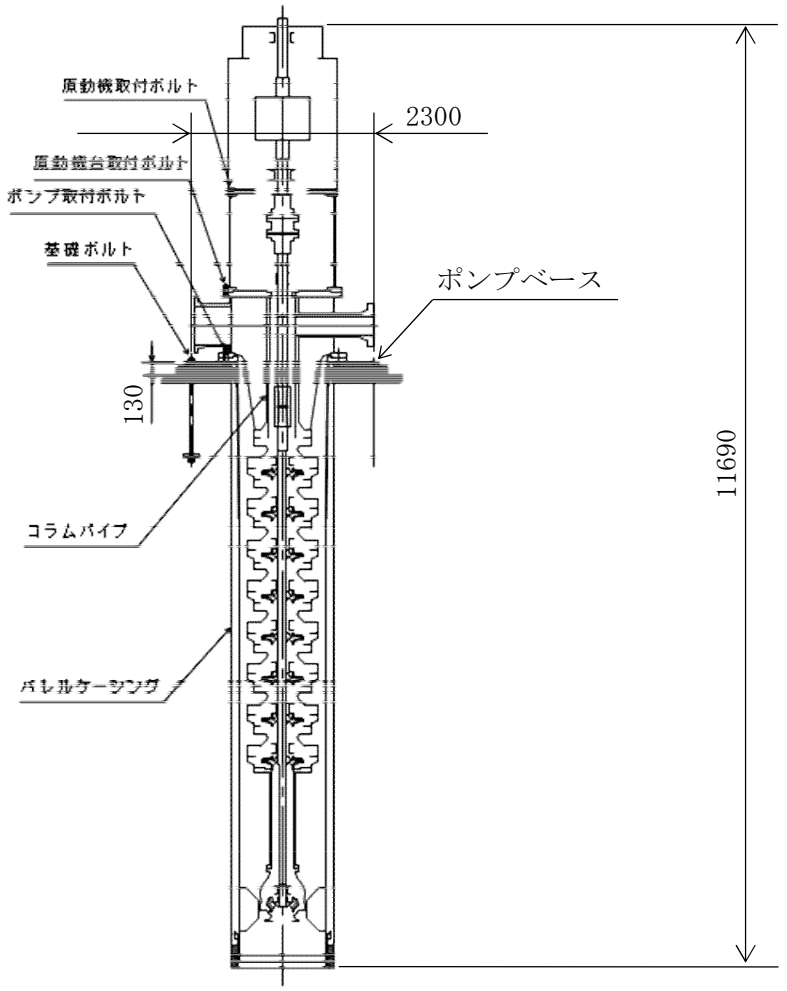
2. 一般事項

本計算書は,添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて軸ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を行う。

2.1 構造計画

残留熱除去系ポンプの構造計画を表 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	
ポンプはポンプベースに固定され，ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。	ピットバレル形 たて軸ポンプ	

3.　固有値解析及び構造強度評価

3.1　固有値解析及び構造強度評価方法

残留熱除去系ポンプの構造はたて軸ポンプであるため，構造強度評価は，添付書類「Ⅴ-2-1-13-5　たて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

残留熱除去系ポンプ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，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-2 に示す。

3.2.2　許容応力

残留熱除去系ポンプの許容応力は，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に基づき表 3-3 及び表 3-4 のとおりとする。

3.2.3　使用材料の許容応力評価条件

残留熱除去系ポンプ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 3-5 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 3-6 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
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ポンプ	S	クラス２ポンプ*	$D+P_D+M_D+S_d$*	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

注記　＊：クラス２ポンプの支持構造物を含む。

表 3-2　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
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ポンプ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２ポンプ*2	$D+P_D+M_D+S_s$*3	$\mathrm{IV}_A S$
					$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$V_A S$（$V_A S$として$\mathrm{IV}_A S$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ポンプ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 3-3　許容応力（クラス２，３ポンプ及び重大事故等クラス２ポンプ）

許容応力状態	許容限界*			
	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
$Ⅲ_AS$	S_yと 0.6・S_u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との大きい方	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動S_d又は基準地震動S_s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・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	
$Ⅳ_AS$	0.6・S_u	左欄の 1.5 倍の値		
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）			基準地震動S_s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・S_y以下であれば，疲労解析は行わない。	

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代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-4　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
$Ⅲ_AS$	1.5・f_t	1.5・f_s
$Ⅳ_AS$	1.5・f_t*	1.5・f_s*
$Ⅴ_AS$ （$Ⅴ_AS$として$Ⅳ_AS$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代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-5　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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	182	173	373	－
コラムパイプ		最高使用温度	182	173	373	－
基礎ボルト		周囲環境温度		206	385	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	182	637	847	－
原動機台取付ボルト		最高使用温度	182	173	373	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		206	385	－

表 3-6　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_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
バレルケーシング		最高使用温度	182	173	373	－
コラムパイプ		最高使用温度	182	173	373	－
基礎ボルト		周囲環境温度		206	385	－
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	182	637	847	－
原動機台取付ボルト		最高使用温度	182	173	373	－
原動機取付ボルト		周囲環境温度		206	385	－

3.3　解析モデル及び諸元

固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は，本計算書の【残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要・ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

3.4　固有周期

固有値解析の結果を表 3-7 に，振動モード図を図 3-1 に示す。鉛直方向は，3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 3-7　固有値解析結果

モード	固有周期（ｓ）	卓越方向	刺激係数	
			X	Y
1次	0.066	水平	-1.229	0.000
2次	0.040	水平	－	－

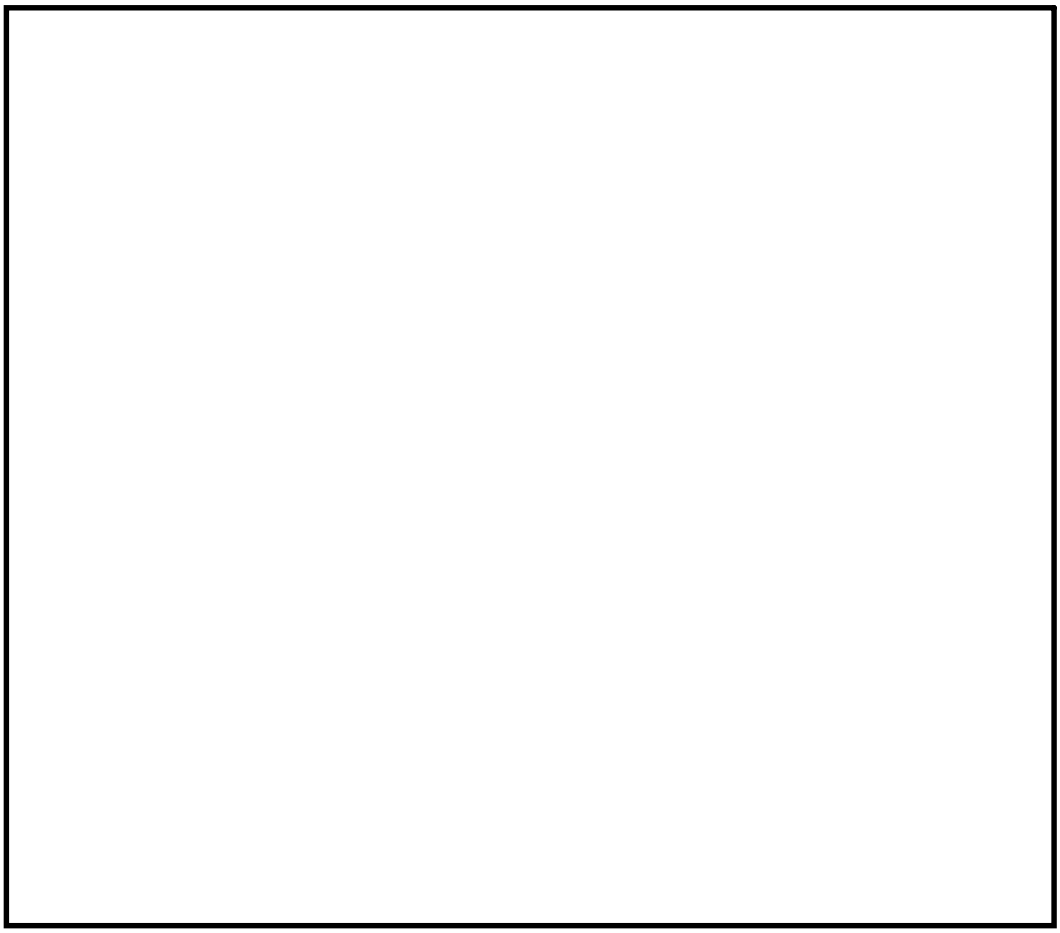


図 3-1　振動モード（１次モード　水平方向　0.066ｓ）

3.5　設計用地震力

「弾性設計用地震動S_d又は静的震度」及び「基準地震動S_s」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。また，減衰定数は添付書類「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。

評価に用いる設計用地震力を表3-8に示す。

表 3-8　設計用地震力

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		減衰定数 (%)	
	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	水平	鉛直
原子炉建屋 EL. －4.0*1	0.066	0.05 以下*2	C_H＝0.58 又は＊3	C_V＝0.48	C_H＝0.87 又は＊4	C_V＝0.90	1.0	－

注記　＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：弾性設計用地震動S_dに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

＊4：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

4.　機能維持評価

4.1　動的機能維持評価方法

残留熱除去系ポンプの地震後の動的機能維持評価について，以下に示す。

残留熱除去系ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため，添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1　機能確認済加速度　（×9.8 m/s^2）

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	ピットバレル形ポンプ	水平	10.0
		鉛直	1.0
原動機	立形ころがり軸受電動機	水平	2.5
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ポンプ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及び動的機能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。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ポンプ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及び動的機能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。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱除去系ポンプ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（℃）	最高使用圧力（MPa）	
			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				吸込側	吐出側
残留熱除去系ポンプ	S	原子炉建屋 EL. －4.0*1	0.066	0.05以下*2	C_H＝0.58 又は＊3	C_V＝0.48	C_H＝0.87 又は＊4	C_V＝0.90	C_p＝0.05	182	[redacted]	1.52	3.50

注記 ＊1：基準床レベルを示す。
＊2：固有値解析より，0.05秒以下であり剛であることを確認した。
＊3：弾性設計用地震動S_dに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。
＊4：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	n_{fi}	M_p (N･mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト（i＝1）	[redacted]			8	8	－	206*2	385*2	206	247
ポンプ取付ボルト（i＝2）				40	40	6.494×10^6	637*1	847*1	592	592
原動機台取付ボルト（i＝3）				8	8	6.494×10^6	173*1	373*1	173	208
原動機取付ボルト（i＝4）				8	8	6.494×10^6	206*2	385*2	206	247

注記 ＊1：最高使用温度で算出
＊2：周囲環境温度で算出

予想最大両振幅（μm）	回転速度（min^{-1}）
Hp＝[redacted]	N＝[redacted]

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	－	173*	373*	1072.0	14.0
コラムパイプ	－	173*	373*	409.6	32.0

注記 ＊：最高使用温度で算出

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	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	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)						
ポンプ取付ボルト (i=2)						
原動機台取付ボルト (i=3)						
原動機取付ボルト (i=4)						

(2) バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

部 材	M (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
バレルケーシング		
コラムパイプ		

1.4 結論

1.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	0.066	水平

1.4.2 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	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	−	f_{ts1}=154*	σ_{b1}= 9	f_{ts1}=185*
		せん断	τ_{b1}= 7	f_{sb1}=118	τ_{b1}=10	f_{sb1}=142
ポンプ取付ボルト		引張り	σ_{b2}= 2	f_{ts2}=444*	σ_{b2}= 6	f_{ts2}=444*
		せん断	τ_{b2}= 3	f_{sb2}=342	τ_{b2}= 4	f_{sb2}=342
原動機台取付ボルト		引張り	σ_{b3}= 8	f_{ts3}=130*	σ_{b3}=18	f_{ts3}=156*
		せん断	τ_{b3}= 7	f_{sb3}=100	τ_{b3}=10	f_{sb3}=120
原動機取付ボルト		引張り	σ_{b4}= 6	f_{ts4}=154*	σ_{b4}=16	f_{ts4}=185*
		せん断	τ_{b4}= 6	f_{sb4}=118	τ_{b4}= 8	f_{sb4}=142

すべて許容応力以下である。

注記 ＊：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}−1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

1.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力

(単位：MPa)

部 材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	59	173
		基準地震動S_s	59	223
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	23	173
		基準地震動S_s	24	223

すべて許容応力以下である。

1.4.4　動的機能維持の評価結果

1.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72*1	10.0
	鉛直方向	0.75*2	1.0
原動機	水平方向	0.72*1	2.5
	鉛直方向	0.75*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
2	2-3	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
3	3-4	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
4	4-5	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
5	5-6	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
6	6-7	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
7	7-8	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
8	8-9	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
9	9-10	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
10	10-11	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
11	11-12	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
12	12-13	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
13	13-14	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
14	14-15	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
15	15-16	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
16	16-17	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
17	17-18	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
18	18-19	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
19	19-20	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
20	20-21	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
21	21-22	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
22	22-23	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
23	23-24	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
24	24-25	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
25	25-26	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
26	26-27	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
27	27-28	4		1.194×10^{8}	2.388×10^{8}
28	28-29	6		7.187×10^{6}	1.437×10^{7}
29	29-30	6		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
30	30-31	6		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
31	32-33	2		1.971×10^{8}	3.943×10^{8}
32	33-34	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
33	34-35	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
34	35-36	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
35	36-37	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
36	37-38	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
37	38-39	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
38	39-40	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
39	40-41	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
40	41-42	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
41	42-43	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
42	43-44	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
43	44-45	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
44	45-46	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
45	46-47	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
46	47-48	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
47	48-49	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
48	49-50	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
49	50-51	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}

（続き）

断面特性番号 （要素番号）	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50	51-52	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
51	52-53	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
52	53-54	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
53	54-55	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
54	55-56	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
55	56-57	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
56	57-58	3		2.404×10^{8}	4.808×10^{8}
57	57-89	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
58	59-60	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
59	60-61	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
60	61-62	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
61	62-63	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
62	63-64	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
63	64-65	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
64	65-66	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
65	66-67	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
66	67-68	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
67	68-69	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
68	69-70	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
69	70-71	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
70	71-72	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
71	72-73	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
72	73-74	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
73	74-75	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
74	75-76	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
75	76-77	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
76	77-78	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
77	78-79	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
78	79-80	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
79	80-81	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
80	81-82	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
81	82-83	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
82	83-84	3		1.665×10^{10}	3.329×10^{10}
83	85-86	5		1.463×10^{12}	2.926×10^{12}
84	86-87	3		5.625×10^{11}	1.125×10^{12}
85	87-88	3		3.924×10^{10}	7.848×10^{10}
86	88-89	3		3.924×10^{10}	7.848×10^{10}
87	89-90	5		1.090×10^{10}	2.180×10^{10}
88	90-91	6		4.847×10^{9}	9.694×10^{9}
89	91-92	6		4.847×10^{9}	9.694×10^{9}
90	92-93	6		6.277×10^{9}	1.255×10^{10}

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数
2	34	
4	36	
6	38	
8	40	
10	42	
12	44	
14	46	
16	48	
18	50	
20	52	
26	58	
29	91	
30	92	
33	62	
30	92	
84	86	
84	86	

(4) 節点の質量

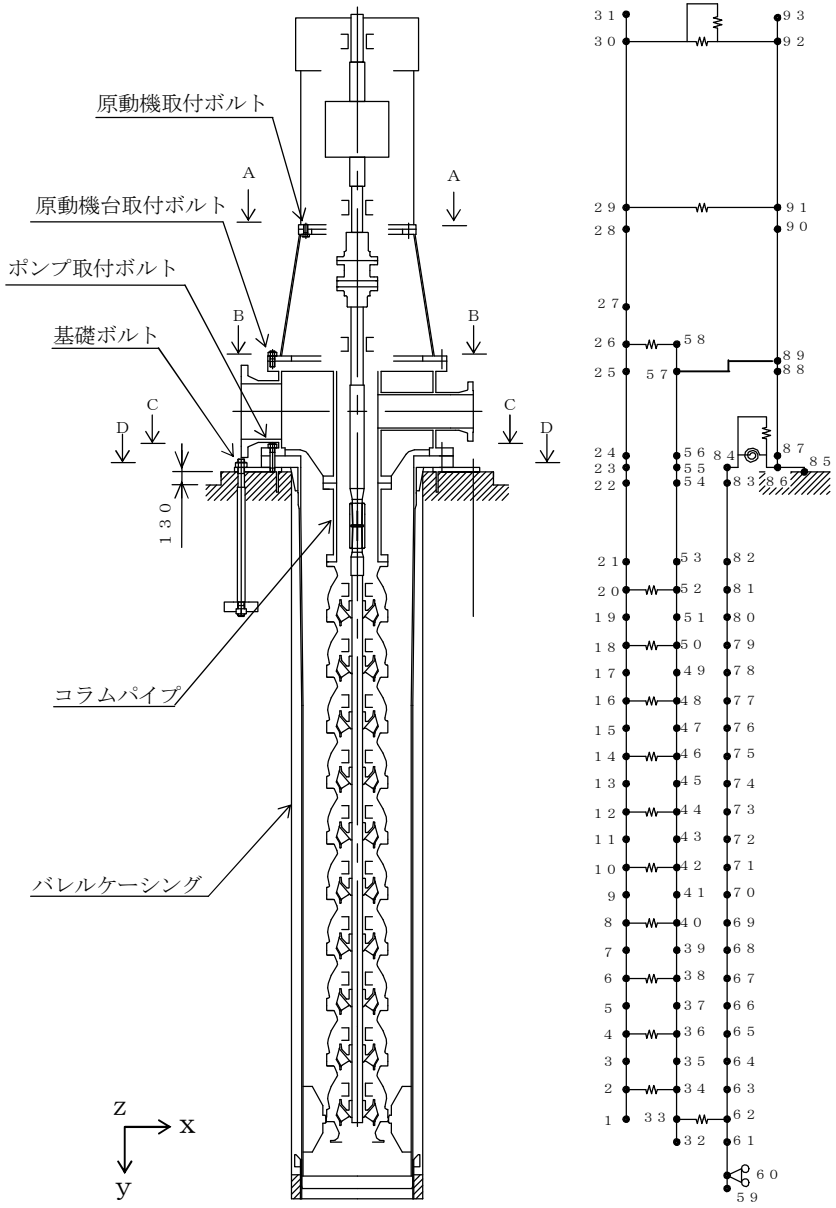
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

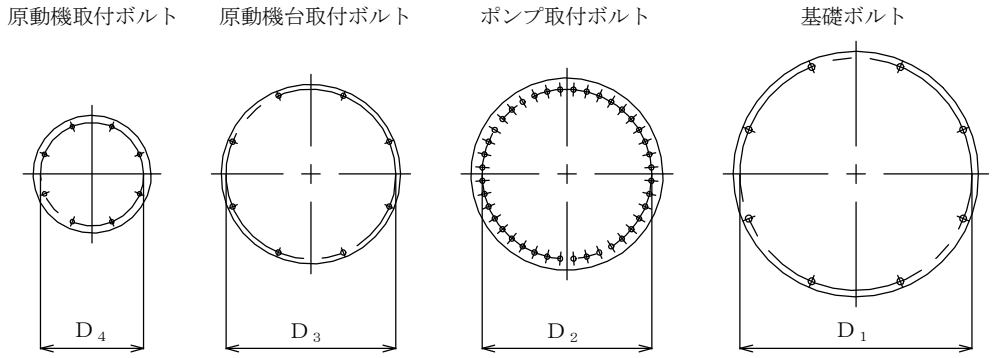
(続き)

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1	182	1.89×10^5		0.3		ポンプ
2	182	1.91×10^5		0.3		ポンプ
3	182	1.92×10^5		0.3		ポンプ
4		1.99×10^5		0.3		原動機
5		2.00×10^5		0.3		原動機
6		1.99×10^5		0.3		原動機





A～A矢視図　B～B矢視図　C～C矢視図　D～D矢視図

【残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 重大事故対処設備

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（℃）	最高使用圧力（MPa）	
			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				吸込側	吐出側
残留熱除去系ポンプ	常設耐震／防止常設／緩和	原子炉建屋 EL. −4.0*1	0.066	0.05 以下*2	−	−	C_H=0.87 又は*3	C_V=0.90	C_p=0.05	182	[redacted]	1.52	3.50

注記 ＊1：基準床レベルを示す。

＊2：固有値解析より，0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

＊3：基準地震動S_sに基づく設備評価用床応答曲線より得られる値。

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m_i (kg)	D_i (mm)	A_{bi} (mm²)	n_i	n_{fi}	M_p (N·mm)	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)
基礎ボルト（i＝1）	[redacted]			8	8	−	206*2	385*2	−	247
ポンプ取付ボルト（i＝2）				40	40	6.494×10^6	637*1	847*1	−	592
原動機台取付ボルト（i＝3）				8	8	6.494×10^6	173*1	373*1	−	208
原動機取付ボルト（i＝4）				8	8	6.494×10^6	206*2	385*2	−	247

注記 ＊1：最高使用温度で算出

＊2：周囲環境温度で算出

(2) バレルケーシング，コラムパイプ

部材	S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	D_c (mm)	t (mm)
バレルケーシング	−	173*	373*	1072.0	14.0
コラムパイプ	−	173*	373*	409.6	32.0

注記 ＊：最高使用温度で算出

予想最大両振幅（μm）	回転速度（min^{-1}）
Hp＝[redacted]	N＝[redacted]

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部 材	M_i (N・mm)		F_{bi} (N)		Q_{bi} (N)	
	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	弾性設計用地震動S_d又は静的震度	基準地震動S_s
基礎ボルト (i=1)	—		—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—		—	
原動機台取付ボルト (i=3)	—		—		—	
原動機取付ボルト (i=4)	—		—		—	

(2) バレルケーシング，コラムパイプに作用する力

部 材	M (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
バレルケーシング	—	
コラムパイプ	—	

2.4 結論

2.4.1 固有周期

モード	固有周期 (s)	卓越方向
1次	0.066	水平

2.4.2 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	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト		引張り	—	—	σ_{b1}= 9	f_{ts1}=185*
		せん断	—	—	τ_{b1}=10	f_{sb1}=142
ポンプ取付ボルト		引張り	—	—	σ_{b2}= 6	f_{ts2}=444*
		せん断	—	—	τ_{b2}= 4	f_{sb2}=342
原動機台取付ボルト		引張り	—	—	σ_{b3}=18	f_{ts3}=156*
		せん断	—	—	τ_{b3}=10	f_{sb3}=120
原動機取付ボルト		引張り	—	—	σ_{b4}=16	f_{ts4}=185*
		せん断	—	—	τ_{b4}= 8	f_{sb4}=142

すべて許容応力以下である。

注記 *：f_{tsi}=Min[1.4・f_{toi}−1.6・τ_{bi}, f_{toi}]より算出

2.4.3 バレルケーシング，コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部 材	材料		一次一般膜応力	
			算出応力	許容応力
バレルケーシング		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	—	—
		基準地震動S_s	59	223
コラムパイプ		弾性設計用地震動S_d又は静的震度	—	—
		基準地震動S_s	24	223

すべて許容応力以下である。

2.4.4　動的機能維持の評価結果

2.4.4.1　機能確認済加速度との比較　　(×9.8 m/s^2)

		評価用加速度	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	0.72*1	10.0
	鉛直方向	0.75*2	1.0
原動機	水平方向	0.72*1	2.5
	鉛直方向	0.75*2	1.0

注記　＊1：水平方向評価用加速度はコラム先端の応答加速度又は1.0ZPAのうちいずれか大きい値。

＊2：鉛直方向評価用加速度は1.0ZPA。

評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

2.5　その他の機器要目

(1)　節点データ

節点番号	節点座標（mm）		
	x	y	Z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			

(2)　要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
1	1-2	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
2	2-3	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
3	3-4	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
4	4-5	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
5	5-6	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
6	6-7	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
7	7-8	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
8	8-9	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
9	9-10	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
10	10-11	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
11	11-12	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
12	12-13	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
13	13-14	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
14	14-15	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
15	15-16	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
16	16-17	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
17	17-18	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
18	18-19	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
19	19-20	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
20	20-21	1		1.198×10^{7}	2.397×10^{7}
21	21-22	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
22	22-23	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
23	23-24	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
24	24-25	1		1.780×10^{7}	3.561×10^{7}
25	25-26	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
26	26-27	1		1.886×10^{7}	3.771×10^{7}
27	27-28	4		1.194×10^{8}	2.388×10^{8}
28	28-29	6		7.187×10^{6}	1.437×10^{7}
29	29-30	6		2.485×10^{7}	4.970×10^{7}
30	30-31	6		1.018×10^{7}	2.036×10^{7}
31	32-33	2		1.971×10^{8}	3.943×10^{8}
32	33-34	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
33	34-35	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
34	35-36	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
35	36-37	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
36	37-38	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
37	38-39	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
38	39-40	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
39	40-41	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
40	41-42	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
41	42-43	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
42	43-44	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
43	44-45	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
44	45-46	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
45	46-47	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
46	47-48	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
47	48-49	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
48	49-50	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
49	50-51	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm^2)	断面二次 モーメント (mm^4)	断面二次 極モーメント (mm^4)
50	51-52	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
51	52-53	2		1.008×10^{9}	2.016×10^{9}
52	53-54	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
53	54-55	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
54	55-56	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
55	56-57	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
56	57-58	3		2.404×10^{8}	4.808×10^{8}
57	57-89	3		1.088×10^{9}	2.176×10^{9}
58	59-60	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
59	60-61	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
60	61-62	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
61	62-63	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
62	63-64	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
63	64-65	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
64	65-66	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
65	66-67	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
66	67-68	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
67	68-69	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
68	69-70	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
69	70-71	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
70	71-72	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
71	72-73	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
72	73-74	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
73	74-75	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
74	75-76	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
75	76-77	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
76	77-78	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
77	78-79	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
78	79-80	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
79	80-81	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
80	81-82	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
81	82-83	3		7.043×10^{9}	1.409×10^{10}
82	83-84	3		1.665×10^{10}	3.329×10^{10}
83	85-86	5		1.463×10^{12}	2.926×10^{12}
84	86-87	3		5.625×10^{11}	1.125×10^{12}
85	87-88	3		3.924×10^{10}	7.848×10^{10}
86	88-89	3		3.924×10^{10}	7.848×10^{10}
87	89-90	5		1.090×10^{10}	2.180×10^{10}
88	90-91	6		4.847×10^{9}	9.694×10^{9}
89	91-92	6		4.847×10^{9}	9.694×10^{9}
90	92-93	6		6.277×10^{9}	1.255×10^{10}

(3)　ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数					
2	34						
4	36						
6	38						
8	40						
10	42						
12	44						
14	46						
16	48						
18	50						
20	52						
26	58						
29	91						
30	92						
33	62						
30	92						
84	86						
84	86						

(4)　節点の質量

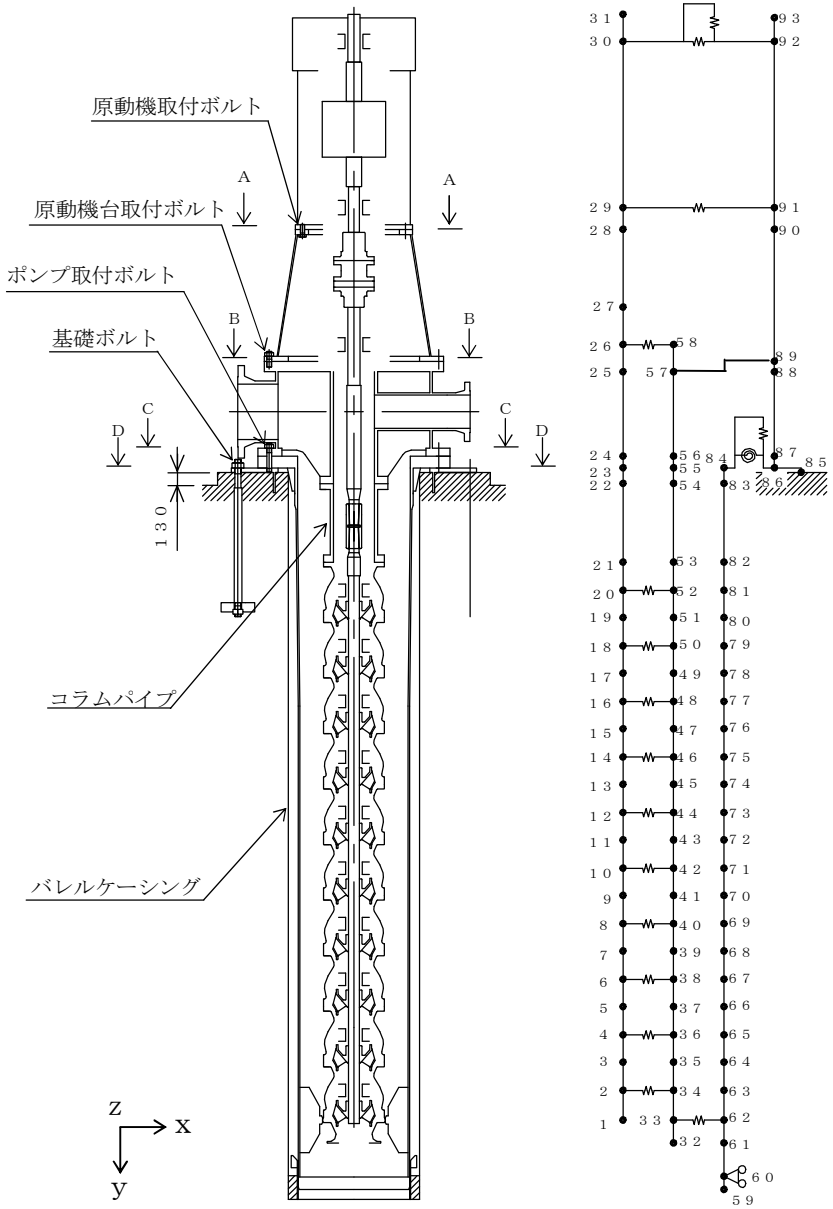
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	

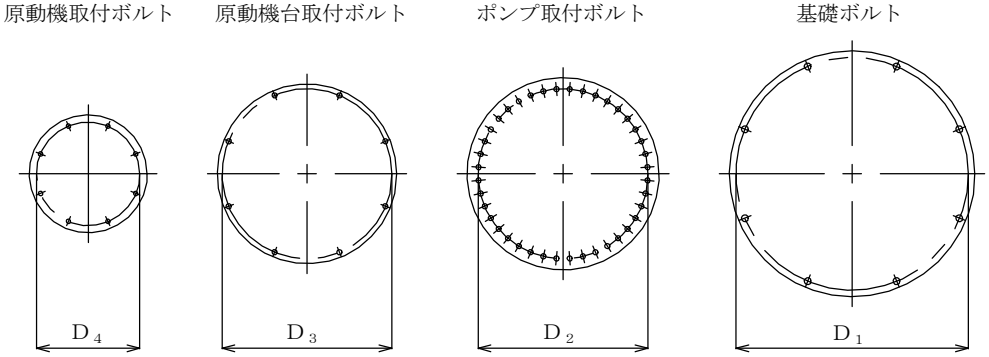
(続き)

節点番号	質量 (kg)
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	
57	
58	
59	
60	
61	
62	
63	
64	
65	
66	
67	
68	
69	
70	
71	
72	
73	
74	
75	
76	
77	
78	
79	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
91	
92	
93	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (℃)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm^3)	ポアソン比 (－)	材質	部位
1	182	1.89×10^5	7.74×10^{-6}	0.3		ポンプ
2	182	1.91×10^5	7.85×10^{-6}	0.3		ポンプ
3	182	1.92×10^5	7.86×10^{-6}	0.3		ポンプ
4		1.99×10^5	7.85×10^{-6}	0.3		原動機
5		2.00×10^5	7.86×10^{-6}	0.3		原動機
6		1.99×10^5	7.86×10^{-6}	0.3		原動機


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
コラムパイプ
バレルケーシング
A
B
C
D
130
z
x
y


原動機取付ボルト
原動機台取付ボルト
ポンプ取付ボルト
基礎ボルト
D4
D3
D2
D1
A～A矢視図
B～B矢視図
C～C矢視図
D～D矢視図

Ⅴ-2-5-4-1-3　残留熱除去系ストレーナ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 ····· 6
3. 評価部位 ····· 7
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 21
4.4 固有周期 ····· 22
4.5 設計用地震力 ····· 23
4.6 計算方法 ····· 24
4.7 計算条件 ····· 32
4.8 応力の評価 ····· 32
5. 評価結果 ····· 32
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 32
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 35
6. 引用文献 ····· 37

1. 概要

本計算書は，技術基準規則の解釈第 17 条 4 において記載される「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成 20・02・12 原院第 5 号（平成 20 年 2 月 27 日原子力安全・保安院制定））及び添付書類「Ⅴ-2-1-9　機能維持の基本方針」にて設定している設計方針に基づき，残留熱除去系ストレーナ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。

残留熱除去系ストレーナは，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。

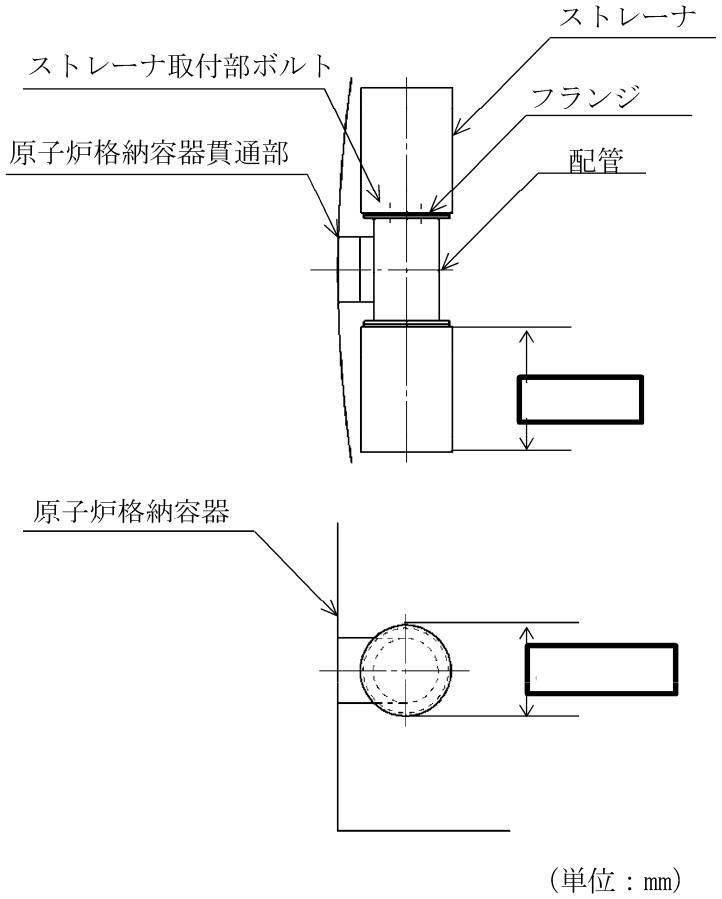
なお，残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナは同形状を有していることから，本計算書では残留熱除去系ストレーナの解析モデルを採用する。また，そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図	摘要
基礎・支持構造	主体構造		
ストレーナはサプレッション・プール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられたティーにフランジ及び取付ボルトにより据え付けられる。	円錐支持ディスク形		・残留熱除去系ストレーナ ・高圧炉心スプレイ系ストレーナ ・低圧炉心スプレイ系ストレーナ

2.2　評価方針

残留熱除去系ストレーナの応力評価は，非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号）に基づき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」にて示す残留熱除去系ストレーナの部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による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。

残留熱除去系ストレーナの耐震評価フローを図 2－1 に示す。

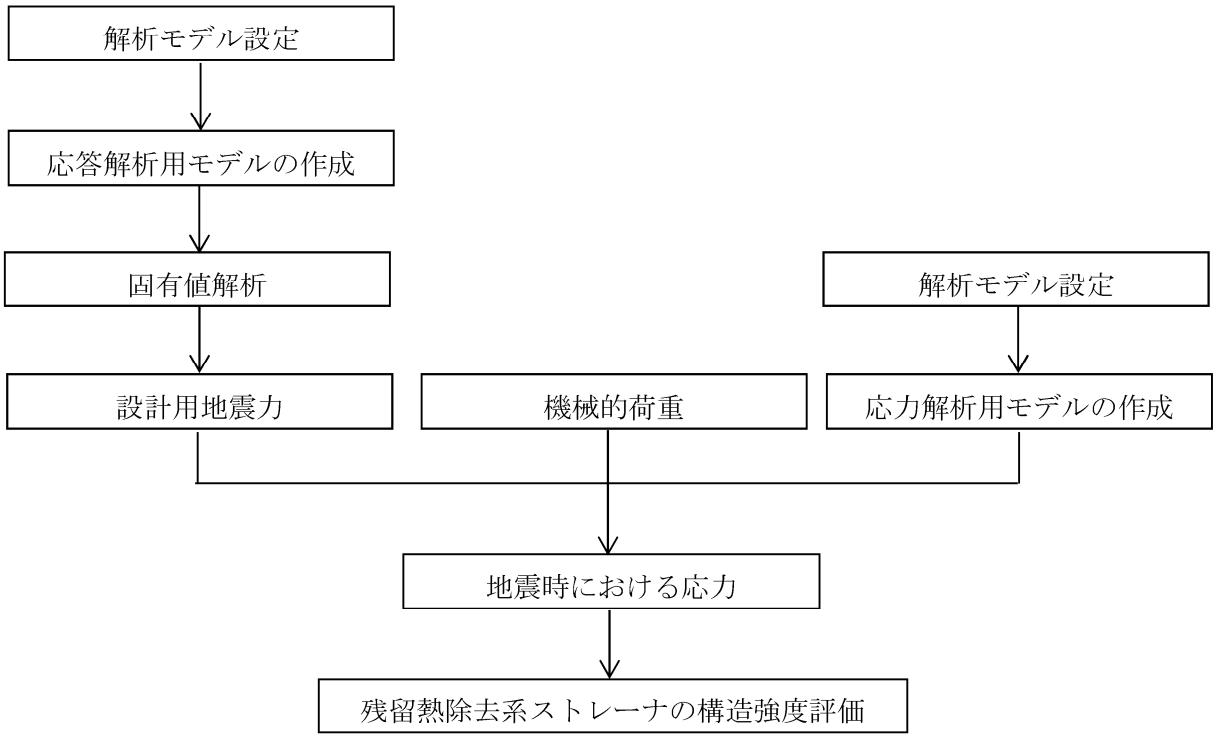


図 2－1　残留熱除去系ストレーナの耐震評価フロー

2.3　適用基準

適用基準等を以下に示す。

(1) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会）

(2) 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（日本電気協会）

(3) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（日本電気協会）

(4) 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。））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ1－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

(5) 非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
A	断面積	mm^2
a	ボルト穴中心円半径	mm
b	フランジ内半径	mm
D_i	各部位の直径（ｉ＝1，2，3…）	mm
d	孔径，ボルトの直径	mm
F	軸力	N
f_t	ボルトの発生応力	MPa
L_i	各部位の長さ（ｉ＝1，2，3…）	mm
ℓ	ディスク間ギャップ，ボルトのＺ軸からの距離	mm
M	モーメント	N･mm
n	ボルトの本数	－
P	孔の間隔（中心間）	mm
P_b	一次曲げ応力	MPa
P_L	一次局部膜応力	MPa
P_m	一次一般膜応力	MPa
Q	二次応力	MPa
S_d*	弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力又は静的地震力	－
S_s	基準地震動S_sにより定まる地震力	－
t	板厚	mm
W	ストレーナ重心に作用する荷重	－
X	軸直角方向（水平）	－
Y	軸方向	－
Z	軸直角方向（鉛直）	－
β	形状係数	－
σ_r	曲げ応力	MPa

注　：ここで定義されない記号については，各計算の項目において説明する。

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
温度	℃	－	－	整数位
質量	kg	－	－	整数位
長さ*1	mm	－	－	整数位
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

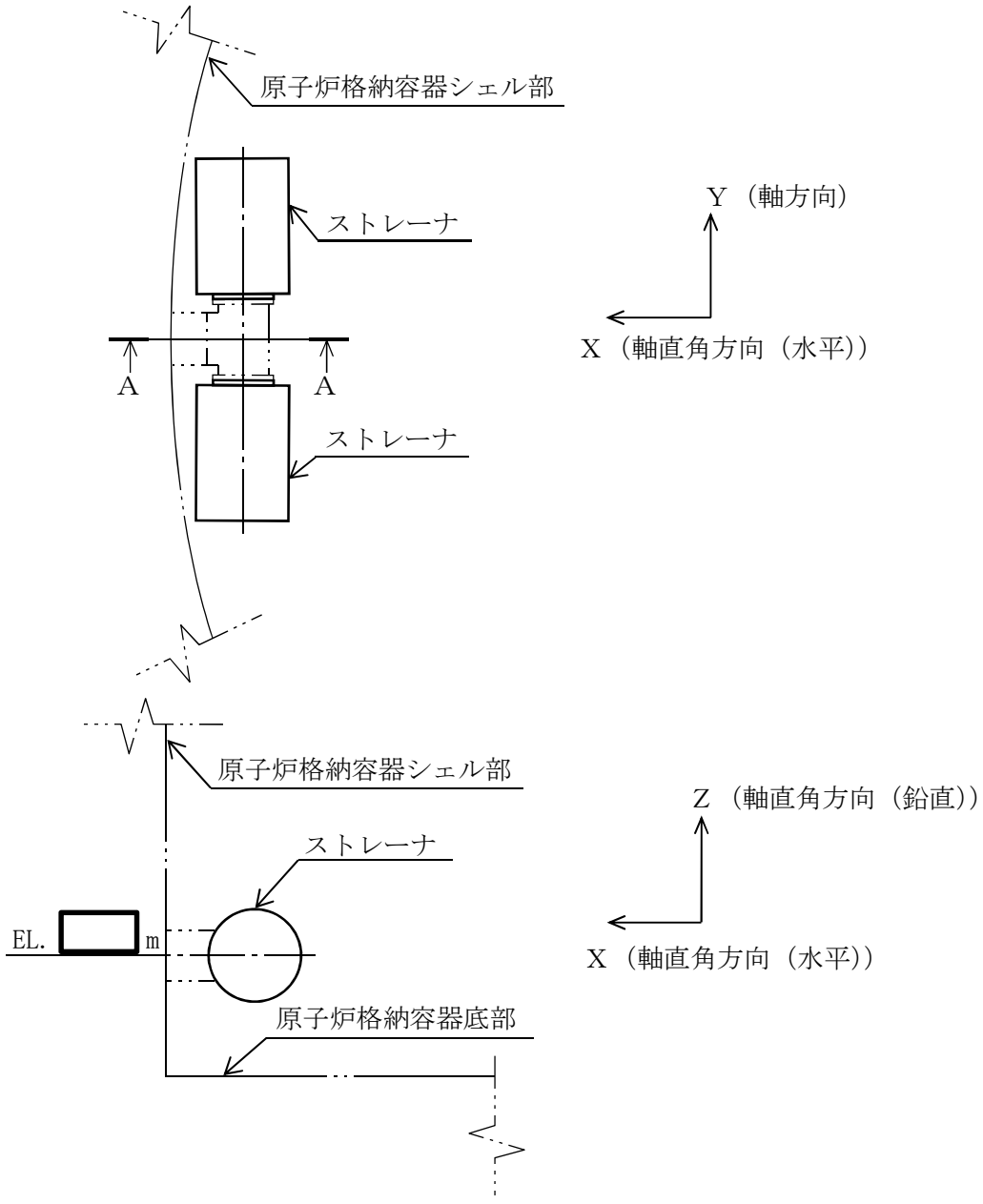
注記　＊1：設計上定める値が小数点以下の場合は，小数点以下表示とする。

＊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。

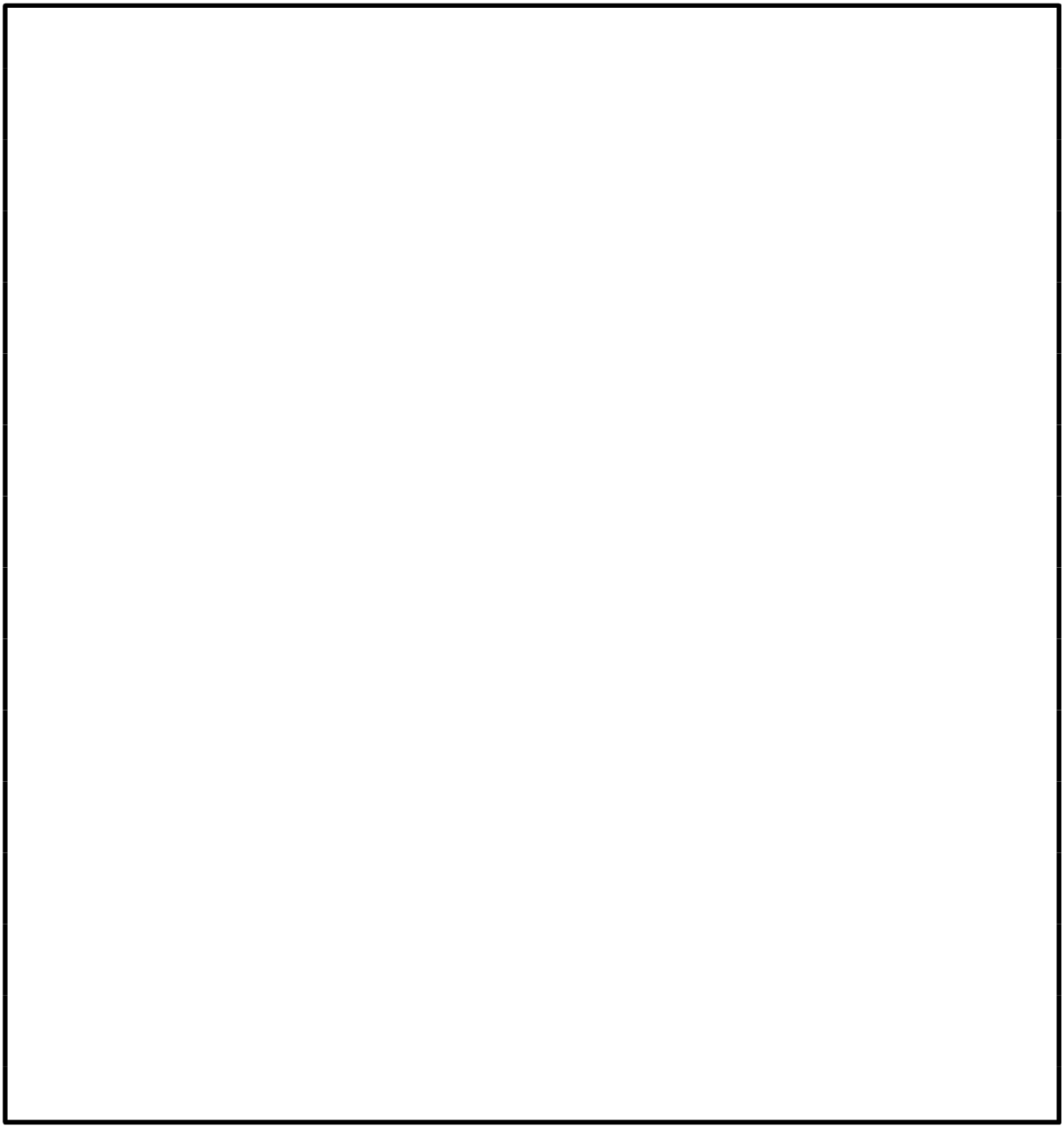
3. 評価部位

残留熱除去系ストレーナの取付け状況，形状及び主要寸法を図 3－1，図 3－2 に示し，ディスクセット幅，スペーサ内径，ロングフィンガ長さ及びショートフィンガ長さを表 3－1 に示す。

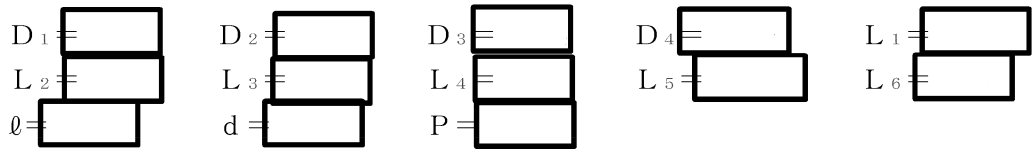


A～A断面図

図 3－1　残留熱除去系ストレーナの取付け状況



Ａ～Ａ矢視図



①ディスクセット１　　②中間ディスクセット（２～１７）

③ディスクセット１８　　④スペーサ（１～１７）

⑤リブ　（厚さ　mm）　⑥コンプレッションプレート　（厚さ　mm）

⑦ロングフィンガ*　（厚さ　mm）　⑧ショートフィンガ　（厚さ　mm）

⑨ディスクサポートリング　（厚さ　mm）　⑩ストラップ　（厚さ　mm）

⑪ボトムスペーサ　　⑫フランジ，ストレーナ取付部ボルト

（①～④及び⑪は多孔プレート形状であり，多孔プレートの厚さは　mm である。）

注記　＊：ディスクセット１４～１８におけるロングフィンガの厚さは　mm である。

図３－２　残留熱除去系ストレーナの形状及び主要寸法（単位：mm）

表3－1　ディスクセット幅，スペーサ内径，ロングフィンガ長さ及びショートフィンガ長さ

（単位：mm）

ディスク セット番号	ディスク セット幅	スペーサ内径	ロング フィンガ長さ	ショート フィンガ長さ

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)　残留熱除去系ストレーナは，残留熱除去系ストレーナ部ティーに据付部材を介さずに，取付ボルトにて直接接続されるものとする。

(2)　残留熱除去系ストレーナの質量には，ストレーナに付着する異物量を考慮し，荷重の算出において組み合わせるものとする。

(3)　地震力は，残留熱除去系ストレーナに対して軸方向及び軸直角方向（水平，鉛直）に作用するものとし，軸直角方向に作用する荷重については水平方向と鉛直方向地震力の二乗和平方根により算出する。

(4)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(5)　概略構造図を表２　１に示す。

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

残留熱除去系ストレーナの荷重の組合せ及び許容応力状態の評価に用いるものを表4－1に，荷重の組合せ整理表を表 4－2 に示し，表で使用される記号は添付書類「Ⅴ-2-1-9 機能維持の基本方針」に従うものとする。

なお，「1.　概要」に記載したとおり本計算書では，同形状である残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナの代表として残留熱除去系ストレーナの評価としていることから，荷重の組合せについては高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナについても記載する。

4.2.2　許容応力

残留熱除去系ストレーナの許容応力を表4－3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
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	III_AS
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS
	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ストレーナ	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	III_AS
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS
		低圧炉心スプレイ系ストレーナ	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	III_AS
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	III_AS
					$D+P_D+M_D+S_s$	IV_AS

（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
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ	常設耐震／防止	重大事故等クラス ２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS*2
	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	残留熱除去系ストレーナ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス ２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS*2
		高圧炉心スプレイ系ストレーナ	常設耐震／防止	重大事故等クラス ２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS*2
		低圧炉心スプレイ系ストレーナ	常設耐震／防止	重大事故等クラス ２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS*2
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系ストレーナ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス ２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS*2
		高圧炉心スプレイ系ストレーナ	常設／緩和	重大事故等クラス ２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS*2

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：V_ASとしてIV_ASの許容応力を用いる。

表４－２　荷重の組合せ整理表

	運転状態	死荷重	異物荷重	差圧	ＳＲＶ荷重		ＬＯＣＡ荷重			地震荷重		許容応力状態
					運転時	中小破断時	ﾌﾟｰﾙｽｳｪﾙ	蒸気凝縮(CO)	ﾁｬｷﾞﾝｸﾞ(CH)	S_d荷重	S_s荷重	
ＤＢ	運転状態Ⅰ	○								○		$\mathrm{III_AS}$
	運転状態Ⅰ	○									○	$\mathrm{IV_AS}$
	運転状態Ⅱ	○			○					○		$\mathrm{III_AS}$
	運転状態Ⅱ	○			○						○	$\mathrm{IV_AS}$
	運転状態Ⅳ(Ｌ)	○	○	○						○		$\mathrm{III_AS}$
ＳＡ	運転状態Ⅴ(Ｌ)*1	○	○	○						○		$\mathrm{V_AS}$*2
	運転状態Ⅴ(ＬＬ)	○	○	○							○	$\mathrm{V_AS}$*2

注記　＊1：Ⅴ（Ｌ）の評価はⅤ（ＬＬ）の評価で代表される。
　　＊2：$\mathrm{V_AS}$として$\mathrm{IV_AS}$の許容応力を用いる。

表4－3　許容応力

（ストレーナ本体）

許容応力 状態	一次一般 膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）	一次＋二次応力*1
$\mathrm{III_AS}$	$\mathrm{Min}(S_y, 0.6\cdot S_u)$ 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 1.2Ｓとしてもよい。	S_y 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 1.2Ｓとしてもよい。	S_d又はS_s地震動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 $2\cdot S_y$以下であれば，疲労解析は不要である。
$\mathrm{IV_AS}$	$0.6\cdot S_u$	$0.9\cdot S_u$	
$\mathrm{V_AS}$ *2			

注記　＊1：二次応力が発生する場合のみ考慮する。

＊2：許容応力状態$\mathrm{V_AS}$として，$\mathrm{IV_AS}$の許容応力を用いる。

（ストレーナ取付部ボルト）

許容応力 状態	許容応力 （MPa）
$\mathrm{III_AS}$	$1.5\cdot S$
$\mathrm{IV_AS}$	$2\cdot S$
$\mathrm{V_AS}$ *	

注記　＊：許容応力状態$\mathrm{V_AS}$として，$\mathrm{IV_AS}$の許容応力を用いる。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

残留熱除去系ストレーナ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 4－4 及び表 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 及び表 4－7 に示す。また，使用材料の許容応力を表 4-8 及び表 4-9 に示す。

なお，各評価部位の使用材料については以下のとおり。

多孔プレート	SUS304L
リブ	SUS304
コンプレッションプレート	SUS304
フィンガ	SUS304
ストラップ	SUS304
フランジ	SUS304
ストレーナ取付部ボルト	SUS304

表4－4　使用材料（ストレーナ本体）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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
多孔プレート	SUS304L	周囲環境温度	104.5	107	143	406	－
リブ他	SUS304	周囲環境温度	104.5	121	169	439	－

表4－5　使用材料（ストレーナ取付部ボルト）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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ストレーナ取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	104.5	105	－	－	－

表4－6　使用材料（ストレーナ本体）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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
多孔プレート	SUS304L	周囲環境温度	148	－	－	390	－
リブ他	SUS304	周囲環境温度	148	－	－	422	－

表4－7　使用材料（ストレーナ取付部ボルト）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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ストレーナ取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	148	96	－	－	－

表4－8　ストレーナ本体の許容応力

材料	許容応力状態	許容応力（MPa）		
		一次応力		一次＋二次応力*1
		P_m*2	P_L+P_b	P_L+P_b+Q
SUS304L	ⅢAS	143	143	286
	ⅣAS	243	365	
	VAS	234	351	262
SUS304	ⅢAS	169	169	338
	ⅣAS	263	395	
	VAS	253	380	310

注記　＊1：二次応力が発生する場合のみ考慮する。（今回の計算においては，二次応力（通常運転時温度による応力を含む。）は発生しない。）

＊2：評価対象は，構造または形状の不連続性を有する部分であることから，発生する一次一般膜応力は十分に小さいため，評価結果の記載については省略する。

表4－9　ストレーナ取付部ボルトの許容応力

材料	許容応力状態	許容応力（MPa）
SUS304	ⅢAS	157
	ⅣAS	210
	VAS	192

4.2.4　設計荷重

残留熱除去系ストレーナの設計荷重のうち，地震荷重，水力学的動荷重及びフランジの設計荷重は，ストレーナ，ティー，貫通部及び原子炉格納容器までの範囲を考慮（ストレーナから原子炉格納容器までの連成モデルを用いて解析を行い，各部の反力を算出）して設定する。なお，解析モデルについては4.3項　解析モデル及び諸元にて説明する。

(1)　死荷重

残留熱除去系ストレーナの自重による荷重及び残留熱除去系ストレーナに付着する異物の自重による異物荷重*1の2つの死荷重を考慮する。

残留熱除去系ストレーナの自重＝[redacted]N

異物荷重＝[redacted]N

注記　＊1：異物荷重は運転状態Ⅳ（プールスウェル時は除く。）及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

(2)　差圧

差圧による荷重*2は，異物付着時の残留熱除去系ストレーナを通しての最大設計差圧より設定し，以下のとおりとする。

また，差圧による荷重の作用方向を図4－1に示す。

差圧荷重＝[redacted]kPa

注記　＊2：差圧による荷重は運転状態Ⅳ（プールスウェル時は除く。）及び運転状態Ⅴの荷重の組合せ時に考慮する。

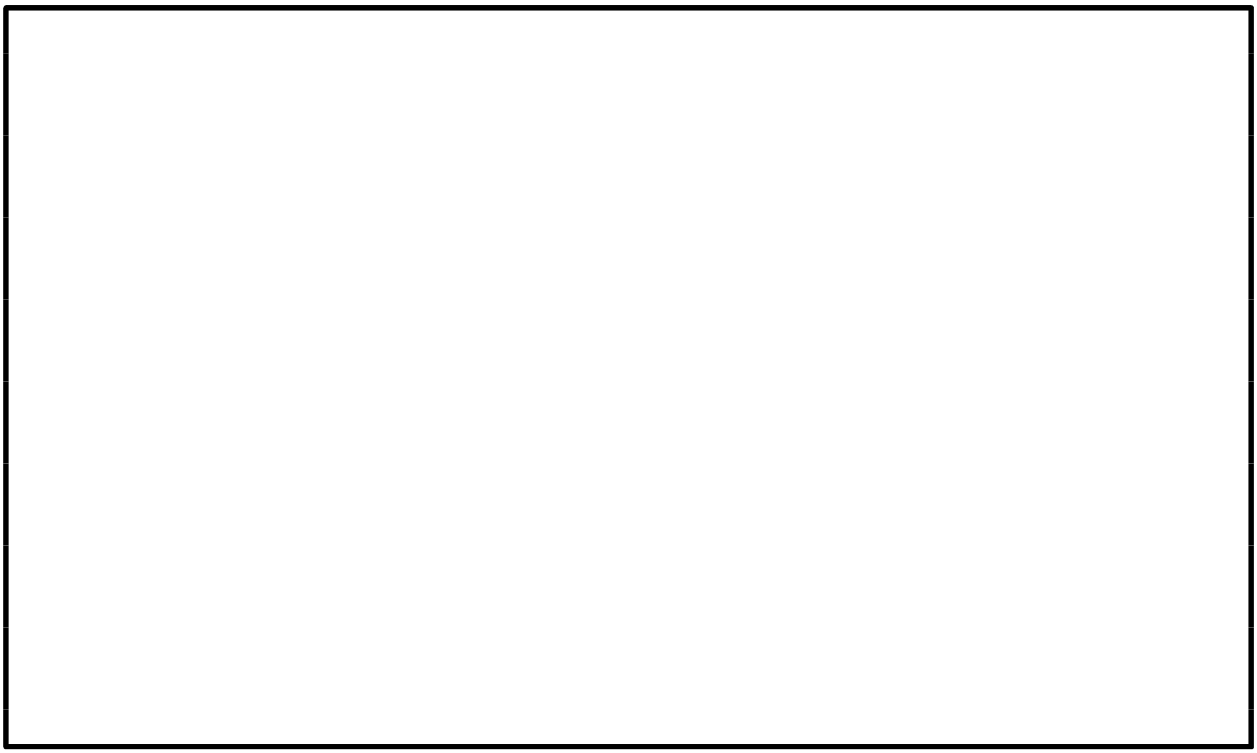


図 4－1　差圧荷重の作用方向

(3)　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重及び原子炉冷却材喪失時荷重）

逃がし安全弁作動時及び原子炉冷却材喪失時には，サプレッション・チェンバ内の水中構造物に様々な荷重が水力学的動荷重として作用する。これらの荷重については，原子力安全委員会が策定した評価指針「ＢＷＲ，ＭＡＲＫ-Ⅱ型格納容器圧力抑制系に加わる動荷重の評価指針」（以下「ＭＡＲＫ-Ⅱ動荷重指針」という。）に準じて荷重の評価を実施する。

ＭＡＲＫ-Ⅱ動荷重指針に基づき，残留熱除去系ストレーナに加わる水力学的動荷重を算出した結果を表 4－10 に示す。表 4－10 に示した荷重は，考慮すべき水力学的動荷重が最大となる位置を選定して算出した値である。なお，地震荷重と組合せる逃がし安全弁作動時荷重のみ記載する。

なお，残留熱除去系ストレーナは，逃がし安全弁作動時荷重の内の水ジェット及び蒸気凝縮過程による荷重について，十分小さいため評価対象としない。

水力学的動荷重の作用方向を図 4－2 に示す。

軸方向の荷重は，引用文献(1)の考え方に基づき，最前列のディスクと最後列のディスクで軸方向荷重の１／２ずつを受け持つとし，この荷重を最前列と最後列のディスクの投影面積で除算し，軸方向の圧力荷重として作用させる。

軸直角方向の荷重は，ストレーナの片面のみで荷重を受け持つとし，ストレーナの片面の投影面積で軸直角方向荷重を除算し，軸直角方向の圧力荷重として作用させる。

表4－10　水力学的動荷重（逃がし安全弁作動時荷重）

荷重名称	軸方向荷重 (N)	軸直角方向荷重 (N)
ＳＲＶ荷重（運転時）＊	[redacted]	[redacted]

注記　＊：方向は図 3－1 参照。ただし，軸直角方向の荷重については，二乗和平方根としている。
定常ドラッグ荷重と圧力荷重との二乗和平方根とする。

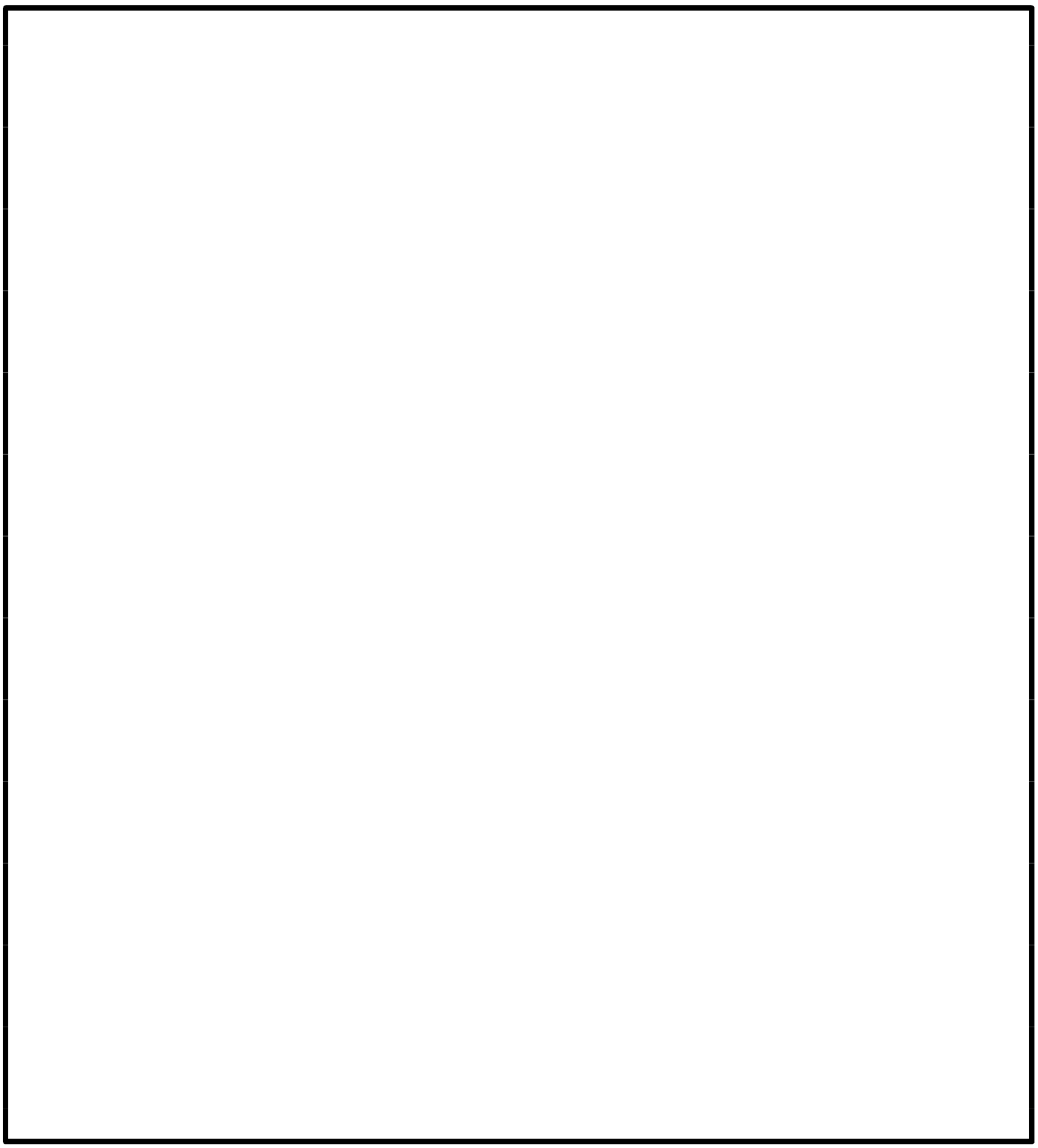


図 4－2　水力学的動荷重の作用方向

4.3　解析モデル及び諸元

解析モデルの概要を以下に示す。

(1)　残留熱除去系ストレーナの応力評価は，はりモデル及び三次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。なお，ストレーナ本体の応力計算に用いた三次元シェルモデル（以下「応力解析用モデル」という。）については，4.6.2 項　応力計算方法で説明することとし，ここではストレーナから原子炉格納容器までをモデル化した二次元はりモデル（以下「応答解析用モデル」という。）について説明する。

(2)　4.2.4 項　設計荷重のとおり，応答解析用モデルではストレーナから原子炉格納容器までの連成モデルを用いて解析を行い，固有値及び各部の反力を算出する。応答解析用モデルについて図 4－3 に，機器の諸元について表 4－11 に示す。
ストレーナについてはリブ等の補強材を有しており，構造上十分に剛であるため，剛体としてモデル化している。表 4－11 に記載の材質はストレーナ部ティー及び貫通部スリーブの材質を示す。

(3)　本設備はサプレッション・プールに水没している機器であるため，内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含んでいる。

(4)　解析コードは「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値及び荷重を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1　計算機プログラム（解析コード）の概要 ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

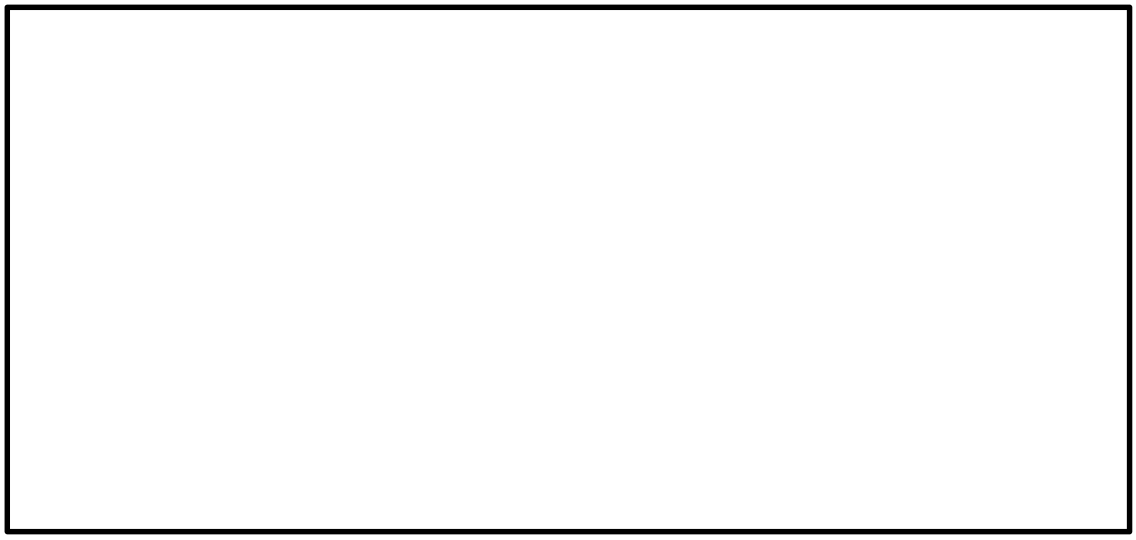


図 4－3　応答解析用モデル

表 4－11　機器諸元

項目	単位	入力値
材質	－	
ストレーナ質量	kg/個	
温度	℃	104.5
縦弾性係数	MPa	
ポアソン比	－	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　固有周期

応答解析用モデルによる固有値解析の結果を表 4－12 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が　　2 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4－12　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次		水平			
2 次		水平	－	－	－

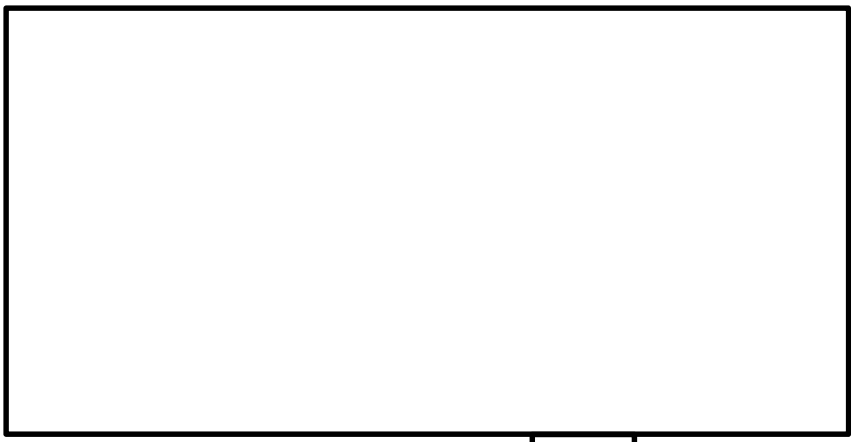


図 4－4　振動モード（1 次モード　　s）

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－13 及び表 4－14 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Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。また，減衰定数は添付書類「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。

なお，図 3－1 に示すように，ストレーナの軸方向には水平方向の震度，軸直角方向には水平方向及び鉛直方向の震度が作用するため，軸方向及び軸直角方向に作用する地震力を表 4－15 に示す。

表 4－13　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び設置高さ (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$_s$		減衰定数(%)	
	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	水平方向	鉛直方向
格納容器内 EL.[ ]	[ ]	0.05 以下*1	C_H＝0.53 又は*2	C_V＝0.48	C_H＝0.96 又は*3	C_V＝0.90	1.0*4	－

注記　＊1：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

＊2：弾性設計用地震動Ｓ$_d$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊3：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊4：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4－14　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び設置高さ (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$_s$		減衰定数(%)	
	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	水平方向	鉛直方向
格納容器内 EL.[ ]	[ ]	0.05 以下*1	－	－	C_H＝0.96 又は*2	C_V＝0.90	1.0*3	－

注記　＊1：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

＊2：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊3：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4－15　ストレーナに作用する地震力

取付け位置　EL. [ ] m		
地震荷重	軸方向震度	軸直角方向震度
Ｓ$_d$*	1.31	1.40
Ｓ$_s$	2.21	2.39

注　：方向は図3－1参照。

ただし，軸直角方向震度については，二乗和平方根としている。

4.6　計算方法

ストレーナの形状が同一であること及び考慮すべき荷重として最大となる値を使用して計算することから，応力評価は代表して残留熱除去系ストレーナにつき実施する。

4.6.1　応力評価点

残留熱除去系ストレーナの構造は，図 3－2 に示すように，リブ及びフィンガが主強度部材となり各ディスクを支える構造になっている。各ディスクの表面は多孔プレートとなっており，ろ過装置としての機能を果たしている。作用される荷重の大部分は，フィンガにより支えられた各ディスクの多孔プレート表面に加わり，負荷された荷重は最終的にはリブに伝達される。したがって，ここではストレーナの主要構成部材である多孔プレート，リブ，コンプレッションプレート，フィンガ，ストラップ，フランジ及びストレーナ取付部ボルトの構造，形状を考慮した応力評価点を選定し，評価を実施する。

応力評価点を表 4－16 及び図 4－5 に示す。

表 4－16　応力評価点

名称		応力評価点番号	応力評価点
多孔プレート	ディスク	Ｐ１	全ディスクセットの多孔プレート
	スペーサ*	Ｐ２	ディスクセット間の円筒形多孔プレート
リブ		Ｐ３	リブ
コンプレッションプレート		Ｐ４	コンプレッションプレート
フィンガ		Ｐ５	フィンガ
ストラップ		Ｐ６	ストラップ
フランジ		Ｐ７	フランジ
ストレーナ取付部ボルト		Ｐ８	ボルト

注記　＊：ボトムスペーサを含む。

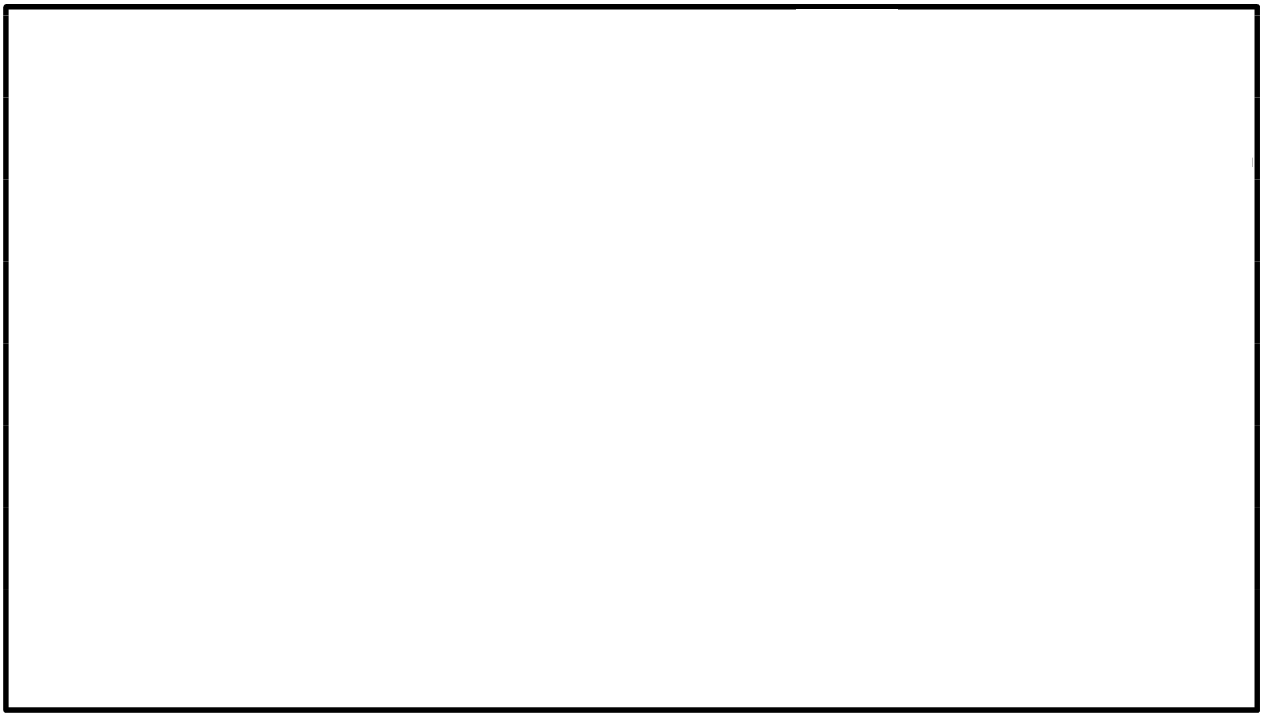


図 4－5　応力評価点

4.6.2　応力計算方法

応力計算方法について，以下に示す。なお，フランジ及びストレーナ取付部ボルトについては作用する荷重についても本項目で記載する。

(1)　ストレーナ（応力評価点Ｐ１～Ｐ６）

残留熱除去系ストレーナの計算モデルを図 4－6 に，機器の諸元を表 4－17 に示す。また，計算モデルの各部材は溶接により接合されており，溶接部は健全性が確保されるよう設計する。

なお，多孔プレートの等価縦弾性係数，等価ポアソン比及び応力増倍率は，引用文献(2)の考え方に基づき設定した。

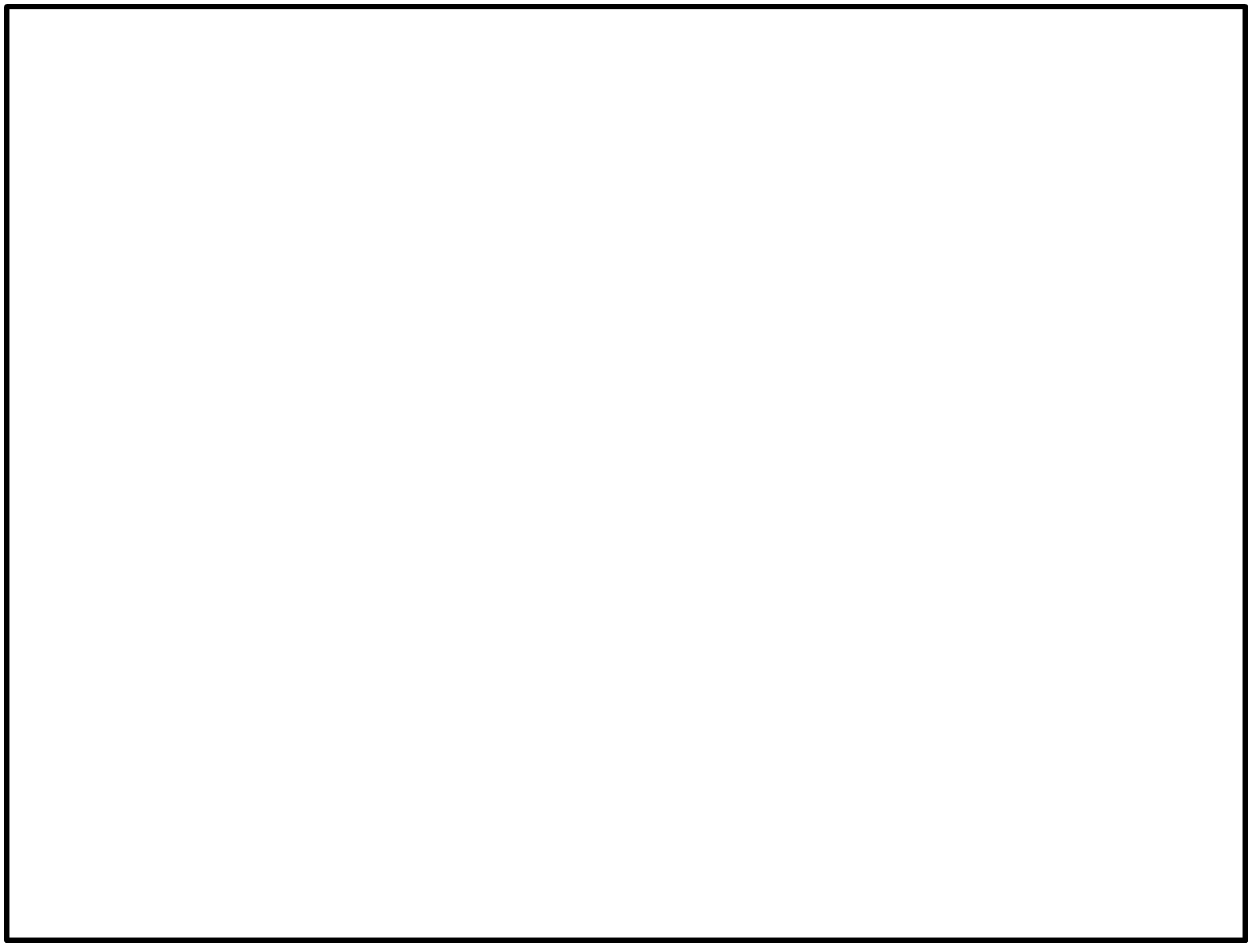


図 4－6　残留熱除去系ストレーナの計算モデル

表 4－17　機器諸元

項目	単位	入力値
材質	－	SUS304L，SUS304
質量	kg	[redacted]
温度条件 （雰囲気温度）	℃	104.5
等価縦弾性係数	MPa	[redacted]
等価ポアソン比	－	
応力増倍率		
要素数	個	
節点数	個	

(2)　フランジ（応力評価点Ｐ７）

フランジの設計荷重は，ストレーナに作用する荷重から算出したフランジ部のモーメントを用いる。ここでのモーメントとは，図4－7に示すように，ストレーナ重心に作用する荷重とその作用点からフランジまでのモーメントアームから計算したモーメントであり，フランジに対して面外方向の曲げモーメント（２方向ある面外方向曲げモーメントの二乗和平方根の合成値）とする。ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

フランジの設計荷重を表4－18に示す。

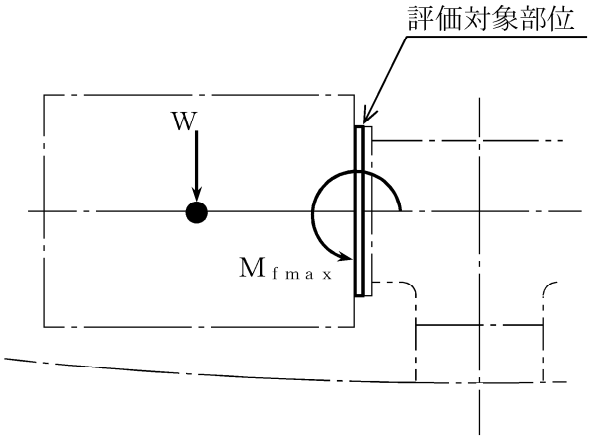


図4－7　フランジに作用するモーメント

表4－18　フランジの設計荷重

荷重		モーメント (N･mm)
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧（ＤＢ）	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナS_d*地震荷重	
6	ストレーナS_s地震荷重	
7	異物S_d*地震荷重*2	
8	差圧（ＳＡ）	
9	異物S_s地震荷重*2	

注記　＊1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。
＊2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

表 4－18 に記載した荷重から，以下に示す計算方法により応力評価を行う。

ストレーナ取付部のフランジは，一般的なフランジとは異なりガスケットを使用しない。そこで，フランジを以下のようにモデル化する。

フランジを外周（ボルト穴中心円直径）が固定された平板と考え，表 4－18 に示すモーメントが中心部に作用すると考える。この場合の発生応力は，引用文献(3)より，図 4－8 に示す計算モデルで下記の計算式より求める。

$$\sigma_r = \frac{\beta \cdot M_{fmax}}{a \cdot t^2}$$

ここに，σ_r　：曲げ応力(MPa)

M_{fmax}　：表 4－18 に示すモーメント(N･mm)

a　：ボルト穴中心円半径＝[redacted](mm)

b　：フランジ内半径＝[redacted](mm)

t　：フランジ板厚＝[redacted](mm)

β　：b／a（＝[redacted]から決まる計算上の係数＝[redacted]

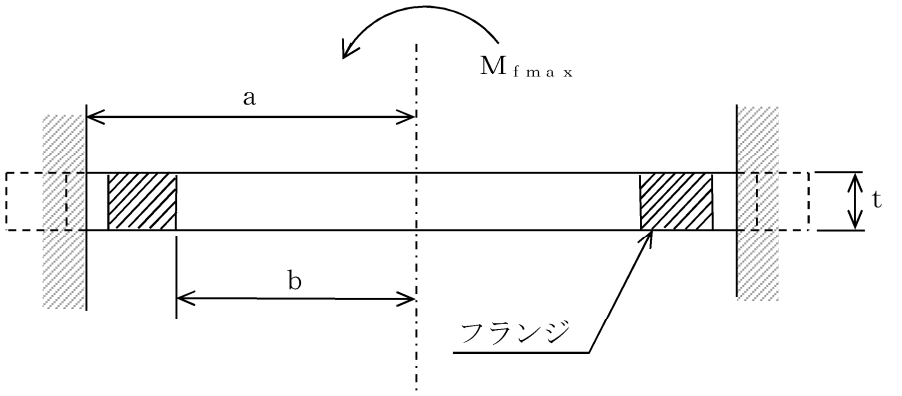


図 4－8　フランジ断面の計算モデル

(3)　ストレーナ取付部ボルト（応力評価点Ｐ８）

ストレーナ取付部ボルトの評価は，4.6.2 項(2)に示すフランジに作用する最大モーメントに加え，ストレーナの軸方向に発生する反力であるボルトの軸方向荷重を考慮した引張力を合算して応力評価を行う。フランジとボルトは摩擦接合であるため，ボルトに対するせん断力は作用しないものとする。また，計算で用いるボルト径は，安全側にボルトの谷径を用いるものとする。ボルトの設計荷重を表 4－19 に示す。

表 4－19　ボルトの設計荷重

荷重		軸方向荷重 (N)
1	死荷重	
2	異物荷重*1	
3	差圧（ＤＢ）	
4	ＳＲＶ荷重	
5	ストレーナS_d*地震荷重	
6	ストレーナS_s地震荷重	
7	異物S_d*地震荷重*2	
8	差圧（ＳＡ）	
9	異物S_s地震荷重*2	

注記　＊1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。
＊2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

表 4－19 に記載した荷重から，以下に示す計算方法により応力評価を行う。

図 4－9 に示すフランジの中心を通る中立軸（Ｚ軸）まわりのモーメントを考える。このとき，Ｚ軸まわりのモーメントは，各ボルトに発生する軸力とボルトのＺ軸からの距離の積から得られるモーメントとつりあっていると考えることができる。ここで，軸方向荷重によって中立軸が移動するが，軸方向荷重のボルトへの影響が小さいため，軸方向荷重による中立軸の移動は無視する。

したがって，Ｚ軸まわりのモーメントと各ボルトの軸力の関係は下記となる。

$$M_Z = \sum_{k=1}^{n} F_{tk} \cdot \ell_k$$

ここに，M_Z　：Ｚ軸まわりのモーメント（N･mm）
F_{tk}　：各ボルトに発生する軸力（N）
ℓ_k　：任意のボルトｋにおけるＺ軸からの距離（mm）
ｎ　：ボルトの本数＝

なお，ストレーナ重心がフランジ中心軸上に位置することから，フランジ面内方向のモーメント（ねじりモーメント）は発生しないため，ここでは評価対象としない。

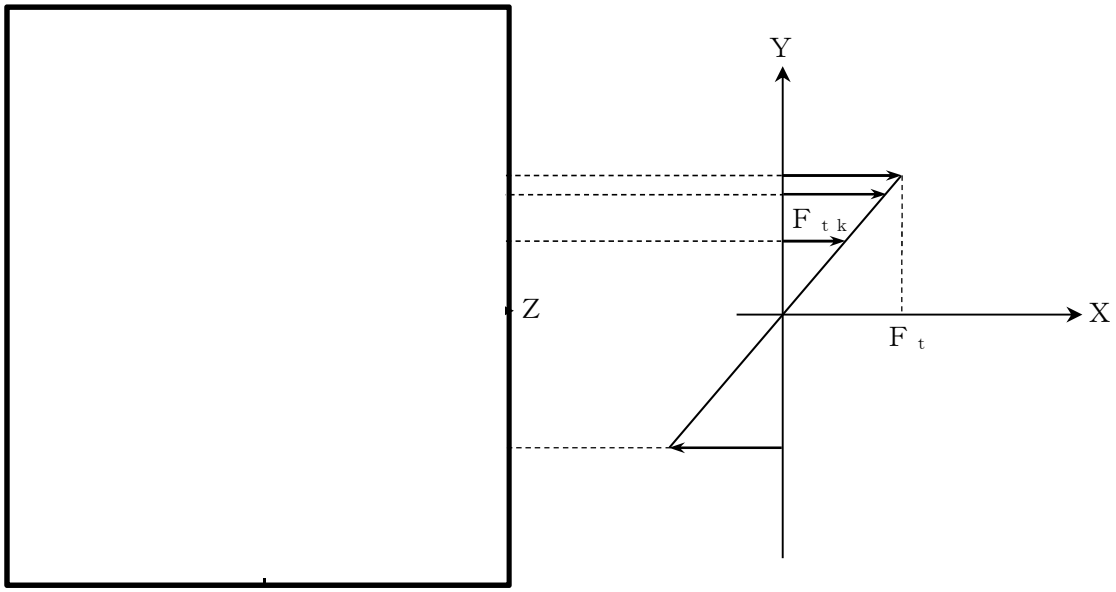


図 4－9　各ボルトに発生する軸力とモーメントアームの関係

また，ボルト軸力のＺ軸まわりのモーメント寄与分は中立軸上ではゼロであり，図 4－9 に示すように，曲げモーメントを伝えるボルトの軸力は回転中心からの距離に比例して変化するとして算定する。この場合，ボルトに発生する最大の軸力をF_tとすると，各ボルトに発生する軸力F_{tk}は下記となる。

$$F_{tk}=F_t\cdot\frac{\ell_k}{D_5/2}$$

ここに，F_t　：最大の軸力が発生するボルトの軸力（N）

F_{tk}　：各ボルトに発生する軸力（N）

D_5　：ボルト孔中心円直径＝［　　］（mm）

以上より，ｎが偶数の場合，Ｚ軸まわりのモーメントは下記となる。

$$M_Z=\frac{2\cdot F_t}{D_5}\cdot\sum_{k=1}^{n}\ell_k^2=\frac{F_t\cdot D_5\cdot n}{4}$$

ただし，$\ell_k=\frac{D_5}{2}\cdot\sin\{\frac{2\cdot\pi}{n}\cdot(k-1)\}$

よって，表 4－18 に示すモーメントから，ボルトの軸力は以下のように算出できる。

$$F_t=\frac{4\cdot M_{fmax}}{D_5\cdot n}$$

したがって，ボルトに発生する応力は下記となる。

$$f_t=\frac{F_t}{A_S}+\frac{F_{axl}}{A_S\cdot n}$$

ここに，f_t　：ボルトの発生応力（MPa）

A_S　：ボルトの有効断面積＝$\frac{\pi\cdot d_b^2}{4}$（mm^2）

d_b　：ボルトのねじ部谷径＝［　　］（mm）

F_{axl}　：表 4－19 に示す軸方向荷重（N）

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の 4.2 項　荷重の組合せ及び許容応力及び 4.5 項　設計用地震力に示す。

4.8　応力の評価

4.6 項　計算方法で求めた応力は表 4－8 及び表 4－9 に記載される値以下であること。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

残留熱除去系ストレーナ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。発生応力は許容応力を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1)　許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$に対する評価

許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$に対する応力評価結果を表 5－1 に示す。

表 4－1 に示す荷重の組合せのうち，$\mathrm{D}+\mathrm{P}_{\mathrm{D}}+\mathrm{M}_{\mathrm{D}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}{}^{*}$及び$\mathrm{D}+\mathrm{P}_{\mathrm{L}}+\mathrm{M}_{\mathrm{L}}+\mathrm{S}_{\mathrm{d}}{}^{*}$の評価について，それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2)　許容応力状態$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$に対する評価

許容応力状態$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$に対する応力評価結果を表 5－2 に示す。

表 4－1 に示す荷重の組合せのうち，$\mathrm{D}+\mathrm{P}_{\mathrm{D}}+\mathrm{M}_{\mathrm{D}}+\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$について評価を記載している。

表5－1　許容応力状態ⅢＡＳに対する応力評価結果（Ｄ＋Ｐ$_{D}$＋Ｍ$_{D}$＋Ｓ$_{d}$*及びＤ＋Ｐ$_{L}$＋Ｍ$_{L}$＋Ｓ$_{d}$*）

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢＡＳ		判定	備考
				発生応力	許容応力		
				MPa	MPa		
残留熱除去系ストレーナ	Ｐ１	全ディスクセットの多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		143	○	②*
	Ｐ２	ディスクセット間の円筒形多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		143	○	②*
	Ｐ３	リブ	一次膜応力＋一次曲げ応力		169	○	①*
	Ｐ４	コンプレッションプレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		169	○	①，②*
	Ｐ５	フィンガ	一次膜応力＋一次曲げ応力		169	○	①*
	Ｐ６	ストラップ	一次膜応力＋一次曲げ応力		169	○	①*
	Ｐ７	フランジ	曲げ応力		169	○	①*
	Ｐ８	ボルト	引張応力		157	○	①*

注記　＊：①Ｄ＋Ｐ$_{D}$＋Ｍ$_{D}$＋Ｓ$_{d}$*／②Ｄ＋Ｐ$_{L}$＋Ｍ$_{L}$＋Ｓ$_{d}$*における結果を示す。

表5－2　許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$に対する応力評価結果（$D+P_D+M_D+S_s$）

評価対象設備	評価部位		応力分類	$\mathrm{IV_AS}$		判定	備考
				発生応力	許容応力		
				MPa	MPa		
残留熱除去系ストレーナ	Ｐ１	全ディスクセットの多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		365	○	
	Ｐ２	ディスクセット間の円筒形多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		365	○	
	Ｐ３	リブ	一次膜応力＋一次曲げ応力		395	○	
	Ｐ４	コンプレッションプレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		395	○	
	Ｐ５	フィンガ	一次膜応力＋一次曲げ応力		395	○	
	Ｐ６	ストラップ	一次膜応力＋一次曲げ応力		395	○	
	Ｐ７	フランジ	曲げ応力		395	○	
	Ｐ８	ボルト	引張応力		210	○	

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱除去系ストレーナの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1)　許容応力状態V_ASに対する評価

許容応力状態V_ASに対する応力評価結果を表5－3に示す。

表4－2に示す荷重の組合せのうち，$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$について評価を記載している。

表５－３　許容応力状態V_ASに対する応力評価結果（$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$）

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_AS		判定	備考
				発生応力	許容応力		
				MPa	MPa		
残留熱除去系ストレーナ	Ｐ１	全ディスクセットの多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		351	○	
	Ｐ２	ディスクセット間の円筒形多孔プレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		351	○	
	Ｐ３	リブ	一次膜応力＋一次曲げ応力		380	○	
	Ｐ４	コンプレッションプレート	一次膜応力＋一次曲げ応力		380	○	
	Ｐ５	フィンガ	一次膜応力＋一次曲げ応力		380	○	
	Ｐ６	ストラップ	一次膜応力＋一次曲げ応力		380	○	
	Ｐ７	フランジ	曲げ応力		380	○	
	Ｐ８	ボルト	引張応力		192	○	

6. 引用文献

(1) NEDO-32721, “Application Methodology for the General Electric Stacked Disk ECCS Suction Strainer” Licensing Topical Report, General Electric, March 2003.

(2) ASME B&PV CODE, Section Ⅲ, Division 1, Appendices, Article A-8000, “Stresses in Perforated Flat Plates,” 1989 Edition, No Addenda.

(3) WARREN C. YOUNG
“ROARK’S FORMULAS for Stress and Strain”7th Edition

Ⅴ-2-5-4-1-4　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 ····· 5
3.　計算条件 ····· 26
3.1　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 26
3.2　設計条件 ····· 29
3.3　材料及び許容応力 ····· 45
3.4　設計用地震力 ····· 46
4.　解析結果及び評価 ····· 47
4.1　固有周期及び設計震度 ····· 47
4.2　評価結果 ····· 59
4.2.1　管の応力評価結果 ····· 59
4.2.2　支持構造物評価結果 ····· 62
4.2.3　弁の動的機能維持評価結果 ····· 63
4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果 ····· 64

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」，「Ⅴ-2-1-12-1　配管及び支持構造物の耐震計算について」及び「Ⅴ-2-1-13-6　管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき，管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度又は動的機能を有していることを説明するものである。

評価結果記載方法は以下に示す通りである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全２４モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（裕度）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.4 に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式ごとの反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

(3) 弁

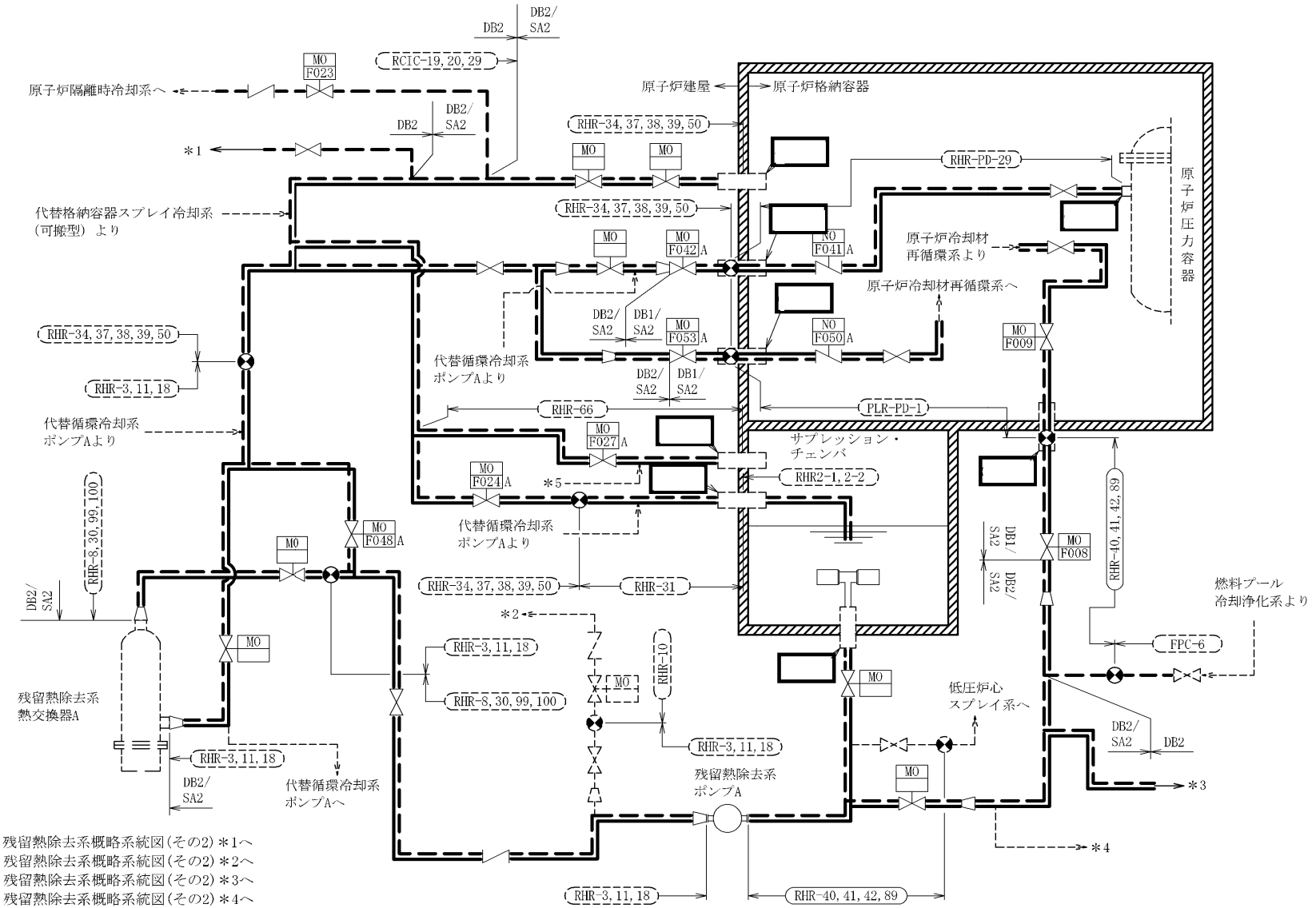
機能確認済加速度の応答加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として評価結果を記載する。

2.　概略系統図及び鳥瞰図

2.1　概略系統図

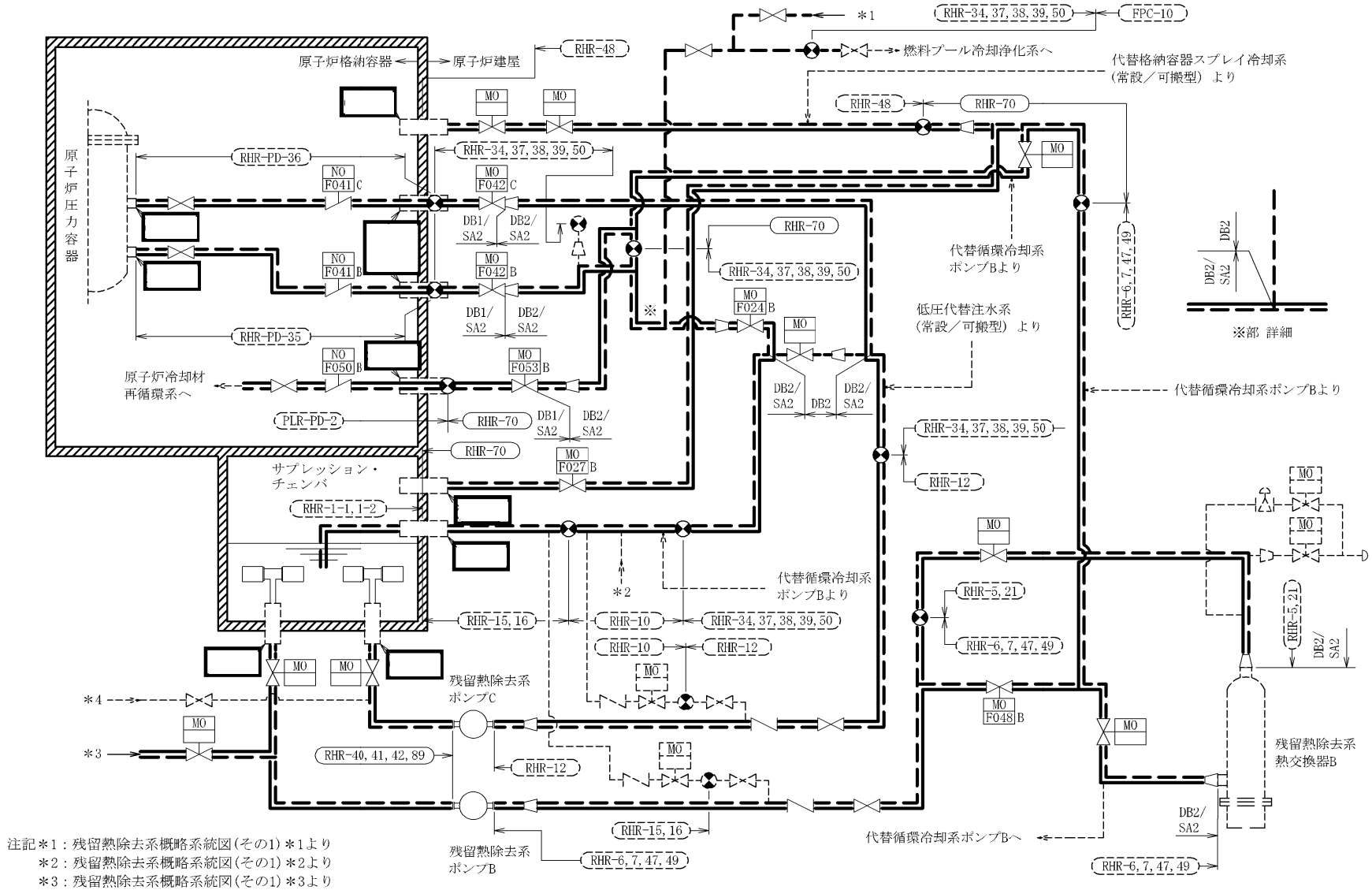
概略系統図記号凡例

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



注記＊1：残留熱除去系概略系統図(その2)＊1へ
＊2：残留熱除去系概略系統図(その2)＊2へ
＊3：残留熱除去系概略系統図(その2)＊3へ
＊4：残留熱除去系概略系統図(その2)＊4へ
＊5：サプレッション・プール水　pH制御装置より

残留熱除去系概略系統図(その1)

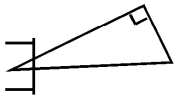
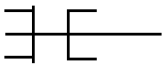
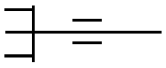
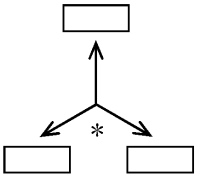


注記＊1：残留熱除去系概略系統図(その1)＊1より
＊2：残留熱除去系概略系統図(その1)＊2より
＊3：残留熱除去系概略系統図(その1)＊3より
＊4：残留熱除去系概略系統図(その1)＊4より

残留熱除去系概略系統図(その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記　　号	内　　容
━━━━ （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	RHR-40,41,42,89(DB)(1/7)

7

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(DB)(2/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(DB)(3/7)

鳥瞰図	RHR-40, 41, 42, 89(DB) (4/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(DB)(5/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(DB)(6/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(DB)(7/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(SA)(1/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(SA)(2/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(SA)(3/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(SA)(4/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(SA)(5/7)

鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(SA)(6/7)

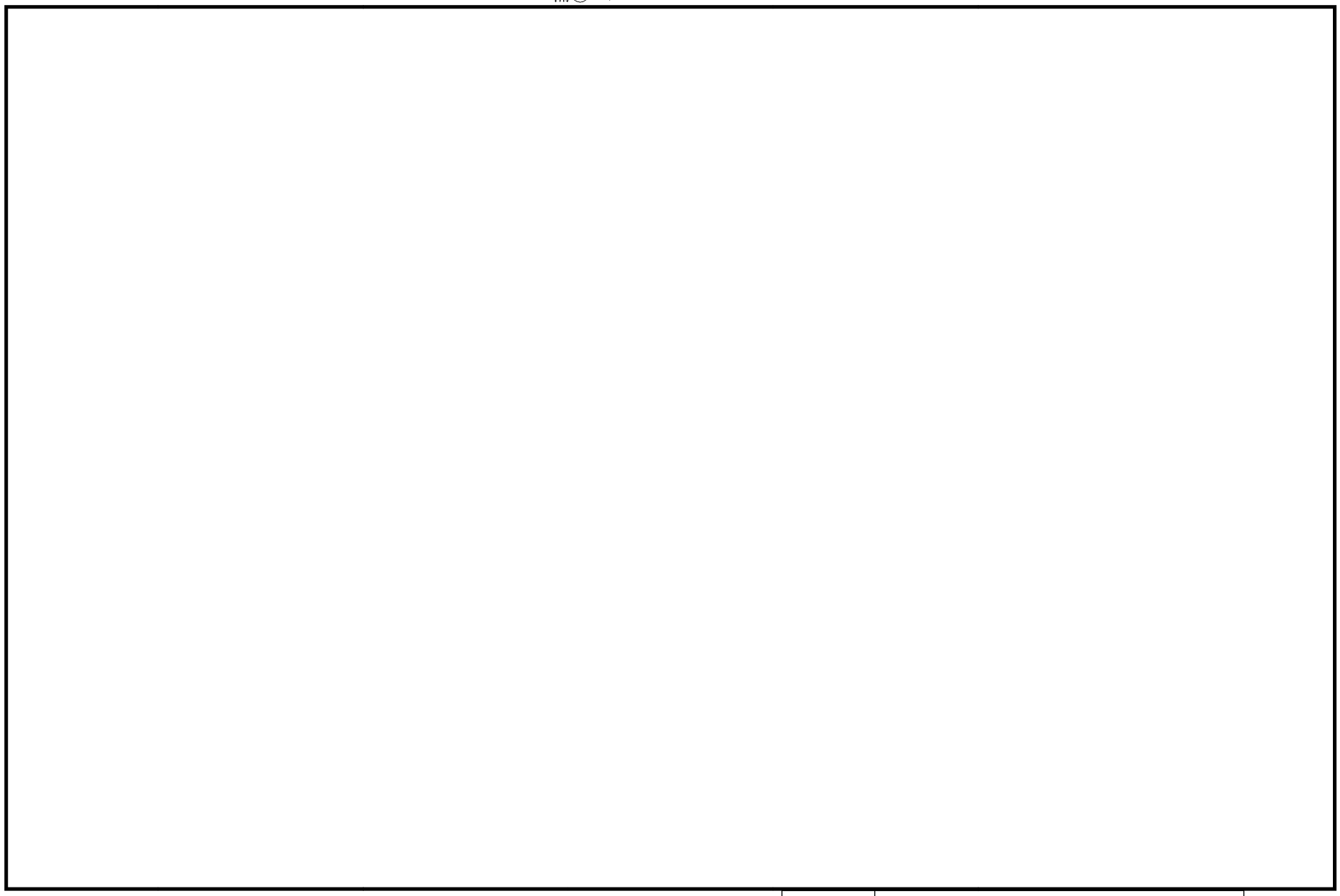
鳥瞰図	RHR-40,41,42,89(SA)(7/7)

鳥瞰図	RHR-70(DB)(1/3)

鳥瞰図	RHR-70(DB)(2/3)

鳥瞰図	RHR-70(DB)(3/3)

鳥瞰図	RHR-70(SA)(1/3)



鳥瞰図	RHR-70(SA)(2/3)

鳥瞰図	RHR-70(SA)(3/3)

3. 計算条件

3.1 荷重の組合せ及び許容応力

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系	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	
			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	
	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧注水系	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	

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉冷却系統施設	非常用炉心冷却設備その他原子炉注水設備	低圧代替注水系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$ *6,7 $V_L(LL)+S_s$ *6 V_L+S_s	V_AS
		代替循環冷却系	ＳＡ	常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$ *6,7 $V_L(LL)+S_s$ *6 V_L+S_s	V_AS
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	格納容器スプレイ冷却系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$ *6,7 $V_L(LL)+S_s$ *6 V_L+S_s	V_AS
		サプレッション・プール冷却系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$ *6,7 $V_L(LL)+S_s$ *6 V_L+S_s	V_AS
		代替格納容器スプレイ冷却系	ＳＡ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等クラス２管	－	$V_L(L)+S_d$ *6,7 $V_L(LL)+S_s$ *6 V_L+S_s	V_AS

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類*1	設備分類*2	機器等の区分	耐震設計上の重要度分類	荷重の組合せ*3,4	許容応力状態*5
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	代替循環冷却系	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	
		低圧代替注水系	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 RHR-40,41,42,89

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	101N～111,113～117 528～529,727～729	0.86	148	609.6	9.5	SM41B	S	
2	145～184,145～200 509～519N,509～526 707～717N,707～725	1.52	174	609.6	9.5	SM50B	S	
3	185～192	1.52	174	508.0	9.5	SM41B	S	
4	194～197A	8.62	302	508.0	32.5	SUS304TP	S	
5	201～506,508～509 154～704,706～707	1.52	174	457.2	9.5	SM41B	S	
6	1561～274A	1.52	174	267.4	9.3	STPT42	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　RHR-40, 41, 42, 89

質量	対応する評価点
	201～506, 508～509, 154～704, 706～707
	145～184, 145～200, 509～519N, 509～526, 707～717N 707～725
	185～192
	194～197A
	1561～274A

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　RHR-40, 41, 42, 89

質量	対応する評価点
[redacted]	102F, 516F, 712F, 713F, 717N
[redacted]	256F

弁部の寸法

鳥　瞰　図　RHR-40, 41, 42, 89

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
111～112				112～1101			
1101～1102				112～113			
192～193				193～1901			
1901～1902				193～194			
506～507				507～5001			
5001～5000				5000～5002			
507～508				526～527			
527～5201				5201～5200			
5200～5202				527～528			
704～705				705～7001			
7001～7000				7000～7002			
705～706				725～726			
726～7201				7201～7200			
7200～7202				726～727			

弁部の質量

鳥　瞰　図　RHR-40, 41, 42, 89

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	111, 113, 528, 526, 727, 725		112, 527, 726
	1101, 5201, 7201		1102, 5202, 7202
	192, 194		193
	1901		1902
	506, 508, 704, 706		507, 705
	5001, 7001		5002, 7002

支持点及び貫通部ばね定数

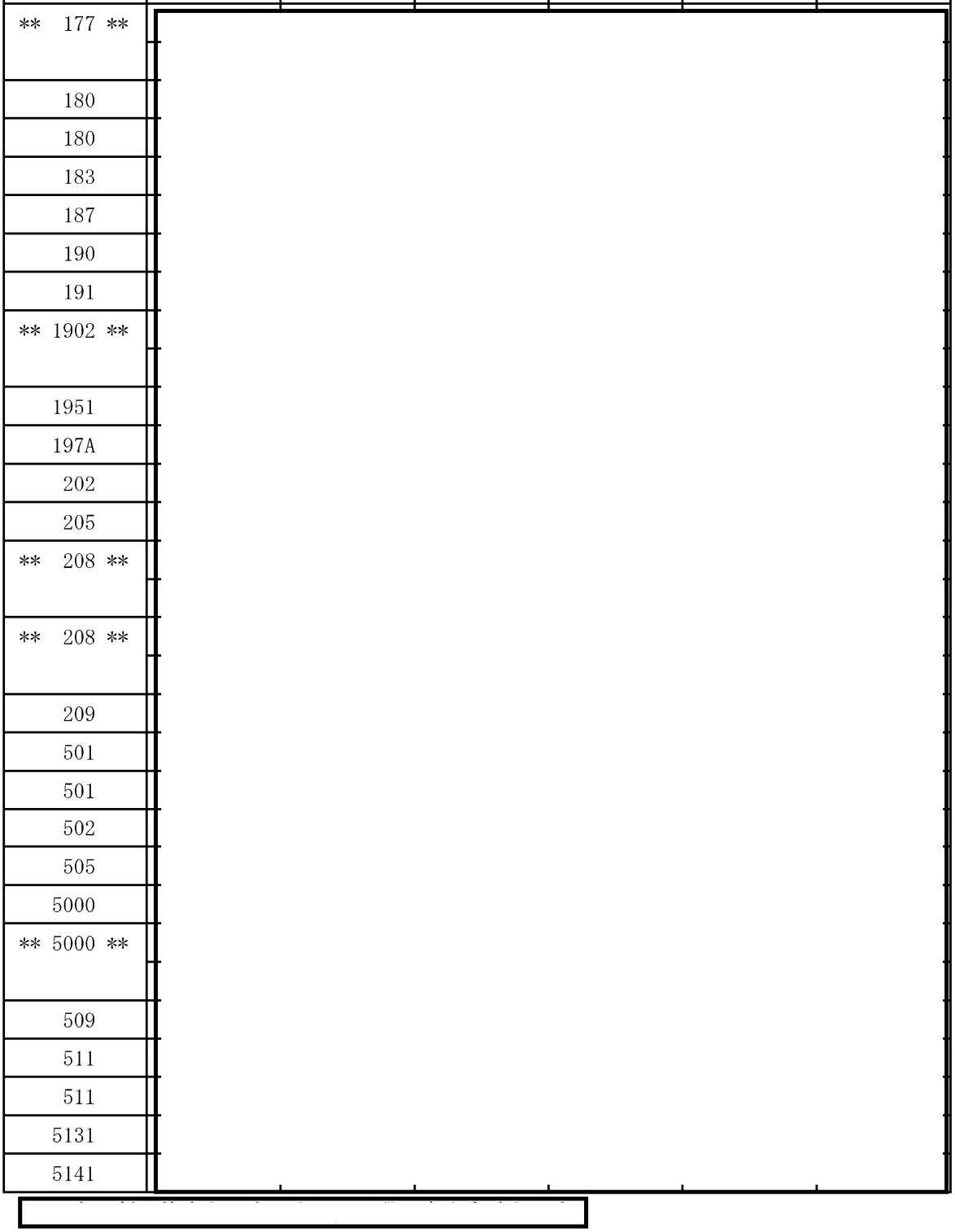
鳥　瞰　図　RHR-40,41,42,89

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
101N						
105						
** 105 **						
** 109 **						
1090						
110						
119N						
** 119N **						
** 119N **						
148						
150						
1511						
152						
155						
** 158 **						
158						
163						
** 165 **						
168						
** 170 **						
172						
176						
** 176 **						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RHR-40, 41, 42, 89

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
** 177 **						
180						
180						
183						
187						
190						
191						
** 1902 **						
1951						
197A						
202						
205						
** 208 **						
** 208 **						
209						
501						
501						
502						
505						
5000						
** 5000 **						
509						
511						
511						
5131						
5141						



支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RHR-40,41,42,89

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
5141						
519N						
520						
521						
523						
527						
5200						
531N						
** 531N **						
** 531N **						
**　223 **						
**　223 **						
224						
**　701 **						
**　701 **						
702						
7000						
** 7000 **						
709						
709						
709						
7091						
716						
717N						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RHR-40, 41, 42, 89

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
719						
721						
721						
726						
7200						
731N						
** 731N **						
** 731N **						
233						
2351						
**　238 **						
238						
243						
248						
250						
255						
257						
260						
264						
267						
272						
274A						

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　RHR-70

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	耐震設計上の重要度分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～11,4～4800 49～74A	3.45	174	457.2	14.3	SM41B	S	
2	12～38A	3.45	174	406.4	12.7	SM50B	S	
3	480～49	3.45	174	457.2	14.3	STPT410	S	
4	57～76	3.45	174	355.6	11.1	STPT42	S	
5	77～78	3.45	174	318.5	10.3	STPT42	S	
6	79～83	10.70	302	318.5	25.4	SUSF316	S	
7	83～84A	10.70	302	318.5	25.4	SUS304TP	S	
8	10～94	3.45	174	114.3	6.0	STPT42	S	
9	95～98	3.45	148	114.3	6.0	STPT42	S	

配管の付加質量

鳥　瞰　図　RHR-70

質量	対応する評価点
[redacted]	1A～11, 4～4800, 480～74A
	12～38A
	57～76
	77～78
	79～84A
	10～94

フランジ部の質量

鳥　瞰　図　RHR-70

質量	対応する評価点
[redacted]	2F
	961F

弁部の寸法

鳥　瞰　図　RHR-70

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4800～4801				4801～4802			
4802～4803				4801～480			
78～780				780～781			
781～782				780～79			
94～940				940～941			
941～942				940～95			

弁部の質量

鳥　瞰　図　RHR-70

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	4800, 480		4801
	4802		4803
	78, 79		780
	781		782
	94, 95		940
	941		942

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RHR-70

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						
7						
8						
13						
** 18 **						
19						
** 27 **						
28						
34						
38A						
44						
** 44 **						
48						
51						
** 51 **						
** 53 **						
** 580 **						
63						
64						
68						
710						
74A						
84A						
89						
93						

支持点及び貫通部ばね定数

鳥　瞰　図　RHR-70

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
96						
96						
101N						

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)			
		S_m	S_y	S_u	S_h
SM41B	148	－	207	373	－
SM50B	174	－	264	441	－
SM41B	174	－	200	373	－
SUS304TP	302	114	126	391	110
STPT42	174	－	210	404	－
STPT410	174	－	210	404	－
SUSF316	302	118	130	420	116
STPT42	148	－	214	404	－

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備評価用床応答曲線を下表に示す。

なお，設備評価用床応答曲線は添付資料「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，減衰定数は添付資料「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 (%)
RHR-40, 41, 42, 89	原子炉建屋		
RHR-70	原子炉建屋		

4.　解析結果及び評価

4.1　固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　RHR-40,41,42,89

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期(s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
37次							
38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　RHR-40,41,42,89

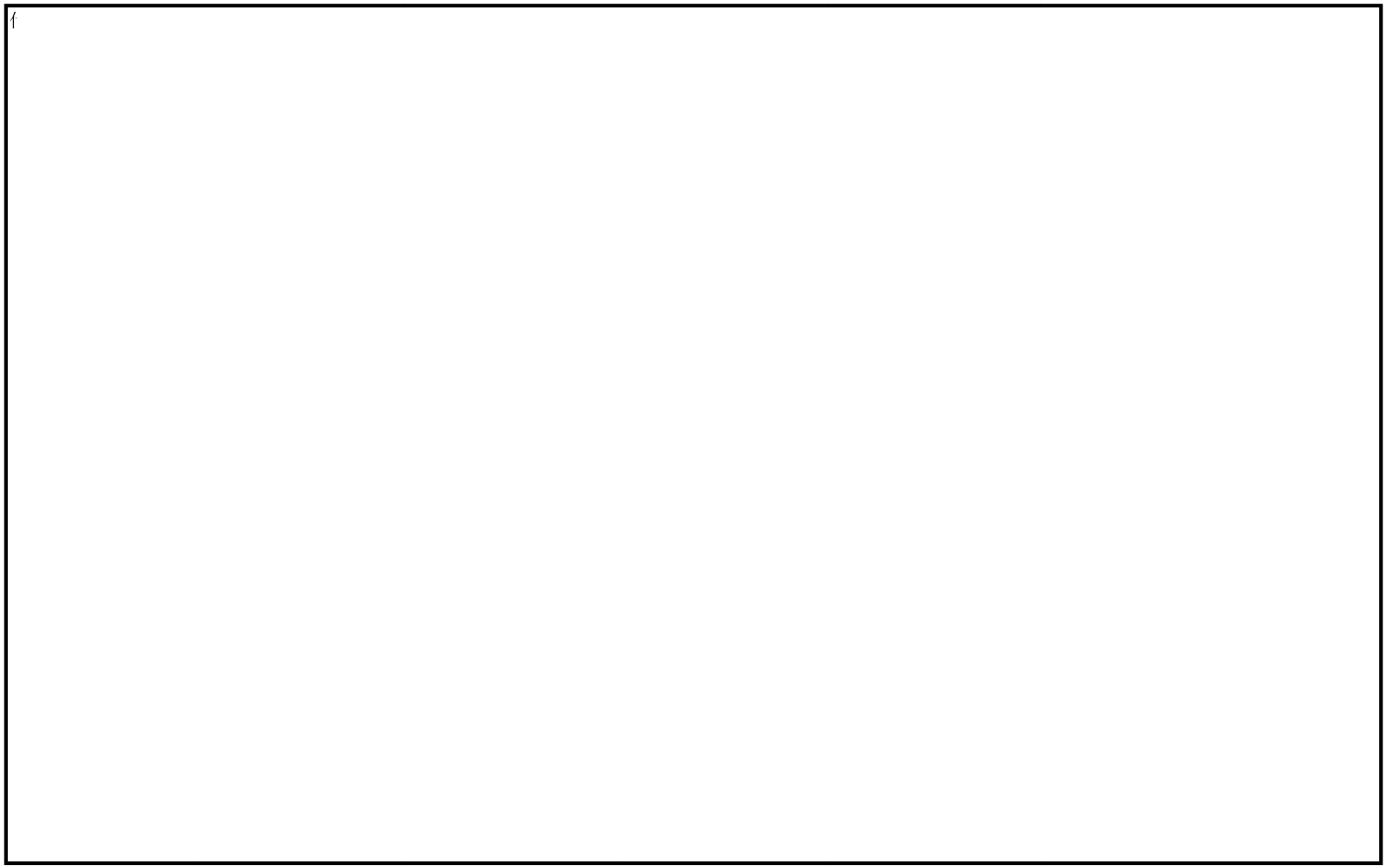
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
37次				
38次				

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	RHR-40, 41, 42, 89

鳥瞰図	RHR-40, 41, 42, 89



鳥瞰図	RHR-40, 41, 42, 89

解析結果及び評価

固有周期及び設計震度

鳥　瞰　図　RHR-70

耐震設計上の重要度分類		S					
適用する地震動等		S_d及び静的震度			S_s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
18次							
19次							
動的震度							
静的震度							

各モードに対応する刺激係数

鳥　瞰　図　RHR-70

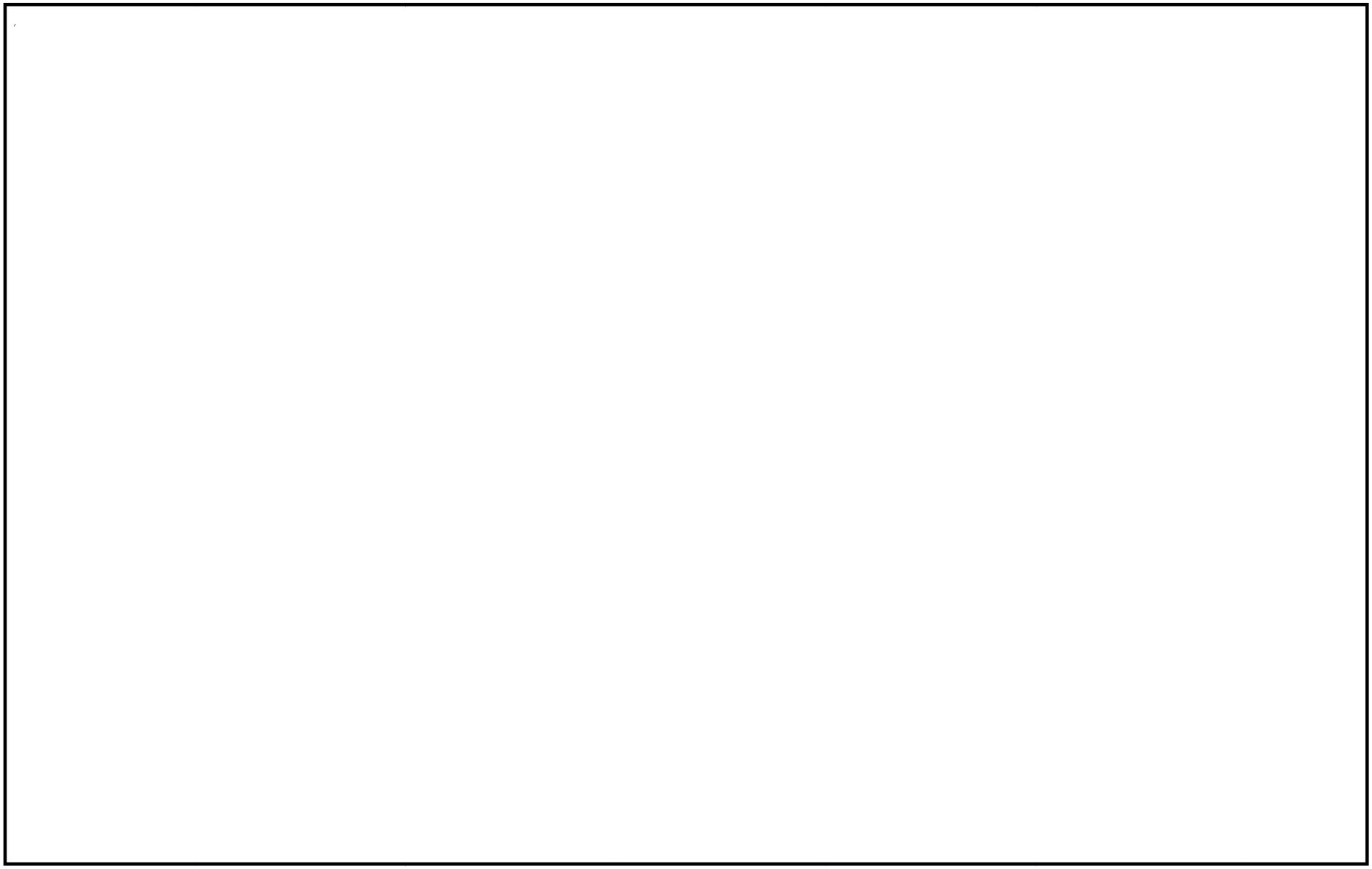
モード	固　有　周　期 (s)	刺　激　係　数		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
18次				
19次				

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。

1

鳥瞰図	RHR-70



鳥瞰図	RHR-70

鳥瞰図	RHR-70

4.2　評価結果

4.2.1　管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス２管であってクラス１管

鳥瞰図	許容応力状態（供用状態）	最大応力評価点	配管要素名称	最大応力区分	一次応力評価 (MPa)				一次＋二次応力評価 (MPa)		疲労評価
					一次応力 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 min（2.25S_m，1.8S_y） min(3S_m，2S_y)	ねじり応力 S_t（S_d） S_t（S_s）	許容応力 0.55S_m 0.73S_m	一次＋二次応力 S_n（S_s）	許容応力 3S_m	疲労累積係数 U＋US_s
RHR-70	III_AS	82	ELBOW	S_{prm}（S_d）	153	234	－	－	－	－	－
RHR-70	III_AS	81	ELBOW	S_t（S_d）	－	－	73*	64	－	－	－
RHR-70	IV_AS	82	ELBOW	S_{prm}（S_s）	217	260	－	－	－	－	－
RHR-70	IV_AS	81	ELBOW	S_t（S_s）	－	－	119*	84	－	－	－
RHR-70	IV_AS	82	ELBOW	S_n（S_s）	－	－	－	－	496	354	0.0160
RHR-70	IV_AS	82	ELBOW	U＋US_s	－	－	－	－	－	－	0.0160

注記　＊：ねじりによる応力が許容応力状態III_ASのとき0.55S_m，又は許容応力状態IV_ASのとき0.73S_mを超える評価点を示し，次ページに曲げとねじりによる応力評価結果を示す。

下表に示すとおりねじりによる応力が許容応力状態$\mathrm{III}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$のとき$0.55\mathrm{S}_{\mathrm{m}}$，又は許容応力状態$\mathrm{IV}_{\mathrm{A}}\mathrm{S}$のとき$0.73\mathrm{S}_{\mathrm{m}}$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 S_{t}（S_{d}） S_{t}（S_{s}）	許容応力 $0.55\mathrm{S}_{\mathrm{m}}$ $0.73\mathrm{S}_{\mathrm{m}}$	曲げとねじり応力 $\mathrm{S}_{\mathrm{t}}+\mathrm{S}_{\mathrm{b}}$（$\mathrm{S}_{\mathrm{d}}$） $\mathrm{S}_{\mathrm{t}}+\mathrm{S}_{\mathrm{b}}$（$\mathrm{S}_{\mathrm{s}}$）	許容応力 $1.8\mathrm{S}_{\mathrm{m}}$ $2.4\mathrm{S}_{\mathrm{m}}$
RHR-70	81	73	64	88	212
RHR-70	81	119	86	146	283

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス２以下の管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 S_{prm}（S_d） S_{prm}（S_s）	許容応力 S_y* $0.9S_u$	計算応力 S_n（S_s）	許容応力 $2S_y$	疲労累積係数 US_s
RHR-40,41,42,89	ⅢAS	509	S_{prm}（S_d）	131	200	－	－	－
RHR-40,41,42,89	ⅣAS	509	S_{prm}（S_s）	203	335	－	－	－
RHR-40,41,42,89	ⅣAS	509	S_n（S_s）	－	－	382	400	－

注記　＊：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，S_yと$1.2S_h$のうち大きい方とする。

4.2.2　支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物番号	種類	型式	材質	温度(℃)	評価結果	
					計算荷重(kN)	許容荷重(kN)
SNM-RHR-606B-2	メカニカルスナッバ	SMS-3	添付書類「V-2-1-12-1 配管及び支持構造物の耐震計算について」参照		41.8	45.0
SNO-RHR-32C	オイルスナッバ	SN-25			300.0	375.0
RO-RHR-RE20	ロッドレストレイント	RTS-6			55.3	108.0
SH-RHR-30C	スプリングハンガ	VS-4			75.8	97.2
CH-RHR-178	コンスタントハンガ	CSH-25			21.1	22.5

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-RHR-641	アンカ	ラグ	SM41B	174	49.9	217.0	76.0	87.9	30.4	72.5	組合せ	101	138
RE-RHR-698A	レストレイント	パイプバンド	STKR400 SM400B	174	51.2	172.0	0	－	－	－	圧縮	42	120
RH-RHR-861T1	リジットハンガ	パイプバンド	STKR400 SM400B	302	0	41.5	0	－	－	－	圧縮	11	55

4.2.3　弁の動的機能維持評価結果

下表に示すとおり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/s²）		機能確認済加速度（×9.8 m/s²）		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
E12-F053B	止め弁	β（S_s）	5.7	1.5	6.0	6.0	－	－
E12-F042A	止め弁	β（S_d）	2.3	4.9	6.0	6.0	－	－
E12-F050A	逆止め弁	β（S_s）	5.9	2.2	6.0	6.0	－	－
E12-F041B	逆止め弁	β（S_d）	5.0	3.2	6.0	6.0	－	－

注記　＊：応答加速度は，打ち切り振動数を 50Hz として計算した結果を示す。

4.2.4　代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

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

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス１範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 $\mathrm{III_AS}$					許容応力状態 $\mathrm{IV_AS}$												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力［MPa］	許容応力［MPa］	裕度	代表	評価点	計算応力［MPa］	許容応力［MPa］	裕度	代表	評価点	計算応力［MPa］	許容応力［MPa］	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHR-34_X-12	670	119	310	2.60	－	670	162	414	2.55	－	68A	205	366	1.78	－	670	0.0013	－
2	RHR-34_X-19	1731	67	234	3.49	－	1731	78	260	3.33	－	1731	102	354	3.47	－	1731	0.0002	－
3	RHR-70	82	153	234	1.52	○	82	217	260	1.19	○	82	496	354	0.71	○	82	0.0160	○
4	RHR-PD-29	13	118	310	2.62	－	20	147	414	2.81	－	20	350	414	1.18	－	21N	0.0084	－
5	RHR-PD-35	13	120	310	2.58	－	20	145	414	2.85	－	20	355	414	1.16	－	21N	0.0080	－
6	RHR-PD-36	13	120	310	2.58	－	20	147	414	2.81	－	20	351	414	1.17	－	21N	0.0087	－
7	RHR-40,41,42,89	196	76	226	2.97	－	196	93	252	2.70	－	196	171	342	2.00	－	1952	0.0009	－
8	PLR-PD-1	308	95	226	2.37	－	302	103	252	2.44	－	334	264	342	1.29	－	334	0.0009	－
9	PLR-PD-2	216	75	234	3.12	－	216	102	260	2.54	－	223	212	354	1.66	－	217	0.0002	－

注記　＊：$\mathrm{III_AS}$の一次＋二次応力の許容値は$\mathrm{IV_AS}$と同様であることから，地震荷重が大きい$\mathrm{IV_AS}$の一次＋二次応力裕度最小を代表とする。

$\mathrm{IV_AS}$の計算応力は，$\mathrm{V_AS}$と$\mathrm{IV_AS}$の大きい方を記載している。

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果（クラス２範囲）

No	配管モデル	許容応力状態 III_AS					許容応力状態 IV_AS												
		一次応力					一次応力					一次＋二次応力					疲労評価		
		評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	計算応力 [MPa]	許容応力 [MPa]	裕度	代表	評価点	疲労累積係数	代表
1	RHR-3	28	100	200	2.00	－	28	136	335	2.46	－	28	192	400	2.08	－	－	－	－
2	RHR-5	38	110	181	1.64	－	38	156	335	2.14	－	38	222	362	1.63	－	－	－	－
3	RHR-6	33	88	200	2.27	－	116	134	335	2.50	－	116	203	400	1.97	－	－	－	－
4	RHR-8	88A	75	200	2.66	－	88A	97	335	3.45	－	88A	118	400	3.38	－	－	－	－
5	RHR-10	622	39	210	5.38	－	622	56	363	6.48	－	622	75	420	5.60	－	－	－	－
6	RHR-12	6	52	207	3.98	－	6	66	335	5.07	－	6	71	414	5.83	－	－	－	－
7	RHR-15	47	24	200	8.33	－	47	34	335	9.85	－	44	113	400	3.53	－	－	－	－
8	RHR-34	335F	94	200	2.12	－	158A	147	335	2.27	－	158A	265	400	1.50	－	－	－	－
9	RHR-48	93	104	273	2.62	－	93	143	396	2.76	－	93	234	546	2.33	－	－	－	－
10	RHR-70	76	137	210	1.53	－	76	202	363	1.79	－	76	318	420	1.32	－	－	－	－
11	FPC-6	535A	24	210	8.75	－	535A	28	363	12.96	－	522	28	420	15.00	－	－	－	－
12	FPC-10	135A	44	210	4.77	－	135A	56	363	6.48	－	135A	55	420	7.63	－	－	－	－
13	RHR1-1	2	61	207	3.39	－	2	81	335	4.13	－	2	99	414	4.18	－	－	－	－
14	RHR2-1	2	63	207	3.28	－	2	85	335	3.94	－	2	104	414	3.98	－	－	－	－
15	RHR-31	1A	93	207	2.22	－	1A	141	335	2.37	－	1A	272	414	1.52	－	－	－	－
16	RHR-40,41,42,89	509	131	200	1.52	○	509	203	335	1.65	○	509	382	400	1.04	○	－	－	－
17	RHR-66	1N	72	210	2.91	－	1N	109	363	3.33	－	1N	319	420	1.31	－	－	－	－

Ⅴ-2-5-4-1-5　ストレーナ部ティーの耐震計算書（残留熱除去系）

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 ····· 6
3. 評価部位 ····· 7
4. 地震応答解析及び構造強度評価 ····· 8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力 ····· 8
4.3 解析モデル及び諸元 ····· 14
4.4 固有周期 ····· 15
4.5 設計用地震力 ····· 16
4.6 計算方法 ····· 17
4.7 計算条件 ····· 19
4.8 応力の評価 ····· 19
5. 評価結果 ····· 19
5.1 設計基準対象施設としての評価結果 ····· 19
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 20

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，ストレーナ部ティー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。その耐震評価はストレーナ部ティーの地震応答解析，応力評価により行う。

ストレーナ部ティーは，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。

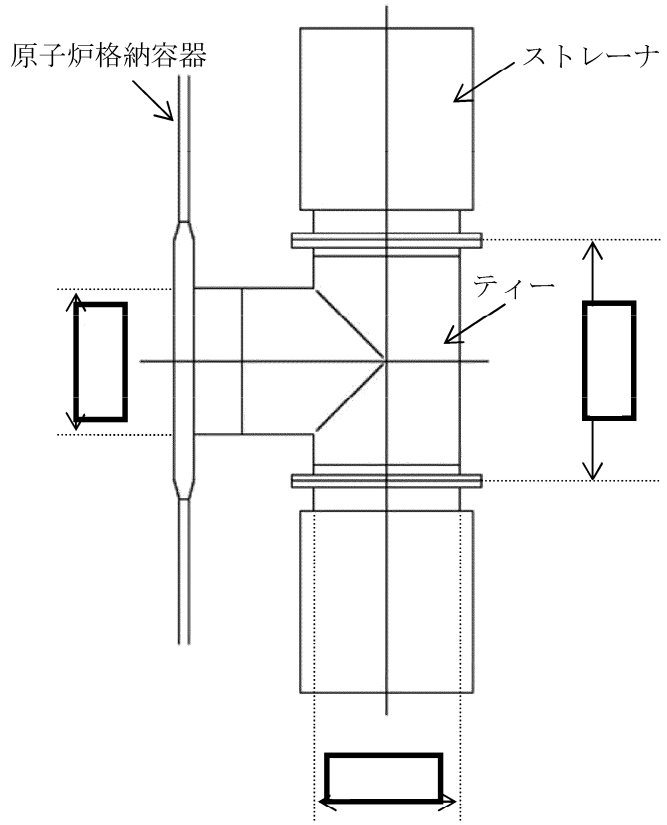
なお，残留熱除去系ストレーナ部ティー，高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーは同形状のティーを使用することから，本計算書においては代表して残留熱除去系ストレーナ部ティーの解析モデルを採用する。また，そのモデルに作用させる荷重については各ストレーナ部ティーの荷重条件で最大となる値を用いて評価している。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱除去系ストレーナ部ティー，高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの構造計画を表2－1に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図	摘要
基礎・支持構造	主体構造		
ストレーナ部ティーは，サプレッション・プール内に水没された状態で設置されており，原子炉格納容器貫通部に取り付けられている。	ティー	 （単位：mm）	・残留熱除去系ストレーナ部ティー [redacted] ・高圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー [redacted] ・低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー [redacted]

2.2　評価方針

ストレーナ部ティーの応力評価は，添付書類「V-2-1-9　機能維持の基本方針」のうち「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」にて示すストレーナ部ティーの評価部位を踏まえ「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による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。

ストレーナ部ティーの耐震評価フローを図2－1に示す。

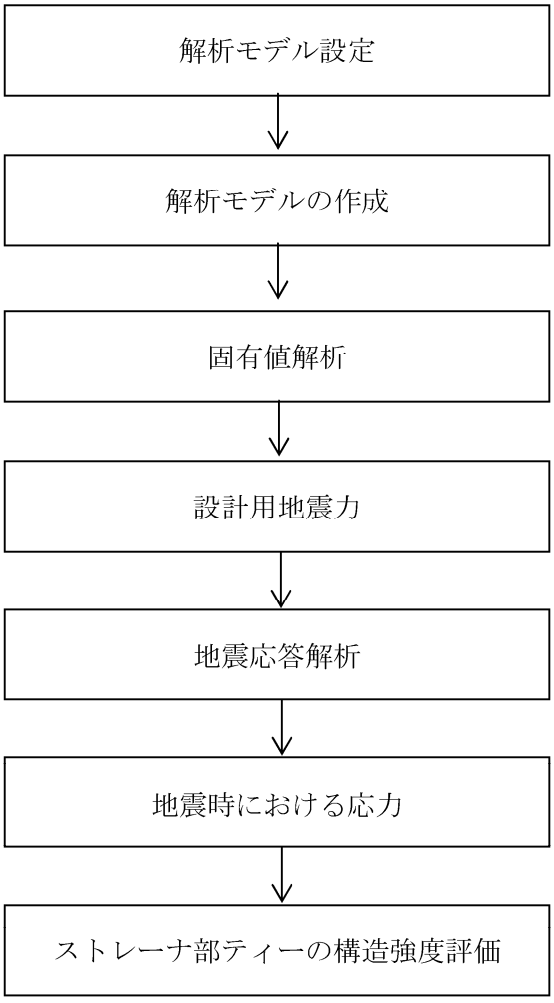


図2－1　ストレーナ部ティーの耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会）

(2) 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（日本電気協会）

(3) 原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（日本電気協会）

(4) 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。））　ＪＳＭＥＳ　ＮＣ１－2005/2007（日本機械学会）（以下「設計・建設規格」という。）

(5) 非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（平成 20 年 2 月 27 日付け平成 20・02・12 原院第 5 号）

2.4　記号の説明

記　号	記　号　の　説　明	単　位
S_{prm}	発生応力	MPa
P	最高使用圧力（設計圧力）	MPa
D_o	管の外径	mm
t	管の厚さ	mm
B_1	設計・建設規格　表 PPB-3812.1-1 で規定する応力係数 [redacted]	－
B_{2b}	設計・建設規格　式 PPB-4.29 により計算した分岐管の応力係数 $=0.4\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$ [redacted]	－
R_m	主管の平均半径	mm
T_r	主管の厚さ	mm
B_{2r}	設計・建設規格　式 PPB-4.30 により計算した主管の応力係数 $=0.5\cdot\left(\frac{R_m}{T_r}\right)^{\frac{2}{3}}$ [redacted]	－
M_b	表 4－12 に示す分岐管に作用するモーメント	N・mm
M_r	表 4－12 に示す主管に作用するモーメント	N・mm
Z_b	分岐管の断面係数	mm^3
Z_r	主管の断面係数	mm^3

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
温度	℃	―	―	整数位*1
圧力	kPa	―	―	整数位
長さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
モーメント	N･mm	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁*2
力	N	有効数字4桁目	切上げ	有効数字3桁
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

残留熱除去系，高圧炉心スプレイ系及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの形状を図3－1に示す。

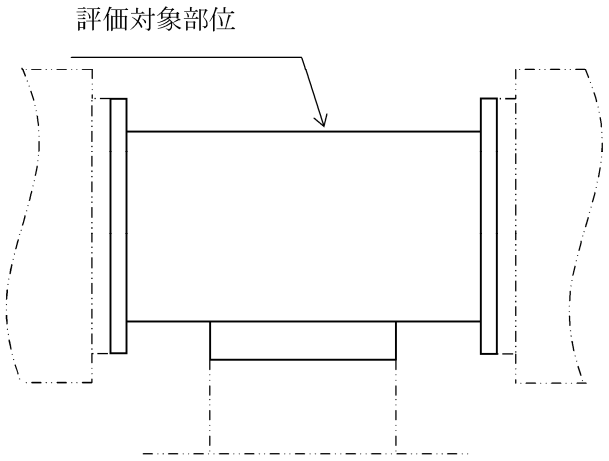


図3－1　残留熱除去系，高圧炉心スプレイ系及び低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティーの形状

ティーの主要寸法を表3－1に示す。

表3－1　ティーの主要寸法

貫通部番号		外　径	板　厚	フランジ間距離
	(残留熱除去系)	609.6 mm		
	(高圧炉心スプレイ系)			
	(低圧炉心スプレイ系)			

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)　ストレーナ部ティーは，ストレーナ部を含む一体モデルでの地震応答解析から得られたモーメントとストレーナから作用する荷重を用いて構造強度評価を行う。

(2)　ストレーナ部ティーと格納容器は溶接構造で取付けられており，地震応答解析に用いるモデルでは，取付け部をばね拘束とする。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

(4)　概略構造図を表 2－1 に示す。

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

基準地震動の策定に伴う地震荷重との組合せの評価として，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。

なお，「1.　概要」に記載したとおり本計算書では，同形状である残留熱除去系ストレーナ，高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナの代表として残留熱除去系ストレーナの評価としていることから，荷重の組合せについては高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナについても記載する。

4.2.2　許容応力

ストレーナ部ティーの許容応力を表 4－3，表 4－4 に示す。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件及び許容応力

ストレーナ部ティー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。また，使用材料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 4－7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－8 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
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系ストレーナ部ティー	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$
	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ストレーナ部ティー	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$
		低圧炉心スプレイ系ストレーナ部ティー	S	クラス２	$D+P_D+M_D+S_d^*$	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_L+M_L+S_d^*$	$\mathrm{III}_A S$
					$D+P_D+M_D+S_s$	$\mathrm{IV}_A S$

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*	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 冷却系統施設	残留熱除去設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	常設耐震／防止	重大事故等 クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS （V_ASとして IV_ASの許容限界を用いる）
	非常用炉心冷却設備 その他原子炉注水設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS （V_ASとして IV_ASの許容限界を用いる）
		高圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	常設耐震／防止	重大事故等 クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS （V_ASとして IV_ASの許容限界を用いる）
		低圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	常設耐震／防止	重大事故等 クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS （V_ASとして IV_ASの許容限界を用いる）
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	残留熱除去系 ストレーナ部ティー	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS （V_ASとして IV_ASの許容限界を用いる）
		高圧炉心スプレイ系 ストレーナ部ティー	常設／緩和	重大事故等 クラス２	$D+P_{SA}+M_{SA}+S_s$	V_AS （V_ASとして IV_ASの許容限界を用いる）

注記　＊：「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。

表 4－3　許容応力（クラス２，３管）

許容応力 状態	一次一般 膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）	一次＋二次 応力	一次＋二次 ＋ピーク応力
$\mathrm{III}_A S$	$\mathrm{Min}(S_y, 0.6 \cdot S_u)$ 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 1.2 S_hとしてもよい。	S_y 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 1.2 S_hとしてもよい。	S_d又はS_s地震動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 $2 \cdot S_y$以下であれば，疲労解析は不要である。	
$\mathrm{IV}_A S$	$0.6 \cdot S_u$	$0.9 \cdot S_u$		

表 4－4　許容応力（重大事故等クラス２管（クラス２，３管））

許容応力 状態	一次一般 膜応力	一次応力 （曲げ応力を含む）	一次＋二次 応力	一次＋二次 ＋ピーク応力
$\mathrm{IV}_A S$	$0.6 \cdot S_u$	$0.9 \cdot S_u$	S_d又はS_s地震動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 $2 \cdot S_y$以下であれば，疲労解析は不要である。	
$\mathrm{V}_A S$	$0.6 \cdot S_u$	$0.9 \cdot S_u$		

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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ティー	[redacted]	[redacted]	—	219	377	—

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)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
ティー	[redacted]	[redacted]	—	214	377	—

表 4－7　許容応力（設計基準対象施設）　（単位：MPa）

材料	許容応力状態	許容応力強さ		
		一次応力		一次＋二次応力*1
		P_m*2	P_L+P_b	P_L+P_b+Q
GSTPL 相当	III_AS	219	219	438
	IV_AS	226	339	

注記　＊1：二次応力が発生する場合のみ考慮する。（今回の計算においては，二次応力（通常運転時温度による応力含む。）は発生しない。）

＊2：基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから，評価結果の記載については省略する。

表 4－8　許容応力（重大事故等対処設備）　（単位：MPa）

材料	許容応力状態	許容応力強さ		
		一次応力		一次＋二次応力*1
		P_m*2	P_L+P_b	P_L+P_b+Q
GSTPL 相当	V_AS	226	339	428

注記　＊1：二次応力が発生する場合のみ考慮する。（今回の計算においては，二次応力（通常運転時温度による応力含む。）は発生しない。）

＊2：基本板厚計算書で膜応力を考慮した最小板厚の評価を実施していることから，評価結果の記載については省略する。

4.3　解析モデル及び諸元

ストレーナ部ティーの解析モデルを図 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。

ストレーナ部ティーの解析は，ストレーナ部及び貫通部スリーブを含む一体として，はり要素を用いた有限要素モデルとする。ストレーナ部ティーと格納容器は溶接構造で取付けられており，取付け部はばね拘束とする。なお，本設備はサプレッション・プールに水没している機器であるため，内包水及び排除水の影響を加味し，ストレーナ質量に含んでいる。

解析コードは，「ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，添付書類「Ⅴ-5-1 計算機プログラム（解析コード）の概要 ＭＳＣ　ＮＡＳＴＲＡＮ」に示す。

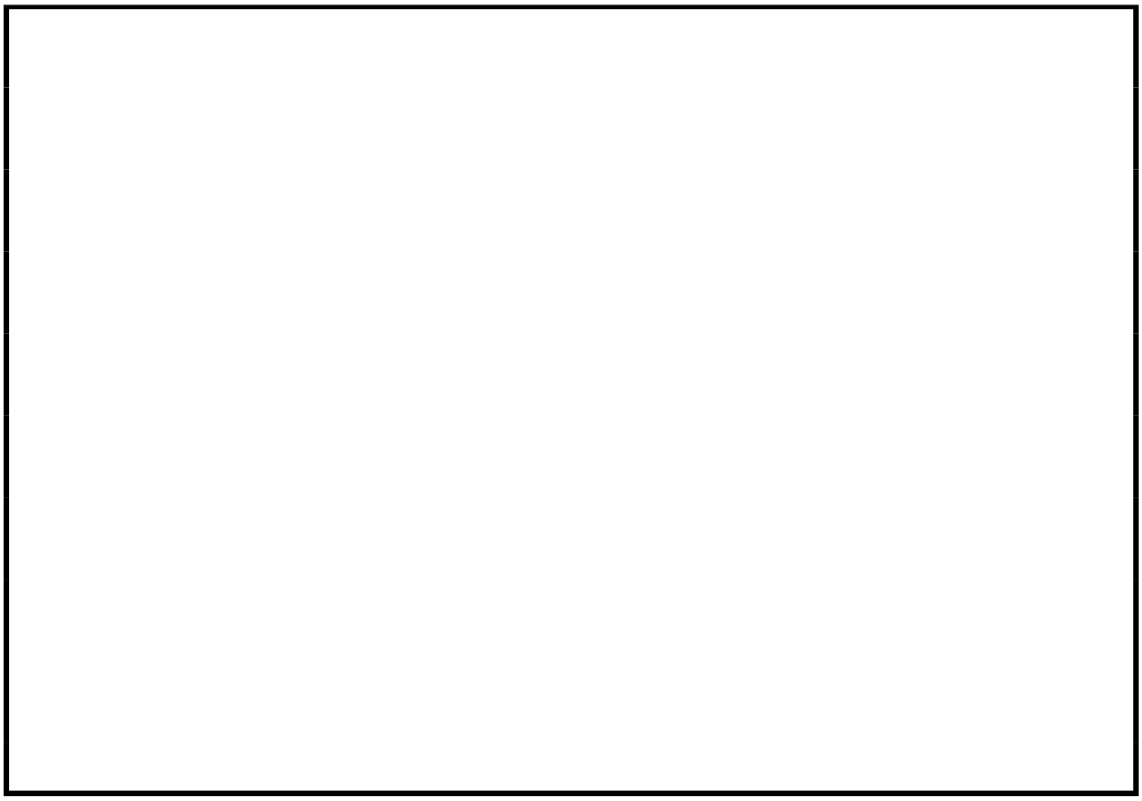


図 4－1　ストレーナ部ティーの解析モデル

表 4－9　機器諸元

項目	単位	入力値
材質	－	
温度	℃	104.5
圧力	kPa	310
縦弾性係数	MPa	
ストレーナ質量	kg/個	
ポアソン比	－	
要素数	個	
節点数	個	

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－10 に，振動モード図を図 4－2 に示す。

1 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が [redacted] 2 次モードは水平方向に卓越し，固有周期が 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。また，鉛直方向は 3 次モード以降で卓越し，固有周期は 0.05 秒以下であり剛であることを確認した。

表 4－10　固有値解析結果

モード	固有周期 (s)	卓越方向	刺激係数		
			X	Y	Z
1 次	[redacted]				
2 次					

[redacted]

図 4－2　振動モード（1 次モード [redacted] s）

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－11 及び表 4－12 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Ｓ$_s$」による地震力は，添付書類「Ⅴ-2-1-7　設計用床応答曲線の作成方針」に基づく。また，減衰定数は添付書類「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。

表 4－11　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び設置高さ (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$_s$		減衰定数(%)	
	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	水平方向	鉛直方向
格納容器内 EL. －2.50	[redacted]	0.05 以下*1	C_H＝0.53 又は＊2	C_V＝0.48	C_H＝0.96 又は＊3	C_V＝0.90	1.0*4	－

注記　＊1：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

＊2：弾性設計用地震動Ｓ$_d$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊3：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊4：溶接構造物に適用される減衰定数の値

表 4－12　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所及び設置高さ (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$_s$		減衰定数(%)	
	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	水平方向	鉛直方向
格納容器内 EL. －2.50	[redacted]	0.05 以下*1	－	－	C_H＝0.96 又は＊2	C_V＝0.90	1.0*3	－

注記　＊1：固有値解析より 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

＊2：基準地震動Ｓ$_s$に基づく設備評価用床応答曲線より得られる値

＊3：溶接構造物に適用される減衰定数の値

4.6　計算方法

ティーに発生する応力は，設計・建設規格 PPC-3520 に従い算出する。なお，ティーの溶接継手は管の板厚の強度と同等以上となるように設計しているため，ここでは管について評価を行う。

応力算出は以下の式に従う。

$$S_{prm}=\frac{B_1\cdot P\cdot D_o}{2\cdot t}+\frac{B_{2b}\cdot M_b}{Z_b}+\frac{B_{2r}\cdot M_r}{Z_r}$$

4.6.1　設計荷重

ストレーナに作用する荷重（死荷重，水力学的動荷重，地震荷重等）はフランジを介してティーに伝達され，最終的に貫通部に伝達される。このため，ティーの設計荷重としては，ティー自身に作用する荷重に加え，先の伝達荷重を考慮する。

4.6.2　死荷重

残留熱除去系，高圧炉心スプレイ系，低圧炉心スプレイ系それぞれの死荷重を表 4－13 に示す。

表 4－13　死荷重

部位	残留熱除去系	高圧炉心スプレイ系	低圧炉心スプレイ系
ティー			

4.6.3　応力解析に用いるモーメント

応力解析に用いるモーメントは，図 4－3 に示す主管と分岐管に作用するモーメントを用いる。主管のモーメントは 4.6.1 項に示したようにストレーナからの伝達荷重を考慮し，分岐管のモーメントは先の伝達荷重に加え，ティー自身に作用する荷重から算出したモーメントを考慮する。

算出したモーメントを表 4－14 に示す。ここでのモーメントとは，設計・建設規格　解説 PPC-3520 の考え方に基づいて設定した 3 方向のモーメントを二乗和平方根で合成したものである。

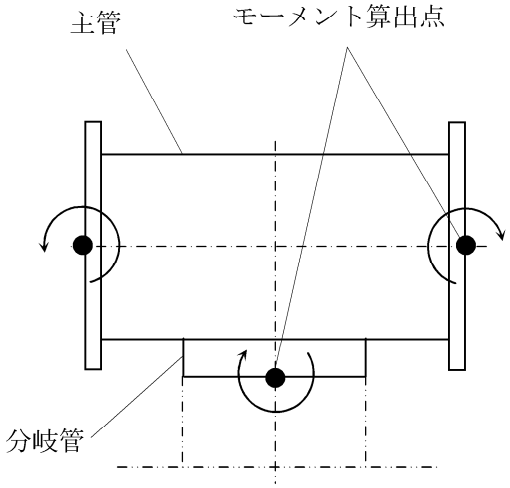


図 4－3　ティーのモーメント算出点

表 4－14　ティーの設計荷重

（単位：N･mm）

荷重		モーメント	
		主管	分岐管
1	死荷重		
2	異物荷重*1		
3	差圧（ＤＢＡ）		
4	ＳＲＶ荷重		
5	S_d*地震荷重		
6	S_s地震荷重		
7	異物S_d*地震荷重*2		
8	差圧（ＳＡ）		
9	異物S_s地震荷重*2		

注記　＊1：異物による荷重は死荷重に含めて計算している。

＊2：異物による地震荷重はストレーナの地震荷重に含めて計算している。

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重は，本計算書の 4.2 項　荷重の組合せ及び許容応力及び 4.5 項　設計用地震力に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　ストレーナ部ティー応力評価

4.6 項　計算方法で求めた応力は表 4－7, 表 4－8 に記載される値以下であること。

5.　評価結果

5.1　設計基準対象施設としての評価結果

ティー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。発生応力は許容応力を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1)　許容応力状態$\mathrm{III}_{A}\mathrm{S}$に対する評価

許容応力状態$\mathrm{III}_{A}\mathrm{S}$に対する応力評価結果を表 5－1 に示す。

表 4－1 に示す荷重の組合せのうち，$\mathrm{D}+\mathrm{P}_{D}+\mathrm{M}_{D}+\mathrm{S}_{d}$*及び$\mathrm{D}+\mathrm{P}_{L}+\mathrm{M}_{L}+\mathrm{S}_{d}$*の評価について，それぞれ発生値が高い方の評価を記載している。

(2)　許容応力状態$\mathrm{IV}_{A}\mathrm{S}$に対する評価

許容応力状態$\mathrm{IV}_{A}\mathrm{S}$に対する応力評価結果を表 5－2 に示す。

表 4－1 に示す荷重の組合せのうち，$\mathrm{D}+\mathrm{P}_{D}+\mathrm{M}_{D}+\mathrm{S}_{s}$の評価について評価を記載している。

表 5－1　許容応力状態$\mathrm{III}_{A}S$に対する評価結果

（$D+P_{D}+M_{D}+S_{d}$*又は$D+P_{L}+M_{L}+S_{d}$*）

$\mathrm{III}_{A}S$		判定	備考
発生応力	許容応力		
MPa	MPa		
19	219	○	①*

注記　＊：①$D+P_{D}+M_{D}+S_{d}$*／②$D+P_{L}+M_{L}+S_{d}$*における結果を示す。

表 5－2　許容応力状態$\mathrm{IV}_{A}S$に対する評価結果

（$D+P_{D}+M_{D}+S_{s}$）

$\mathrm{IV}_{A}S$		判定	備考
発生応力	許容応力		
MPa	MPa		
25	339	○	－

5.2　重大事故等対処設備としての評価結果

ティーの重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生応力は許容応力を満足しており，耐震性を有することを確認した。

(1)　許容応力状態$V_{A}S$に対する評価

許容応力状態$V_{A}S$に対する応力評価結果を表 5－3 に示す。

表 4－2 に示す荷重の組合せのうち，$D+P_{SA}+M_{SA}+S_{s}$の評価について評価を記載している。

表 5－3　許容応力状態$V_{A}S$に対する評価結果

（$D+P_{SA}+M_{SA}+S_{s}$）

$V_{A}S$		判定	備考
発生応力	許容応力		
MPa	MPa		
24	339	○	－